

## ارائه روشی جامع برای تعیین فرسایش پذیری واحدهای سنگ شناسی با نگرشی بر زمین شناسی ایران

حمیدرضا پیروان<sup>۱\*</sup>، محسن شریعت جعفری<sup>۲</sup>  
<sup>۱</sup>استادیار، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۲۰

تاریخ دریافت: ۱۳۹۱/۰۷/۲۷

### چکیده

یکی از مشکلات پیش روی کاربران مدل های تجربی برآورد فرسایش و رسوب در ایران، استفاده از مدل هایی است که برای خارج از کشور تهیه شده و بالطبع در این مدل ها به خصوص در مورد عامل زمین شناسی بسته به تنوع سنگی کشور مبدع، امتیازاتی به لیتولوژی ها نسبت داده اند که به دلایلی چند در مورد کشور پهناور ایران با آن همه تنوع لیتولوژیکی همخوانی ندارد. در راستای کاهش مشکلات کاربران مدل های تجربی یادشده و افزایش بهره وری، بومی سازی روش های موجود و ارائه روش منطبق با شرایط طبیعی ایران، این پژوهش انجام شده است. در مدل های تجربی برآورد فرسایش و رسوب رایج در کشور مانند PSIAC و EPM، عامل لیتولوژی از میان عوامل امتیازآور، از اهمیت بسیار ویژه ای برخوردار است. در پژوهش حاضر، یک طبقه بندی جامع برای لیتولوژی های مختلف بر مبنای ویژگی های کانی شناسی، شیمیایی، بافت و ساخت و خصوصیات مقاومتی در ۱۰ رده حساسیت به فرسایش ارائه شده است. نتایج نشان داد که در کشور، بیش از ۷۰ درصد سازندهای زمین شناسی دارای مقاومت کم تا خیلی کم نسبت به عوامل فرسایش بوده و لذا پتانسیل رسوبدهی بالایی را نیز خواهند داشت. لذا، با در نظر گرفتن آب و هوای خشک حاکم بر گستره عظیمی از ایران و نرخ خاک زایی کم، بررسی میزان فرسایش پذیری سازندهای زمین شناسی برای ارزیابی نرخ فرسایش پذیری حوزه های آبخیز ایران از اهمیت ویژه ای برخوردار است. رتبه بندی حساسیت به فرسایش سازندهای زمین شناسی به فرسایش در سطح حوزه های ۳۰ گانه رتبه چهار تماب به کمک این روش انجام شد و سپس با نتایج میزان تولید رسوب مشاهداتی و برآوردی آن حوضه ها مقایسه شد. نتایج حاصله با شرایط طبیعی تطابق خوبی نشان داده است با در نظر گرفتن سایر پارامترهای مهم حوضه مانند توپوگرافی و شرایط بارندگی، می توان با سطح اطمینان بالا و قابل قبول به آن اعتماد کرد و از آن برای رتبه بندی حساسیت به فرسایش سازندها و واحدهای سنگی استفاده نمود.

واژه های کلیدی: حوزه های آبخیز، طبقه بندی، لیتولوژی، مدل EPM، مدل PSIAC

### مقدمه

نشان داده است که بیشترین رسوبات به دوره ترشیری منتسب است. در این دوره، بیشترین گسترش طبقات مارنی مشاهده می شود (Ghadimi Aroos Mahalleh).

رسوب زایی واحدهای سنگ شناسی زون ها و دوران های زمین شناسی در حوزه آبخیز دریاچه نمک

\* مسئول مکاتبه: hrpeyrowan@yahoo.com

بادی هستند. این رسوبات معمولاً به رنگ زرد مایل به خاکستری بوده و ۷۰ تا ۹۰ درصد مواد تشکیل‌دهنده آن‌ها را سیلت در بر می‌گیرد. از نظر پراکنش لس‌ها در سطح کشور می‌توان به استان‌های گلستان، خراسان رضوی، خراسان شمالی و اطراف سفیدرود و به‌طور محدود در مناطق بیابانی کاشان، اردکان یزد و جنوب مکران در سیستان و بلوچستان اشاره کرد.

یکی از عوامل تعیین‌کننده در فرآیندهای هوازگی و فرسایش سنگ‌ها، ویژگی‌های ذاتی کانی‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها می‌باشد. عوامل محیطی و ثانویه مانند اقلیم پیش از آنکه نقش کلیدی در تولید رسوب داشته باشند، در تعیین نوع ویژگی‌های رسوبات ناشی از هوازگی و فرسایش مؤثرند. به‌عنوان نمونه، خاک‌های قلیایی، محصول تجزیه شیمیایی سنگ‌هایی نظیر کربنات‌های کلسیم و منیزیم در اقلیم خشک و نیمه‌خشک‌اند، حاصل همین فرآیند در اقلیم مرطوب با فراوانی آهن و آلومینیوم مشخص می‌شود و با شسته شدن کانی‌های ثانویه دارای عناصر کلسیم و منیزیم، خاک‌های اسیدی حاصل می‌شوند. همین ماده در اقلیم گرم، خاک سرخ لاتریتی را ایجاد می‌کند (Sedaghat و Memarian, ۲۰۰۲). بنابراین علاوه بر نوع محصولات هوازگی که تابع عوامل محیطی مانند اقلیم است، شکل فرآیند هوازگی (فیزیکی و شیمیایی) نیز می‌تواند تابع عامل محیطی باشد.

تغییر عوامل محیطی مانند اقلیم، لرزه‌خیزی و پوشش گیاهی در مقیاس حوزه‌های آبخیز کوچک عموماً کم و ثابت است و این در صورتی است که خصوصیات سنگ‌شناسی ذاتی مواد، می‌تواند حتی در حوضه‌های کوچک نیز متغیر باشد (Feiznia, ۱۹۹۵) و لذا این ویژگی، کارایی طبقه‌بندی مبتنی بر ویژگی‌های ذاتی را افزایش می‌دهد.

هوازگی فیزیکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند ایران مرکزی و هوازگی شیمیایی در مناطق مرطوب مانند البرز شمالی غالب است و در حجم محصولات هوازگی و فرسایش در دو اقلیم خشک و مرطوب در شرایط ذاتی مشابه، تفاوت محسوس نخواهد بود؛ آنچه که متفاوت است، فرآیند، شکل و نوع محصولات هوازگی و فرسایش است.

تغییرات شدید دما، بارش‌های تند فصلی و بادهای شدید موسمی، عمده عواملی هستند که در مناطق

(۱۹۹۹). سازندهای مارنی قصر شیرین و سومار از نظر زمین‌شناسی و فرسایش مطالعه شده و ارتباط بین شکل فرسایش با خصوصیات کانی‌شناسی مارن‌ها ارائه شده است. نتیجه این بوده است که نوع سازند (به‌خصوص درصد رس و املاح آن) بیشترین تأثیر را در ظهور انواع اشکال فرسایش داشته است (Heshmati, ۱۹۹۶). در پژوهش دیگر، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی سنگ‌های مارنی-رسی مورد بررسی قرار گرفته است. در این پژوهش مشخص شد که با افزایش میزان درصد کربنات در سنگ‌های مارنی-رسی، ویژگی‌های فیزیکی و مکانیکی آن‌ها بهبود می‌یابد (Khamechian, ۱۹۹۰). بررسی خصوصیات فیزیکوشیمیایی مارن‌ها و اشکال فرسایش ایجادشده، نشان داده که فرسایش ورقه‌ای در مارن‌های غیر پخش‌شونده و فرسایش شیاری و خندقی در انواع پخش‌شونده شایع است (Ghadimi, Aroos Mahalleh, ۱۹۹۹).

با مقایسه و بررسی آماری میزان رسوبدهی واحدهای مارنی حوزه آبخیز ایوانکی به‌عنوان متغیر وابسته و خصوصیات فیزیکوشیمیایی مارن‌ها به‌عنوان متغیرهای مستقل، مشخص شده خصوصیات مانند SAR, EC و K به ترتیب ۸۹، ۳/۵ و ۱/۵ درصد تغییرات رسوب تولید شده را در واحدهای مختلف مارنی توجیه می‌نمایند. در ضمن، مقادیر متوسط تولید رسوب واحدهای مختلف مارنی از طریق کاربرد باران‌ساز نشان داد واحدهای مارنی تبخیری نوژن ( $M_1$  و  $M_2$  و  $M_3$ ) نسبت به مارن‌های دریایی سازند قم و مارن‌های محیط کرانه‌ای سازند کند، ۲۷ تا بیش از ۱۰۰ برابر توان تولید رسوب دارند (Hasanzadeh, Nofoti, ۲۰۰۶).

بیابان‌زایی تحت تأثیر عوامل مختلف طبیعی و انسانی روی می‌دهد. هیچ یک از آن‌ها را نمی‌توان به‌عنوان شناسه اصلی به‌شمار آورد، ولی باید اذعان کرد که اراضی حساس مارنی کشور یکی از عمده‌ترین عوامل توسعه بیابان در کشور است.

یکی دیگر از سازندهای حساس به فرسایش ایران، نهشته‌های لسی کواترنری است. ویژگی‌های رسوب‌شناسی و اشکال فرسایش مختلف این نهشته‌ها به‌طور پراکنده مورد مطالعه قرار گرفته است. به‌طور کلی، رسوبات لسی یکی از گسترده‌ترین شکل رسوبات

است که علی‌رغم اختلاف نرخ فرسایش تا حدود ۲/۵ برابر در این عرصه‌ها، بین میزان فرسایش با شرایط اقلیمی، ارتباط آماری معنی‌دار و منطقی وجود ندارد (Riebe و همکاران، ۲۰۰۱). سایر محققان (از جمله Webb و Walling، ۱۹۸۳؛ Syvitski و Milliman، ۱۹۹۲؛ Hovius، ۱۹۹۸؛ Summerfield و Hulton، ۱۹۹۴) نیز به این موضوع اذعان داشته‌اند که اقلیم به تنهایی نقش تعیین‌کننده‌ای بر میزان نرخ فرسایش ندارد.

بهبود امتیازدهی در طبقه‌بندی و رتبه‌بندی حساسیت واحدهای سنگی به فرسایش به‌منظور استفاده در مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب و ارائه راهکارهای حفاظتی، یکی از اهداف مورد نظر است. در اکثر مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب یکی از فاکتورهای مورد نظر امتیازبندی لیتولوژی است. مدل‌های ارائه شده از جمله PSIAC نیاز کشور ایران را با توجه به تنوع فراوان لیتولوژی برآورد نمی‌کند. ارزش‌های ارائه شده در مورد لیتولوژی‌ها، دامنه وسیعی از سنگ‌های مختلف را در بر می‌گیرد، ضمن این که بسیاری از لیتولوژی‌ها را نیز شامل نمی‌شود. همچنین، لیتولوژی و توصیف‌های سنگی ارائه شده ابهام‌آمیز می‌باشد.

در خصوص امتیازدهی حساسیت سازندها به فرسایش در مدل‌های برآورد فرسایش و رسوب با توجه به تنوع لیتولوژی‌های ایران تاکنون کار جامعی انجام نشده است. در این خصوص، می‌توان به دو پژوهش انجام شده اشاره کرد. در یک پژوهش، سازندهای زمین‌شناسی ایران براساس سختی سنگ‌ها و مقاومت به فرسایش در دو اقلیم خشک و نیمه‌خشک رتبه‌بندی شده‌اند (Feiznia، ۱۹۹۵). در پژوهش دیگر با توجه به عوامل ذاتی مؤثر بر فرسایش‌پذیری، یک متدولوژی مشخص برای دسته‌بندی و رتبه‌بندی ذاتی سازندها به فرسایش ارائه شده است که در این پژوهش تکمیل و بازنگری شد (Shariatjafari و همکاران، ۲۰۰۶). بنابراین، ویژگی‌های ذاتی مواد می‌تواند مبنای مناسبی برای ارائه یک طبقه‌بندی جامع با هدف تبیین فرسایش‌پذیری مواد باشد. از این لحاظ، طبقه‌بندی ارائه شده برای تعیین فرسایش‌پذیری واحدهای سنگ و خاک بر مبنای ویژگی‌های ذاتی سنگ بکر بنا شده

خشک و نیمه‌خشک نقش فعال در هوازدهی و فرسایش دارند. در مناطق خشک و نیمه‌خشک مانند مناطق کویری اختلاف دمای محیط گاهی به بیش از ۷۰ درجه می‌رسد که باعث انبساط و انقباض شدید کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌ها و تخریب آن‌ها می‌شود. در دمای بحرانی ۲۲- درجه سانتی‌گراد، اضافه حجم ناشی از یخ زدن یک لیتر آب در فضای خالی یک توده سنگ می‌تواند فشاری معادل ۲۰۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ایجاد کند (Sedaghat و Memarian، ۲۰۰۲). این فشار به راحتی باعث خرد شدن توده‌های بزرگ سنگ می‌شود. نیروهای برشی ناشی از برخورد ذرات ماسه به سطوح سنگ‌ها در بادهای شدید عامل بروز بسیاری از اشکال فرسایش است. متقابلاً پدیده‌های غالب در پیدایش و تکوین خاک‌ها و نهشته‌های سست در مناطق مرطوب، مجاورت با آب و رطوبت است. آب‌گیری باعث تغییر سیستم تبلور کانی‌های تشکیل‌دهنده سنگ‌ها، کاهش سختی، افزایش درجه انحلال و افزایش حجم سنگ می‌شود. هوازدهی فیزیکی عامل شروع تخریب و هوازدهی شیمیایی، عامل تسریع خرد شدن مواد است. هوازدهی و فرسایش، فرآیندهای در امتداد هم‌اند که باعث تولید خاک‌های نرم و منفصل از سنگ‌های سخت می‌شوند. مکانیزم و عملکرد آن‌ها نیز تابع ویژگی‌های ذاتی سنگ‌ها شامل ترکیب کانی‌شناسی و بافت است.

با توجه به برآورد رسوب‌دهی ویژه حوضه‌های هیدرولوژیکی، بر مبنای آمار واقعی رسوب در خروجی حوضه‌ها (Arabkhedri و همکاران، ۲۰۰۹) می‌توان چنین نتیجه گرفت که تأثیر اقلیم مرطوب در افزایش رسوب‌دهی ویژه حوضه‌ها به‌دلیل عملکرد هم‌زمان دیگر عوامل حفاظت‌کننده، محسوس نیست و حتی حوضه‌های مرطوب شمالی در مواردی نسبت به حوضه‌های واقع در اقلیم خشک و نیمه‌خشک از رسوب‌دهی ویژه کمتری برخوردارند. بنابراین هر چند به‌طور کلی عقیده بر این است که اقلیم بر مقدار نرخ فرسایش مؤثر است، اما ارتباط بین میزان بارش، دما و نرخ فرسایش، هنوز موضوعی بحث برانگیز و ابهام‌آور است.

بررسی نرخ فرسایش بلندمدت عرصه‌های مختلف در کالیفرنیا با استفاده از رادیونوکلوئیدها نشان داده

مدل می‌توان وارد کرد. برای مثال قراردادن سنگ شیبست در کنار رسوبات کاملاً سست ماسه و سنگریزه اشکال اساسی است.

جدول ۱- امتیازبندی عمومی و غیردقیق به عامل زمین شناسی در مدل PSIAC و MPSIAC (Refahi, ۲۰۰۹)

| کم (۰)                          | متوسط (۵)  | زیاد (۱۰)  |
|---------------------------------|--|--|
| تشکیلات سخت و فشرده             | سنگ‌های با سختی متوسط و سنگ‌های دگرگونی  | مارن و شیل گچ و مارن‌های انیدریت‌دار (خرد و تکه شده) |
| دولومیت‌ها لایه‌های بزرگ آبرفتی | سنگ‌های خرد شده یا هوا دیده متوسط گسستگی متوسط، گرانیته‌ها (آذرین)، کنگلومرا، سنگ آهک با لایه‌های ضخیم | لایه سنگ‌های سخت و شیل ماسه‌سنگ‌ها با سیمان سست      |

جدول ۲- امتیازبندی عمومی و غیردقیق به عامل زمین شناسی در مدل EPM تحت عنوان مقادیر ضریب حساسیت به فرسایش (Refahi, ۲۰۰۹)

| مقادیر میانگین | شرایط سنگ‌شناسی و خاک‌شناسی                                       | ردیف |
|----------------|---|------|
| ۲              | ماسه، سنگریزه، شیبست  | ۱    |
| ۱/۶            | لس، توف، خاک شور، خاک استپی                                       | ۲    |
| ۱/۲            | سنگ آهک هوازده، مارن  | ۳    |
| ۱/۱            | ماسه سنگ قرمز، سرپانتین، رسوبات فلیشی                             | ۴    |
| ۱              | پدزول، پاراپدزول، شیبست خرد شده، میکاشیست، گنیس، شیبست آژیلیت‌دار | ۵    |
| ۰/۹            | سنگ آهک سخت، تراروسا، خاک‌های هوموسی و سیلیکات‌دار                | ۶    |
| ۰/۸            | خاک‌های قهوه‌ای جنگلی خاک‌های ک.هستانی                            | ۷    |
| ۰/۶            | خاک‌های باتلاقی و هیدرومرف سیاه یا خاکستری تیره                   | ۸    |
| ۰/۵            | چرنوزم و رسوبات آبرفتی با بافت خوب                                | ۹    |
| ۰/۲۵           | سنگ‌های آذرین سخت   | ۱۰   |

نهشته‌های مارنی که در تحقیقات میدانی و آزمایشگاهی، رتبه اول حساسیت به فرسایش را در میان واحدهای سنگی به خود اختصاص داده‌اند، نسبت به سنگ توف در رتبه با حساسیت کمتر به فرسایش نسبت قرار گرفته است، حال آن‌که سنگ توف از مارن در مقابل فرسایش مقاوم‌تر است. سنگ دگرگونی گنیس با بافت متراکم و درجه دگرگونی

است. در تبیین این روش از مجموعه داده‌های تجربی ارائه شده در طبقه‌بندی‌های مهندسی سنگ مانند Miller و Deere، ۱۹۶۶؛ Franklin و Broch، ۱۹۷۲؛ GSEGWP، ۱۹۷۷ و Selby، ۱۹۸۰ نیز استفاده شد. داده‌های ارائه شده در این طبقه‌بندی‌ها چون بر مبنای اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی محققان معتبر جهانی است، در حال حاضر نیز در دنیا جز مراجع معتبر و پذیرفته شده است.

فاکتور موثر لیتولوژی در اکثر مدل‌های تجربی رایج و مورد استفاده در برآورد میزان فرسایش و رسوب، با تنوع سنگ‌شناسی کشور پهناور ایران همخوانی لازم را ندارد و در ضمن در این مدل‌ها از واژه‌هایی نامفهوم و کلی در خصوص رتبه‌بندی واحدهای سنگی استفاده شده است. علاوه بر این، سنگ‌های آذرین سخت در ردیف سنگ‌های رسوبی سست قرار گرفته‌اند و یا یک نوع سنگ بدون ذکر نوع بافت و یا سیمان مربوطه امتیازدهی شده است.

در جدول ۱ نمونه‌ای از اشکالات مدل رایج PSIAC و MPSIAC در کشور آمده است. در ستون اول ملاحظه می‌شود که تشکیلات سخت و فشرده در کنار لایه‌های بزرگ آبرفتی دسته‌بندی شده است. در ستون دوم، سنگ‌های دگرگونی که طیف وسیع از اسلیت، شیبست، میکاشیست، گنیس و میگماتیت را در بر دارد که همگی در یک رده حساسیت به فرسایش قرار گرفته‌اند و یا این که در همین ستون از واژه کنگلومرا استفاده شده است که در ایران از رده کنگلومراهای سست تا انواع سخت‌تر با سیمان سیلیسی برنزد دارند. در ستون سوم هم از واژه ماسه-سنگ با سیمان سست استفاده شده است که این نوع سنگ‌ها می‌توانند سیمان متنوع از جمله سیمان سخت سیلیسی و یا سیمان انحلال پذیر آهکی را در بر داشته باشند.

یکی دیگر از مدل‌های رایج و مورد استفاده در کشور، مدل EPM است که برای اولین بار در کشور یوگسلاوی سابق ابداع شده است. در این مدل از چهار فاکتور ضریب فرسایش حوضه، ضریب کاربری، ضریب حساسیت خاک به فرسایش و شیب متوسط حوضه استفاده می‌شود. نمونه جدول امتیازدهی به فاکتور حساسیت خاک به فرسایش در جدول ۲ نشان داده شده است. ابهامات و اشکالات زیادی به امتیازدهی این

خصوصیات فیزیکی و رفتار مکانیکی آن‌ها در شرایط مختلف آزمایشگاهی پژوهش‌های زیاد و پراکنده‌ای انجام شده است. برخی از معیارهای مهم به قرار زیر است:

۱- **معیار کانی‌شناسی:** در ارزیابی مقاومت به فرسایش سنگ‌های مختلف، ترکیب کانی‌شناسی و فراوانی نسبی اجزا متشکله از اهمیت بسزایی برخوردار بوده و بر میزان مقاومت سنگ تاثیرگذار است. برای مثال سنگ‌های فلسیک نسبت به سنگ‌های مافیک حاوی کانی‌های فشار و حرارت کمتری هستند که برخی از آن‌ها در شرایط سطح زمین مقاوم به فرسایش می‌باشند، ولی چون در ترکیب کانی‌شناسی این‌گونه سنگ‌ها، میزان بالایی از کانی‌های سست و حساس میکایی حضور دارد. لذا حساسیت به فرسایش بیشتری نسبت به انواع مافیک نشان می‌دهند و به این دلیل سنگ‌های اسیدی مانند گرانیت از نظر مقاومت ذاتی نسبت به سنگ‌های بازیک مانند گابرو در این طبقه‌بندی در رده پایین‌تری قرار گرفته‌اند. Lamb (۱۹۶۲) بر اساس مطالعه میکروسکوپی مقاطع نازک شاخص زیر را برای هوازدهی گرانیت ارائه کرد:

کوارتز + فلدسپات / کوارتز =  $Nq$

با افزایش هوازدهی، مقدار  $Nq$  به یک نزدیک می‌شود. بنابراین، مقدار این شاخص از صفر برای سنگ سالم تا یک برای سنگ کاملاً هوازده تغییر خواهد کرد.

۲- **معیار بافت:** معمولاً سنگ‌های با بافت ریزدانه نسبت به درشت‌دانه در مقابل استرس‌های حرارتی و انقباض و انجماد مقاومت بیشتری نشان می‌دهند. لذا، در سری سنگ‌های آذرین، انواع ریزدانه نسبت به درشت‌دانه مقاومت بیشتری نسبت به فرسایش نشان می‌دهند.

۳- **معیار مقاومت مکانیکی:** طبقه‌بندی‌های مختلفی براساس مقاومت فشاری تک محوری برای سنگ‌ها ارائه شده است که از آن جمله می‌توان به پژوهش‌های GSEGWP (۱۹۷۷، ۱۹۷۹ و ۱۹۸۱) اشاره کرد. در رده‌بندی Deere و Miller (۱۹۶۷) از دو معیار مقاومت فشاری تک محوری و نسبت مدولی استفاده شده است (جدول ۲). نسبت مدولی از تقسیم مدول دگرشکلی در ۵۰ درصد مقاومت نهایی به

بالتر نسبت به شیست خرد شده و آرژیلیت‌دار در یک رده حساسیت قرار گرفته که اشتباهی کاملاً بارز است. رسوبات آبرفتی به دلیل انسجام کم و فقدان سخت‌شدگی از توان رسوب‌دهی بالایی برخوردار هستند، ولی در زمره واحدهای مقاوم قرار گرفته‌اند. قراردادن رده‌های مختلف خاک در کنار واحدهای سنگی و مترکم نمونه دیگری از امتیازدهی نادرست این جدول است. اگر به‌همین میزان بسنده شود، علاوه بر مشکلات دو جدول یادشده، باید اشاره نمود که جداول امتیازدهی مدل‌های PSIAC و EPM با تنوع لیتولوژی ایران همخوانی نداشته و بسیاری از لیتولوژی‌های موجود در ایران در فهرست این دو جدول وجود ندارد. در عمل با جایگزینی نتایج پژوهش حاضر و روش ارائه شده در این پژوهش، کیفیت نتایج خروجی مدل معمول PSIAC و EPM تا حد زیادی افزایش خواهد یافت.

### مواد و روش‌ها

کشور پهناور ایران از ویژگی‌های ممتاز زمین‌شناسی برخوردار بوده و دارای تنوع پدیده‌های زمین‌شناسی در سطح کشور است. تنوع لیتولوژی و ساختاری ایران سبب شده که کشور به واحدهای همگن مختلف قابل تقسیم باشد. با در دست داشتن فایل رقومی زمین‌شناسی کشور در مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰، ابتدا توصیفات لیتولوژی‌های مختلف سازندهای زمین‌شناسی کشور در فایل نرم‌افزار اکسل مشتمل بر ۵۸۵ واحد تعریف شده لیتولوژی تهیه شد و سپس نسبت به دسته‌بندی آن‌ها در گروه‌های سنگ‌های آذرین، رسوبی، دگرگونی و نهشته‌های منفصل کواترنر اقدام شد. همان‌طور که قبلاً آمده است، جداول امتیازدهی مدل‌های رایج فرسایش رسوب، بخش کوچکی از واحدهای لیتولوژی را پوشش می‌دهد و کاربران در امتیازدهی با مشکل مواجه می‌شوند که با به‌کار بردن امتیازات ارائه شده در این پژوهش، به راحتی می‌توانند نسبت به رتبه‌بندی سازندهای منطقه مورد مطالعه، اقدام نمایند.

**معیارهای لازم برای ارائه طبقه‌بندی جامع حساسیت به فرسایش واحدهای سنگی:** در خصوص طبقه‌بندی مقاومتی سنگ‌ها بر اساس

شده است که از جمله آن می‌توان به طبقه‌بندی کیفیت مغزه حفاری (RQD) ارائه شده توسط Deere و Miller (۱۹۶۶) اشاره کرد. این عامل گرچه در فرسایش‌پذیری سازندها نقش مهمی ایفاء می‌نماید، ولی در این پژوهش مدنظر قرار نگرفت، زیرا اطلاعات این عامل باید به‌طور محلی برداشت شود و با تلفیق خطواره‌های موجود در نقشه‌های زمین‌شناسی به‌صورت یک لایه جداگانه در مدل‌های GIS با سایر لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز در مطالعات برآورد فرسایش و رسوب تلفیق شود.

جدول ۳- طبقه‌بندی مقاومت فشاری تک محوری لیتولوژی‌های مختلف

| نوع سنگ         | خیلی زیاد                    | زیاد          | متوسط کم | خیلی کم |
|-----------------|------------------------------|---------------|----------|---------|
| سنگ‌های آذرین   | دیاباز                       | گرانیت        |          |         |
|                 | بازالت و سایر سنگ‌های جریانی |               |          |         |
| سنگ‌های رسوبی   |                              | آهک و دولومیت | ماسه‌سنگ | شیل     |
|                 | کوارتزیت                     |               |          |         |
| سنگ‌های دگرگونی |                              | گنیس          | شیست     | مرمر    |

**روش کار در طبقه‌بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش:** ابتدا فهرستی از لیتولوژی‌های مختلف فایل رقومی زمین‌شناسی گستره ایران تهیه شد. از عوامل تعیین‌کننده در هوازگی و فرسایش‌پذیری سنگ‌ها، ویژگی‌های ذاتی مواد تشکیل‌دهنده آن‌ها شامل ترکیب کانی‌شناسی، بافت و مقاومت مکانیکی است که مستقل از محیط، عامل ایجاد مقاومت درونی ماده در برابر انفصال ذرات، تخریب و خاک‌سازی می‌باشند. بنابراین، در طبقه‌بندی ارائه شده در این پژوهش (جدول ۴)، صرفاً ویژگی‌های ذاتی مواد (کانی‌شناسی و بافت)، اساس قضاوت مهندسی و تقسیم‌بندی سنگ‌ها و نهشته‌های نرم و منفصل، ایران در ۱۰ رده از جنبه مقاومت در برابر هوازگی و فرسایش بوده است.

مقاومت فشاری تک محوری به‌دست می‌آید. براساس مقاومت فشاری تک محوری، سنگ‌ها به پنج رده مقاومت خیلی بالا، مقاومت بالا، مقاومت متوسط، مقاومت پایین و مقاومت خیلی پایین تقسیم‌بندی می‌شوند (جدول ۳). در این طبقه‌بندی، سنگ‌های مختلف براساس مقاومت فشاری تک محوری و نسبت مدولی دسته‌بندی می‌شوند. سنگ‌های آذرین درونی و مقاوم مانند دیاباز و خانواده گرانیت در رده مقاومت خیلی بالا قرار می‌گیرند. دیاباز در مقایسه با گرانیت دانه ریزتر است لذا مقاومت بالاتری دارد. هر چه دانه‌های سنگ بزرگ‌تر باشد نیروی به هم چسباننده ملکولی کمتر شده و مقاومت کلی سنگ کاهش می‌یابد.

در گروه سنگ‌های دگرگونی، کوارتزیت شبیه دیاباز در رده خیلی مقاوم قرار گرفته و گنیس شبیه به گرانیت عمدتاً در رده مقاومت بالا قرار گرفته‌اند. مرممر حالت خاص خود را دارد و با پراکندگی کم در رده مقاومت متوسط قرار دارد. مقاومت و مدول الاستیسیته شیست بستگی به زاویه بارگذاری با صفحه متورق تغییر می‌کند، در حالتی که محور بارگذاری عمود بر تورق باشد، مدول سنگ کاهش و مقاومت نهایی آن افزایش می‌یابد، بالعکس در شرایطی که محور بارگذاری با صفحه تورق زاویه زیاد داشته باشد، مقاومت نهایی کاهش یافته و مدول افزایش می‌یابد. لذا، عملاً شیست‌ها محدوده وسیعی در نمودار Deere و Miller به خود اختصاص می‌دهند. در خانواده سنگ‌های رسوبی، آهک و دولومیت شبیه سنگ‌های آذرین درونی در محدوده مقاومت خیلی بالا تا بالا قرار می‌گیرند. دولومیت به‌دلیل داشتن یون منیزیم نسبت به آهک از مقاومت بیشتر برخوردار است. ماسه‌سنگ‌ها با توجه به تغییرات سیمان‌شدگی و مقاومت سیمان، محدوده وسیعی از رده مقاومت بالا تا رده مقاومت خیلی پایین را شامل می‌شوند. شیل نیز بسته به این که متراکم یا سیمانته‌شده باشد و نیز به‌دلیل خاصیت تورق‌پذیری مشابه اسلیت و شیست محدوده وسیعی را در بر می‌گیرد.

**۴- معیار ساختمان در سنگ:** روش‌های مختلفی در خصوص طبقه‌بندی خواص مهندسی توده سنگ ارائه

جدول ۴- طبقه‌بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش (Peyrowan و همکاران، ۲۰۱۲)

| ردۀ مقاومتی | سنگ‌های آذرین                  | سنگ‌های دگرگونی   | سنگ‌های رسوبی  | خاک‌ها و نهشته‌های منفصل  |
|-------------|--------------------------------|---|--|---|
| I           | فوق‌العاده مقاوم               | متاکوارتزیت   | کوارتزیت - چرت   | --  |
| II          | بسیار مقاوم                    | میگماتیت- مرمر-<br>گنیس متراکم (دانه‌ای و چشمی) -<br>گرانولیت- آمفیبولیت                | رادیولاریت- دیاتومیت-<br>ماسه‌سنگ سیلیسی بسیار سخت   | --  |
| III         | مقاوم                          | آندزیت- گرانیت- دیوریت-<br>مونزونیت- سینیت-<br>گرانودیوریت- داسیت                       | دولومیت سخت - آهک‌های<br>توده‌ای سخت ریزدانه - سنگ<br>آهک بایوهرمال - کنگلومرا و برش<br>سخت - آگلومرا- آركوز<br>(ماسه‌سنگ فلدسپاتیک) |   |
| IV          | متوسط تا مقاوم                 | ریولیت- ایگنمبریت -<br>کالردملائز- توفیت - برش<br>ولکانوکلستیک -<br>سرپانتینیت- اسپیلیت | آهک‌های لایه‌ای- دولومیت<br>لایه‌ای- ماسه‌سنگ با سیمان<br>کربناته- کنگلومرا با سیمان<br>آهکی- آگلومرا- برش با سیمان<br>آهکی          |   |
| V           | متوسط                          | شیسست سبز- فیلیت-<br>اسلیت  | آهک‌های نازک لایه- تراورتن-<br>شیل سخت- آهک مارنی،<br>ماسه‌ای- کنگلومرا با سختی<br>متوسط   |   |
| VI          | متوسط تا ضعیف                  | پامیس - پونس - اسکوری<br>- بازالت‌های قدیمی<br>(ملافیر) - سنگ‌های<br>آتشفشانی قدیمی     | برش با سیمان سست- ماسه‌سنگ<br>سست- کنگلومرای سست- سیلت<br>سنگ- مارن آهکی و دریایی -<br>شیل معمولی - رسوبات فلیشی -<br>مادستون        | پادگانه‌های آبرفتی قدیمی سخت  |
| VII         | ضعیف                           | میولونیت - برش‌های<br>تکتونیکی  | مادستون گچی و نمکی - شیل<br>سست- مارن تبخیری- گچ و<br>انیدریت  | پادگانه‌های آبرفتی میانی- خاک-<br>های جنگلی و کوهستانی -<br>نهشته‌های لغزشی قدیمی تحکیم<br>شده - لس‌های تحکیم شده                               |
| VIII        | بسیار ضعیف                     | --  | شیل‌های زغالی ضعیف- گنبد<br>نمکی-  | پادگانه‌های آبرفتی جوان-<br>مخروط افکنه‌ها- خاک‌های<br>کشاورزی - نهشته‌های لغزشی<br>تحکیم نشده (فعال)   |
| IX          | فوق‌العاده ضعیف                | خاکستر آتشفشانی<br>منفصل (تفرا) - لایلی -<br>بمب و بلوک تازه                            | --   | لس‌های تحکیم نشده- لاهارها -<br>کوهرفت‌ها- واریزه‌ها- کفه‌های<br>رسی نمکی رسی- توده‌های<br>لغزشی فعال - پادگانه‌های رسوبی<br>دریایی و دریاچه‌ای |
| X           | کاملاً ضعیف-<br>سست و<br>منفصل | --  | تلماسه‌های بادی و ساحلی-<br>نهشته‌های منفصل بستر<br>رودخانه‌ها   |   |

پارامترهای استخراج شده از حوزه‌های آبخیز کشور ارائه شده است. ستون مربوط به حساسیت سازندها به فرسایش در حقیقت مربوط به میانگین وزنی طبقات حساسیت به فرسایش واحدهای لیتولوژی هر حوضه است که در محدوده بین یک تا ۱۰ طبق روش حاضر امتیازبندی شده‌اند. ستون مربوط به شیب نیز دربردارنده میانگین وزنی طبقات شیب هر حوضه است که در محدوده ۶/۶۳ تا ۳۴/۵۷ درصد شیب دارند. ستون فرسایش‌پذیری باران نیز میانگین وزنی فرسایش‌پذیری باران به میلی‌متر است که در دامنه ۱۵/۷۸ تا ۱۰۸/۶۶ میلی‌متر امتیازات آن استخراج شده است. در ستون آخر جدول، داده‌های مشاهداتی حوضه‌ها براساس میانگین سالانه ایستگاه‌های رسوب‌سنجی موجود در سطح ۲۲ حوضه از حوضه‌های ۳۰گانه کشور است (Arabkhedri, ۲۰۰۵).

حداقل رسوب‌دهی در حوضه رودخانه‌های کل و مهران و مسیل‌های جنوبی و جزایر به‌میزان ۷۹/۸۰ و حداکثر در حوضه هامون جازموریان، ۱۱۱۶/۰۳۵ تن بر کیلومتر مربع اندازه‌گیری شده است. در برخی از حوضه‌ها به‌دلیل نواقص اطلاعاتی و یا فقدان ایستگاه رسوب‌سنجی داده‌ای استخراج نشده است. در ضمن تفاوت‌هایی در نتایج مدل EPM با ایستگاه‌های رسوب‌سنجی مشاهده می‌شود. علت این موضوع این است که مرز حوزه‌های آبخیز در روش مشاهداتی به‌دلیل محدودیت موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های رسوب‌سنجی با مرز حوضه‌های مورد استفاده در مدل EPM کاملاً منطبق نیست.

در همه موارد اشاره شده پس از استخراج داده‌های مرتبط، براساس دامنه تغییرات داده‌ها (جدول ۶)، برای سهولت مقایسه، داده‌ها به پنج رده خیلی کم، کم، متوسط، زیاد و خیلی زیاد طبقه‌بندی شدند که در جدول ۷ نتایج آن ارائه شده است و لذا در طبقه‌بندی یاد شده، ارزش پارامترها، نسبی‌اند. با مقایسه داده‌های جدول ۶، مشاهده می‌شود که تطابق خوبی بین درجه حساسیت به فرسایش واحدهای سنگی با میزان فرسایش برآوردی به‌روش EPM و مشاهداتی براساس اندازه‌گیری ایستگاه‌های رسوب‌سنجی به خوبی قابل درک است.

نکات ذیل در طبقه‌بندی مدنظر قرار گرفته است:  
- اساس عمده تعیین وزن یا پتانسیل فرسایش‌پذیری واحدهای سنگی و نهشته‌های سست، ویژگی‌های مقاومتی ذاتی ماده متأثر از ترکیب کانی‌شناسی و بافت بوده است. مرز رده‌ها بر مبنای قضاوت مهندسی کارشناس خبره تعیین شده است.

- در تعیین پتانسیل فرسایش‌پذیری سازندی که از مجموعه واحدهای سنگ‌شناسی مختلف تشکیل شده است، میانگین وزنی کلاس‌های فرسایش‌پذیری مجموعه واحدهای تشکیل‌دهنده آن سازند، مبنای وزن‌دهی قرار گرفته است.

- گسترش کلاس‌های فرسایش‌پذیری به ۱۰ رده به‌دلیل وجود انعطاف‌پذیری لازم در رده‌بندی و کاهش خطا انجام شده است. علاوه بر آن محدودیت وزن‌دهی به عامل زمین‌شناسی در مدل‌های رایج در کشور مانند PSIAC و EPM در این روش مرتفع شده است. در نهایت از تجربیات موجود در طبقه‌بندی‌های مختلف ارائه شده نیز استفاده شده است.

## نتایج و بحث

در این قسمت، ابتدا با توجه به داده‌های حوزه‌های آبخیز ۳۰گانه رتبه چهار کشور براساس رتبه‌بندی تماب، نسبت به سنجش کارایی روش حاضر اقدام شد. در ضمن براساس طبقه‌بندی حاضر، وضعیت کشور به لحاظ فرسایش‌پذیری ذاتی واحدهای سنگی بررسی شد که در قالب جدول و نقشه، نتایج آن ارائه شده است.

**ارزیابی کارایی روش پیشنهادی:** برای ارزیابی دقت و کارایی روش طبقه‌بندی حساسیت واحدهای سنگی به فرسایش براساس روش ارائه شده در این پژوهش، از اطلاعات ذیقیمت و جامع حوزه‌های آبخیز کشور در طرح سیمای حوزه‌های آبخیز بهره گرفته شد که تلفیق و جمع‌بندی نتایج کارهای محققان مختلف در این زمینه در جدول ۵ خلاصه و ارائه شده است. قبل از مقایسه نتایج روش حاضر با اطلاعات برآوردی (مدل EPM) و محاسباتی (ایستگاه‌های رسوب‌سنجی) حوزه‌های آبخیز کشور لازم است نحوه استخراج و ارائه جدول یادشده ارائه شود. در جدول ۴ میانگین



جدول ۵- مشخصات میانگین پارامترهای استخراج شده از حوزه‌های آبخیز کشور

| نام حوضه  | شماره حوضه | میانگین وزنی حساسیت حوضه ۱ | میانگین وزنی شیب (درصد) | میانگین وزنی فرساینده‌گی باران (میلی‌متر) ۲ | رسوب‌دهی سالیانه EPM (تن در سال) ۲ | میانگین رسوب‌دهی ایستگاه‌های رسوب‌سنجی (تن بر کیلومتر مربع) ۳ |
|---|------------|----------------------------|-------------------------|---|------------------------------------|---|
| رودخانه ارس   | ۱۱         | ۴/۹۷                       | ۱۷/۵۲                   | ۳۵/۶۰                                       | ۴۶۶/۲۰                             | ۳۹۲/۱۲۸۶  |
| رودخانه‌های تالش - مرداب انزلی                                      | ۱۲         | ۴/۴۶                       | ۲۸/۲۷                   | ۱۰۸/۶۶                                      | ۲۵۲/۱۲                             | ۴۱۹/۵۵۸۶  |
| سفید رود  | ۱۳         | ۵/۵۱                       | ۱۶/۸۵                   | ۴۹/۶۷                                       | ۶۴۴/۱۳                             | ۳۶۰/۸۲۰۷  |
| رودخانه‌های بین سفیدرود و هراز (لاهیجان)                            | ۱۴         | ۴/۶۸                       | ۳۴/۵۷                   | ۹۶/۵۶                                       | ۴۲۸/۱۱                             | ۱۵۸/۶۶۹   |
| رودخانه هراز و رودخانه‌های بین هراز و قره‌سو                        | ۱۵         | ۵/۸۶                       | ۲۶/۵۷                   | ۶۴/۰۰                                       | ۴۲۲/۹۴                             | ۲۱۳/۵۷۳۲  |
| رودخانه‌های قره‌سو و گرگان  | ۱۶         | ۶/۶۸                       | ۱۸/۰۵                   | ۵۲/۷۷                                       | ۵۵۹/۴۵                             | ۱۹۶/۰۶۰۲  |
| رودخانه اترک  | ۱۷         | ۶/۳۴                       | ۱۳/۷                    | ۳۲/۹۳                                       | ۸۷۸/۳۶                             | ۳۳۲/۵۷۱۲  |
| رودخانه‌های مرزی غرب  | ۲۱         | ۵/۶۲                       | ۲۱/۴۱                   | ۶۹/۸۲                                       | ۹۹۶/۰۸                             | ۱۶۷/۹۲۸۳  |
| کرخه  | ۲۲         | ۵/۶۵                       | ۱۶/۲۱                   | ۶۰/۶۵                                       | ۷۲۸/۲۷                             | ۱۴۲/۵۶۲۸  |
| رودخانه کارون بزرگ  | ۲۳         | ۵/۶۱                       | ۲۳/۷۶                   | ۸۷/۵۲                                       | ۱۰۲۶/۰۹                            | ۲۳۴/۵۷۶۵  |
| رودخانه‌های جراحی و زهره  | ۲۴         | ۶/۱۶                       | ۱۳/۵۴                   | ۶۵/۵۱                                       | ۱۱۳۳/۶۰                            | ۷۱۸/۱۶۸   |
| رودخانه حله و مسیل‌های کوچک دو طرف آن                               | ۲۵         | ۶/۱۸                       | ۱۳/۸۶                   | ۶۱/۲۱                                       | ۹۵۸/۳۱                             | ۴۸۹/۴۶۵۸  |
| رودخانه مند و حوزه‌های بسته هرم، کاریان و خنج                       | ۲۶         | ۵/۹۵                       | ۱۶/۶۴                   | ۵۱/۲۷                                       | ۸۰۰/۰۱                             | ۲۳۷/۳۸۷۸  |
| رودخانه‌های کل و مهران و مسیل‌های جنوبی و جزایر                     | ۲۷         | ۵/۹۹                       | ۱۶/۵۰                   | ۳۵/۰۵                                       | ۵۳۵/۰۳                             | ۷۹/۸  |
| رودخانه‌های بین بندرعباس و سدیج                                     | ۲۸         | ۶/۳۴                       | ۱۳/۴۱                   | ۴۰/۴۵                                       | ۵۶۵/۹۴                             | ۱۰۴۴/۷۴۸  |
| رودخانه‌های بلوچستان جنوبی بین سدیج و مرز پاکستان (راچ - باهوکلالت) | ۲۹         | ۶/۴۳                       | ۱۱/۱۶                   | ۲۲/۴۷                                       | ۴۸۹/۵۵                             | ۵۳۶/۴۲۸۷  |
| دریاچه ارومیه   | ۳۰         | ۴/۶۹                       | ۱۵/۰۳                   | ۴۷/۵۰                                       | ۴۹۸/۱۲                             | -----   |
| دریاچه نمک  | ۴۱         | ۶/۰۱                       | ۱۰/۰۸                   | ۳۴/۷۶                                       | ۳۶۲/۸۷                             | ۱۸۰/۲۹۰۹  |
| گلوخونی   | ۴۲         | ۶/۲۲                       | ۸/۸۵                    | ۲۶/۷۰                                       | ۱۹۵/۳۵                             | ۹۶/۱۵۹۴۵  |
| دریاچه‌های طشک - بختگان و مهارلو                                    | ۴۳         | ۵/۷۸                       | ۱۴/۶۳                   | ۵۷/۹۰                                       | ۴۳۱/۴۱                             | ۱۵۱/۳۰۳۷  |
| سیرجان-کویر ابرقو   | ۴۴         | ۶/۲۰                       | ۶/۸۶                    | ۲۴/۴۳                                       | ۲۱۰/۸۴                             | -----   |
| هامون جازموریان   | ۴۵         | ۵/۹۹                       | ۹/۸۸                    | ۳۰/۵۱                                       | ۳۴۷/۰۹                             | ۱۱۱۶/۰۳۵  |
| کویر لوت  | ۴۶         | ۶/۲۸                       | ۷/۱۶                    | ۱۶/۴۸                                       | ۲۰۵/۹۸                             | -----   |
| کویر مرکزی  | ۴۷         | ۶/۶۸                       | ۶/۶۷                    | ۲۱/۶۱                                       | ۲۱۴/۸۶                             | ۳۹۰/۱۱۷۶  |
| کویرهای سیاه‌کوه، ریگ زرین و دق سرخ                                 | ۴۸         | ۶/۳۶                       | ۸/۰۵                    | ۱۵/۷۸                                       | ۱۳۷/۳۵                             | -----   |
| کویرهای درانجیر و ساغند   | ۴۹         | ۶/۳۱                       | ۹/۶۲                    | ۲۰/۴۹                                       | ۱۸۵/۵۹                             | -----   |
| نمکزار خواف-دق پترگان   | ۵۱         | ۶/۳۵                       | ۸/۲۴                    | ۳۰/۷۴                                       | ۲۳۳/۶۸                             | -----   |
| هامون هیرمند (گودزره)   | ۵۲         | ۶/۰۰                       | ۶/۶۳                    | ۱۹/۹۵                                       | ۱۸۸/۹۱                             | -----   |
| هامون ماشکیل  | ۵۳         | ۶/۱۷                       | ۱۰/۶۶                   | ۱۶/۴۲                                       | ۳۱۹/۷۳                             | -----   |
| قره‌قوم   | ۶۰         | ۵/۹۷                       | ۱۲/۹۷                   | ۳۸/۲۲                                       | ۵۳۰/۸۳                             | ۱۵۲/۵۰۰۸  |

جدول ۶- استخراج مشخصات آماری عوامل اندازه‌گیری شده در سطح حوزه‌های آبخیز ۳۰گانه کشور در تقسیم‌بندی تماب ( Soil Conservation and Watershed Management Research Center of Iran, ۲۰۱۲)

| ردیف | عامل                              | واحد                 | حداقل  | حداکثر  | میانگین  | انحراف معیار | دامنه   |
|------|-----------------------------------|----------------------|--------|---------|----------|--------------|---------|
| ۱    | لیتولوژی                          | عددی                 | ۴/۴۶   | ۶/۶۸    | ۵/۹۱۴۷   | ۰/۱۰۳۶       | ۲/۲۲    |
| ۲    | فرساینده‌گی باران                 | میلی‌متر             | ۱۵/۷۸  | ۱۰۸/۶۶  | ۴۴/۵۵۴۳  | ۲۴/۳۰۵۷۱     | ۹۲/۸۸   |
| ۳    | میزان رسوب (EPM)                  | تن در سال            | ۱۳۷/۳۵ | ۱۱۳۳/۶۰ | ۴۹۸/۲۲۳۳ | ۲۸۴/۴۰۶۴۲    | ۹۹۶/۲۵  |
| ۴    | شیب                               | درصد                 | ۶/۶۳   | ۳۴/۵۷   | ۱۴/۵۶۰۷  | ۶/۸۳۷۹۴      | ۲۷/۹۴   |
| ۵    | رسوب‌دهی ویژه (ایستگاه رسوب‌سنجی) | (تن بر کیلومتر مربع) | ۷۹/۸۰  | ۱۱۱۶/۰۴ | ۳۵۴/۵۸۴۳ | ۲۸۴/۱۵۷۹۱    | ۱۰۳۶/۲۴ |

واحدهای سنگی است. در حوضه‌های ۴۶ تا ۴۹ و ۵۱ تا ۵۳ و ۶۰ با فرسایش‌پذیری خیلی زیاد تا زیاد به دلیل بارندگی کم و ملایم بودن شرایط توپوگرافی حوضه، رسوب‌دهی خیلی کم است. به عبارت دیگر، می‌توان چنین نتیجه گرفت که در اقلیم‌های مرطوب و با بارندگی قابل ملاحظه و بالطبع کوهستانی و پرشیب بودن در صورتی که سازندهای زمین‌شناسی رخنمون یافته در سطح حوضه، حساس به فرسایش باشند، میزان تولید رسوب حوضه بالا خواهد بود. فرسایش شدید دارند و بیش از ۹۴ درصد مناطق مارنی از نوع مراتع فقیر تا اراضی دیم بسیار فقیر بدون قابلیت کشت هستند.

Talae و همکاران (۲۰۱۰) پژوهش مشابهی در سطح اراضی مارنی استان اردبیل انجام دادند که براساس بازدیدهای میدانی، مقادیر شاخص فرسایش سطح زمین به روش BLM بیانگر این موضوع است که اراضی مارنی تبخیری نئوژن دارای وضعیت فرسایش متوسط تا زیاد هستند. Hasanzadeh Nofotli و همکاران (۲۰۰۶) با اندازه‌گیری تولید رواناب و رسوب اراضی مارنی تبخیری نئوژن  $M_1$ ،  $M_2$  و  $M_3$ ، مارن سازند قم و نهشته‌های مارنی و ریزدانه محیط کرانه‌ای سازند کند دریافتند که واحدهای تبخیری نئوژن ۲۷ تا بیش از ۱۰۰ برابر نسبت به سایر انواع مارن محیط دریایی سازند قم و کند توان تولید رسوب دارند. Arabkhedri و همکاران (۲۰۰۹) با محاسبه بار معلق حوزه‌های آبخیز کشور دریافتند که حوزه‌های با بار رسوب معلق بالا عمدتاً دارای لیتولوژی حساس مارنی می‌باشند که از آن جمله به حوضه میناب، سفیدرود، شاهرود، سرخاب، حبله‌رود و دریان‌چای می‌توان اشاره

برای نمونه ملاحظه می‌شود که رسوب‌دهی حوضه ۱۲ با حضور سازندهای مقاوم به فرسایش علی‌رغم شیب زیاد حوضه و فرساینده‌گی باران خیلی زیاد، تابع خصوصیات واحدهای سنگی است و میزان آن در حد رسوب‌دهی کم است. در حوضه ۲۸ با رتبه فرسایش‌پذیری خیلی زیاد واحدهای سنگی، علی‌رغم شیب و فرساینده‌گی باران در حد کم دارای رسوب‌دهی متوسط تا خیلی زیاد است که باز نمونه‌ای از تبعیت رسوب‌دهی بالای حوضه از درجه حساسیت زیاد در حوزه آبخیز طالقان، Bayat و همکاران (۲۰۰۶) ارزش عوامل ساختاری مدل‌های MPSIC و EPM در برآورد رسوب را بررسی کرده‌اند. این پژوهش با استفاده از محیط GIS و تعیین رگرسیون چند متغیره بین متغیرهای مستقل از یک‌سو و میزان رسوب به‌عنوان متغیر وابسته از سوی دیگر انجام شد و مشخص شد که برای مدل‌های EPM و MPSIC به‌ترتیب، بیشترین اهمیت، به عوامل زمین‌شناسی و درصد تاج پوشش با کنترل ۸۲ و ۴۹ درصد تغییرات تولید رسوب، مرتبط است. شیب و ارتفاع رواناب سالیانه در درجه‌های دوم و سوم اهمیت قرار دارند. نتیجه این پژوهش به خوبی نقش اثرگذاری حساسیت فرسایشی سازندها در تولید رسوب حوضه‌ها را تایید می‌کند و با نتایج پژوهش حاضر همخوانی نشان می‌دهد.

طی پژوهشی Abdi و همکاران (۲۰۱۱) در زمینه شدت فرسایش در واحدهای مارنی استان زنجان دریافتند که ۱۰۰ درصد اراضی تحت پوشش نهشته‌های مارنی دارای ضریب فرسایش خیلی شدید در مدل BLM هستند. در ضمن براساس شدت فرسایش مشاهداتی بیش از ۶۶ درصد اراضی مارنی

## کرد که سازندهای حساس به‌ویژه اراضی مارنی مسئول رسوب‌دهی بالا هستند.

جدول ۷- مقایسه رتبه‌بندی فاکتور حساسیت به فرسایش سازندهای زمین‌شناسی با پارامترهای مهم حوزه‌های آبخیز کشور

| میانگین رسوبدهی ویژه ایستگاه رسوب‌سنجی (تن بر کیلومتر مربع) | میانگین رسوبدهی سالیانه مدل EPM (تن در سال) | میانگین وزنی شیب (درصد) | میانگین وزنی فرساینده‌گی باران (میلی‌متر) | میانگین وزنی حساسیت حوضه (عددی) | شماره حوضه | نام حوضه  |
|---|---|-------------------------|---|---------------------------------|------------|---|
| کم  | کم  | کم                      | کم  | کم                              | ۱۱         | رودخانه ارس   |
| کم  | خیلی کم                                     | زیاد                    | خیلی زیاد                                 | خیلی کم                         | ۱۲         | رودخانه‌های تالش - مرداب انزلی                                      |
| کم  | متوسط                                       | کم                      | کم  | متوسط                           | ۱۳         | سفید رود  |
| خیلی کم   | کم  | خیلی زیاد               | خیلی زیاد                                 | کم                              | ۱۴         | رودخانه‌های بین سفید رود و هراز (لاهیجان)                           |
| خیلی کم   | کم  | زیاد                    | متوسط                                     | زیاد                            | ۱۵         | رودخانه هراز و رودخانه‌های بین هراز و قره سو                        |
| خیلی کم   | متوسط                                       | متوسط                   | کم  | خیلی زیاد                       | ۱۶         | رودخانه‌های قره سو و گرگان  |
| کم  | زیاد  | کم                      | خیلی کم                                   | خیلی زیاد                       | ۱۷         | رودخانه اترک  |
| خیلی کم   | خیلی زیاد                                   | متوسط                   | متوسط                                     | متوسط                           | ۲۱         | رودخانه‌های مرزی غرب کرخه   |
| خیلی کم   | متوسط                                       | کم                      | متوسط                                     | متوسط                           | ۲۲         | رودخانه‌های مرزی غرب کرخه   |
| خیلی کم   | خیلی زیاد                                   | زیاد                    | زیاد                                      | متوسط                           | ۲۳         | رودخانه کارون بزرگ  |
| متوسط   | خیلی زیاد                                   | کم                      | متوسط                                     | زیاد                            | ۲۴         | رودخانه‌های جراحی و زهره  |
| کم  | خیلی زیاد                                   | کم                      | متوسط                                     | زیاد                            | ۲۵         | رودخانه حله و مسیل‌های کوچک دو طرف آن                               |
| خیلی کم   | زیاد  | کم                      | کم  | زیاد                            | ۲۶         | رودخانه مند و حوزه‌های بسته هرم، کاریان و خنج                       |
| خیلی کم   | کم  | کم                      | کم  | زیاد                            | ۲۷         | رودخانه‌های کل و مهران و مسیل‌های جنوبی و جزایر                     |
| خیلی زیاد   | متوسط                                       | کم                      | کم  | خیلی زیاد                       | ۲۸         | رودخانه‌های بین بندر عباس و سدیح                                    |
| متوسط   | کم  | خیلی کم                 | خیلی کم                                   | خیلی زیاد                       | ۲۹         | رودخانه‌های بلوچستان جنوبی بین سدیح و مرز پاکستان (راچ - باهوکلالت) |
| کم  | کم  | کم                      | کم  | خیلی کم                         | ۳۰         | دریاچه ارومیه   |
| خیلی کم   | کم  | خیلی کم                 | کم  | زیاد                            | ۴۱         | دریاچه نمک  |
| خیلی کم   | خیلی کم                                     | خیلی کم                 | خیلی کم                                   | زیاد                            | ۴۲         | گاوخونی   |
| خیلی کم   | کم  | کم                      | متوسط                                     | متوسط                           | ۴۳         | دریاچه‌های طشک بختگان و مهارلو                                      |
| -----   | خیلی کم                                     | خیلی کم                 | خیلی کم                                   | زیاد                            | ۴۴         | سیرجان - کویر ابرقو   |
| خیلی زیاد   | کم  | خیلی کم                 | خیلی کم                                   | زیاد                            | ۴۵         | هامون جازموربان   |
| -----   | خیلی کم                                     | خیلی کم                 | خیلی کم                                   | خیلی زیاد                       | ۴۶         | کویر لوت  |
| -----   | خیلی کم                                     | خیلی کم                 | خیلی کم                                   | خیلی زیاد                       | ۴۷         | کویر مرکزی  |
| -----   | خیلی کم                                     | خیلی کم                 | خیلی کم                                   | خیلی زیاد                       | ۴۸         | کویرهای سیاه کوه، ریگ زرین و دق سرخ                                 |
| -----   | خیلی کم                                     | خیلی کم                 | خیلی کم                                   | خیلی زیاد                       | ۴۹         | کویرهای درانجیر و ساغند   |
| -----   | خیلی کم                                     | خیلی کم                 | خیلی کم                                   | خیلی زیاد                       | ۵۱         | نمکزار خواف - دق پترگان   |
| -----   | خیلی کم                                     | خیلی کم                 | خیلی کم                                   | زیاد                            | ۵۲         | هامون هیرمند (گودزره)   |
| -----   | خیلی کم                                     | خیلی کم                 | خیلی کم                                   | زیاد                            | ۵۳         | هامون ماشکیل  |
| خیلی کم   | کم  | کم                      | کم  | زیاد                            | ۶۰         | قره قوم   |

زون زاگرس، سازندهای هرمز، کژدمی، گورپی، گچساران، آغاچاری، میشان و لهبری و ساچون گسترش فراوان دارند. براساس روش حاضر، در کشور ایران، بیش از ۷۰ درصد سازندهای زمین شناسی دارای مقاومت کم تا خیلی کم نسبت به عوامل فرسایش بوده و لذا رسوبدهی بالایی را نیز خواهند داشت (جدول ۸). شکل های ۱ و ۲ وضعیت حساسیت به فرسایش سازندهای ایران به روش حاضر را نشان می دهد. در شکل ۲، گسترش سازندهای حساس به فرسایش به جز پهنه های کوتاه تر نشان داده شده است. وجود این درصد بالا از زمین شناسی حساس تا خیلی حساس نسبت به فرسایش وضعیت خاصی را برای کشور فراهم نموده که یکی از عوارض بد آن پر شدن سدهای مخزنی و کاهش شدید توان تولید برق به کمک آن هاست. ایران هم پهناور بوده و هم از تنوع کم نظیری در لیتولوژی، نسبت به سایر نقاط جهان برخوردار است. این امر به وسیله اکثر محققان دنیا ابراز شده، ولی آن طور که شایسته است به اثر عوامل زمین شناختی در برآورد فرسایش و رسوب پرداخته نشده است، ضمن این که کشور ایران بر خلاف سایر کشورهای ابداع کننده مدل های فرسایش و رسوب، در اقلیم خشک و نیمه خشک واقع شده است. این کشورها غالباً در اقلیم های نیمه مرطوب تا مرطوب قرار دارند. پوشش گیاهی تنک، کمبود بارندگی، ناپایداری زمین ساختاری و پر شیب بودن اراضی کشور، عملاً سبب شده در بخش زیادی از سرزمین ایران، خاک کافی تشکیل نشده و یا خاک های جوان ایجاد شده مورد فرسایش شدید قرار گیرند.

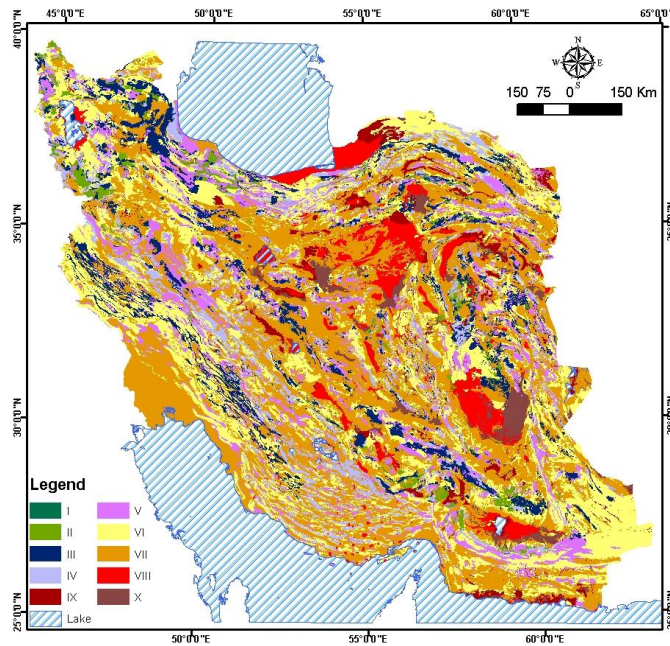
قرار گرفتن واحدهای مارنی به ویژه مارن های خشکی و تبخیری در رتبه بندی حساس و فوق العاده حساس به فرسایش در طبقه بندی حاضر با نتایج سایر محققان یاد شده در بالا تطابق خوبی نشان می دهد و به نوعی طبقه بندی ارائه شده در این پژوهش را مورد تایید قرار می دهند. وجود انواع فرسایش های آبی از جمله سطحی، شیاری، خندقی، تونلی و حرکات توده ای اراضی مارنی در سطح حوزه های آبخیز شاهی بر این مدعا است.

مقایسه نتایج روش طبقه بندی ارائه شده در این پژوهش با میزان تولید رسوب مشاهداتی و برآوردی آن حوزه ها مشخص نمود که با در نظر گرفتن سایر پارامترهای مهم حوضه مانند توپوگرافی و بارندگی، نتایج حاصله از این روش با واقعیت های حوزه های آبخیز کشور تطابق خوبی نشان می دهد و می توان با سطح اطمینان بالا و قابل قبول به آن اعتماد کرد و از آن برای رتبه بندی حساسیت به فرسایش سازندها و واحدهای سنگی استفاده نمود.

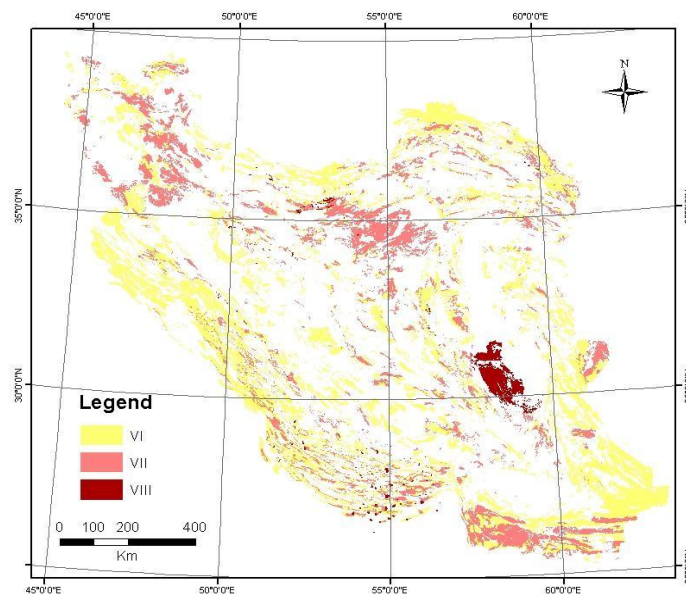
**وضعیت ایران از نظر فرسایش پذیری سازندهای زمین شناسی:** زمین شناسی ایران نشان دهنده این است که سازندهای حساس به فرسایش علاوه بر نهشته های کوتاه تر، گسترش فراوانی دارند. در زون البرز، سازندهای حساس کهر، زاگون، دورود، شمشک، زیارت، کند، آپشرون، آگچاگیل و نهشته های لسی؛ در زون کپه داغ، سازندهای چمن بید، کشف رود، شوربجه و آپشرون؛ در زون ایران مرکزی، سازندهای نایبند، سردار، بغمشاه، سازند مارنی قرمز پایینی و بالایی و نهشته های ماسه ای و رسوبات ریزدانه شور کوتاه تر؛ در

جدول ۸- میزان و درصد گسترش سازندهای زمین شناسی از نظر طبقات فرسایشی (Peyrowan و همکاران، ۲۰۱۲)

| ردیف | درصد فراوانی | مساحت (هکتار) | طبقه فرسایش پذیری | توصیف از نظر مقاومت به فرسایش |
|------|--------------|---------------|-------------------|-------------------------------|
| ۱    | ۰/۰۲۴        | ۳۸۸۶۷/۱       | I                 | فوق العاده مقاوم              |
| ۲    | ۲/۲۳۷        | ۳۶۱۹۸۳۴/۸     | II                | بسیار مقاوم                   |
| ۳    | ۷/۷۰۸        | ۱۲۴۷۰۶۲۸/۲    | III               | مقاوم                         |
| ۴    | ۶/۶۹۱        | ۱۰۸۲۶۱۵۰/۷    | IV                | متوسط بالا                    |
| ۵    | ۱۰/۰۱۵       | ۱۶۲۰۵۱۴۲/۷    | V                 | متوسط                         |
| ۶    | ۲۵/۹۹        | ۴۲۰۵۲۱۳۲/۷    | VI                | متوسط پایین                   |
| ۷    | ۳۷/۰۶        | ۵۹۹۶۶۱۴۳/۳    | VII               | پایین                         |
| ۸    | ۴/۹۴۸        | ۸۰۰۵۰۳۸/۶     | VIII              | بسیار پایین                   |
| ۹    | ۲/۶۹۹        | ۴۳۶۷۸۹۸/۸     | IX                | فوق العاده پایین              |
| ۱۰   | ۲/۶۲۲        | ۴۲۴۲۷۱۵/۴     | X                 | غیر مقاوم، کاملاً سست و منفصل |



شکل ۱- نقشه رده‌های ۱۰ گانه حساسیت به فرسایش سازندهای زمین‌شناسی کشور (Peyrowan و همکاران، ۲۰۱۲)



شکل ۲- گسترش وسیع سازندهای حساس به فرسایش در کشور به جز رسوبات کواترنر (رده‌های فرسایشی VI و VII و VIII) (Peyrowan و همکاران، ۲۰۱۲)

عرصه‌های منابع طبیعی، دشت‌ها و اراضی کشاورزی افزایش یافته است. اگرچه براساس گزارش FAO، ایران در رده ۱۰ کشور اول جهان از نظر مقابله با بیابان‌زایی است و تاکنون بالغ بر دو میلیون هکتار از مناطق بیابانی کشور به جنگل‌های دست کاشت بیابانی تبدیل شده است، لیکن این اقدامات کاملاً رضایت‌بخش نبوده و اهداف توسعه را تأمین نمی‌کنند. لذا لازم است بستر توسعه که همانا کوهپایه‌ها و

پهنه‌های عمده‌ای از ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک قرار گرفته و متوسط بارش در کشور یک سوم یا ۳۳ درصد متوسط جهانی است. این امر سبب شده تا منابع آب و خاک با محدودیت مواجه شده و توسعه و بهره‌برداری خردمندانه از آن‌ها در اولویت برنامه‌ریزی قرار گیرد. متأسفانه به دلیل شرایط خاص اقلیمی و طبیعی در مناطقی از کشور، عرصه‌های بیابانی توسعه پیدا کرده و نرخ رشد فرسایش خاک در

### تشکر و قدردانی

از پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری که زمینی انجام این پژوهش را فراهم کرده و از استاد فقید دکتر جعفر غیومیان، مهندس پرویز روزخس، دکتر کاوه خاکسار و خانم مهندس سمیه جعفری که به نحوی ما را در این پژوهش یاری رساندند، تشکر و قدردانی می‌شود.

دشت‌های شکل گرفته با نهشته‌های کواترنری هستند، مورد شناسایی قرار گیرند و تغییرات شاخص‌های محیطی و منابع همواره پایش شوند. بدون شک دروازه ورود به مرزهای توسعه، نیازمند شناخت منابع و ابزار و مؤلفه‌های آن است که با مطالعات پایه و برنامه‌های تحقیقاتی راهبردی، مسیر دستیابی به این اهداف هموار می‌شود.

### منابع مورد استفاده

1. Abdi, P., S. Feiznian and H.R. Peyrowan. 2011. Evaluation of erodibility of Marl lithologies of Zanjan Province using EPM model and GIS. 7<sup>th</sup> Conference of Engineering Geology and the Environment, Industrial Shahrood University (in Persian).
2. GSEGWP. 1977. The description of rock masses for engineering purposes. Geological Society Engineering Group Working Party. Quarterly Journal of Engineering Geology, 10: 355-388.
3. GSEGWP. 1979. Classification of rocks and soils for engineering geological mapping, part 1, rock and materials. Report of the commission of engineering geological mapping. Bulletin International Association of Engineering Geology, 19: 364-371.
4. GSEGWP. 1981. Basic geotechnical description of rock masses. Geological Society Engineering Group Working Party, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences and Geo-Mechanical Abstracts, 18: 85-110.
5. Arabkhedri, M. 2005. The study of suspended loads of watershed basins of Iran. Water Resources Research Journal, 2: 51-61 (in Persian).
6. Arabkhedri, M., A. Valikhojini, Sh. Hakimkhani, A.H. Charkhabi and A. Telvari. 2009. Estimation sediment yield and preparation sediment yield map for Iran. Final report of research project, Soil Conservation and Watershed Management Research Center of Iran (in Persian).
7. Bayat, R., H. Mahmoodabadi and H. Refahi. 2006. The study of the importance of parameters in MPSIAC and EPM models for sediment yield estimation. Desert Journal, 11(1): 25-36 (in Persian).
8. Deere, D.M. and R.P. Miller. 1966. Engineering classification and Index properties for intact rock. Tech. Rep. No. AFWL-TR-65-116, Air Force Weapons Lab, Kirtland Air Base, New Mexico.
9. Feiznia, S. 1995. Rock strength to erosion in various climates of Iran. Natural Resources Journal of Iran, 47: 95-116 (in Persian).
10. Franklin, J.A. and E. Broch. 1972. The point load Strength test. International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 9: 669-697.
11. Ghadimi Aroos Mahalleh, F. and A. Aminsobhani. 1999. The study of sediment delivery of geological zones and the Eras in Daryache-Namak Basin. First Conference of Engineering Geology and the Environment, Kharazmi University, 945-957 pages (in Persian).
12. Ghadimi Aroos Mahalleh, F., A. Pourmatin and J. Ghoddosi. 1999. The study of the relation between various shapes of erosions with physical-chemical properties of marl formations. Pajouhesh va Sazandeghi Journal, 40-42: 95-99 (in Persian).
13. Hasanzadeh Nofooti, M.H. 2006. Investigating effective characteristics on erodibility of marls and their classification, Case study: Eyvanakey (Abshor) drainage basin. PhD Thesis of Watershed Basin Engineering, Azad University, Research and Sciences Campus, 100 pages (in Persian).
14. Heshmati, M. 1996. Physical and chemical properties and erodibility and sediment yield rate of Pabdeh, Gachsaran and Aghajari Formations. MSc Thesis of Watershed Engineering, Tehran University, 125 pages (in Persian).
15. Hovius, N. 1998. Controls on sediment supply by large rivers, in Shanley, K.W., ed., Relative role of eustasy, climate and tectonism in continental rocks: SEPM (Society for Sedimentary Geology) Special Publication, 59: 3-16.
16. Khamechian, M. 1990. The study of physical and mechanical properties of marl and clayey rocks. MSc Thesis of engineering geology, Tarbiat Modarres University, 132 pages (in Persian).
17. Lamb, D.W. 1962. Decomposed granite as fill material with particular reference to earth dam construction symp. Hong Kong soils, Hong Kong Joint Group of the Institutions of Civil Mechanical and Electrical Engineering, 57-71.
18. Milliman, J.D. and J.P.M. Syvitski. 1992. Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean. Journal of Geology, 100: 525-544.

19. Peyrowan, H., R. Bayat, R. Shariat jafari, M. Jafari and A. jafari Ardekani. 2012. Classification and studying of erodibility rates of geological formations of watershed basins of Iran, Watershed Basins Atlas Project. Soil Conservation and Watershed Management Research Center of Iran, 239 pages (in Persian).
20. Refahi, H. 2009. Water erosion and conservation. Tehran University, 671 pages (in Persian).
21. Riebe, C.S., J.W. Kirchner, D.E. Granger and R.C. Finkel. 2001. Minimal climatic control on erosion rates in the Sierra Nevada, California, Geological Survey of America, *Geology*, 29(5): 447-450.
22. Sedaghat, M. and H. Memarian. 2002. Physical geology, Payam-E-Noor University Publication, 704 pages (in Persian).
23. Selby, M.J. 1980. A rock mass strength classification for geomorphic purposes: with tests from Antarctica and New Zealand, *Zeit, Fur Geom., N.F.*, 24: 114-117.
24. Shariatjafari, M., J. Ghayoumian and H.R. Peyrowan. 2006. The inherent sensitivity of geological formations to erosion and weathering in basins of micro-continental plate of central Iran. *Quarterly Journal of Science*, Kharazmi University (in Persian).
25. Soil Conservation and Watershed Management Research Center of Iran. 2012. The comprehensive study on watershed basin atlas, Watershed Basins Atlas Project (in Persian).
26. Summerfield, M.A. and N.J. Hulton. 1994. Natural controls on denudation rates in major world drainage basins. *Journal of Geophysical Research, Solid Earth*, 99: 13871-13883.
27. Talaei, R., Peyrowan, H.R. and B. Beirami. 2010. Evaluation of erodibility of marl formations of Ardabil Province using BLM. 14<sup>th</sup> Geology Society Conference and 27<sup>th</sup> Geo-Science of Geology Survey of Iran Conference, Oroomieh University.
28. Walling, D.E. and B.W. Webb. 1983. Patterns of sediment yield, in Gregory, K.J., ed., *Background to paleohydrology*: Chichester, U.K., John Wiley and Sons, 69-100.

## **Presentation of a comprehensive method for determining erodibility rate of rock units with a review on Iranian geology**

**Hamid Reza Peyrowan<sup>\*1</sup> and Mohsen Shariat Jafari<sup>2</sup>**

<sup>1,2</sup> Assistant professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Institute, Iran

Received: 18 October 2012      Accepted: 27 February 2013

### **Abstract**

One of the most important problems that empirical model users in Iran are facing with, is that these models are prepared for countries with special conditions such as lithology factor, which scores are given based on geology condition of origin country that are not compatible for a vast country like Iran with a great lithological variation. This research was conducted to reduce such problems and increase the efficiency and localization of these kind of models and provides rock erosion sensitivity factor for their special conditions. In PSIAC and EPM as a common experimental models, lithology factor is an important agent among other effective factors. In this research, a comprehensive classification of erodibility has been produced in 10 orders, based on mineralogy, chemistry, texture, structure and mechanical properties. Regarding to aridity of many parts of the country, and low rate of soil generation, erodibility rates of geological formations would be an important tasks. Results showed that, about 70 percent of the area covered with very low to low strength lithology to erosion and have a high potential of sediment yielding. Geological formations' erodibility has been classified in 30 Tamab watershed with order of 4 and the results are compared with EPM results and monitored values in river gauging stations. Results also indicated a good agreement with high confidence with natural conditions and with respect to other important factors of the watersheds such as topography and rainfall.

**Key words:** Classification, Erodibility, EPM model, Iran, PSIAC model, Watershed

---

\* Corresponding author: hrpeyrowan@yahoo.com