

## بررسی کانی‌شناسی رسوبات بستر رودخانه حوزه آبخیز سفارود گیلان به منظور تعیین میزان فرسایش پذیری و رسوب‌زایی

- ❖ محمد رستم تبار؛ دانشجوی کارشناسی ارشد رسوب‌شناسی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، ایران
- ❖ سادات فیض‌نیا\*؛ استاد، گروه احیاء مناطق خشک کوهستانی، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه تهران، ایران
- ❖ ضیال‌الدین شعاعی؛ دانشیار، عضو هیئت علمی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ایران

### چکیده

با شناسایی دقیق‌تر سازندها و واحدهای سنگی حساس به فرسایش می‌توان راهکارهای مناسب و به موقع ارائه داد و از فرسایش بی‌رویه آنها جلوگیری کرد. در این مطالعه، با نمونه‌برداری از پیش تعریف شده از رودخانه‌های اصلی و فرعی و انجام عملیات دانه‌بندی با انتخاب غربال‌های شاخص، بررسی کانی‌شناسی بصورت کتی و کیفی در آزمایشگاه بوسیله بینوکولر انجام شد و در ادامه با استفاده از فرمول، قابلیت رسوب‌زایی واحدهای سنگی هر نمونه رسوب محاسبه شده است. بر اساس نتایج بدست آمده از نمونه‌های رسوب، میانگین قابلیت رسوب‌زایی واحدهای سنگی هر زیرحوضه و همینطور میانگین قابلیت رسوب‌زایی واحدهای سنگی حوزه آبخیز سفارود مشخص شده است. برای هر زیرحوضه و در نهایت برای کل حوزه آبخیز یک معادله بدست آمده که در یک طرف Y به‌عنوان مجموعه رسوبات خروجی و در طرف دیگر قابلیت رسوب‌زایی هر واحد سنگی به‌عنوان ضریب اهمیت آن واحد سنگی می‌باشد. این ضرایب بدون بعد بوده و نشان‌دهنده حساسیت واحدهای سنگی نسبت به فرسایش می‌باشند. البته هر چه این عدد بزرگتر باشد حساسیت آن واحد سنگی نسبت به فرسایش بیشتر است. بر این اساس، نقشه حساسیت به فرسایش واحدهای سنگی موجود در هر پنج زیرحوضه در محیط ARC GIS تهیه شده است. مطابق میانگین قابلیت رسوب‌زایی بدست آمده از حوزه آبخیز سفارود، واحدهای مارن، شیل ماسه‌ای تا سیلتی و آهک ماسه‌ای به‌ترتیب بیشترین حساسیت و واحدهای آهکی، آندزیت- بازالت و شیل توفدار کمترین حساسیت را به فرسایش دارند.

**واژه‌های کلیدی:** کانی‌شناسی رسوب، نمونه‌برداری از پیش تعریف‌شده، غربال‌های شاخص، بینوکولر، واحدهای سنگی، قابلیت رسوب‌زایی، حساسیت به فرسایش

## ۱. مقدمه

سابقه استفاده از روش کانی شناسی رسوبات در مشخص کردن سهم مشارکت واحدهای سنگی در تولید رسوب در ایران به سال ۱۳۷۱ برمی گردد، به طوری که از این روش [۱۳] و [۱۲] به ترتیب در حوزه آبخیز سد کارده مشهد و زیرحوضه چم واقع در حوزه آبخیز زاینده رود اصفهان استفاده کردند.

[۱۱] از آبراهه‌های مختلف حوزه آبخیز رودخانه عارفی نمونه رسوب برداشته و آنها را تحت بررسی‌های کانی شناسی و بافت قرار داده و بعد فراوانی ذرات رسوب مختلف را تبدیل به ضریب حساسیت واحدهای سنگ شناسی و سازندها به فرسایش کرده و بدین طریق، حساسیت به فرسایش واحدهای زمین شناسی منطقه را تعیین کرد.

[۴] سه عامل زمین شناسی، شیب و اقلیم را عوامل مؤثر در فرسایش حوزه آبخیز لیان دانسته و حساسیت سازندهای زمین شناسی و تولید رسوب را با بررسی‌های سه عامل فوق و تلفیق آنها با هم بررسی و حساسیت سازندهای زمین شناسی ماقبل کواترن را با روش سلبی مورد مطالعه قرار داده‌اند.

[۵] در بررسی فرسایش زیرحوضه دنبلید حوزه آبخیز طالقان از دو روش استفاده کرده‌اند [۸]. با کمک نرم‌افزار GIS، لایه‌های موردنظر برای محاسبه تراکم زهکشی، شیب و ... تهیه گردید و با توجه به تفاوت در نقشه سیمای فرسایشی خروجی این دو روش، نتیجه گرفتند که اقدام‌های آبخیزداری مناسب برای کاهش رسوب انجام شود.

در بررسی حوضه آبخیز سیمینه رود در همدان، با استفاده از روش کانی شناسی مشخص کرد که واحدهای حساس به فرسایش بیشتر در شرق و جنوب شرق حوضه قرار داشته و مساحت زیادی از این حوضه از واحدهای مقاومتری به فرسایش پوشیده شده است [۶].

از مطالعاتی که در این زمینه اخیراً در سراسر دنیا انجام شده است می‌توان به مطالعات زیر اشاره کرد [۱۵].

حوزه آبخیز یک رودخانه محدوده مشخصی از سطح یک منطقه است که بطور مداوم تحت تأثیر آب‌های جاری و فرایندهای تخریب، حمل و رسوب‌گذاری در تغییر می‌باشد. بررسی رسوب شناسی حوزه آبخیز یک رودخانه با هدف شناخت خصوصیات فیزیکی لایه‌ها و تعیین حساسیت آنها نسبت به مسئله فرسایش، اطلاعات پایه‌ای را شامل می‌شود که می‌تواند در احداث سازه‌هایی نظیر راه‌ها، سدها و سایر بناهای وابسته و همچنین حفظ پوشش سطحی یک منطقه بسیار مفید و مؤثر باشد. مهمترین مبحثی که در یک حوزه آبخیز از اهمیت بالایی برای مطالعه برخوردار است، کنترل سیلاب و نیز فرسایش و رسوب‌زایی است. فرسایش و رسوب‌زایی یکی از مشکلات مهم در مدیریت حوزه‌های آبخیز می‌باشد. به منظور اجرای برنامه‌های حفاظت و کنترل فرسایش خاک و کاهش رسوبدهی ضرورت دارد که حجم کل بار رسوبی و شدت فرسایش پذیری در یک حوزه آبخیز ارزیابی و برآورد گردد و عوامل مؤثر در فرسایش حوزه شناسایی شوند. به طوری که شناسایی این عوامل ما را در انتخاب راهکارهای مناسب برای کنترل فرسایش و حفظ منابع طبیعی یاری کند [۱].

نقش مطالعات زمین شناسی و ژئومورفولوژی در بررسی حوزه‌های آبخیز از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. همانطور که می‌دانیم سازندهای زمین شناسی از نظر سنگ شناسی و مقاومت در مقابل عوامل هوازدگی و فرسایش با یکدیگر متفاوت بوده، در نتیجه اشکال حاصل از فرسایش آنها نیز با یکدیگر تفاوت دارند، از این‌رو، این سازندها را از لحاظ حساسیت به فرسایش و تولید رسوب می‌توان اولویت بندی کرده و نقشه‌های حساسیت به فرسایش را تهیه کرد. بنابراین با استفاده از این نقشه‌ها و تلفیق آن با سایر نقشه‌ها می‌توان روش‌های متعددی برای کنترل یا جلوگیری از تولید و انتقال رسوب به کانال اصلی ارائه کرد [۲].

جغرافیایی ۳۷ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۷ درجه و ۲۷ دقیقه شمالی با حداکثر ارتفاع ۲۹۰۶ متر از سطح دریا در ارتفاعات بوغروداغ در ۱۷ کیلومتری جنوب خاوری شهر خلخال و حداقل ارتفاع ۷۰ متر از سطح دریا در محل ایستگاه هیدرومتری پونل واقع شده است. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز در شکل ۱ نشان داده شده است.

گستره حوزه آبخیز رودخانه شفارود در تقسیم بندی حوزه‌های آبخیز داخلی در حوزه ساحل دریای خزر و در زیرحوضه آبخیز تالش قرار دارد. این رودخانه جنوبی‌ترین و دومین رودخانه پر آب زیرحوضه آبخیز تالش محسوب می‌گردد [۷].

محدوده مورد مطالعه به شکل یک مستطیل طویل (ضریب شکل ۰/۲۵۵) است که شاخه‌های اولیه آن از ارتفاعات بوغروداغ (غرب حوزه) سرچشمه می‌گیرد و در ادامه مسیر در جهت خاوری جریان می‌یابد (شکل ۲). شاخه‌های میان رود و هفت خونی از جنوب غرب به آن می‌پیوندند و بعد در حدود ۶/۵ کیلومتری نرسیده به انتهای حوزه، رودخانه خوشابر از سمت جنوب غرب به آن متصل شده و وارد زیرحوضه پونل می‌گردد و بعد از خروج از حوزه آبخیز شفارود و از پائین روستای پونل به بعد با تشکیل مصب نسبتاً وسیعی به عرض تقریبی ۸ کیلومتر، شاخه‌های آن به دریای خزر می‌ریزد. بخش اعظم حوزه، کوهستانی و پوشیده از جنگل می‌باشد. بستر رودخانه تا حوالی ساختگاه سد در میان ارتفاعات قرار دارد و پس از آن به صورت جلگه‌ای می‌باشد. جاده دسترسی به حوزه آبخیز شفارود، جاده نیمه آسفالته‌ای است که در کیلومتر ۳۴ جاده انزلی - آستارا در محلی به نام سه راه ییلاق و در مجاورت روستای پونل شروع می‌شود.

میزان تولید رسوب را در رودخانه ناپو<sup>۱</sup> در شاخه فوقانی آمازون اکوادور و پرو مورد بررسی قرار دادند و به این موضوع دست یافتند که تقریباً  $۳۵ \times ۱۰^۶$  تن رسوبات دشت سیلابی سالانه به تنه این رودخانه اضافه شده است. پانگ برای ارزیابی تغییر پذیری فصلی از رسوبات معلق میدان رسوبی شار در شرق دریای چین، روش GIS را پیشنهاد کرد و فرسایش رسوب و رسوب را در مناطق مختلف آن ارزیابی کرد و با ارائه مدل سه بعدی از حوضه به این نتیجه رسید که تبادل رسوب بین دریای زرد و دریای شرق چین بطور واضح می‌تواند با این مدل آشکار شود و حمل و نقل رسوبات معلق در درازمدت (به‌ویژه در فصل زمستان) کنترل گردد [۱۰].

عناصر اصلی و فرعی را به روش ژئوشیمیایی در رسوبات گرمسیری حوضه رودخانه ترنگانوی<sup>۲</sup> مالزی بررسی کردند. در میان عناصر بررسی شده، غلظت مولیبدن و آهن (پنج برابر) افزایش را در طول مسیر رودخانه از بالادست تا پایین دست نشان دادند [۱۴].

تثبیت فرسایش سنگ‌های رسوبی هاتیای<sup>۳</sup> هیمالیا را در حوزه‌های آبخیز بنگال و تپه‌های چیتاگونگ<sup>۴</sup> بنگلادش مورد بررسی قرار دادند [۹].

هدف از این پژوهش، تعیین میزان قابلیت رسوب‌زایی و حساسیت واحدهای سنگی نسبت به فرسایش در حوزه آبخیز به روش کانی‌شناسی رسوبات می‌باشد.

## ۲. روش شناسی

### ۱.۲. منطقه مطالعاتی

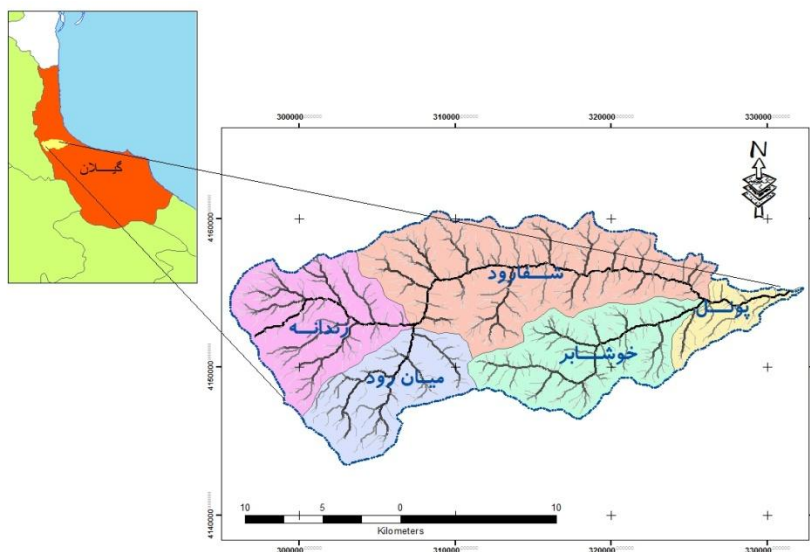
حوزه آبخیز شفارود با مساحتی به مقدار ۳۴۶/۳۰ کیلومتر مربع در استان گیلان در ارتفاعات باختری کوه‌های البرز در بین طول‌های جغرافیایی ۴۸ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۴۹ درجه و ۱۰ دقیقه شرقی و عرض‌های

<sup>۱</sup> Napo

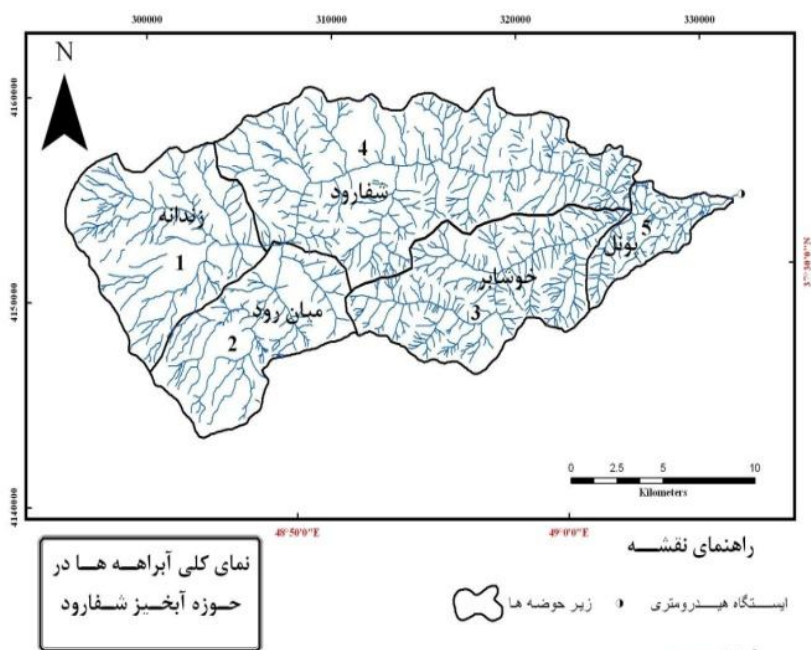
<sup>۲</sup> Terengganu

<sup>۳</sup> Hatia

<sup>۴</sup> Chitagong Hill



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه



شکل ۲. نمای کلی آبراهه ها و مرز زیرحوضه ها در حوزه آبخیز شفارود

## ۲.۲. روش تحقیق

زیرحوضه تقسیم شده است (شکل ۲). در هر زیرحوضه به منظور انجام آزمایش های رسوب شناسی و کانی شناسی، نمونه برداری رسوب از پیش تعریف شده انجام گردیده

حوزه آبخیز مورد نظر بر اساس روند منحنی های میزان توپوگرافی (عامل تقسیم آب های جوی) به پنج

بالادست، میزان رسوب هر واحد سنگی بر حسب تن در سال مشخص گردیده است.

### ۳.۲. ترکیب کانی‌شناسی رسوبات

مطالعه ترکیب کانی‌شناسی ذرات رسوبی اهمیت بسزایی دارد. شمارش و کانی‌شناسی سنگریزه‌ها یکی از روش‌های متداول برای مطالعه منشأ رسوبات می‌باشد. این روش اطلاعات ویژه‌ای راجع به منابع رسوب که تحت تأثیر شرایط و فرایندهای مختلف محیطی قرار گرفته‌اند در اختیار می‌گذارد. از آن جمله می‌توان ترکیب کانی‌شناسی و شیب سنگ‌های منشأ، خصوصیات هیدرولیکی زهکش‌ها شامل اندازه ذرات، گرادیان، دبی، میزان انتقال، مسافت، هوازگی در هنگام حمل، حد تحمل سازندهای مختلف به انواع فرسایش، نوع و توزیع پروسه‌های هوازگی و ... را نام برد. هدف اصلی از مطالعات کانی‌شناسی در یک حوزه آبخیز، تعیین جنس اجزاء تشکیل دهنده رسوبات و نسبت دادن ذرات رسوبی به واحدهای سنگی منطقه و در نتیجه تعیین سهم هر یک از واحدها در رسوب‌زایی می‌باشد. پس از الک کردن نمونه‌های رسوب، آزمایش‌های مربوط به ترکیب کانی‌شناسی این رسوبات در زیر بینوکولر انجام شده است. بدین منظور در این تحقیق، دو رده مش ۸ (۲/۳۶ میلی‌متر) و مش ۳۰ (۰/۶ میلی‌متر) به عنوان الک‌های شاخص انتخاب و ترکیب کانی‌شناسی رسوبات روی آنها مورد بررسی قرار گرفته است. انتخاب این دو الک به دو دلیل می‌باشد: نخست اینکه در اغلب نمونه‌ها بیشترین درصد وزنی را تشکیل می‌دهند و دوم آنکه تنوع کانی‌شناسی بیشتری نسبت به الک‌های درشت‌تر دارند. نمونه‌های رسوب هر دو الک به آزمایشگاه منتقل و با انتخاب ۱۰ دانه از الک ۲/۳۶ میلی‌متر و ۱۰۰ دانه از الک ۰/۶ میلی‌متر از هر نمونه، بررسی کانی‌شناسی با استفاده از بینوکولر و با توجه به واقعیت رسوبی منطقه و حضور واحدهای مختلف سنگ‌شناسی انجام شده است. علاوه بر آن، برای شناسایی بهتر کانیها و خرده سنگ‌ها از ۱۰ نمونه رسوب،

است. موقعیت نمونه‌ها در نقشه زمین‌شناسی هر زیرحوضه نشان داده شده است (شکل‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷). به منظور بررسی فرسایش و رسوب‌زایی، با پیمایش مسیر رودخانه‌های اصلی و فرعی هر زیرحوضه، نمونه برداری رسوب بوسیله بیلچه زمین‌شناسی برای رسوبات درشت دانه تا عمق ۲۰ سانتیمتر و برای رسوبات ریز دانه تا عمق ۵ سانتیمتر انجام شده و پس از آن برای دانه‌بندی و محاسبه پارامترهای آماری، نمونه‌ها به آزمایشگاه منتقل شده است. سپس با مطالعات کانی‌شناسی و استفاده از نقشه‌های زمین‌شناسی منطقه و به کمک نرم افزار ARC GIS، قابلیت رسوب‌زایی و نقشه حساسیت به فرسایش واحدهای سنگی هر زیرحوضه تهیه شده است (شکل‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷).

در این تحقیق، عملیات نمونه برداری از بستر رودخانه در طول پنج زیرحوضه انجام شد که عبارتند از:

زیرحوضه زندانه به مساحت ۷۱/۹۶۱ کیلومترمربع (از نمونه Z1 تا Z13)

زیرحوضه میان رود به مساحت ۵۴/۶۹۲ کیلومترمربع (از نمونه M1 تا M8)

زیرحوضه خوشابر به مساحت ۷۰/۳۱۷ کیلومترمربع (از نمونه Kh1 تا Kh9)

زیرحوضه شفارود به مساحت ۱۳۰/۱۳۳ کیلومترمربع (از نمونه Sh1 تا Sh11)

زیرحوضه پونل به مساحت ۱۹/۱۹۵ کیلومترمربع (از نمونه P1 تا P2)

در انتهای حوزه آبخیز شفارود ایستگاه هیدرومتری پونل واقع بوده و آمار رسوب اندازه‌گیری شده آن از سال ۱۳۲۵ تا ۱۳۸۵ موجود می‌باشد. محاسبه دبی رسوبات در ایستگاه هیدرومتری پونل بر اساس اندازه‌گیری دبی ذرات معلق و با احتساب ۲۰ درصد بار بستر بر حسب تن در سال برآورد گردیده است. با به دست آمدن معادله قابلیت رسوب‌زایی حوزه آبخیز شفارود (براساس نتایج کانی‌شناسی رسوبات) و در دست داشتن میانگین دبی رسوب انتهایی حوزه و تعمیم آن به واحدهای سنگی

کمک نرم افزار ARC GIS تهیه شده است. در پایان بر اساس معادله‌های بدست آمده از هر پنج زیرحوضه، معادله کلی حوزه آبخیز شفاورد نوشته شده است که در آن قابلیت رسوب‌زایی هر سازند به عنوان ضریب اهمیت آن سازند و  $Y$  کل به عنوان مجموعه رسوب خروجی در محل ایستگاه هیدرومتری پونل می‌باشد. با داشتن مقدار رسوب سالانه بر حسب تن در سال و با توجه به مقدار ضریب اهمیت هر واحد سنگی، میزان رسوب هر واحد سنگی در محل خروجی حوزه آبخیز در ایستگاه هیدرومتری پونل برآورد شده است.

### ۳. نتایج

با بررسی کانی شناسی پنج زیرحوضه، قابلیت رسوب‌زایی واحدهای سنگی هر نمونه رسوب و زیرحوضه بدست آمده است. به‌عنوان نمونه مراحل انجام کار و نتایج مطالعات کانی شناسی رسوبات زیرحوضه زندانه در جدول‌های ۱، ۲، ۳، ۴ و شکل ۳ آمده است. بدین ترتیب بر اساس نتایج کانی شناسی، قابلیت رسوب‌زایی پنج زیرحوضه بدست آمده است (معادله‌های ۲، ۳، ۴، ۵ و ۶).

$$Y_Z = 1.06Ku^{sl} + 2.44Ku^{sh} + 1.71Pcm^2 + 0.47J_s + 0.81J_{sh} + 1.25Pc^V + 1.40Ub + 0.08P \quad (2)$$

$$Y_M = 10.07Pgf + 0.96J_s + 6.91J_{sh} + 1.16C + 0.47P + 1.14Ku^{sl} + 2.00S + 1.19Us + 0.51V \quad (3)$$

$$Y_{Kh} = 0.75K_{2VS} + 3.75Ku^{sl} \quad (4)$$

$$Y_{Sh} = 0.87Pe^v + 1.60Ku^{sl} + 2.94Pe^c + 0.70K_{2VS} \quad (5)$$

$$Y_P = 1.00K_{2VS} \quad (6)$$

با توجه به معادله‌های فوق (۲ تا ۶)، از روی ضرایب ثابت واحدهای سنگی (میانگین قابلیت رسوب‌زایی)،

مقطع نازک تهیه شد و با میکروسکوپ پلاریزان مورد مطالعه قرار گرفت. در نهایت با توجه به واحدهای سنگی مؤثر و لیتولوژی آنها این ذرات به واحدهای سنگی مربوطه نسبت داده شده‌اند.

### ۴.۲. قابلیت رسوب‌زایی واحدهای سنگی

برای بدست آوردن قابلیت رسوب‌زایی واحدهای سنگی ابتدا به کمک نقشه‌های زمین شناسی منطقه، نقشه زمین شناسی حوزه آبخیز تهیه و تدقیق شده است. سپس با توجه به نتایج حاصل از مطالعات کانی شناسی نمونه‌های رسوب و در نظر گرفتن مساحت واحدهای سنگی، درصد مشارکت هر واحد سنگی به صورت وزنی و با رابطه (۱) تعیین شده است [۳].

فراوانی رسوب حاصل از واحد

سنگ‌شناسی همگن

$$(1) \quad \text{قابلیت رسوب‌زایی} = \frac{\text{فراوانی کل رسوب}}{\text{مساحت واحد همگن } X \text{ (کیلومتر مربع)}} \times \frac{\text{مساحت کل زیرحوضه آبخیز}}{\text{(کیلومتر مربع)}}$$

در رابطه فوق واحد همگن همان سازندها و واحدهای سنگ‌شناسی است. بنابراین برای هر یک از واحدهای همگن یک عدد بدون بعد به دست می‌آید که بیانگر حساسیت نسبی واحدهای سنگی به فرسایش است. هر چه این عدد بزرگتر باشد، حساسیت و رسوب‌زایی آن واحد سنگی نسبت به فرسایش بیشتر است [۸]. در ادامه بر اساس معادله‌های بدست آمده از نمونه‌های رسوب، برای هر زیرحوضه یک معادله نوشته شد که در آن قابلیت رسوب‌زایی هر سازند به‌عنوان ضریب اهمیت آن سازند و  $Y$  به عنوان مجموعه خروجی هر زیرحوضه در نظر گرفته شده است. سپس نقشه حساسیت به فرسایش واحدهای سنگی در پنج زیرحوضه به منظور نمایش تصویری نقاط حساس به فرسایش با استفاده از نتایج مربوط به قابلیت رسوب‌زایی واحدهای سنگی همگن و با

آذرآواری ( $K_2vs$ ) به‌ترتیب با سهم ۱۴/۲۴ و ۱۱/۴۶ درصد می‌باشند. در زیرحوضه پونل تنها واحد سنگی موجود  $K_2vs$  (آذرآواری) می‌باشد که کمترین میزان فرسایش را داراست.

برای تعیین سهم هر واحد سنگی در تولید رسوب، براساس معادله‌های قابلیت رسوب‌زایی پنج زیرحوضه (معادله‌های ۲ تا ۶)، قابلیت رسوب‌زایی حوزه آبخیز شفارود به دست آمده است (معادله ۷).

$$Y=1.51Ku^{sl} + 0.49Ku^{sh} + 0.34Pcm^2 \quad (7)$$

$$+ 0.29J_s + 1.54J_{sh} + 0.25Pc^v + 0.28Ub$$

$$+ 0.11P + 2.01Pgf + 0.23C + 0.40S + 0.24US$$

$$+ 0.10V + 0.49K_2vs + 0.59Pe^c + 0.17Pe^v$$

در معادله فوق، ضرایب واحدهای سنگی به‌عنوان میانگین قابلیت رسوب‌زایی واحدهای سنگی محسوب می‌شوند. از مجموع این ضرایب ثابت (قابلیت رسوب‌زایی)، درصد رسوب‌زایی و بعد میزان تولید رسوب هر واحد سنگی در حوضه آبخیز شفارود بدست آمده است (جدول ۵).

با توجه به اندازه‌گیری‌های انجام شده، در خروجی حوزه آبخیز شفارود (ایستگاه هیدرومتری پونل)، دبی رسوب ۱۹۴۶۴۳ تن در سال برآورد شده است که میزان رسوب هر یک از واحدهای سنگی در جدول ۵ آمده است. بدین ترتیب بیشترین میزان رسوب را در درجه اول، واحد مارن (pgf) به میزان ۴۳۲۶۹ تن در سال و در درجه دوم واحد شیل ماسه‌ای تا سیلتی ( $J_{sh}$ ) به میزان ۳۳۱۴۸ تن در سال و در درجه سوم واحد آهک ماسه‌ای ( $Ku^{sl}$ ) به میزان ۳۲۵۰۵ تن در سال دارند. کمترین میزان رسوب را واحدهای آهکی (P) و شیل توفدار (V) به‌ترتیب ۲۳۷۵ و ۲۱۶۰ تن در سال دارند.

میزان حساسیت واحدهای سنگی نسبت به فرسایش در هر زیرحوضه مشخص شده است. همچنین از مجموع ضرایب ثابت واحدهای سنگی، درصد رسوب‌زایی و میزان تولید رسوب هر واحدهای سنگی در هر زیرحوضه به دست آمده است (شکل‌های ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ و جدول ۴). بر اساس نتایج به دست آمده، از نظر تولید رسوب در زیرحوضه زندانه، واحد شیل آهکی سیلتی تا ماسه‌ای ( $Ku^{sh}$ ) با سهم اشتراک ۲۶،۴۵ درصدی در رتبه اول و واحدهای سنگ‌های دگرگونی ضعیف ( $Pcm^2$ ) با سهم ۱۸/۵۵ درصدی و سنگ‌های بازیگ و فوق بازیگ سرپانتینی شده (Ub) با سهم ۱۵/۱۸ درصدی و سنگ‌های بازیگ و دیاباز ( $Pc^v$ ) با سهم ۱۳/۵۶ درصدی به ترتیب در رتبه دوم تا چهارم قرار دارند. کمترین میزان تولید رسوب مربوط به واحد آهکی (P) با سهم ۰/۸۷ درصد می‌باشد. در زیرحوضه میان رود، بیشترین سهم تولید رسوب مربوط به واحد مارن (Pgf) با ۴۱/۲۵ درصد است. سپس واحد شیل ماسه‌ای تا سیلتی سازند شال ( $J_{sh}$ ) با سهم ۲۸/۳۱ درصدی در رتبه دوم و واحدهای آهکی (P) و شیل توفدار (V) به‌ترتیب با سهم ۱/۹۳ و ۲/۰۹ درصدی در رتبه‌های آخر قرار می‌گیرند. در زیرحوضه خوشابر، واحد آهک ماسه‌ای ( $Ku^{sl}$ ) با سهم ۸۳/۳۳ درصد بیشترین میزان و واحد آذرآواری ( $K_2vs$ ) با ۱۶/۶۷ درصد کمترین میزان تولید رسوب را دارند. واحد مارن قهوه‌ای (M) که ۰/۵۳ درصد مساحت این زیرحوضه را تشکیل می‌دهد بعلت مؤثر نبودن در کانی‌شناسی رسوبات، نقشی در تولید رسوب ندارد. در زیرحوضه شفارود، بیشترین میزان تولید رسوب در درجه اول متعلق به کنگلومرای چند منشائی پالئوژن ( $Pe^c$ ) با سهم ۴۸/۱۱ درصد و در درجه دوم، متعلق به آهک ماسه‌ای ( $Ku^{sl}$ ) با سهم ۲۶/۱۹ درصد و در درجه سوم و چهارم متعلق به واحدهای آندزیتی - بازالتی ( $Pe^v$ ) و

جدول ۱. نتایج حاصل از مطالعات کانی‌شناسی و سنگ‌شناسی نمونه‌های رسوب در زیرحوضه شماره ۱ (زندانه)

Z <sub>13</sub>	Z <sub>12</sub>	Z <sub>11</sub>	Z <sub>10</sub>	Z <sub>9</sub>	Z <sub>8</sub>	Z <sub>7</sub>	Z <sub>6</sub>	Z <sub>5</sub>	Z <sub>4</sub>	Z <sub>3</sub>	Z <sub>2</sub>	Z <sub>1</sub>	شماره نمونه	
													لیتولوژی	واحد سنگی همگن
-	۲۸	۱۴	-	-	۹	۷	-	-	-	۹	۱۱	۶	کلسیت	ku <sup>sl</sup>
۵	-	-	-	۱	۱	-	۱۵	-	-	۱	-	-	دولومیت	
-	۱۰	۱۴	-	-	-	-	-	۲	-	۳	-	۱۳	آهک	
۱۳	۱۷	-	-	-	۲۱	۲۲	۱۷	۱۷	۲۲	۱۰	۱۸	۱۲	ماسه سنگ	ku <sup>sh</sup>
۳۰	-	-	۱۷	۵	۱۰	۱۰	-	-	۱	۱۲	۲۴	۷	کلسیت	
۱۶	-	-	-	-	-	-	-	۳	-	۸	-	۱۱	شیل	
۲۵	۷	-	-	-	-	-	-	۱۰	۵	۴	-	۶	آهک	J <sub>sh</sub>
-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	۲	-	-	کنگومرا	
-	-	۱۲	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	شیل	
-	-	۲۰	۶	-	-	-	-	-	-	-	-	-	ماسه سنگ	J <sub>s</sub>
-	-	-	-	۱۲	-	-	-	-	-	۷	-	-	شیل	
-	۵	۵	۱۶	۲۲	-	-	-	-	-	۳	-	-	ماسه سنگ	
-	-	-	۱۷	۸	-	-	-	-	-	-	-	-	آهک	P <sub>cm<sup>2</sup></sub>
-	۶	۱۰	-	۳	۲	۴	-	۵	-	-	۴	۷	کوارتز	
-	-	-	۳	-	۹	۱۵	۵	-	-	-	۶	۷	میکا	
۲۱	۳۷	۳۵	۵۱	۵۹	۴۷	۴۲	۴۸	۵۰	۷۱	۵۱	۴۷	۴۱	فیلیت	U <sub>b</sub>
-	-	-	-	-	۱۱	۱۰	۲۵	-	-	-	-	-	سنگ بازیک و فوق بازیک	
-	-	-	-	-	-	-	-	۲۳	۱۱	-	-	-	دیاباز	
۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	۱۱۰	-	مجموع تعداد دانه‌ها در هر نمونه



جدول ۲. مساحت و درصد مساحت واحدهای سنگی موجود در زیرحوضه شماره ۱ (زندانه)

درصد مساحت	مساحت (هکتار)	علامت	واحد سنگی
۱/۴	۱۰۱/۹	S	ماسه سنگی آهکی
۲۱/۰	۱۵۱۲/۰	ku <sup>sl</sup>	آهک ماسه‌ای
۵/۹	۴۲۴/۴	ku <sup>sh</sup>	شیل آهکی سیلتی تا ماسه‌ای
۳/۳	۲۳۶/۷	J <sub>sh</sub>	شیل ماسه‌ای تا سیلتی
۱۰/۴	۷۵۰/۳	J <sub>s</sub>	شیل خاکستری تا سیاه
۰/۷	۵۳/۳	C	کنگلومرا
۲۲/۷	۱۶۳۳/۳	P	آهک
۱/۰	۷۲/۱	Pz <sub>2v</sub>	سنگ‌های آتشفشانی (آندزیت، بازالت)
۲/۳	۱۶۵/۷	Ub	سنگ‌های بازی و فوق بازی سرپانتینیزه شده
۲۸/۱	۲۰۱۹/۵	Pcm <sup>2</sup>	دگرگونی ضعیف (عمدتاً فیلیت)
۱/۹	۱۳۷/۲	Pc <sup>v</sup>	سنگ‌های بازی و دیاباز
۱/۰	۷۵/۲	Us	سرپانتینیت
۰/۰	۲/۲	V	شیل توفدار
۰/۲	۱۲/۴	Pe <sup>v</sup>	آندزیت، بازالت
۱۰۰	۷۱۹۶/۱		جمع

جدول ۳. نتایج قابلیت رسوب‌زایی زیرحوضه شماره ۱ (زندانه)

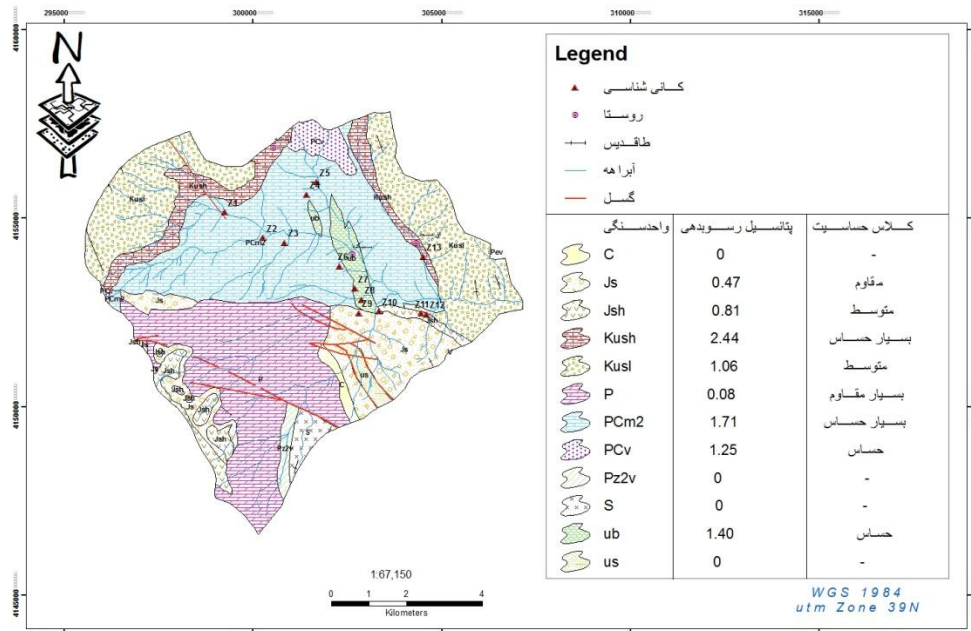
نتایج کانی‌شناسی رسوب	شماره نمونه
$Y=1.34ku^{sl}+3.70ku^{sh}+1.78Pcm^2$	Z1
$Y=1.26ku^{sl}+3.70ku^{sh}+1.85Pcm^2$	Z2
$Y=1.00ku^{sl}+4.01ku^{sh}+0.87J_s+1.65Pcm^2$	Z3
$Y=0.95ku^{sl}+0.92ku^{sh}+2.30Pcm^2+5.25Pc^v$	Z4
$Y=0.82ku^{sl}+2.00ku^{sh}+1.79Pcm^2+10.97Pc^v$	Z5
$Y=1.38ku^{sl}+1.72Pcm^2+9.87Ub$	Z6
$Y=1.26ku^{sl}+1.54ku^{sh}+1.98Pcm^2+3.95Ub$	Z7
$Y=1.34ku^{sl}+1.54ku^{sh}+1.88Pcm^2+4.34Ub$	Z8
$Y=0.04ku^{sl}+0.77ku^{sh}+2.96J_s+0.33P+2.01Pcm^2$	Z9
$Y=2.62ku^{sl}+1.66J_{sh}+1.40J_s+0.69P+1.75Pcm^2$	Z10
$Y=1.21ku^{sl}+8.85J_{sh}+0.44J_s+1.46Pcm^2$	Z11
$Y=2.38ku^{sl}+0.44J_s+1.39Pcm^2$	Z12
$Y=0.78ku^{sl}+10.94ku^{sh}+0.68Pcm^2$	Z13

جدول ۴. میانگین قابلیت رسوب‌زایی در زیرحوضه شماره ۱ (زندانه)

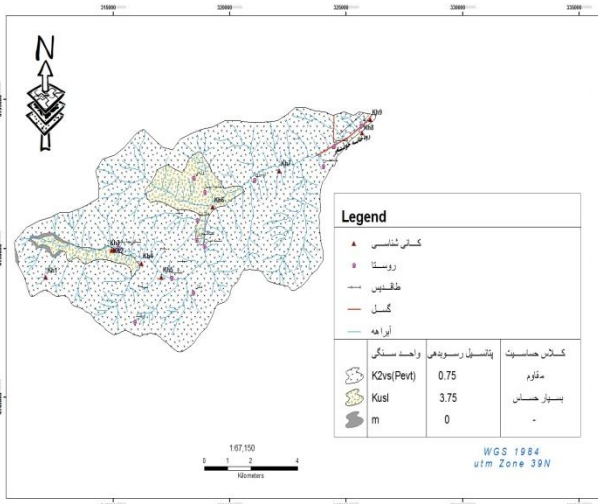
واحد سنگی	میانگین قابلیت رسوب‌زایی	درصد رسوب‌زایی
Ku <sup>sl</sup>	۱/۱	۱۱/۵
Ku <sup>sh</sup>	۲/۴	۲۶/۵
J <sub>sh</sub>	۰/۸	۸/۸
J <sub>s</sub>	۰/۵	۵/۱
P	۰/۱	۰/۹
Pcm <sup>2</sup>	۱/۷	۱۸/۶
Ub	۱/۴	۱۵/۲
Pc <sup>v</sup>	۱/۳	۱۳/۶

جدول ۵. میانگین قابلیت رسوب‌زایی و مقدار تولید رسوب برای هر واحد سنگی در حوزه آبخیز شفارود

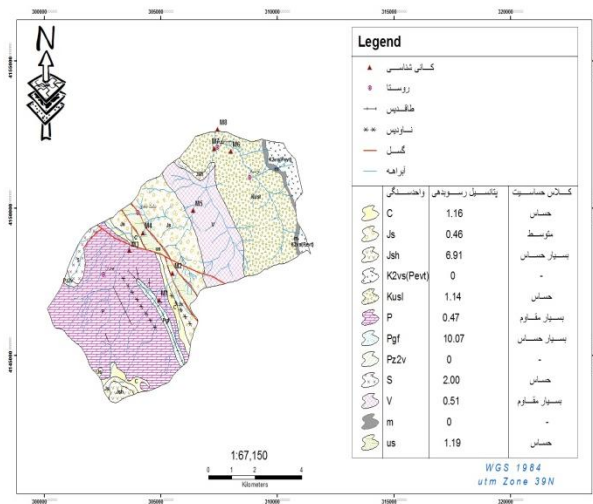
میزان رسوب تولیدی هر واحد سنگی (تن در سال)	درصد رسوب‌زایی	میانگین قابلیت رسوب‌زایی	واحد سنگی	
			نام	علامت اختصاری
۳۲۵۰۵/۴	۱۶/۷	۱/۵	آهک ماسه‌ای	Ku <sup>sl</sup>
۱۰۵۴۹/۷	۵/۴	۰/۵	شیل آهکی سیلتی تا ماسه‌ای	Ku <sup>sh</sup>
۷۳۱۸/۶	۳/۸	۰/۳	سنگ‌های دگرگونی ضعیف، (عمدتاً فیلیت)	Pcm <sup>2</sup>
۶۲۴۸/۰	۳/۲	۰/۳	شیل خاکستری تا سیاه	J <sub>s</sub>
۳۳۱۴۷/۷	۱۷/۰	۱/۵	شیل ماسه‌ای تا سیلتی	J <sub>sh</sub>
۵۳۹۱/۶	۲/۸	۰/۳	سنگ‌های بازی و دیاباز	Pc <sup>v</sup>
۶۰۳۳/۹	۳/۱	۰/۳	سنگ‌های بازی و فوق بازیک سرپانتینی شده	Ub
۲۳۷۴/۶	۱/۲	۰/۱	آهک	P
۴۳۲۶۹/۱	۲۲/۲	۲/۰	مارن	Pgf
۴۹۴۳/۹	۲/۵	۰/۲	کنگومرا	C
۸۶۰۳/۲	۴/۴	۰/۴	ماسه سنگ آهکی	S
۵۱۷۷/۵	۲/۷	۰/۲	سرپانتینیت	Us
۲۱۶۰/۵	۱/۱	۰/۱	شیل توفدار	V
۱۰۵۴۹/۷	۵/۴	۰/۵	سنگ‌های آذرآواری	K <sub>2</sub> vs
۱۲۷۱۰/۲	۶/۵	۰/۶	کنگومرای چندمنشائی	Pe <sup>c</sup>
۳۶۵۹/۳	۱/۹	۰/۲	آندزیت، بازالت	Pe <sup>v</sup>



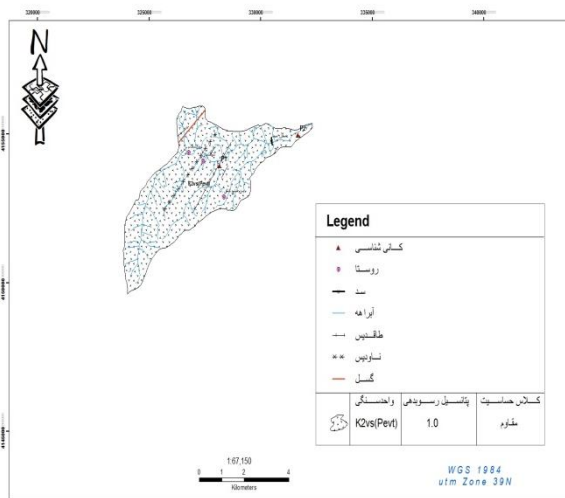
شکل ۳. نقشه زمین‌شناسی و حساسیت به فرسایش و نقاط نمونه‌برداری در زیرحوضه شماره ۱ (زندانه)



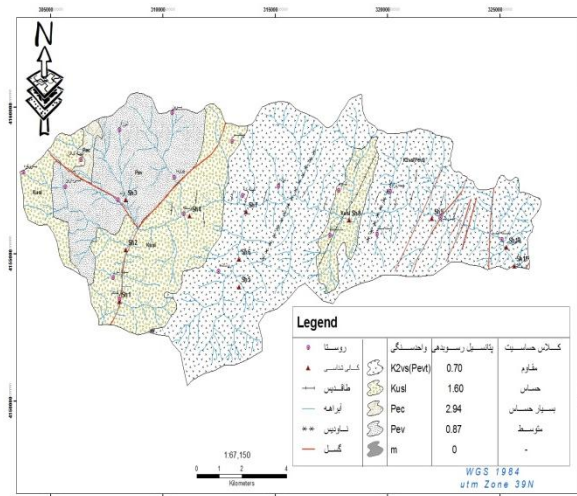
شکل ۵. نقشه زمین‌شناسی و حساسیت به فرسایش و نقاط نمونه‌برداری در زیرحوضه خوشابر



شکل ۴. نقشه زمین‌شناسی و حساسیت به فرسایش و نقاط نمونه‌برداری در زیرحوضه میانرود



شکل ۷. نقشه زمین‌شناسی و حساسیت به فرسایش و نقاط نمونه‌برداری در زیرحوضه پونل



شکل ۶. نقشه زمین‌شناسی و حساسیت به فرسایش و نقاط نمونه‌برداری در زیرحوضه شفارود

#### ۴. بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج کانی‌شناسی بدست آمده در پنج زیرحوضه و اینکه هرچه ضریب واحدهای سنگی در هر زیرحوضه بیشتر باشد حساسیت به فرسایش و میزان رسوب‌زایی آن واحد سنگی بیشتر است نشان می‌دهد که در زیرحوضه زندانه واحد شیل آهکی سیلتی تا ماسه‌ای ( $Ku^{sh}$ ) و واحد آهکی (P) به ترتیب با ضریب ۲/۴۴ و ۰/۰۸، بیشترین و کمترین حساسیت را به فرسایش و تولید رسوب دارند. در زیرحوضه میان رود واحدهای مارن (Pgf) و شیل ماسه‌ای تا سیلتی ( $Ku^{sl}$ ) به ترتیب با ضریب ۱۰/۰۷ و ۶/۹۱ بیشترین و واحد آهکی (P) با ضریب ۰/۴۷ کمترین حساسیت را به فرسایش و تولید رسوب دارند. در زیرحوضه خوشابار از دو واحد مؤثر در رسوب‌زایی واحد آهک ماسه‌ای ( $Ku^{sl}$ ) با ضریب ۳/۷۵ بیشترین و واحد آذر آواری با ضریب ۰/۷۵ کمترین حساسیت را به فرسایش و تولید رسوب دارند. در زیرحوضه شفارود از چهار واحد مؤثر در رسوب‌زایی

واحدهای کنگلومرای چند منشایی ( $Pe^c$ ) و آهک ماسه‌ای ( $Ku^{sl}$ ) به ترتیب با ضریب ۲/۹۴ و ۱/۶۰ بیشترین و واحد آذر آواری ( $K2vs$ ) با ضریب ۰/۷۰ کمترین حساسیت را به فرسایش و تولید رسوب دارند. در زیرحوضه پونل تنها واحد مؤثر در رسوب‌زایی، واحد آذر آواری ( $K2vs$ ) می‌باشد که از حساسیت کمی نسبت به فرسایش و تولید رسوب برخوردار است. با مقایسه قابلیت رسوب‌زایی واحدهای سنگی موجود در زیرحوضه‌های مختلف حوضه آبخیز شفارود این نتایج بدست آمده است:

۱- واحد آهک ماسه‌ای ( $Ku^{sl}$ ) در زیرحوضه خوشابار با ضریب ۳/۷۵ در رده بسیار حساس و در زیرحوضه شفارود با ضریب ۱/۶۰ در رده حساس و در زیرحوضه‌های میان رود و زندانه به ترتیب با ضریب ۱/۱۶ و ۱/۰۶ در رده متوسط نسبت به فرسایش قرار می‌گیرند. علت قرار گرفتن این واحد در رده بسیار حساس در زیرحوضه خوشابار به دلیل کم بودن تعداد واحدهای سنگی (دو واحد) و مقاوم بودن واحد آذر آواری آن نسبت به

واحد کنگلومرای چند منشایی ( $Pe^c$ )، بیشترین قابلیت رسوب‌زایی (۲/۹۴) مربوط به این واحد می‌باشد اما به علت عدم گسترش آن در سایر زیرحوضه‌ها سهم کمی در تولید رسوب حوزه آبخیز دارد. در مقابل واحد آذرآواری با وجود مساحت خیلی زیاد و حضور آن در سه زیرحوضه، بعلت مقاوم بودن نسبت به فرسایش سهم رسوب تولیدی آن تفاوت چندانی با واحد کنگلومرای چند منشایی مذکور ندارد.

۵- بعلت عدم حضور تمام واحدهای سنگی و نیز متفاوت بودن بعضی از پارامترهای تولید رسوب از قبیل پوشش گیاهی، توپوگرافی، زمین‌شناسی، شرایط هیدرولیکی و ... در هر پنج زیرحوضه، رده‌بندی حساسیت واحدهای سنگی نسبت به فرسایش بر اساس ضرایب قابلیت رسوب‌زایی هر زیرحوضه بطور مستقل انجام شده است. اما برای بدست آوردن سهم هر واحد سنگی در تولید رسوب در انتهای حوزه آبخیز شفارود به‌ناچار از نتایج قابلیت رسوب‌زایی کل حوزه آبخیز شفارود استفاده شده است. در این مورد افزایش ایستگاه‌های رسوب‌سنجی و هیدرومتری برای بررسی دقیق‌تر میزان فرسایش و رسوب تولید شده از هر زیرحوضه پیشنهاد می‌گردد.

فرسایش است. در زیرحوضه شفارود به لحاظ وجود تعداد بیشتری از واحدهای سنگی (چهار واحد) واحد آهک ماسه‌ای در رده حساس و در زیرحوضه میان رود و زندانه به علت وجود تعداد خیلی بیشتری از واحدهای سنگی با قابلیت رسوب‌زایی بالا در رده متوسط قرار می‌گیرد.

۲- واحد مارنی (Pgf) سازند فجن با وجود مساحت بسیار کم آن به لحاظ قابلیت رسوب‌زایی بسیار بالا (۱۰/۰۷)، نسبت به فرسایش در رده بسیار حساس قرار می‌گیرد و حتی بیشترین میزان تولید رسوب را در بین واحدهای سنگی حوزه آبخیز به خود اختصاص می‌دهد.

۳- قابلیت رسوب‌زایی و حساسیت واحد شیل ماسه‌ای ( $J_{sh}$ ) سازند شال موجود در زیرحوضه‌های میان رود و زندانه با وجود شرایط تقریباً یکسان آنها بسیار متفاوت می‌باشد، به‌طوری‌که در زیرحوضه میان رود بعلت گسترش زیاد واحدهای سنگی بسیار مقاوم (آهک، شیل توف دار و شیل خاکستری تا سیاه) این واحد از قابلیت رسوب‌زایی (۶/۹۱) و حساسیت بسیار بالایی برخوردار است، در صورتی که در زیرحوضه زندانه به دلیل وجود واحدهای سنگی با قابلیت رسوب‌زایی بالا (شیل آهکی سیلتی تا ماسه‌ای و سنگ‌های دگرگونی ضعیف)، در رده متوسط قرار می‌گیرد.

۴- در زیرحوضه شفارود با وجود مساحت بسیار کم

## References

- [1] Alizadeh, A. (2005). *Principles of applied hydrology*, 2<sup>nd</sup> edition, University of Imam Reza Press, 815p (in Persian).
- [2] Fayazi, F., Feiznia, S. and Sabetghadam, S. (2004). Sedimentology of Karaj River watershed (Kasil-Nesa Catchment) with special emphasis on erodibility of formations, *Proceeding of the 8th Geological Society of Iran*. 8, 27-32.
- [3] Feiznia, S. (2008). *Applied sedimentology with focus on soil erosion and sediment production*. Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan University Publication, 358p (in Persian).
- [4] Feiznia, S. and Zaare Khosheghbal, M. (2003). Susceptibility to erosion and sediment production of geologic units in the Latyan Watershed, *Journal of Natural Resources*. 65(4), 365-381.
- [5] Feizina, S., Ghomi, S., Yoneszadeh Jalili, S. and Krimizadeh, K. (2009). Susceptibility to erosion of formations in Danbalid subcatchment in Taleghan Watershed, *Sixth Symposium an Engineering Geology and Environment of Iran*. 45-52.
- [6] Gilak, S. (2010). *Sedimentology of Simineh-rood Watershed down to koshk Abad Hydrometric Station , Hamedan with special focus on the role of geological formations in sediment yield*. M.Sc. Thesis. Faculty of Science, Islamic Azad University- Shahrood Branch. 210pp (in Persian).
- [7] Mahab Ghodss, Consulting Engineers. (2000). *The second phase of engineering geology report of Shafarood Dam*. Archive, Mahab Ghodss Consulting Engineers, 96p.
- [8] Martinez-Casanovas, J.A. (1994). Assessment of side wall erosion in large gullies using multitemporal DEMS and logistic regression analysis. *Geomorphology*. 58, 305-321.
- [9] Najman, Y., Allen, R., Willett, E., Carter, A., Barfod, D., Garzanti, E., Wijbrans, J., Bickle, M., Vezzoli, G., Ando, S., Oliver, G. and Uddin, M. (2012). The record of Himalayan erosion preserved in the sedimentary rocks of the Hatia Trough of the Bengal Basin and the Chittagong Hill Tracks, Bangladesh Basin Research, European Association of Geoscientists & Engineers and International Association of sedimentologists, *Blackwell Publishing Ltd*.
- [10] Pang, Ch., Yu. W., Yang. Y. and Han, D. (2011). An improved method for evaluating the seasonal variability of total suspended sediment flux field in the Yellow and East China Seas. *Journal of Sediment Research*. 26, 1-4.
- [11] Pourhassan, M. (1997). *Investigation of erosion and sediment in Arefi Watershed, Mashad and its relationship to parent rock*. M.Sc. Thesis. Faculty of Science, Islamic Azad University North Tehran Branch. 123pp. (in Persian).
- [12] Rangawar, A. (1993). *Investigation of erosion and sediment Cham in Zayandehrood watershed*. M.Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 114pp.
- [13] Saadat, H. (1992). *Investigation of erosion and sediment in Kardeh Watershed and its relationship to parent rock*, M.Sc. Thesis. Faculty of Natural Resources, University of Tehran. 195pp. (in Persian).
- [14] Sultan, Kh. and Shazili, N. (2011). Geochemical base lines of major and trace elements in the tropical sediments of the Terengganu River Basin, Malaysia, *Journal of Sediment Research*. 25, 340-354.
- [15] Wittmann, H., Von Blanckenburg, F., Guyot, J. L., Laraque, A., Bernal, C. and Kubik, P.W. (2011). Sediment production and transport from in situ-produced cosmogenic lobe and river loads in the Napo River Basin, an upper Amazon tributary of Ecuador and Peru. *Journal of Sourth American Earth Sciences*. 31, 45-53.