

## حساسیت ذاتی سازندهای زمین‌شناسی به هوازنگی و فرسایش در حوضه‌های واقع در پهنه رسوبی- ساختاری خرده قاره ایران مرکزی

محسن شریعت‌جعفری، جعفر غیومیان، حمیدرضا پیروان:  
پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری کشور

### چکیده

یکی از مباحث مهم در حوضه‌های آب‌خیز، حفاظت از منابع آب و خاک و کنترل فرسایش و رسوب است. روش‌های تجربی برآورد شدت فرسایش خاک و تولید رسوب مورد استفاده، مانند PSIAC و EPM به دلیل توجه محدود و کلی به عامل زمین‌شناسی و لیتولوژی و غالب بودن عوامل محیطی در وزن‌دهی پارامترها، با برآورد واقعی تفاوت دارند. در این تحقیق سعی شده است با تکیه بر ویژگی‌های ذاتی سنگ‌ها و نهشته‌های سست، روشی مناسب و جامع برای تعیین حساسیت ذاتی واحدهای لیتولوژی به طور خاص و همچنین برای سازندها که متشکل از مجموعه‌ای از واحدهای سنگ‌شناسی هستند ارائه گردد. با این هدف، طبقه‌بندی حساسیت به فرسایش واحدهای سنگ و خاک بر مبنای ویژگی‌های ذاتی مواد شامل ترکیب کانی‌شناسی و بافت تدوین شده است. در این تحقیق در پهنه رسوبی- ساختاری خرده قاره ایران مرکزی، رده فرسایش‌پذیری هر سازند بر مبنای میانگین رده اجزای تشکیل‌دهنده آن- که مجموعه‌ای از واحدهای سنگ‌شناسی است تعیین شده است. نتایج طبقه‌بندی حساسیت سازندها به فرسایش در گستره مذکور در پهنه‌بندی فرسایش‌پذیری ذاتی واحدهای سنگ و خاک حوضه نمونه کویر لوت استفاده شد. بر اساس نتایج حاصل از طبقه‌بندی مذکور، ۸۲/۹ درصد واحدهای سنگ و خاک این حوضه در رده‌های متوسط- ضعیف تا کاملاً سست و منفصل قرار می‌گیرند و در کل در رده حوضه‌های بسیار حساس واقع می‌شوند. نتایج به دست آمده در این حوضه با نتایج رسوب‌دهی ویژه که بر مبنای آمار واقعی رسوب حوضه است، مقایسه شده است و نتایج تأیید کننده صحت و کارایی خوب روش معرفی شده‌اند

### مقدمه

یکی از عوامل تعیین‌کننده در فرایندهای هوازنگی و فرسایش سنگ‌ها، ویژگی‌های ذاتی کانی‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها است. عوامل محیطی و ثانویه، مانند اقلیم پیش از آن‌که نقش کلیدی در تولید رسوب داشته باشند، در تعیین نوع ویژگی‌های رسوبات ناشی از هوازنگی و فرسایش مؤثرند. برای نمونه، خاک‌های قلیایی، که محصول تجزیه شیمیایی سنگ‌هایی نظیر کربنات‌های کلسیم و منیزیم در اقلیم خشک و نیمه خشک هستند، حاصل همین فرآیند

واژه‌های کلیدی: فرسایش، سازندهای زمین‌شناسی، ویژگی‌های ذاتی، ایران مرکزی، حوضه کویر لوت، رسوب‌دهی ویژه

در اقلیم مرطوب با فراوانی آهن و آلومینیوم مشخص می‌شود و با شسته شدن محصولات کلسیمی و منیزی، خاک‌های اسیدی حاصل می‌شوند. همین ماده در اقلیم گرم، خاک سرخ لاتریتی ایجاد می‌کند [۴]. بنا بر این، علاوه بر نوع محصولات هوازگی که تابع عوامل محیطی مانند اقلیم است، شکل فرآیند هوازگی (فیزیکی، شیمیایی) نیز می‌تواند تابع عامل محیطی باشد.

تغییر عوامل محیطی مانند اقلیم، لرزمخیزی و پوشش گیاهی در مقیاس حوضه‌های 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 [۶] و به دلیل همین ویژگی، کارایی طبقه‌بندی مبتنی بر ویژگی‌های ذاتی افزایش می‌یابد.

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 متفاوت است، مکانیزم، شکل و نوع محصولات هوازگی و فرسایش است. تغییرات شدید دما، بارش‌های تند فصلی و بادهای شدید موسمی، عمده عواملی هستند که در مناطق خشک و نیمه‌خشک نقش فعال در هوازگی 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 و تخریب سنگ‌ها 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 ۲۰۰ کیلوگرم بر سانتی‌متر مربع ایجاد کند [۴]، این فشار به‌سادگی 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. هوازگی فیزیکی عامل شروع تخریب و هوازگی شیمیایی، عامل تسریع خرد شدن مواد است. هوازگی و فرسایش، فرآیندهای در امتداد یک‌دیگرند که باعث تولید خاک‌های نرم و منفصل از سنگ‌های سخت می‌شوند. مکانیسم 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 [۵] می‌توان چنین نتیجه گرفت که تأثیر اقلیم مرطوب در افزایش رسوبدهی ویژه حوضه‌ها به دلیل عمل‌کرد هم‌زمان دیگر عوامل حفاظت‌کننده محسوس نیست و حتی حوضه‌های مرطوب شمالی در مواردی نسبت به حوضه‌های واقع در اقلیم‌های خشک و نیمه‌خشک رسوبدهی ویژه کم‌تری دارند. بنا بر این هر چند به‌طور کلی عقیده بر این است که اقلیم بر میزان فرسایش مؤثر است، اما ارتباط بین میزان بارش، دما و میزان

فرسایش، هنوز موضوعی بحث برانگیز و ابهام‌آور است. [بررسی میزان فرسایش بلند مدت عرصه‌های مختلف در کالیفرنیا (Sierra Nevada) با استفاده از رادیونوکلئیدها نشان داده است که با وجود اختلاف میزان فرسایش تا حدود ۲/۵ برابر در این عرصه‌ها، بین میزان فرسایش با شرایط اقلیمی، ارتباط آماری معنی‌دار و منطقی وجود ندارد] [۱۲]. پژوهندگان دیگر (از جمله والینگ<sup>۱</sup> و ویب<sup>۲</sup> (۱۹۸۳)؛ میلیمن<sup>۳</sup> و سویتسکی<sup>۴</sup> (۱۹۹۲)؛ هویس<sup>۵</sup> (۱۹۹۸)؛ سامرفیلد<sup>۶</sup> و هولتن<sup>۷</sup> (۱۹۹۴)) نیز به این موضوع اذعان داشته‌اند که اقلیم به تنهایی نقش تعیین‌کننده‌ای بر میزان فرسایش ندارد [۱۰]، [۱۱]، [۱۳]، [۱۵].

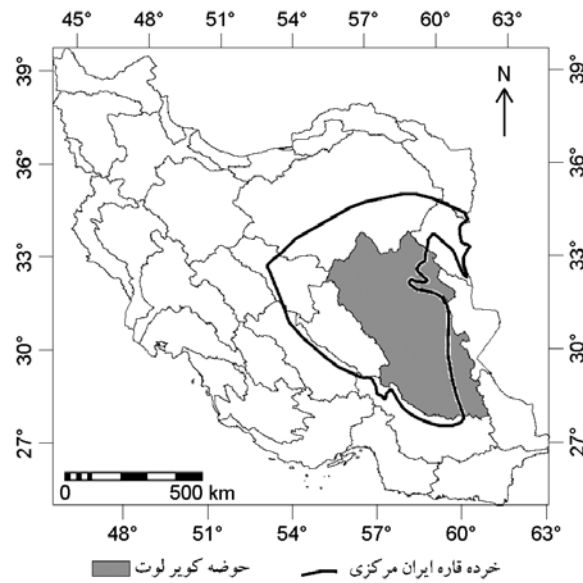
بنا بر این ویژگی‌های ذاتی مواد می‌تواند مبنای مناسبی برای طبقه‌بندی جامعی با هدف تبیین فرسایش‌پذیری مواد باشد. از این لحاظ، طبقه‌بندی ارائه شده برای تعیین فرسایش‌پذیری واحدهای سنگ و خاک، بر مبنای ویژگی‌های ذاتی سنگ بکر بنا شده است. در تبیین این روش از مجموعه داده‌های تجربی ارائه شده در طبقه‌بندی‌های مهندسی سنگ مانند دیر<sup>۸</sup> و میلر<sup>۹</sup> (۱۹۶۶)؛ فرانکلین<sup>۱۰</sup> و بروش<sup>۱۱</sup> (۱۹۷۲)؛ آتون<sup>۱۲</sup> (۱۹۷۷) و سلبی<sup>۱۳</sup> (۱۹۸۰) نیز استفاده شده است. داده‌های ارائه شده در این طبقه‌بندی‌ها چون بر مبنای اندازمگیری‌های آزمایشگاهی پژوهندگان معتبر جهانی است، در حال حاضر نیز در دنیا از مراجع معتبر و پذیرفته شده است.

## مواد و روش‌ها

### موقعیت و ویژگی‌های حوضه‌های واقع در خرده قاره ایران مرکزی

ایران مرکزی با زمین‌درزهای افیولیتی سیستان، نایین، گسل درونه و افیولیت‌های کاشمر- سبزوار احاطه شده است و با گسل‌های طولی که به سمت غرب خمیدگی دارند قابل تقسیم به بلوک لوت، فرازمین (Horst) شتری، فرونشست (Graben) طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت بادام، یزد و فرفرافتادگی بردسیر است [۱]. مرز پهنه‌های ساختاری با توجه به ویژگی‌های زمین‌شناسی تعریف شده است و بر مرز حوضه‌های آبریز که مبتنی بر ویژگی‌های هیدرولوژیکی است الزاماً منطبق نیست. حوضه کویر لوت به طور کامل در پهنه رسوبی- ساختاری خرده قاره ایران مرکزی واقع می‌شود و بخش اعظم این پهنه را می‌پوشاند به همین سبب به عنوان حوضه نمونه و شاخص ایران مرکزی در این مقاله مورد توجه قرار گرفته است. پنج حوضه هیدرولوژیکی دیگر که مجموع مساحت آن‌ها کمتر از حوضه کویر لوت است- و بعضاً بین دو پهنه مشترکند دیگر اجزای تشکیل‌دهنده ایران مرکزی هستند (شکل ۱).

۱-Walling	۲-Webb	۳-Milliman	۴-Syvitski	۵-Hovius
۶-Summerfield	۷-Hulton	۸-Deer	۹-Miller	۱۰-Franklin
۱۱-Broch	۱۲-Anon	۱۳-Selby		



شکل ۱. محدوده پهنه رسوبی - ساختاری خرده قاره ایران مرکزی و موقعیت حوضه هیدرولوژیکی کویر لوت (بر اساس تقسیم‌بندی آقا نباتی، ۱۳۸۳)

حوضه رسوبی- ساختاری لوت با درازایی حدود ۹۰۰ کیلومتر در بخش شرقی ایران مرکزی قرار دارد. مرز شرقی آن با گسل نهبندان و مرز غربی آن با گسل نایبند و بلوک طبس مشخص می‌شود. تاریخچه چینه‌ای بلوک لوت به دیگر نواحی ایران مرکزی بسیار نزدیک است. از ویژگی‌های سنگ - چینه ای بلوک لوت برای نمونه وجود روانه‌های آترین بسیار سنبر (۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر) سنوزوییک را می‌توان نام برد [۱]. سنگ‌های آتشفشانی ترشیری به‌ویژه در ائوسن با ضخامتی حدود ۲۰۰۰ متر بیش از نیمی از بلوک لوت را می‌پوشانند. در سطح بلوک لوت، حدود ۴۰ مخروط آتشفشان کواترنر وجود دارد. این بلوک در سال‌های گذشته جایگاه رخداد زمین‌لرزه‌های مخرب و گسلش‌های مهمی بوده است [۱]. نهشته‌های دریاچه‌ای نسبتاً افقی پلیوسن- پلیستوسن که به نام سازند لوت نامیده شده‌اند، از دیگر پدیده‌های چینه‌ای این حوضه است. دشت‌ها و پهنه‌های کویری و آبرفتی بخش وسیعی از حوضه کویر لوت را در برمی‌گیرند. پهنه‌های کویری مجموعه‌ای از ماسه‌های بادی، شوره زارهای رسی- سیلتی، کفه‌های رسی و نمکی را شامل می‌شوند. نهشته‌های کواترنر به ویژه تراس‌های آبرفتی و رودخانه‌ای قدیمی و جدید بر اساس نتایج مستخرج از نقشه رقومی زمین‌شناسی حدود ۴۰ درصد سطح حوضه را پوشش داده‌اند و بارزترین واحد چینه‌ای حوضه کویر لوت هستند.

### تشریح روش طبقه‌بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش

همان‌طور که در مقدمه ذکر شد از عوامل تعیین کننده در هوازگی و فرسایش‌پذیری سنگ‌ها، ویژگی‌های ذاتی مواد تشکیل دهنده آن‌ها، شامل ترکیب کانی‌شناسی و بافت است که مستقل از محیط، عامل ایجاد مقاومت

درونی ماده در برابر انفصال ذرات، تخریب و خاکسازي هستند. بنا بر این در طبقه‌بندی ارائه شده، جدول ۱، صرفاً ویژگی‌های ذاتی مواد (کانی‌شناسی و بافت)، اساس قضاوت مهندسی و تقسیم بندی سنگ‌ها و نهشته‌های نرم و منفصل به ۱۰ رده از جنبه مقاومت در برابر هوازگی و فرسایش بوده است. نکات ذیل در این طبقه‌بندی مد نظر بوده 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. در تعیین مرز رده‌ها بر مبنای قضاوت مهندسی کارشناس خبره عمل شده است.
- در تعیین پتانسیل فرسایش‌پذیری سازندی که مجموعه‌ای از واحدهای سنگ‌شناسی است، میانگین وزنی کلاس‌های فرسایش‌پذیری مجموعه واحدهای تشکیل‌دهنده آن سازند مبنای وزندهی قرار گرفته است.
- گسترش کلاس‌های فرسایش‌پذیری به ۱۰ رده به دلیل وجود انعطاف‌پذیری لازم در رده‌بندی و کاهش خطا بوده است. علاوه بر آن محدودیت وزندهی به عامل زمین‌شناسی در مدل‌هایی مانند PSIAC و EPM در این روش مرتفع شده است.
- در ارزیابی مقاومت به فرسایش سنگ‌های مختلف علاوه بر بافت، ترکیب کانی‌شناسی و فراوانی نسبی اجزای تشکیل‌دهنده نیز دارای اهمیت به سزا 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 به فرسایش مقاومند 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 بازیگ مانند گابرو در این طبقه‌بندی در رده پایین‌تری قرار گرفته‌اند. در نهایت از تجربیات موجود در طبقه‌بندی‌های مختلف ارائه شده نیز استفاده شده است. ویژگی‌های طبقه‌بندی مذکور به این شرح است:

### رده فوق‌العاده مقاوم (I)

این گروه شامل سنگ‌های خیلی مقاوم نظیر دیاباز، بازالت متراکم، دلریت، متاکوارتزیت و کوارتزیت است. افیولیت‌های ایران مرکزی در این گروه قرار می‌گیرند.

### بسیار مقاوم (II)

این دسته سنگ‌های خیلی مقاوم نظیر بازالت، گابرو، میگماتیت، مرمر، گنیس، آمفیولیت، رادیولاریت، ماسه‌سنگ سیلیسی بسیار سخت را در بر می‌گیرد. مجموعه چاپدونی در ایران مرکزی از این گروه است.

### مقاوم (III)

این رده دربرگیرنده سنگ‌های مقاومی نظیر آندزیت، گرانیت، دیوریت، مونزونیت، گرانودیوریت، داسیت، هورنفلس، گنیس نواری، دولومیت‌های سخت، آهک‌های توده‌ای سخت و کنگلومرا و برش سخت است. مجموعه پشت بادام و سازندهای سبزار و شتری در ایران مرکزی، از سازندهای شاخص در این گروه‌اند.

### متوسط تا مقاوم (IV)

این دسته شامل ریولیت، ایگنیریت، کالردملاز، توفیت، آهک‌های لایه‌ای، دولومیت لایه‌ای، ماسه سنگ با سیمان کنسیت، کنگلومرا و برش با سیمان آهکی و آگلومرا است. مجموعه بنه‌شور و جبرود در ایران مرکزی در این گروه واقع می‌شوند.

### متوسط (V)

انواع توف، توف‌های شیشه‌ای، شیبست سبز، فیلیت، اسلیت، آهک‌های نازک لایه، تراورتن، شیل‌های سخت، آهک مارنی ماسه‌ای، کنگلومرا با سختی متوسط در این گروه قرار می‌گیرند.

### متوسط تا ضعیف (VI)

در این گروه سنگ‌هایی مانند میکاشیبست‌ها، برش با سیمان سست، ماسه‌سنگ سست، کنگلومرای سست، سیلتستون، مارن آهکی و شیلی قرار دارند. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی سخت شده نیز در این گروه قرار گرفته‌اند.

### ضعیف (VII)

در این رده، سنگ‌های رسوبی، شامل گل سنگ‌ها، شیل سست، مارن و واحدهایی مانند تراس‌های آبرفتی میانی، خاک‌های جنگلی و نهشته‌های لغزشی قدیمی تحکیم شده قرار می‌گیرند.

### بسیار ضعیف (VIII)

این گروه شامل شیل‌های زغالی ضعیف، گنبد‌های نمکی، نهشته‌های لغزشی تحکیم نشده، مخروط افکنه‌ها و خاک‌های کشاورزی است. لایه‌های سیلتی-رسی و نمکی در ایران مرکزی در این گروه جای می‌گیرند.

### فوق‌العاده ضعیف (IX)

این گروه، خاکسترهای آتشفشانی-لس‌های تحکیم شده قدیمی، کوهرفت‌ها، آریزه‌ها، کفه‌های رسی و نمکی و سیلان‌های لغزشی را دربرمی‌گیرد.

جدول ۱. طبقه‌بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش (پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، ۱۳۸۴)

واحد‌های سنگ و خاک	رده مقاومتی		سنگ‌های آذرین	سنگ‌های دگرگونی	سنگ‌های رسوبی	خاک‌ها و نهشته‌های منفصل
	I	II				
I	فوق‌العاده مقاوم به فرسایش		دیاباز-بازالت متر اکم-آپلیت دلریت	متاکوارتزیت	-	--
II	بسیار مقاوم		بازالت-افیولیت گابرو-	میگماتیت، گنیس متر اکم، مرمر، آمفیبولیت	رادپولاریت، ماسه سنگ سیلیسی بسیار سخت	--
III	مقاوم		آندزیت، گرانیت دیوریت، مونزونیت سینیت، کوارتز پرفیری، گرانودیوریت داسیت	هورنفلس، گنیس نواری	دولومیت سخت، آهک‌های توده‌ای سخت ریزدانه، کنگلومرال و برش سخت	-
IV	متوسط تا مقاوم		ریولیت، ابگنمیریت کالردلانز، توفیت	-	آهک‌های لایه‌ای، دولومیت لایه‌ای، ماسه‌سنگ با سیمان کلسیت، کنگلومرال با سیمان آهکی، آگلومرال، برش با سیمان آهکی	-
V	متوسط		توف، توف‌های شیشه‌ای	شپیست سبز فیلیت، اسلیت	آهک‌های نازک لایه، تراورتن، شیل سخت، آهک مارنی-ماسه‌ای، کنگلومرال با سختی متوسط	-
VI	متوسط تا ضعیف		--	میکاشیست	برش با سیمان سست ماسه‌سنگ سست کنگلومرال سست سیلستون، مارن آهکی، شیل معمولی	تراس‌های آبرفتی قدیمی سخت
VII	ضعیف		--	--	مادستون، شیل سست مارن	تراس‌های میانی خاک‌های جنگلی نهشته‌های لغزشی قدیمی تحکیم شده
VIII	بسیار ضعیف		--	--	شیل‌های زغالی ضعیف گنبد نمکی، توده‌های لغزشی تحکیم نشده	تراس‌های جوان مخروط افکنه‌ها خاک‌های کشاورزی
IX	فوق‌العاده ضعیف		خاکستر آتشفشانی	--	--	لس‌های تحکیم شده لاهارها، کورفت‌ها واریزه‌ها، کفه‌های رسی، نمکی سیلان‌های لغزشی
X	سست و منفصل		--	--	-	تلماسه‌های بادی ماسه‌های ساحلی نهشته‌های منفصل بستر رودخانه‌ها

**کاملاً ضعیف و سست (X)**

این دسته شامل رسوبات منفصل نظیر تلماسه‌های بادی، لس‌های تحکیم‌نشده، رسوبات ساحلی و نهشته‌های منفصل بستر رودخانه‌هاست.

**نتایج و بحث**

وزن‌دهی و تعیین حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش در حوضه‌های واقع در پهنه رسوبی - ساختاری خرده قاره ایران مرکزی بر اساس طبقه‌بندی ارائه‌شده در جدول ۱ انجام شد و نتایج آن در جدول ۲ ارائه شد. از ویژگی‌های معرف سازندها صرفاً به ذکر ضخامت و سن (آقانباتی، ۱۳۸۳) اکتفا شده است.

**جدول ۲. رده‌بندی حساسیت ذاتی سازندهای پهنه رسوبی - ساختاری خرده قاره ایران مرکزی به فرسایش (شریعت جعفری و همکاران، ۱۳۸۴)**

سازند	لیتولوژی*	ضخامت (متر)*	سن	حساسیت به فرسایش
مجموعه چاپدونی	مجموعه میگماتی، بیشتر گنیس، همراه با مقدار قابل توجه گرانیت آتاکسی (ساغندپشت بادام)	۴۰۰۰	پرکامبرین	II
مجموعه بنه‌شورو	تناوبی از شیست، آمفیولیت، گنیس، کمی سنگ‌های کوارتزی و به ندرت مرمر (حاوی آمفیولیت بسیار)	۲۰۰۰	پرکامبرین	IV
تاشک	پلیت‌های همگن، گریوک دانهریز و ماسه‌سنگ آکوزی که در اثر دگرگونی به شیست، فیلیت، اسلیت، میکاشیست و متاگریوک تبدیل شده	۲۰۰۰	پرکامبرین	V
مجموعه پشت بادام	توده‌های گرانیتی و سنگ‌های دگرگونی درجه بالا (آمفیولیت، میگماتیت، پیروکسنیت و ...) و درجه ضعیف (فیلیت، کربنات‌های متبلور ...)	--	پرکامبرین	III
افیولیت‌های ایران مرکزی	افیولیت (انارک)	--	پرکامبرین	I
ریزو	شیل، ماسه‌سنگ، سنگ‌های کربناته و لایه‌های ایگنمبریت	۴۰۰ تا ۶۰۰	پرکامبرین پسین	V
سری دسو	نهشته‌های تبخیری، گچ و دولومیت هوازده سنگ آهک متبلور، ماسه‌سنگ میکادار، کوارتزیت سنگ‌های آذرین اسیدی و بازی تجزیه شده (مقطع تیپ در شمال کرمان)	--	پرکامبرین پسین	VII
سری راور	آمیزه‌ای از ماسه‌سنگ سرخ، سنگ‌های تبخیری، دولومیت، سنگ آهک تیره و سنگ‌های آتشفشانی بازیکی و اسیدی	--	پرکامبرین پسین	VI
درین	شیل دولومیتی همراه گچ و تعدادی دایک و توده‌های کوچک دیابازی (مقطع تیپ در عقدا)	--	پرکامبرین پسین	V
هشم	شیل کربناتی میکادار همراه با سنگ‌های آهکی نازک لایه	۱۵۰-۱۸۰	کامبرین	VI
سری لاهو	ماسه‌سنگ سرخ ارغوانی و میان لایه‌هایی از رس ماسه‌ای	۴۰۰	کامبرین	VII
درنجال	سنگ آهک‌های نازک لایه هوازده با میان لایه‌های مارن، سیلت‌سنگ	۸۲۳	کامبرین	VI
کالشانه	مجموعه درهمی از سنگ‌های رسوبی دولومیت، سنگ آهک، شیل، ماسه‌سنگ، گچ و سنگ‌های آتش فشانی (دیاباز)	۱۰۰۰	کامبرین	V

ادامه جدول ۲

سازند	لیتولوژی	ضخامت (متر)*	سن	حسابه بت به فرسایش
کوهبنان	رسوبات کربناته همراه با لایه‌های شیلی و افقی از ماسه سنگ کوارتزی	--	کامبرین	V
داهو	ماسه سنگ‌های سرخ (درشت‌دانه و گاهی کنگلومرایی با میان لایه‌هایی از رس ماسه‌ای)	۴۰۰	کامبرین	VI
پادها	ماسه‌سنگ سرخ (ماسه‌سنگ‌های کوارتزی با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ سرخ، شیل سرخ و یا گچ)	۴۹۲	دونین	IV
سیبزار	دولومیت خاکستری (ازبکوه)	۱۰۰	دونین میانی	III
بهرام	سنگ آهک‌های آبی، خاکستری، سیاه با میان لایه‌هایی از شیل‌های مارنی تیره	۳۰۰	دونین میانی	IV
شیبستو ۱	تناوبی از شیل سبز تیره، ماسه‌سنگ کوارتزی و سنگ آهک فسیل‌دار	۳۲۶	دونین بالایی	V
شیبستو ۲	تناوبی از سنگ آهک خاکستری و شیل	۲۱۷	کربنیفر	V
چیرود	ماسه‌سنگ-بازالت و آهک ماسه‌ای-کنگلومرا و سنگ آهک فسیل‌دار	۷۶۰	دونین بالا	IV
نیور	سنگ آهک قهوه‌ای، مرجان‌دار با میان لایه‌هایی از شیل و یک بخش دولومیتی در پایین (جنوب از بکوه از گروه گوشکمر)	۴۴۶	سیلورین	IV
	ماسه‌سنگ سفید رنگ همراه با لایه‌های آهکی فسیل‌دار (در شیرگشت)	۶۲۸	سیلورین	
سر در	سازند آواری متشکل از نهشته‌های شیلی، ماسه‌سنگی ایران مرکزی (توالی شیل و ماسه‌سنگ) پوشیده شده با لایه‌های کوارتزیت سفید (طیس)	۷۴	کربنیفر	VI
گچال	سنگ آهک‌های لایه‌ای (۷۵ متر) همراه با میان لایه‌های صخره ساز ماسه‌سنگ کوارتزی و دولومیت‌های خاکستری (۹۰ متر)- نهشته‌های گچی (۱۵۰ متر) و سنگ آهک‌های خاکستری (۹۸ متر)	۴۱۳	کربنیفر	IV
جمال	نهشته‌های کربناتی پرمین (آهک و دولومیت)	۴۷۳	پرمین	IV
سرخ شیل	سنگ‌های شیلی- کربناتی تریاس	۱۲۲	تریاس پایین	V
شتری	سنگ‌های دولومیتی تریاس، دولومیت‌های لایه لایه خاکستری، ریزدانه، متر اکم، با فرسایش‌پذیری ناچیز، صخره سازه با سیمانی خشن	۸۲۰	تریاس میانی	III
اسپهک	سنگ آهک‌های ضخیم لایه سفید رنگ	۱۵۲	تریاس میانی	III
نایبند	شیل- سیلت سنگ- سنگ ماسه و سنگ آهک مرجانی ریفی (هوازده)	۲۰۰۰	تریاس	VI
آب حاجی	شیل و ماسه‌سنگ سبز رنگ زغالدار، یک بخش ماسه‌سنگ کوارتزی پایه به سنترای (۲۰ تا ۱۸۰ متر) که بخش میانی آن کنگلومرا است	۶۵۰	ژوراسیک (پایین)	VI
بادامو	سنگ آهک اوولیتی آمونیت‌دار (گاهی همراه با تناوب شیل و ماسه‌سنگ)	۱۶۳	ژوراسیک (میانی)	IV
هجدک	شیل و سنگ ماسه زغالدار	۱۰۰۰	ژوراسیک (میانی)	VI
پروده	سنگ آهک خاکستری تیره، متر اکم صخره ساز با لایه‌بندی سنتبر و پایه کنگلومرایی به ضخامت ۷ متر)	۴۶	ژوراسیک (میانی)	III
بغمشاه	شیل، مارن‌های شیلی و مقدار کمی ماسه‌سنگ و سنگ آهک نرم و زودفرسا	۱۵۰۰- ۴۹۶	ژوراسیک (میانی)	VII
اسفندیار	عمدتاً سنگ آهک توده‌ای همراه با ماسه‌سنگ	۶۹۰	ژوراسیک بالا	IV
قلعه دختر	سنگ آهک نازک لایه (۳۲۲) متر- شیل مارنی ماسه‌ای و سیلتی (۴۵۸) متر- سنگ ماسه کوارتزی با چینه‌بندی متقاطع (۱۹۴) متر	۹۷۴	ژوراسیک بالا	VI
لایه‌های سرخ گره	آواری‌های سرخ رنگ (کنگلومرا، ماسه‌سنگ آهکی و سیلت سنگ‌های سرخ تیره)	۴۷۴	ژوراسیک پایین	V

ادامه جدول ۲

سازند	لیتولوژی	ضخامت (متر)*	سن	حساسیت به فرسایش
نقره	هم ارز سازند سنگستان در ناحیه خور (نهشته‌های تخریبی) شامل ماسه‌سنگ‌های سبز - سرخ، سیلت سنگ و کنگلومرا، آهک‌های ماسه‌ای و مارن (خاور بیاض)	چند ده تا ۵۰۰ متر	کرتاسه پایین	VI
شاه کوه	هم ارز سازند تفت در ناحیه خور (سنگ‌های آهکی خاکستری اربیتولین‌دار با میان لایه‌هایی از سنگ آهک ماسه‌ای و مارن)	۱۰۰ تا ۴۶۰	کرتاسه پایین	IV
سنگستان	نهشته‌های تخریبی پایه (آواری‌های سرخ‌رنگ) شامل کنگلومرا، ماسه‌سنگ و غیره (یزد-سازند غیر رسمی)	۱۱۰۰	کرتاسه پایین	VI
بازیاب	هم ارز سازند دره زنجیر در خور شامل گل‌سنگ، مارن‌های رسی و لایه‌های ۲ تا ۳ متری سنگ آهک و آهک ماسه‌ای (خاور بیاض)	۵۵۰	کرتاسه میانی	VII
میرزا	هم ارز شیل‌های بیابانک در جنوب بیاض شامل شیل‌های آهکی بسیار نرم، متمایل به سبز همچنین شیل‌های اسلیتی	--	کرتاسه میانی	VII
بیابانک	رخساره نسبتاً همگنی از شیل و میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ‌های سبز نازک لایه، شیل ماسه‌ای، سیلتی، آهکی، مارنی (یافق)	۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰	کرتاسه میانی	VII
تفت	سنگ آهک‌های اربیتولین‌دار سنتر لایه، خاکستری، ستیغ ساز با نمای لانه زنبوری و حفره‌های انحلالی	۴۰۰۰ تا ۴۵۰۰	کرتاسه میانی	III
دبرسو	سنگ آهک‌های آلی - آواری خاکستری، در پایه کنگلومرا و ماسه‌سنگ در بالاترین بخش آن عضو مارنی با میان لایه‌های آهکی	۱۳۰ تا ۵۹۰	کرتاسه بالایی	V
دره زبخیر	توالی همگن از شیل‌های سبز همراه با در ریف‌های شیلی - مارنی و انواع دو کفه‌ای		کرتاسه بالایی	VII
هفتمون	سنگ آهک‌های رودسیت‌دار و اندکی سنگ آهک ماسه‌ای و به ندرت همراه با ماسه‌سنگ مارن‌دار و با میان لایه‌هایی از کنگلومراهای عدسی (خاور بیاض-جنوب جندق)	۹۰۰ تا ۹۲۵	کرتاسه بالایی	IV
فرخی	سنگ آهک خاکستری روشن با قلوه با نوارهای همراه با دو کفه‌ای، مارن با میان لایه‌ها از ماسه‌سنگ (شرق بیاض)	۱۸۰ تا ۶۵	کرتاسه بالایی	V
نفوذی‌های ایران مرکزی	- موزوگرنیت زرد، گرانیت و دیوریت‌های ساوه - اشتهارد، گرانیت و گابرو شهر بابک - گرانیت جبال بارز	--	ائوسن - الیگوسن	III
قرمز پایینی	مارن - ماسه‌سنگ - کنگلومرا - ژیبس - سنگ نمک - گدازه - سیلت - رس	۱۰۰۰	الیگوسن	VIII
قم	۲۰-۳۰ تناوبی از مارن سیلتی، ماسه‌سنگ و آهک نازک ۸۵-۴۰ متر کلسی رودایت و آهک توده‌ای ۰ تا ۲۶۰ مارن، مارن ماسه‌ای، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و ۲۰۰ تا ۳۶۰ تناوبی از بایواسپارودایت و مارن و آهک ۶ تا ۱۵۰ شیل، ماسه‌سنگ، ژیبس و لایه‌های آذرآواری ۵ تا ۱۰۰ مارن سبز، شیل آهکی و آهک ریفی ۲۰ تا ۴۰ ژیبس و کمی شیل ۸۰ تا ۶۵۰ مارن، ژیبس، میان لایه‌های آهک رسی ۱۸۰ تا ۳۲۰ آهک	۱۲۰۰	الیگوسن - میوسن	V

## ادامه جدول ۲

سازند	لیتولوژی*	ضخامت (متر)*	سن	حساسیت به فرسایش
سازند سرخ بالایی	ماسه‌سنگ، مارن، کنگلومرا و تبخیری واحد MI	--	اواخر میوسن	VII
کواترنری	تراس‌های آبرفتی و رودخانه ای قدیمی		کواترنر	VI
کواترنری	کوه‌رفت‌ها، واریزه‌ها، کفه‌های رسی- نمکی، سیلان‌ها ..		کواترنر	IX
کواترنری	تلماسه‌های بادی، ماسه‌های ساحلی، نهشته‌های منفصل ...		کواترنر	X

\* لیتولوژی و ضخامت سازندها اقتباس از آفانباتی، ۱۳۸۳ است.

## ارزیابی کارایی طبقه‌بندی ارائه شده در حوضه نمونه کویر لوت

برای ارزیابی کارایی طبقه‌بندی ارائه شده، از مجموع حوضه‌های هیدرولوژیکی واقع در پهنه رسوبی- ساختاری خرده قاره ایران مرکزی، حوضه کویر لوت با توجه به وسعت زیاد آن و انطباق ویژگی‌های زمین‌شناسی آن با حداکثر ویژگی‌های پهنه مذکور برگزیده شد. وزندهی و پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش حوضه با توجه به متدولوژی ارائه شده انجام گرفت که نتایج آن در جدول ۳ آورده شده است. همه مراحل عملیات از جمله تعیین مساحت هر یک از رده‌ها با استفاده از نقشه‌های رقومی‌شده زمین‌شناسی و حساسیت به فرسایش و در محیط نرم افزاری GIS انجام شده است. بر اساس نتایج به دست آمده در حوضه کویر لوت بیش از ۸۲/۹ درصد واحدهای سنگ و خاک در رده ۶ تا ۱۰ قرار می‌گیرند که رده‌هایی با فرسایش‌پذیری متوسط تا فوق‌العاده زیاد هستند (جدول ۳). بنا بر این حوضه مذکور در رده حوضه‌های بسیار حساس به فرسایش قرار می‌گیرد. درصد واحدهای بسیار مقاوم به فرسایش حدود ۱/۶ درصد است و دیگر واحدها در رده‌های ۳ تا ۵ قرار می‌گیرند. نقشه خروجی پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش واحدهای سنگ و خاک حوضه کویر لوت در شکل ۲ آورده شده است. نتایج حاصل از روش پیشنهادی در این مقاله در حوضه کویر لوت با آمار واقعی رسوبدهی حوضه مقایسه و ارزیابی گردید. برآورد رسوبدهی ویژه حوضه مذکور که در جدول ۴ آورده شده است بیان‌کننده کارایی قابل قبول روش ارائه شده در برآورد منطبق با واقعیت حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش است. در این برآورد، حوضه مورد تحقیق در رده حوضه‌هایی با رسوبدهی ویژه بال (۳۰۰ تا ۴۰۰ تن/ کیلومتر مربع/ سال) طبقه‌بندی می‌شود.

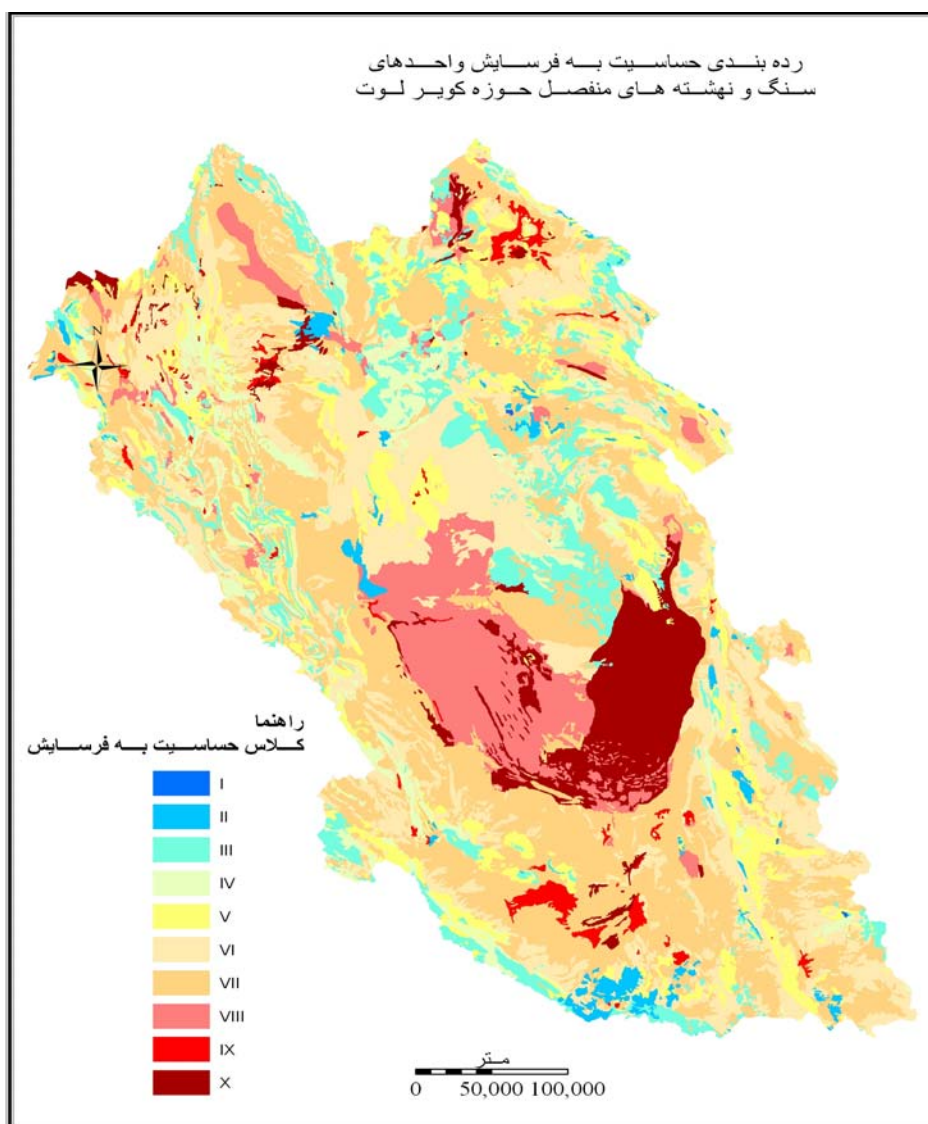
جدول ۳. درصد فراوانی رده‌های حساسیت به فرسایش واحدهای سنگ و خاک در حوضه کویر لوت

درصد فراوانی	مساحت به Km <sup>2</sup>	رده حساسیت به فرسایش
۰/۰۲	۳۹/۴۴	I
۱/۵۷	۳۲۵۴/۳۹	II
۸/۴۴	۱۷۳۸۴/۸۰	III
۵/۶۸	۱۱۶۹۴/۳۰	IV
۱/۳۷	۲۸۱۲/۵۴	V
۱۰/۰۴	۲۰۶۷۵/۱۰	VI
۲۳/۸۵	۴۹۱۳۱/۷۰	VII
۳۴/۲۵	۷۰۵۴۲/۵۰	VIII
۸/۴۱	۱۷۳۳۲/۶۰	IX
۶/۳۷	۱۳۱۲۶/۶۰	X
۱۰۰	۲۰۵۹۹۳/۹۷	جمع واحدها

جدول ۴. رسوبدهی ویژه حوضه‌های هیدرولوژیکی کشور (عرب خدری و همکاران، ۱۳۸۳)

رسوبدهی ویژه t / km <sup>2</sup> / year	حوضه‌های هیدرولوژیکی
۱۰۰ - ۲۰۰	گرگانرود - ارومیه - دریاچه نمک - مرزی غرب - قره قوم - کرخه - بختگان - گاوخونی
۲۰۱ - ۳۰۰	کارون و دز - شاپور و دالکی - مند و کل - ساحلی خزر و تالش
۳۰۱ - ۴۰۰	حوضه کویر لوت، کویر نمک، و کال شور - اترک - سفید رود - ارس
> ۷۰۰	جاز موریان، میناب، بلوچستان جنوبی، مارون و زهره

در نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که هر چند عقیده عمومی بر این است که عواملی مانند اقلیم بر میزان فرسایش و رسوب موثرند، ولی بررسی‌های انجام‌شده، ارتباط آماری معنی‌داری بین اقلیم و میزان فرسایش نشان نداده است. موضوع ارتباط بین میزان فرسایش و عواملی مانند بارش و دما هنوز به عنوان موضوعی بحث‌برانگیز در بین پژوهندگان مطرح است. به همین سبب در چنین شرایطی تکیه بر عامل مستقل ویژگی‌های مقاومتی و ذاتی، گزینه‌ای مطمئن در برآورد فرسایش‌پذیری واحدهای سنگ‌شناسی است. نتایج حاصل از ارزیابی روش ارائه‌شده در حوضه کویر لوت نیز مؤید این مطلب است.



شکل ۲. پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش واحدهای سنگ و خاک در حوضه کویر لوت

## منابع

۱. آفانباتی، علی، زمین‌شناسی ایران، سازمان زمین‌شناسی کشور، (۱۳۸۳) ۵۸۲ ص.
۲. پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، گزارش در دست چاپ پروژه ملی- تحقیقاتی سیمای فرسایش ایران (۱۳۸۴).
۳. شریعت جعفری، محسن و همکاران، بررسی فرسایش پذیری سازندهای زمین‌شناسی در ایران مرکزی، گزارش در دست چاپ، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری (۱۳۸۴).
۴. صداقت، محمود، معاریان، حسین، زمین‌شناسی فیزیکی، نشر دانشگاه پیام نور، (۱۳۸۱) ۷۰۴ ص
۵. عرب خدري محمود، و همکاران، گزارش طرح تحقیقاتی برآورد رسوبدهی ویژه در کشور، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری (۱۳۸۳).

۶. فیض‌نیا، سادات، مقاومت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ۴۷، (۱۳۷۴) ص ۹۵-۱۱۶.

7. Anon, The description of rock masses for engineering purposes. Working party report, Q.J. Eng. Geol., 10 (1977) 355-388.
8. D.U. Deere, R.P. Miller, Engineering classification and Index properties for intact rock, tech. Rep. No. AFWL-TR-65-116, Air Force Weapons Lab, Kirtland Air Base, New Mexico (1966).
9. J.A. Franklin, E. Broch, The point load Strength test; Int J. Rock Mech. Min. Sci, 9 (1972) 669-697.
10. N. Hovius, 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 (1998) 3-16.
11. J.D. Milliman, and J.P.M. Syvitski, Geomorphic/tectonic control of sediment discharge to the ocean: Journal of Geology, v. 100 (1992) 525-544.
12. C.S. Riebe, J.W. Kirchner, D.E. Granger and R.C. Finkel, Minimal Climatic Control on Erosion Rates in The Sierra Nevada, California, Geological Survey of America, Geology, v.29. no.5 (2001) 447-450.
13. M.A. Summerfield, and N.J. Hulton, Natural controls on uvial denudation rates in major world drainage basins Journal of Geophysical Research, Solid Earth, v. 99 (1994) 13 871-13883.
14. M.J. Selby, A rock mass strength classification for geomorphic purposes, with tests from Antarctica and New Zealand, Zeit, Fur Geom, N.F., No. 24 (1980) 3.
15. D.E. Walling, and B.W. Webb, Patterns of sediment yield, in Gregory, K.J., ed., Background to paleohydrology: Chichester, U.K., John Wiley and Sons (1983) 69-100.