# حساسیت ذاتی سازندهای زمین‌شناسی به هوازدگی و فرسایش درحوضه‌های 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 زمین شناسی 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، ٨٢/٩ 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 آ مار واقعی رسوب حوضه است، مقایسه شده است و نتایج تأیید کننده صحت و کارآیی خوب روش معرفی شده‌اند

## مقدمه

یکی از عوامل تعیین‌کننده در فرآیندهای هوازدگی 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 هوازدگی 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



Archive of SID
www.SID.ir

در اقلیم مرطوب با فراوانی آهن و آلومینیوم مشخص می‌شود و با شسته شدن محصولات کلسیمی و منیزیمی، خاک‌های اسیدی حاصل می‌شوند. همین ماده در اقلیم گرم، خاک سرخ لاتریتی ایجاد می‌کند[٤]. بنا بر این، علاوه بر نوع محصولات هوازدگی که تابع عوامل محیطی مانند اقلیم است، شکل فرآیند هوازدگی(فیزیکی، شیمیایی) نیز می‌تواند تابع عامل محیطی باشد.

تغییر عوامل محیطی مانند اقلیم، لرزه‌خیزی 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[٦] و به دلیل همین ویژگی، کارآیی طبقه‌بندی مبتنی بر ویژگی‌های ذاتی افزایش می‌یابد.

هوازدگی فیزیکی در مناطق خشک و نیمه‌خشک، مانند ایران مرکزی و هوازدگی شیمیایی در مناطق مرطوب مانند البرز شمالی غالب است و در حجم محصولات هوازدگی و فرسایش در دو اقلیم خشک و مرطوب در شرایط ذاتی مشابه، تفاوت محسوس نخواهد بود؛ آنچه متفاوت است، مکانیزم، شکل و نوع محصولات هوازدگی 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 هوازدگی 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 بحرانی۲۲- درجه سانتی‌گراد، اضافه حجم ناشی از یخ زدن یک لیتر آب در فضای خالی یک توده سنگ می‌تواند فشاری معادل۲۰۰۰کیلوگرم بر سانتی‌مترمربع ایجاد کند [٤]، 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. هوازدگی فیزیکی عامل شروع تخریب و هوازدگی شیمیایی، عامل تسریع خرد شدن مواد است. هوازدگی 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[٥] می‌توان چنین نتیجه گرفت که تأثیر اقلیم مرطوب درافزایش رسوب‌دهی ویژه حوضه‌ها به دلیل عمل‌کرد هم‌زمان دیگر عوامل حفاظت کننده محسوس نیست و حتی حوضه‌های مرطوب شمالی در مواردی نسبت به حوضه‌های واقع در اقلیم‌های خشک ونیمه‌خشک رسوب‌دهی ویژه کم‌تری دارند. بنا بر این هر چند به‌طور کلی عقیده بر این است که اقلیم بر میزان فرسایش مؤثراست، اما ارتباط بین میزان بارش، دما و میزان



Archive of SID

www.SID.ir

فرسایش، هنوز موضوعی بحث برانگیز و ابهام‌آور است. [بررسی میزان فرسایش بلند مدت عرصه‌های مختلف در کالیفرنیا (Sierra Nevada) با استفاده از رادیونوکلوییدها 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[۱] و ویب[۲] (۱۹۸۳)؛ میلیمن[۳] و سویتسکی[٤](۱۹۹۲)؛ هویس[٥](۱۹۹۸)؛ سامرفیلد[٦] و هولتن[۷](۱۹۹٤)) نیز به این موضوع اذعان داشته‌اند که اقلیم به تنهایی نقش تعیین کننده‌ای بر میزان فرسایش ندارد[۱۰]، [۱۱]، [۱۳]، [۱٥].

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[۸] و میلر[۹](۱۹٦٦)؛ فرانکلین[۱۰] و بروش[۱۱](۱۹۷۲)؛ آنون[۱۲](۱۹۷۷) و سلبی[۱۳](۱۹۸۰) نیزاستفاده شده است. داده‌های ارائه شده در این طبقه‌بندی‌ها چون بر مبنای اندازه‌گیری‌های 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 طویلی که به سمت غرب خمیدگی دارند قابل تقسیم به بلوک لوت، فرازمین (Horst) شتری، فرونشت (Graben) طبس، فرازمین کلمرد، بلوک پشت بادام، یزد وفروافتادگی 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 درپهنه 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(شکل۱).

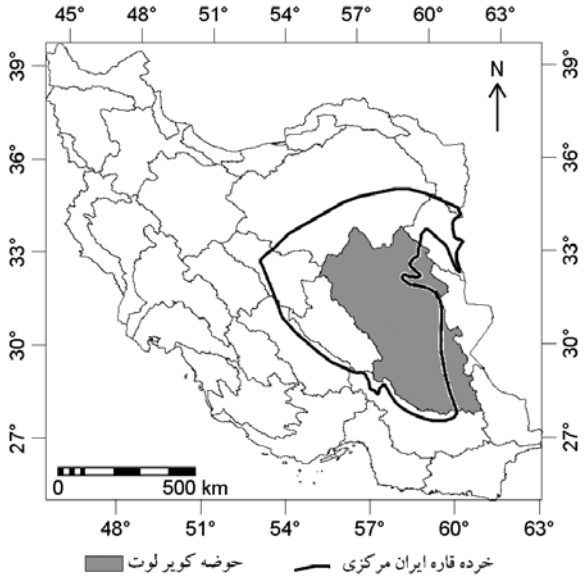
---

۱-Walling ۲-Webb ۳-Milliman ٤-Syvitski ٥-Hovius
٦-Summerfield ۷-Hulton ۸- Deer ۹-Miller ۱۰-Franklin
۱۱-Broch ۱۲-Anon ۱۳-Selby



Archive of SID

www.SID.ir




**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 آذرین بسیار ستبر(۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ متر) سنوزوییک را می‌توان نام برد[۱]. سنگ‌های آتشفشانی ترشیری به‌ویژه در ائوسن با ضخامتی حدود ۲۰۰۰متر 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 ازعوامل تعیین کننده در هوازدگی و فرسایش‌پذیری سنگ‌ها، ویژگی‌های ذاتی مواد تشکیل دهنده آن‌ها، شامل ترکیب کانی‌شناسی و بافت است که مستقل از محیط، عامل ایجاد مقاومت



Archive of SID
www.SID.ir

درونی ماده در برابر انفصال ذرات، تخریب و خاک‌سازی هستند. بنا بر این در طبقه‌بندی ارائه شده، جدول۱، 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 هوازدگی 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 متأثراز 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 ازنظر مقاومت ذاتی نسبت به سنگ‌های بازیک مانند گابرو دراین 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، آمفیبولیت، رادیولاریت، ماسه‌سنگ سیلیسی بسیار سخت را دربرمی‌گیرد. مجموعه چاپدونی در ایران مرکزی از این گروه است.



Archive of SID

www.SID.ir

**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 سیبزار و شتری در ایران مرکزی، از سازندهای شاخص در این گروهند.

**متوسط تا مقاوم (IV)**

این دسته شامل ریولیت، ایگنمبریت، کالردملانژ، توفیت، آهک‌های لایه‌ای، دولومیت لایه‌ای، ماسه سنگ با سیمان کلسیت، کنگلومرا و برش با سیمان آهکی و آگلومرا است. مجموعه بنه‌شور و جیرود در ایران مرکزی در این گروه واقع می‌شوند.

**متوسط (V)**

انواع توف، توف‌های شیشه‌ای، شیست 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 میکاشیست‌ها، برش با سیمان سست، ماسه‌سنگ سست، کنگلومرای سست، سیلتستون، مارن آهکی و شیلی قرار دارند. پادگانه‌های آبرفتی قدیمی سخت شده نیزدر 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، واریزه‌ها، کفه‌های رسی و نمکی و سیلآن‌های لغزشی را دربرمی‌گیرد.



Archive of SID

www.SID.ir

**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 | فوق‌العاده مقاوم به فرسایش | دیابا ز-بازالت متراکم-آپلیت دلریت | متاکوارتزیت | - | -- |
| II | بسیار مقاوم | بازالت-افیولیت گابرو- | میگماتیت، گنیس متراکم،مرمر،آمفیبولیت | رادیولاریت،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، کنگلومرا و برش سخت | - |
| IV | متوسط تا مقاوم | ریولیت،ایگنمبریت کالردملانژ، توفیت | - | آهک‌های لایه‌ای، دولومیت لایه‌ای، ماسه‌سنگ با سیمان کلسیت، کنگلومرا با سیمان آهکی، آگلومرا،برش با سیمان آهکی | - |
| V | متوسط | توف، توف‌های شیشه‌ای | شیست سبز فیلیت، اسلیت | آهک‌های نازک لایه، تراورتن،شیل سخت ،آهک مارنی- ماسه‌ای، کنگلومرا با سختی متوسط | - |
| VI | متوسط تا ضعیف | -- | میکاشیست | برش با سیمان سست ماسه‌سنگ سست کنگلومرای سست سیلتستون،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، کومرفت‌ها واریزه‌ها، کفه‌های رسی، نمکی سیلان‌های لغزشی |
| X | سست و منفصل | -- | -- | - | تلماسه‌های بادی ماسه‌های ساحلی نهشته‌های منفصل بستر رودخانه‌ها |



Archive of SID

www.SID.ir

**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 جدول۱ انجام شد و نتایج آن در جدول۲ ارائه شد. از ویژگی‌های معرف سازندها صرفاً به ذکر ضخامت و سن(آقانباتی،۱۳۸۳) اکتفا شده است.

**جدول۲. 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 میگماتیتی، بیشتر گنیس، همراه با مقدار قابل توجه گرانیت آناتکسی (ساغند-پشت بادام) | ٤٠٠٠ | پرکامبرین | II |
| **مجموعه بنه‌شورو** | تناوبی از شیست، آمفیبولیت، گنیس، کمی سنگ‌های کوارتزی و به ندرت مرمر (حاوی آمفیبولیت بسیار) | ٢٠٠٠ | پرکامبرین | IV |
| **تاشک** | پلیت‌های همگن، گریوک دانه‌ریز و ماسه‌سنگ آرکوزی که در اثر دگرگونی به شیست، فیلیت، اسلیت، میکاشیست و متاگریوک تبدیل شده | ٢٠٠٠ | پرکامبرین | V |
| **مجموعه پشت بادام** | توده‌های گرانیتی و سنگ‌های دگرگونی درجه بالا (آمفیبولیت، 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 | ٤٠٠ تا ٦٠٠ | پرکامبرین پسین | V |
| **سری د سو** | 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 |
| **سری‌راور** | آمیزه‌ای از ماسه‌سنگ سرخ، سنگ‌های تبخیری، دولومیت،سنگ آهک تیره و سنگ‌های آتشفشانی بازیک و اسیدی | -- | پرکامبرین پسین | VI |
| **درین** | شیل دولومیتی همراه گچ و تعدادی دایک و توده‌های کوچک دیاباز (مقطع تیپ درعقدا) | -- | پرکامبرین پسین | V |
| **هشم** | شیل کربناتی میکادار همراه با سنگ‌های آهکی نازک لایه | ١٨٠-١٥٠ | کامبرین | VI |
| **سری لاهو** | ماسه‌سنگ سرخ ارغوانی و میان لایه‌هایی از رس ماسه‌ای | ٤٠٠ | کامبرین | VII |
| **درنجال** | سنگ آهک‌های نازک لایه هوازده با میان لایه‌های مارن، سیلت‌سنگ | ٨٢٣ | کامبرین | VI |
| **کالشانه** | مجموعه درهمی از سنگ‌های رسوبی دولومیت،سنگ آهک، شیل، ماسه‌سنگ،گچ و سنگ‌های آتش فشانی (دیاباز) | ١٠٠٠ | کامبرین | V |



Archive of SID

www.SID.ir

**ادامه جدول ۲**

| سازند | لیتولوژی | ضخامت (متر)* | سن | حساسیت 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) | ٤٠٠ | کامبرین | VI |
| **پادها** | ماسه‌سنگ سرخ (ماسه‌سنگ‌های کوارتزی با میان لایه‌هایی از ماسه‌سنگ سرخ،شیل سرخ و یا گچ) | ٤٩٢ | دونین | IV |
| **سیبزار** | دولومیت خاکستری (ازیکوه) | ١٠٠ | دونین میانی | III |
| **بهرام** | سنگ آهک‌های آبی، خاکستری، سیاه با میان لایه‌هایی از شیل‌های مارنی تیره | ٣٠٠ | دونین میانی | IV |
| **شیستو ۱** | تناوبی از شیل سبز تیره، ماسه‌سنگ کوارتزی و سنگ آهک فسیل‌دار | ٣٢٦ | دونین بالایی | V |
| **شیستو ۲** | تناوبی از سنگ آهک خاکستری و شیل | ٢١٧ | کربنیفر | V |
| **جیرود** | ماسه‌سنگ- بازالت و آهک ماسه‌ای-کنگلومرا و سنگ آهک فسیل‌دار | ٧٦٠ | 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) | ٤٤٦ | سیلورین | IV |
| | ماسه‌سنگ سفید رنگ همراه با لایه‌های آهکی فسیل‌دار (درشیرگشت) | ٦٢٨ | سیلورین | |
| **سر در** | سازند آواری متشکل از نهشته‌های شیلی، ماسه‌سنگی ایران مرکزی (توالی شیل و ماسه‌سنگ) پوشیده شده با لایه‌های کوارتزیت سفید(طبس) | ٧٤ | کربنیفر | VI |
| **گچال** | سنگ آهک‌های لایه‌ای (٧٥ متر) همراه با میان لایه‌های صخره ساز ماسه‌سنگ کوارتزیتی و دولومیت‌های خاکستری (٩٠ متر)- نهشته‌های گچی (١٥٠ متر) و سنگ آهک‌های خاکستری (٩٨ متر) | ٤١٣ | کربنیفر | IV |
| **جمال** | نهشته‌های کربناتی پرمین (آهک و دولومیت) | ٤٧٣ | پرمین | IV |
| **سرخ شیل** | سنگ‌های شیلی- کربناتی تریاس | ١٢٢ | تریاس پایین | V |
| **شتری** | سنگ‌های دولومیتی تریاس، دولومیت‌های لایه لایه خاکستری، ریزدانه،متراکم، با فرسایش‌پذیری ناچیز، صخره سازه با سیمانی خشن | ٨٢٠ | تریاس میانی | III |
| **اسپهک** | سنگ آهک‌های ضخیم لایه سفید رنگ | ١٥٢ | تریاس میانی | III |
| **نایبند** | شیل- سیلت سنگ- سنگ ماسه و سنگ آهک مرجانی ریفی (هوازده) | ٢٠٠٠ | تریاس | VI |
| **آب حاجی** | شیل و ماسه‌سنگ سبز رنگ زغالدار، یک بخش ماسه‌سنگ کوارتزی پایه به ستبرای (٢٠ تا ١٨٠ متر) که بخش میانی آن کنگلومرا است | ٦٥٠ | ژوراسیک (پایین) | VI |
| **بادامو** | سنگ آهک اوولیتی آمونیت‌دار (گاهی همراه با تناوب شیل و ماسه‌سنگ) | ١٦٣ | ژوراسیک (میانی) | IV |
| **هجدک** | شیل و سنگ ماسه زغالدار | ١٠٠٠ | ژوراسیک (میانی) | VI |
| **پروده** | سنگ آهک خاکستری تیره، متراکم صخره ساز با لایه‌بندی ستبر و پایه کنگلومرایی به ضخامت ٧ متر) | ٤٦ | ژوراسیک (میانی) | III |
| **بغمشاه** | شیل، مارن‌های شیلی و مقدار کمی ماسه‌سنگ و سنگ آهک نرم و زودفرسا | ١٥٠٠-٤٩٦ | ژوراسیک (میانی) | VII |
| **اسفندیار** | عمدتاً سنگ آهک توده‌ای همراه با ماسه‌سنگ | ٦٩٠ | ژوراسیک بالا | IV |
| **قلعه دختر** | سنگ آهک نازک لایه(٣٢٢) متر- شیل مارنی ماسه‌ای و سیلتی (٤٥٨) متر- سنگ ماسه کوارتزی با چینه‌بندی متقاطع (١٩٤) متر | ٩٧٤ | ژوراسیک بالا | VI |
| **لایه‌های سرخ گره** | آواری‌های سرخ رنگ (کنگلومرا، ماسه‌سنگ آهکی و سیلت سنگ‌های سرخ تیره) | ٤٧٤ | ژوراسیک پایین | V |



Archive of SID

www.SID.ir

**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 ٤٦٠ | 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 (بافق) | ۲۰۰۰ تا ۳۰۰۰ | کرتاسه میانی | VII |
| **تفت** | سنگ آهک‌های اربیتولین‌دار ستبر لایه، خاکستری، ستیغ ساز با نمای لانه زنبوری و حفره‌های انحلالی | ٤۰۰۰ تا ٤۵۰۰ | 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 رودیسیت‌دار 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) | ٦۵ تا ۱۸۰ | کرتاسه بالایی | V |
| **نفوذ ی‌های ایران مرکزی** | - مونزوگرانیت زرند،گرانیت و دیوریت‌های ساوه- اشتهارد،گرانیت وگابرو شهر بابک- گرانیت جبال بارز | -- | ائوسن- الیگوسن | III |
| **قرمز پایینی** | مارن- ماسه‌سنگ- کنگلومرا- ژیپس- سنگ نمک- گدازه- سیلت- رس | ۱۰۰۰ | الیگوسن | VIII |
| **قم** | ۲۰-۳۰ تناوبی از مارن سیلتی، ماسه‌سنگ و آهک نازک<br>۸۵-٤۰متر کلسی رودایت وآهک توده‌ای<br>۰ تا ۲٦۰ مارن، مارن ماسه‌ای، ماسه‌سنگ، کنگلومرا و..<br>۲۰۰ تا ۳٦۰ تناوبی از بایواسپارودایت و مارن و آهک<br>٦ تا ۱۵۰ شیل، ماسه‌سنگ، ژیپس و لایه‌های آذرآواری<br>۵ تا ۱۰۰ مارن سبز، شیل آهکی و آهک ریفی<br>۲۰ تا ٤۰ ژیپس و کمی شیل<br>۸۰ تا ٦۵۰ مارن، ژیپس، میان لایه‌های آهک رسی<br>۱۸۰ تا ۳۲۰ آهک | ۱۲۰۰ | الیگوسن- میوسن | V |



Archive of SID

www.SID.ir

**ادامه جدول ۲**

| سازند | لیتولوژی* | ضخامت (متر)* | سن | حساسیت به فرسایش |
|---|---|---|---|---|
| **سازند سرخ بالایی** | ماسه‌سنگ، مارن، کنگلومرا و تبخیری واحد M1 | -- | اواخر میوسن | VII |
| **کواترنری** | تراس‌های آبرفتی و رودخانه ای قدیمی | | کواترنر | VI |
| **کواترنری** | کوهرفت‌ها، واریزه‌ها، کفه‌های رسی- نمکی، سیلاّن‌ها .. | | کواترنر | IX |
| **کواترنری** | تلماسه‌های بادی، ماسه‌های ساحلی،نهشته‌های منفصل ... | | کواترنر | X |

* لیتولوژی و ضخامت سازندها اقتباس از آقانباتی، ۱۳۸۳ است.

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

برای ارزیابی کارآیی 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 جدول۳ 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 درحوضه 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(جدول۳). بنا بر این حوضه مذکور در رده حوضه‌های بسیار حساس به فرسایش قرار می‌گیرد. درصد واحدهای بسیار مقاوم به فرسایش حدود ۱/۶درصد 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 شکل۲ 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 جدول۴ آورده شده است بیان کننده کارآیی 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 تا۴۰۰ تن/ کیلومتر مربع/ سال) طبقه‌بندی می‌شود.



Archive of SID

www.SID.ir

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

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

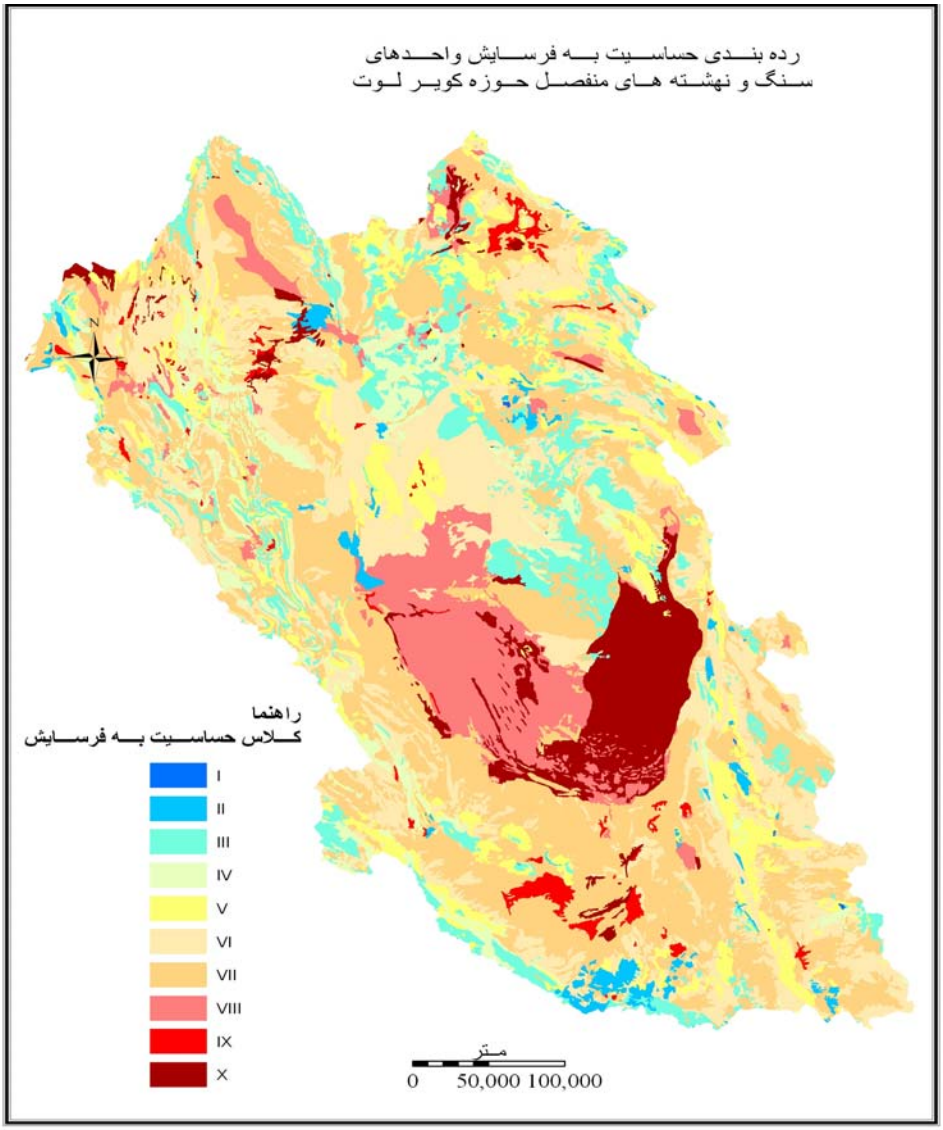
**جدول۴. رسوبدهی ویژه حوضه‌های هیدرولوژیکی کشور(عرب خدری و همکاران، ۱۳۸۳)**

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

در نتیجه‌گیری کلی می‌توان گفت که هر چندعقیده 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.



Archive of SID
www.SID.ir




**شکل۲. پهنه‌بندی حساسیت به فرسایش واحدهای سنگ و خاک در حوضه کویر لوت**

## منابع


۱. آقانباتی، 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 زمین شناسی در ایران مرکزی، گزارش در دست چاپ، پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری(۱۳۸۴).

٤. صداقت، محمود، معماریان، حسین، زمین شناسی فیزیکی، نشر دانشگاه پیام نور،(۱۳۸۱) ۷۰۴ص

٥. عرب خدری محمود، و همکاران ، گزارش طرح تحقیقاتی برآورد رسوب‌دهی ویژه در کشور ، مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری(۱۳۸۳).




www.SID.ir

٦. فیض‌نیا، سادات،مقاوت سنگ‌ها در مقابل فرسایش در اقالیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ٤٧، (١٣٧٤) ص ١١٦-٩٥.

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 denu- dation 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.



Archive of SID

www.SID.ir