ارزیابی اثر خصوصیات ساخت و بافت واحد های سنگی توده نفوذی الوند بر مقاومت رخنمون‌ها در برابر تخریب و هوازدگی

حسین بختیاری[۱]، دکتر ابراهیم مقیمی[۲]، دکتر محمد رضا ثروتی[۳]

۱ ـ دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاداسلامی واحد علوم و تحقیقات تهران
۲ ـ استاد دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران (نویسنده مسئول)
۳ ـ استاد دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی تهران

چکیده

توده نفوذی الوند یکی از بزرگترین توده‌های نفوذی در کمربند دگرگونی سنندج – سیرجان است. این مقاله با استفاده از روش ارزش عددی مقاومت نسبی رخنمون واحد های سنگی توده نفوذی الوند را براساس خصوصیات ساخت و بافت سنگ بکر در برابر تخریب و هوازدگی مورد ارزیابی قرار می دهد. بدین منظور ابتداً برخی از خصوصیات ساخت و بافت واحد های سنگی به عنوان معیار انتخاب و شاخص سازی شدند. سپس مقاومت نسبی رخنمون واحد های سنگی بر مبنای ارزش عددی ۱۰-۱ ارزیابی، و نقشه پهنه بندی مربوطه ارائه شده است. بر این اساس گرانیت پگماتیتی با ۳,۷۵ کمترین و اُلیوین گابروها با ۵,۵۷ بیشترین درجه مقاومت را دارند میانگین وزنی مقاومت سطح توده ۵,۱ تعیین شده. که نشان دهنده درجه مقاومت متوسط رخنمون‌ها در برابر تخریب و هوازدگی از نظر خصوصیات ساخت و بافت در بین سنگ‌های آذرین درونی است.

کلید واژه ها: توده نفوذی الوند، تخریب و هوازدگی، ساخت و بافت، مقاومت نسبی، روش ارزش عددی.

مقدمه:

اساس ژئومورفولوژی را بررسی تغییر شکل ناهمواریهای پوسته زمین و چگونگی شکل بندی روی آنها تشکیل می‌دهد. مواد، عوامل و زمان در این شکل بندی سه محور عمده محسوب می‌شوند؛ در چگونگی تأثیر عوامل در مواد سازنده ناهمواری‌ها در بعد زمانی ماهیت و ویژگی‌های سنگ نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کنند (رجائی، ۱۳۷۱ ص ۲۱). ویژگی‌های ذاتی مواد تشکیل دهنده سنگ‌ها، شامل ترکیب کانی شناسی و بافت است که مستقل از محیط، عامل ایجاد مقاومت درونی ماده در برابر انفصال ذرات، تخریب و خاک سازی هستند (شریعت جعفری و همکاران، ۱۳۸۵ ص ۷۱۲). بنابراین تشخیص ویژگی‌های مواد سنگی و نقش آنها در تحلیل عوامل مورفوژنیک، مرکز ثقل

ژئومورفولوژی دینامیک پیشرفته را تشکیل می دهند (رجائی، ۱۳۷۰ ص ٦٧)؛ دریسن و دوسار[1] (۲۰۰٤). معتقدند مطالعات سنگ نگاری نه تن‌ها اطلاعاتی در مورد ترکیب کانی شناسی و منشأ سنگ به دست می‌دهد، بلکه در ارزیابی دوام سنگ‌ها در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی نیز ابزاری مهم به شمار می‌آید (نیکودل و همکاران، ۱۳۸۹، ص ٤). از سوی دیگر تغییر عوامل محیطی مانند آب و هوا، لرزه خیزی و پوشش گیاهی در مقیاس حوضه‌های آب خیز کوچک عموماً کم و ثابت است و این در صورتی است که خصوصیات سنگ شناسی، می‌تواند حتی در حوضه‌های کوچک نیز متغیر باشد (فیض نیا، ۱۳۷٤ ص ۷۱۰). و در شریط محیطی یکسان تفاوت در ترکیب کانی شناسی سنگ‌ها ممکن است سبب پاسخ متفاوت به فرآیندهای هوازدگی شود (اُلوم،۲۰۱۰، ص ۱۰). همچنین عوامل محیطی و ثانویه، مانند آب و هوا بیش از آنکه نقش کلیدی در تولید رسوب داشته باشند، در تعیین نوع ویژگی‌های رسوبات ناشی ازهوازدگی و فرسایش مؤثرند (شریعت جعفری و غیومیان،، ۱۳۸۵ ص ۷۰۹)؛ که با تعیین نوع فرآیند هوازدگی (فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی) سبب می‌شوند از یک سنگ با ویژگی‌های ذاتی معین در اقلیم های گوناگون، حجم و نوع محصول متفاوت حاصل شود. در این مقاله با توجه به اهمیت ویژگی‌های سنگ شناسی در بررسی های ژئومورفولوژی پیشرفته و اهمیت مضاعف آن درحوضه های کوچک مقاومت نسبی واحد های سنگی توده نفوذی الوند در مقابل تخریب و فرسایش بر اساس ساخت و بافت مورد برسی قرار گرفته است. طبقه بندی سنگ‌های آذرین را می توان بر اساس ملاک‌های زیادی همچون بافت، اندازه بلور یا دانه، رنگ، کانی شناسی، ترکیب شیمیایی، نحوه تشکیل و منشأ انجام داد. (ویلسون،۲۰۱۰، ص ۷۷). و تاکنون روش های مختلفی برای طبقه بندی سنگ‌ها با مقاصد مختلف ارائه شده است. و برخی از این طبقه بندی‌های مرتبط با بررسی های ژئومورفولوژی می باشند. سلبی[2] (۱۹۸۰) طبقه بندی ژئومورفولوژی و درجه بندی مقاومت توده سنگ[3] را ارائه داده است در این طبقه بندی علاوه بر مقاومت سنگ بکر[4]، ویژگی‌های هوازدگی و ناپیوستگی ها نیز به صورت جداگانه بررسی و مورد توجه قرار گرفته‌اند (سلبی،۱۹۸۵، ص ۱۸۱). لیندسی[5] وهمکاران (۱۹۸۲)، رابطه بین خصوصیات سنگ‌ها و مقاومت در برابر هوازدگی را با توجه به ترکیب کانی شاسی، بافت، تخلخل و خصوصیات کلی (شامل: میزان جذب آب، مقاومت کششی، مقاومت به هوازدگی بخشی، تازه بودن سنگ و سختی و نرمی) همرا ه با رده بندی سنگ‌های شاخص در برابر هوازدگی ارائه کرده‌اند. که این طبقه بندی توسط چورلی و همکاران ۱۹۸۵ (چورلی و همکاران ۱۳۷۹، ص ۳۱)؛ و کوک و دورکمپ[6] ۱۹۹۳ (کوک و دورکمپ ۱۳۷۸، ص ۲۲۷)؛ نیز ارائه شده است. در این طبقه بندی سنگ‌های آذرین مقاوم و شاخص در برابر هوازدگی فیزیکی عبارتند از: گرانیت های ریز بلور، بعضی گرانیت های درشت بلور، ریولیت و گرانیت گنیسی، و سنگ‌های نامقاوم در این رابطه گرانیت دانه درشت می‌باشد. همچنین در برابر هوازدگی شیمیایی سنگ‌های گوناگون آذرین اسیدی، سنگ‌های کریستالیزه (متبلور)، ریولیت، گرانیت و گنیس گرانیتی به عنوان شاخص سنگ‌های مقاوم آذرین و سنگ‌های بازیک به عنوان سنگ‌های نامقاوم دسته بندی

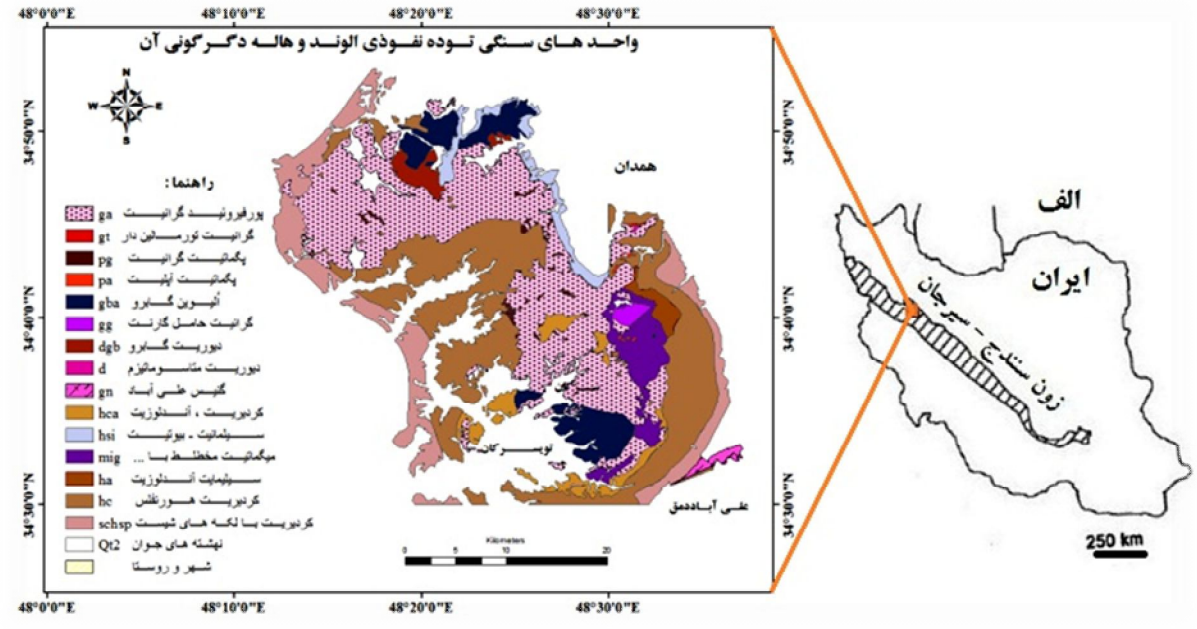
1 - Dreesen and Dusar 2004
2 - Selby
3 - Mass Rock
4 - Intact Rack
5 - lindsey
6 - Cook & Doornkamp

شده‌اند. در سال ۱۳۷٤ طبقه بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش ازسوی پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، ارائه شده است. که در تبیین این روش از مجموعه داده‌های تجربی ارائه شده در طبقه بندی‌های مهندسی سنگ مانند دیر و میلر[1](۱۹٦٦)، فرانکلین و برش[2](۱۹۷۲)، آنون[3] (۱۹۷۷) و سلبی (۱۹۸۰) نیز استفاده شده است داده‌های ارائه شده در این طبقه بندی‌ها چون بر مبنای اندازه گیری های آزمایشگاهی پژوهندگان معتبر جهانی است، در حال حاضر نیز در دنیا از مراجع معتبر و پذیرفته شده است (شریعت جعفری وهمکاران، ۱۳۸۵ ص ۷۱۱). در این طبقه بندی واحد های سنگی و خاک به ده رده مقاومتی X –I با عناوین توصیفی از رده فوق العاده مقاوم با فرسایش پذیری (I) تا کاملاً سست و منفصل با فرسایش پذیری (X) با ذکر سنگ‌های شاخص برای هر رده ارائه شده است. که در این رده بندی سنگ‌های آذرین درونی در سه رده بالای مقاومتی قرار می‌گیرند. فیض نیا و سادات (۱۳۷٤)، مقاوت سنگ‌ها در برابر فرسایش در اقالیم مختلف ایران، را ارائه کردند؛ و فیض نیا و زارع (۱۳۸۲)، از طبقه بندی سلبی به منظور بررسی حساسیت سازندهای زمین شناسی نسبت به فرسایش در حوزه آبخیز سد لتیان استفاده نموده‌اند. شریعت جعفری و غیومیان (۱۳۸٤)، طبقه بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش (ایران مرکزی– حوزه کویرهای درانجیر و ساغند) را ارائه داده‌اند. و در سال ۱۳۸۵، طبقه بندی حساسیت به فرسایش واحدهای سنگ و خاک بر مبنای ویژگی‌های ذاتی مواد شامل ترکیب کانی شناسی و بافت را در حوضه‌های واقع در پهنه رسوبی – ساختاری خرده قاره ایران مرکزی تدوین کرده اند. احمدی ۱۳٦۸، مقیمی و محمودی ۱۳۸۳، مقیمی ۱۳۸۹ و محمودی ۱۳۹۰، ضمن تقسیم سنگ‌ها به دو گروه سخت و سست از نظر مقاومت در برابر هوازدگی و فرسایش، معیارها و ویژگی‌های را که باید در تقسیم بندی فرعی ژئومورفولوژی سنگ‌ها در نظر گرفته شوند با ذکر مثال توضیح داده‌اند ولی طبقه بندی کمّی و یا نسبی با لحاظ کردن معیارها و ویژگی‌های ارئه شده از سوی آنها صورت نگرفته است.

مواد و روش

توده نفوذی الوند یکی ازبزرگترین توده‌های نفوذی در کمربند دگرگونی سنندج – سیرجان است (سپاهی، ۲۰۰۸، ص ۲۹۵). برونزد این توده با وسعتی در حدود ۳٦۲/۹۲ کیلومترمربع (بدون در نظر گرفتن نهشته‌های کواترنری) به طول ٤۰ کیلومتر در امتداد ۱۳۵ درجه، در مختصات: ′۱۲ °٤۸ تا ′۳۸ °٤۸ طول شرقی و ′۳۰ °۳٤ تا ′۵۲ °۳٤ عرض شمالی در استان همدان قرار دارد (شکل،۱). این توده نفوذی از دیدگاه زمین شناختی ساختاری (اشتوکلین، ۱۹٦۸ و نبوی، ۱۳۵۵)، تماماً در بخش شمال غربی زون سنندج – سیرجان واقع است (جداری عیوضی،۱۳۷٤، ۳٤ و ۳۹)، و از نظر توپوگرافی بخشی از پیش کوههای داخلی زاگرس محسوب می‌شود (علایی طالقانی،۲۳۵،۱۳۹۰)، بلندترین قله آن (قله یخچال) از نوع گرانیت پورفیروئید بیوتیت و گرونا دار است (زرعیان و همکاران، ۱۳۵۱)، که با ۳۵۸٤ متر ارتفاع در مختصات ″۱۲ ′۲۹ °٤۸ طول شرقی و ″۵۱ ′۳۹ °۳٤ عرض شمالی قرار دارد. پلوتونیسم الوند از کرتاسه میانی شروع شده و تا اوایل ترشیری (پالئوسن) ادامه داشته است (سپاهی گرو و معین وزیری، ۱۳۷۹) (شکل ۱).

[1] - Deer&Miller
[2] - Franklin&Broch
[3] - Anon



شکل ۱ الف- موقعیت توده نفوذی الوند در زون سنندج - سیرجان، ب- واحد های سنگی توده نفوذی الوند و هاله دگر گونی آن (منبع نقشه‌های چاپی زمین شناس ۱:۱۰۰۰۰۰ تویسرکان و همدان رقومی شده توسط نگارندکان)

در این تحقیق به منظور دست یابی به شاخص کمّی جهت تعیین مقاومت نسبی رخنمون واحدهای سنگی توده نفوذی الوند در برابر تخریب و هوازدگی بر اساس خصوصیات ساخت و بافت سنگ، ابتداً با بهره گیری از نقشه‌های منطقه، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای پراکندگی واحد های سنگی مشخص و به منظور تحلیل مکانی به محیط Arc GIS منتقل شده (شکل ۱). در مرحله بعد برخی از پارامترهای فیزیکی ساخت و بافت سنگ بکر که از دید ژئومورفولوژی در سختی یا سستی رخنمون سنگ‌های پلوتونیک نقش موثرتری دارند به عنوان معیار جهت ارزیابی انتخاب، و با توجه به اینکه هریک از معیار ها دارای شاخص های متفاوت و پیوسته ای جهت توصیف بوده و تأثیر متفاوتی در مقاومت رخنمون‌ها دارند (مثلاً رنگ سنگ می تواند تیره، روشن و یا خاکستری باشد) برای هر معیار سه شاخص با ارزش عددی ۱ تا ۳ تعریف شده است (جدول ۲) و ارزیابی مقاومت رخنمون واحد های سنگی با لحاظ کردن ارزش عددی شاخص ها برای هر معیار صورت گرفته است (جدول،٤). با توجه به اینکه جمع شاخص ها بین حداقل ۹ و حداکثر ۲۷ به دست می آید با استفاده از معادله خطی دامنه تغییرات به بازه ۱۰-۱ تبدیل و به عنوان درجه مقاومت از نظر خصوصیات ساخت و بافت سنگ در تحلیل و طبقه بندی رخنمون واحد های سنگی توده نفوذی الوند مورد استفاده قرارگرفته است.

تحلیل داده‌ها

خواص بافتی سنگ‌ها به طور عمده شامل اندازه دانه، شکل دانه، درجه درهم شدگی، رابطه نسبی بین دانه‌ها، تراکم سنگ، ضریب بافت، کانی‌های محتوی، مواد خمیره[1] و نوع آن، نوع سیمان ودرجه سیمان شدگی، تخلخل، رابطه بین مرز یا همبری[2] دانه‌ها وساختار پیوندی بین آنهااست (لیندکویست و کسن[3] ۲۰۰۵، ص ۵)، که جهت بررسی مقاومت سنگ‌ها باید صفحات ضعف، شکستگی‌های داخل سنگ و درجه آلتراسیون کانی‌ها را نیز به آن افزود (امانیان و همکاران، ۱۳۸٤ ص ٦٧). این ویژگی‌ها که عموما تابع ترکیب کانی شناسی و بافت است عمده عوامل مؤثر و تعیین کننده در پتانسیل هوازدگی و فرسایش پذیری سازندها می‌باشند (شریعت جعفری،۱۳۸٤). در جدول ۱، طبقه بندی خصوصیات سنگ‌ها ارئه شده است.

جدول ۱- طبقه بندی خصوصیات سنگ‌ها توسط اروسی و والر[4] ۱۹۹۵ (امانیان و همکاران، ۱۳۸٤).

خصوصیات بافتی	اندازه دا نه، شکل دا نه، درجه جهت یافتگی دانه، دانسیته دانه‌ها، خواص نسبی دانه‌ها، ضریب بافتی، میزان و نوع کانی‌ها، نوع ومواد ماتریکس، نوع سیمان ودرجه سیمانی شدن، تخلخل، مرزهای دانه‌ای یا روابط بین دانه‌ها، ساختار پیوندها.
خصوصیات مکانیکی	مقاومت، سختی، سایش، دانسیته.
خصوصیات ساختاری	درزه‌ها، شکستگی‌ها، کلیواژ، فولیاسیون، گسل‌ها، لایه بندی چین خورده، باند شدگی، شیب وامتداد.
خصوصیات هوازدگی	آلتراسیون و میزان آب.

از میان مهم‌ترین ویژگی‌های فیزیکی سنگ‌ها که در اعمال تخریب و هوازدگی نقش اساسی به عهده دارند می توان به رنگ، اندازه دانه‌های تشکیل دهنده سنگ، شکل ظاهری دانه‌ها، نسبت تراکم کانی‌ها، میزان نفوذپذیری آنها و سرانجام وجود درزه‌ها و شکاف‌های متعدد که به دلایل مختلف ایجاد شده‌اند اشاره کرد (محمودی، ۱۳۸۹، ص ۵) بنابراین در ژئومورفولوژی از نظر سنگ شناسی علاوه بر ترکیب کانی شناسی بیشتر خصوصیات ساخت و بافت سنگ مورد توجه قرار می‌گیرد، و تقسیم بندی سنگ‌ها در ژئومورفولوژی مبتنی بر نسبت مقاومت سنگ‌ها در برابر عوامل فرسایش است. هر چند مقاومت سنگ‌ها در ارتباط با عوامل مختلف فرسایش متغییر است، با این وجود چون نسبت مقاومت در ایجاد چهره ناهمواری دخالت محسوسی دارد، سنگ‌ها را به دوگروه سخت و سست تقسیم می‌کنند (محمودی،۱۳۹۰، ص ۷). و در تحقیقات ژئومورفولوژی با توجه به دو دسته اصلی سنگ‌های سخت و سست تقسیمات فرعی سنگ‌ها بر اساس معیارهای است که به طور مستقیم یا غیر مستقیم در سختی یا سستی سنگ‌ها دخالت دارند و در نوع واکنش سنگ‌ها در برابر فرسایش موثرند (محمودی ۱۳۹۰، ص ۷، مقیمی ۱۳۸۹، ص ۵۱، مقیمی و محمودی ۱۳۸۳، ص ۱۱۳)، در جدول ۲ برخی از معیارها و شاخص های که به طور متداول

[1] - Matrix material
[2] - Contact
[3] - Lindqvist and Åkesson 2005
[4] - Ersoy and Waller 1995

جهت تقسیمات فرعی سنگ‌ها آذرین درونی از نظر ژئومورفولوژی در منابع مختلف مورد توجه‌اند همراه با شاخص های تعریف شده برای آنها ارائه شده است.

جدول ۲- برخی از معیارها و شاخص های آنها که در تقسیمات فرعی سنگ‌های آذرین درونی در ژئومورفولوژی می توان مورد توجه قرار داد

ردیف	معیارها	شاخص مقاومتی		
		زیاد (ارزش عددی ۳)	متوسط (ارزش عددی ۲)	کم (ارزش عددی ۱)
۱	کانی‌های اصلی	۱ کانی	٤-۲ کانی	بیش از ٤ کانی
۲	رنگ	روشن	خاکستری	تیره
۳	اندازه دانه (بلور)	دانه ریز	دانه متوسط	دانه درشت و پگما تیتی
٤	نسبت ابعاد دانه‌ها	هم بُعد دانه (آپلیتی)	نیم هم بُعد دانه (گرانیتی)	نا هم بُعد دانه (پورفیروئید)
٥	شکل دانه (بلور)	شکل دار	نیمه شکل دار	بی شکل
٦	مرز بین دانه‌ها (همبری)	مضرس	منظم	نقطه‌ای
۷	عمق تشکیل	کم	متوسط	زیاد
۸	قدمت نسبی	کم	متوسط	زیاد
۹	نفوذ پذیری نسبی	کم	متوسط	زیاد

بر اساس شاخص‌های ارائه شده درجدول ۲، سنگ‌آذرین درونی که خصوصیات آن:. تنوع کانی کمتر، رنگ روشن، دانه‌های ریز، هم بعد دانه، شکل دار، مرز مضرس، با عمق تشکیل، قدمت و نفوذ پذیری کم، باشد مقاوم ترین سنگ از نظر خصوصیات ساخت و بافت در برابرتخریب و هوازدگی خواهد بود که جمع شاخص عددی آن ۲۷ به دست می آید و سنگی که عکس این خصوصیات را داشته باشد کمترین مقاومت را دارد و جمع شاخص عددی آن ۹ به دست می آید. باتوجه به اینکه مقیاس مقاومت سنگ‌ها، در رابطه با عرض جغرافیایی و زمان قابل تغییر می باشد (کک[1]،۱۳۷۰، ص ۲۳). در این مقاله معیارها بر اساس خصوصیات سنگ بکر انتخاب و تعریف شده‌اند. و از نقش ناپیوستگی ها و درزه‌های ایجاد شده با منشأ های مختلف و پروفیل هوازدگی در مقاومت رخنمون‌ها صرف نظر شده است. تفاوت عمده سنگ بکر با توده سنگ که یک سنگ بر جا است در ناپیوستگی ها و پروفیل هوازدگی می باشد (سینک و گویل[2]، ۱۳۸۲، ص ۱۵). در زیر ضمن شرح مختصری از نقش هر یک از معیارهای ارائه شده بر مقاومت رخنمون‌ها، به صورت موردی واحد های سنگی توده نفوذی الوند تعیین شاخص شده‌اند.

۱- کانی‌های اصلی سنگ[3]: ترکیب سنگ ممکن است از کانی‌های همگن یا نا همگن باشد، سنگ‌های نا همگن بیشتر در معرض تلاشی دمایی قرار می گیرند زیرا ضریب انبساط و انقباض در کانی‌های مختلف متفاوت است. همچنین ضریب انبساط خطی یک کانی معین نیز بر حسب جهت انتخاب شده در بلور فرق می‌کند، و هرگاه تغییر در درجه‌ی دما ادامه یابد، اختلاف میان ضرایب انبساط کانی‌های مختلف تشکیل دهنده سنگ موجب جدا شدن دانه‌های کانی از یکدیگر و تخریب سنگ می‌شوند. (قریب، ۱۳۷۲، ص ۲۹۳). البته هم جنس بودن کانی های یک سنگ ممکن است مثلاً در رابطه با انحلال پذیری نتیجه معکوسی داشته باشند (مقیمی و محمودی، ۱۳۸۳، ص ۱۱٦) در این تحقیق منظور از کانی های اصلی کانی های است که نسبت آنها در ترکیب سنگ ۵٪ و یا بیشتر باشد

[1] - Cque Roger
[2] - Singh & Ggoel, 1999
[3] - Mineral Content of the rock

(کانی های شاخص و عادی که در نام گذاری سنگ‌ها مورد استفاده‌اند). مثلاً منزوگرانیت های الوند تقریباً دارای ۳۵- ۳۰ درصد پلاژیوکلاز، ۳۵-۳۰ درصد ارتوکلاز میکروکلین، ۳۰- ۲۵ درصد کوارتز، ۱۰- ۵ درصد بیوتیت می باشند و کانی های فرعی آن عبارتند از زیرکن، آپاتیت، مسکویت، تورمالین، گارنت، و اُپک (کانی های تیره) (آلیان و همکاران، ۲۰۱۱، ص ۲۱۹۲)؛ و گرانیت های سفید شامل کوارتز (۳۵٪)، ارتوز (۲۰٪)، پلاژیوکلاز (۲۵٪)، کیانیت (۱۰٪)، مسکویت (۵٪)، می باشد (جعفرقلی زاده، ۱۳۸٦، ۱۵٦)؛ در ترکیب سنگ‌های توده نفوذی الوند کانی های اصلی معمولاً ٤ کانی و یا بیشتر می باشند.

۲- رنگ سنگ[1]: رنگ سنگ متأثر از ترکیب کانی شناسی سنگ است و عامل مهمی جهت گسیختگی سنگ به شمار می‌رود سنگ‌های تیره رنگ که به خوبی حرارت را در خود جذب می کنند بیش از سنگ‌های روشن به ترکیدن حساسیت دارند (درایو،۱۳۷۰، ص ۲۱). زیرا تنش‌های ناشی از جذب تابش خورشید در آنها شدیدتر است. سنگ‌های گرانیتی الوند معمولاً دارای رنگ خاکستری روشن تا سفید هستند (خانلری[2] و همکاران،۲۰۱۰، ص ٤۰۹). و سایر سنگ‌ها رنگ خاکستری تا خاکستری تیره دارند.

۳- اندازه دانه[3] (بلور) ها: هرچه دانه‌ها (بلورها) ریزتر باشند به طور طبیعی نسبت تراکم آن‌ها زیاد تر خواهد بود و بر عکس در بین دانه‌های درشت فضای خالی بیشتری وجود خواهد داشت بنا بر این سنگ‌های ریز دانه مقاومت بیشتری از سنگ‌های دانه درشت دارند (محمودی،۱۳۸۹، ص ۵)؛ انودرا وکومارا[4] (۱۹۸۰) نشان دادند که بین اندازه دانه و مقاومت سنگ‌های گرانیتی رابطه خطی و معکوس وجود دارد که با کاهش اندازه دانه‌ها، مقاومت سنگ افزایش می‌یابد (حافظی مقدس،۱۳۹۰، ص ۲۳۰)؛ در توده‌های نفوذی که در عمق به صورت فانرتیک متبلور شده باشند. میانگین اندازه دانه یا بلورهایشان بیش از ۵ میلیمتر (درشت دانه) بین ۵ - ۱ میلیمتر (متوسط) و ۱ - ۰/۵ میلیمتر (ریز دانه) می باشد (ویلسون[5]،۲۰۱۰، ص ۷۷)؛ بخش میانی توده الوند را گرانیت های پورفیروئید با فلداسپات های پتاسیک (میکروکلین) دانه درشت و بخش حاشیه آن دانه متوسط است (درویش زاده،۱۳۸۹، ص۳۱۰)؛ معمولاً قطردانه‌های سنگ‌های گرانیتی دانه درشت الوند بزرگتر از ۵ میلیمتر، و قطر کانی های گرانیت های سفید کمتر از ۵ میلیمتر است (جعفرقلی زاده، ۱۳۸٦، ص ۱۵٦). (شکل،۵).

٤- نسبت ابعاد دانه‌ها[6] (بلورها): منظور نسبت بین قطر دانه‌های تشکیل دهنده سنگ توأم با فراوانی آنها است، که براین اساس دانه‌های تشکیل دهنده سنگ را می توان به هم بعد دانه با مقاومت نسبی زیاد (آپلیتی)، نیم هم بعد دانه با مقاومت نسبی متوسط (گرانیتی) و نا هم بعد دانه با مقاومت نسبی کمتر (پورفیروئید) تقسیم کرد. که در دو حالت اخیرعلاوه بر ابعاد دانه‌ها فراوانی دانه نیز اهمیت می یابد. از این نظر حجم اصلی گرانیت های توده الوند را گرانیت های پورفیروئیدی با ترکیب گرانیت – گرانودیوریت، سینوگرانیت و مونزوگرنیت تشکیل می دهند (اشراقی، ۱۳۸۱).

---

1 - Color Rock
2 - Khanlari et al, 2010
3 - Grain size
4 - Anodera & Komera
5 - Wilson, J, R., 2010
6 - Grain geometry ratio

۵- شکل دانه[1] (بلور) ها: شکل بلورها شرایط مجاورت را در مجموعه‌های بلورین تعیین می‌کنند (کک[2]،۱۳٦۸، ص ۱۵۵) هماهنگی یا ناهماهنگی در شکل کانی ها در میزان اتصال و چسبندگی آنها به یکدیگر تأثیر فراوانی دارند (مقیمی و محمودی، ۱۳۸۳، ص ۱۱۵). و یک سنگ هر چه از کانی های متنوع‌تری تشکیل شده باشد از تنوع شکل و تخلخل بیشتری برخوردار خواهد بود (محمودی، ۱۳۸۹، ص ۵). معمولاً شکل دانه‌ها در گرانیت های درشت دانه و گرانیت های سفید الوند بی شکل (انهدرال[3]) می باشد (جعفرقلی زاده، ۱۳۸٦، ص ۱۵٦).

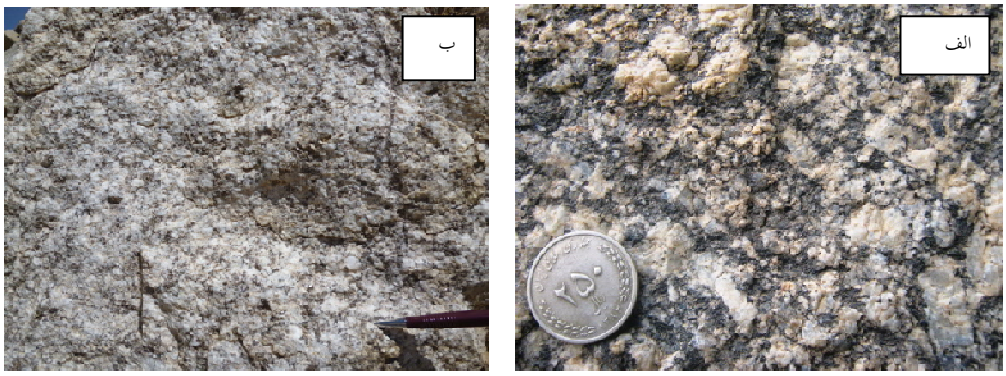
٦- مرز (همبری) دانه‌ها[4]: درهم شدگی دانه‌ها به حالت‌های مختلف مضرس[5]، منظم (مستقیم و یا محدب – مقعر) و نقطه‌ای دیده می شود. گسیختگی نمونه سنگ‌ها بیشتر در مرز دانه‌ها رخ می دهد (شکستگی های بین دانه‌ای) و کمتر در میان دانه‌ها ایجاد می شود (شکستگی های درون دانه‌ای)، لذا مرزهای نامنظم و درهم ایجاد شکستگی را مشکل نموده و افزایش تعداد مرزها باعث افزایش مقاومت سنگ می شود. و مرزهای مضرس باعث درهم شدگی بهتر و در نتیجه افزایش مقاومت و دوام سنگ خواهد شد (حافظی مقدس،۱۳۹۰، ص ۲۳۱). با توجه به اینکه کانی های تشکیل دهنده سنگ‌های توده نفوذی الوند اغلب فاقد شکل هندسی مشخصی هستند بنابر این همبری دانه‌ها (کانی ها) بیشتر به صورت مضرس است و کمتر مستقیم و یا نقطه‌ای می باشد (شکل،۲).

۷-نفوذ پذیری[6]: به طور کلی در یک قلمرو آب و هوایی معین، سرعت تجزیه سنگ‌ها و خرد شدن آنها با شکل نفوذ و تماس آب با دیواره‌ی کانی های تشکیل دهنده سنگ‌ها در ارتباط می باشد به علاوه خروج یونها و مولکول‌های حل شده کانی ها با جابه جای آب صورت می گیرد که به نفوذ پذیری سنگ‌ها بستگی دارد (رجائی،۱۳۷۰، ص ٤۸). بنابراین هر چه قابلیت نفوذ سنگ بیشتر باشد دسترسی مستقیم عوامل فرسایشی به کانی های تشکیل دهنده سنگ‌ها زیاد تر است و در نتیجه امکان تخریب و متلاشی شدن سنگ سریعتر فراهم می شود (مقیمی،۱۳۸۹، ص ۵۷)؛ درصد تخلخل و شاخص جذب سریع آب[7] (QAI) برای گرنیت های دانه درشت الوند در حالت بکر به ترتیب ۱/۳٦۲ و ۰/٤٦٤ و برای گرانیت های سفید ۰/۹۵۷ و ۰/۲۳۹ می باشد (قلی زاده (۱۳۸٦، ص ۱۵٦). و نفوذ پذیری گرانیت پورفیروئید دانه ریز بیوتیت و گرونادار الوند نیز توسط نگارندگان ۱/۰۳ درصد اندازه گیری شده. که با توجه به سایر خصوصیات ساخت و بافت، نفوذ پذیری نسبی واحد های سنگی توده نفوذی الوند در حالت‌های کم، متوسط و زیاد ارزش گذاری شده‌اند.

۸- قدمت سنگ[8]: قدمت زمین شناسی برونزد ها نشان دهنده مدت زمان تأثیر پذیری از عوامل دگرسان ساز در سطح یا نزدیک به سطح زمین است. طوری که برونزد توده‌های گرانیتی دوران اول یا دوم زمین شناسی، مورفولوژی متفاوتی را نسبت به گرانیت های کمتر دگرسان شده دوران سوم ایجاد کرده اند.

---

[1] - Grain shape
[2] - Coque Rojer
[3] - Anhedral
[4] -Grain boundary or grain contact relationships
[5] - Sutured
[6] - Permeability of the Rock
[7] - Quick Absorption Index
[8] - Rock Age



شکل ۲-الف: گرانیت پورفیروئید بیوتیت وگرونا دار دانه درشت، ب: گرانیت سفید (هلولوکوگرانیت) دانه ریز (نگارندگان)

همچنین با توجه به اینکه در طی دوره‌های زمین شناسی چرخه‌های فرسایشی سبب تظاهر قسمت های عمیق تر در سطح زمین می شود این برونزد ها هم از نظر ترکیب کانی شناسی و هم از نظر تنش فشاری ناشی از بار برداری حساسیت بالایی به تخریب و هوازدگی دارند در نتیجه در واحد های سنگی یکسان قدمت زمین شناسی برونزدها عاملی مهم در تخریب وهوازدگی محسوب می شود در جدول ۳، سن نسبی سنگ‌ها در توده نفوذی الوند ارائه شده است.

جدول ۳ – مجموعه سنگ‌های مافیک و حد واسط و فلسیک توده نفوذی الوند و سن نسبی آنها
(برگرفته از متن مقاله سپاهی گرو و معین وزیری، ۱۳۷۹).

سن نسبی	نوع سنگ	سنگ‌ها
زیاد	مافیک	اُلیوین، گابرو، گابرو نوریت، دولریت، دیوریت، کوارتزدیوریت، تونالیت
متوسط	حدواسط	مونزوگرانیت، سینوگرانیت، آلکالی فلداسپارگرانیت، گرانودیوریت، تونالیت (ترندومیت)، پگماتیت، آپلیت
کم	فلسیک	لوکو تونالیت، لوکو گرانودیوریت، لوکو کوارتز دیوریت، لوکو کوارتز مونزودیوریت

۹ – عمق تشکیل سنگ[1]: مقدار تنش‌های ذاتی موجود در توده سنگی واقع در محل طبیعی آن کمّیتی است که ممکن است در کمترین مقدار که صفر است تا مقادیر بزرگی در حد مقاومت سنگ متغیر باشد، از این رو ممکن است در ضمن بار برداری سطحی یا ایجاد فضا های عمقی اثر تنش‌های ذاتی به طور تخریبی پدیدار گردد. (وفائیان، ۱۳۸۷، ص ۲٤۰). بنابر این سنگ‌های که در عمق‌های متفاوت تشکیل شده‌اند به واسطه انجام فرسایش و برداشت بار[2] (سبک بارشدن) حساسیت های متفاوتی را نسبت به تخریب و هوازدگی نشان می دهند. در توده نفوذی الوند گابروها دارای منشاء گوشته‌ای با عمق متوسط اند، منشاء گرانیت ها پوسته قاره‌ای، احتمالاً گرانیتوئید های پروتروزوئیک و ارتوژنز هستند؛ و گرانیتوئید های لوکوکرات حاصل ذوب پوسته‌ای غنی از پلاژیوکلاز مانند تونالیت ها و رسوبا ت دگرگون شده‌اند. (شهبازی[3]،۲۰۱۰، ص ٦٦۹).

[1] - The depth formed rock
[2] - Unloading
[3] - Shahbazi,2010

بحث و نتیجه گیری

بر اساس معیار های ارائه شده و ارزش گذاری آنها (جدول ۲) واحد های سنگی توده نفوذی الوند در جدول ۳ مورد ارزیابی قرار گرفته اند. باتوجه به اینکه طبق شاخص های کمّی در نظر گرفته شده جمع ارزش‌های عددی برای کمترین و بیشترین مقاومت بین ۹ تا ۲۷ به دست می آید به منظورتسهیل در استفاده و انطباق نتایج حاصله با شاخص های که از سوی سایر محققین ارائه شده است، دامنه تغییرات با استفاده از رابطه ۱: به بازه ۱۰ – ۱ تبدیل و تحت عنوان درجه مقاومت نسبی رخنمون سنگ‌های آذرین درونی در برابر تخریب و هوازدگی در ستون آخر جدول ٤ آورده شده است.

رابطه ۱ $R_D = 9\ TS_I - 63/181$

در این رابطه R_D: معرف درجه مقاومت سنگ از نظر ساخت و بافت و TS_I :جمع شاخص مقاومت ساخت و بافت سنگ است. با توجه به یافته‌های تحقیق واحد های سنگی توده نفوذی الوند را از نظر مقاومت رخنمون‌ها در برابر تخزیب و هوازدگی با توجه به تأثیر پذیری از خصوصیات ساخت و بافت می توان در سه گروه طبقه بندی کرد، که نقشه پهنه بندی واحد های سنگی بر این اساس در شکل ۳ ارائه شده است. در طبقه اول با درجه مقاومت ٤ –۳، رخنمون واحد سنگی گرانیت پگماتیتی با مقاومت نسبی ۳/۷۵ قرار می گیرد، که به صورت رگه‌های پراکنده در داخل سایر واحد ها همراه با گرانودیوریت، آپلیت؛ گرانیت تورمالین و ... با برونزد در ۳٤ محدوده در وسعتی معادل ٦/۱ کیلومتر مربع (۱/٦۸ درصد از سطح توده) مشاهده می شود. بزرگترین محدوده این واحد سنگی به وسعت ۱/۲ کیلومتر مربع در مسیر رودخانه کرزان رود در شمال شرقی روستای گشانی در امتداد خط همبری بین آندلوزیت هورنفلس ها و گرانیت های پورفیروئید قرار دارد. در طبقه دوم با درجه مقاومت ۵ – ٤، رخنمون واحد های سنگی گرانیت پگماتیتی- آپلیتی در ۸ محدوده به وسعت ۰/۷٤ کیلومتر مربع و گرانیت گرونادار در یک محدوده به وسعت ٤/۳٦ کیلومتر مربع قرار می گیرند که در مجموع حدود ۱/٤ درصد از سطح توده الوند را در بر گرفته اند. و در طبقه سوم با درجه مقاومت ٦ — ۵، سایر واحد های سنگی توده نفوذی الوند شامل گرانیت های پورفیروئید به عنوان وسیع ترین رخنمون (شامل منزوگرانیت، گرانودیوریت، تونالیت و سینوگرانیت ها)، با برونزدی درحدود ۷۸/۸ درصد از سطح توده، گرانیت تورمالین دار، دیوریت گابروها، دیوریت-گابرو متاسوماتیزم، اُلیوین گابروها و دیگر واحد های سنگی قرار دارند. با تعیین درجه مقاومت واحد های مختلف سنگی و لحاظ کردن وسعت هر واحد، میانگین وزنی مقاومت سطح توده ۵/۱ به دست آمده که نشان دهنده مقاومت نسبی متوسط برونزد توده نفوذی الوند از نظر خصوصیات ساخت و بافت واحد های سنگی در برابر تخریب و هوازدگی در بین سنگ‌های آذرین درونی است. درجه مقاومت های به دست آمده برای واحد های سنگی توده نفوذی الوند در این تحقیق بیانگر مقاومت آنها با توجه به خصوصیات ساخت و بافتی است که به عنوان معیار تعریف و مورد ارزیابی قرار گرفته اند.

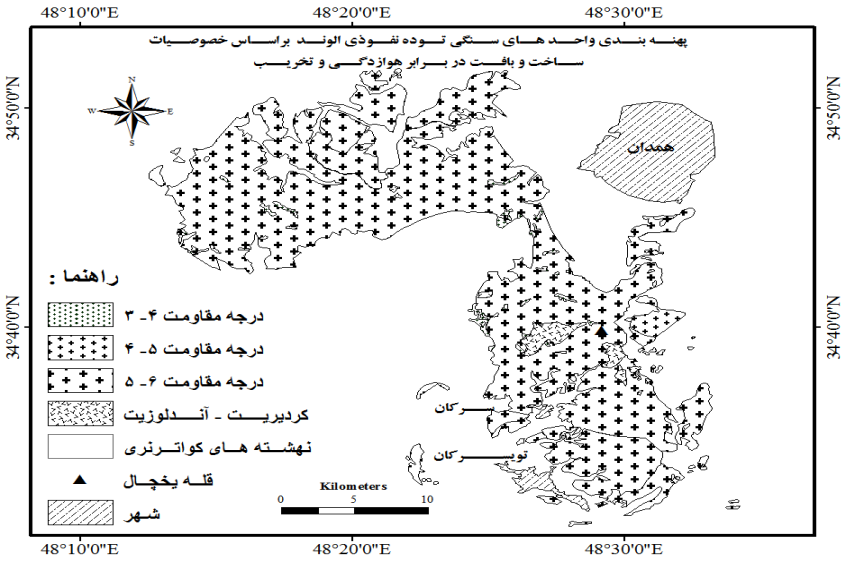
جدول ٤– ارزیابی و تعیین درجه مقاومت رخنمون واحد های سنگی توده گرانیتی ا لوند براساس خصوصیات بافت وساخت سنگ

ردیف	واحد های سنگی	مساحت به درصد	معیار ها و شاخص های مورد ارزیابی (خصوصیات بافت و کانی های اصلی ۳–۱	رنگ سنگ ۳–۱	اندازه دانه‌ها ۳–۱	ابعاد دانه‌ها ۳–۱	شکل بلور ۳–۱	همبری دانه‌ها ۳–۱	عمق تشکیل ۳–۱	قدمت سنگ ۳–۱	نفوذپذیری ۳ – ۱	شاخص مقاومت ۲۷ -۹	درجه مقاومت ۱۰–۱
۱	گرانیت های پورفیروئید (g^a).	۷۸/۸	۲	۲	۲	۱	۱	۳	۲	۲	۲	۱۷	۵
۲	الیوین گابرو، نوریتیک گابرو (gb^a)	۱٤/۸	۲	۲	۳	۳	۱	۳	۱	۱	۲/۵	۱۸/۵	۵/۷۵
۳	دیوریت گابرو، دیوریت و ... (d.gb)	۳/۲۱	۱	۲	۳	۳	۱	۳	۱	۱	۲/۵	۱۷/۵	۵/۲۵
٤	گرانیت پگماتیتی (pg)	۱/٦۸	۱	۲	۱	۱	۲	۲/۵	۲	۲	۱	۱٤/۵	۳/۷۵
۵	گرانیت گرونادار (g^g)	۱/۲۰	۱	۲	۲	۲	۱	۲/۵	۲	۲	۲	۱٦/۵	٤/۷۵
٦	پگماتیت– آپلیت (p^a)	۰/۲۰	۲	۲	۲	۱	۱/۵	۲	۱/۵	۲	۲	۱٦	٤/۵
۷	گرانیت تورمالین دار (g^t)	۰/۰۷	۲	/۵	۲	۲	۱	۲/۵	۲	۲	۲	۱۷	۵
۸	دیوریت متاسوماتیز م (d)	۰/۰۵	۲	/۵	۳	۲	۱	۳	۱	۱	۳	۱۷/۵	۵/۲۵

مطالعه و بررسی مقاومت این واحد ها از نظر ترکیب کانی شناسی و در نهایت پتروژئومورفولوژی توده توسط نگارندگان در مرحله پایانی است که نتایج اولیه نشان می دهد بین درجه مقاومت واحد های سنگی از نظر خصوصیات ساخت و بافت و ترکیب کانی شناسی رابطه خطی معکوس با ضریب همبستگی (۰/۷۵ = r) وجود دارد. به عنوان مثال رخنمون الیوین گابرو که از نظر ساخت و بافت در برابر تخریب و هوازدگی بیشترین مقاومت نسبی را در بین سایر رخنمون‌ها دارد از نظر ترکیب کانی شناسی با درجه مقاومت ۲ کمترین مقاومت را دارد وگرانیت پگماتیتی با درجه مقاومت ۸ از نظر ترکیب کانی شناسی از نظر ساخت و بافت دارای کمترین مقاومت است. با لحاظ کردن درجه مقاومت رخنمون‌ها از نظر خصوصیات ساخت و بافت و ترکیب کانی شناسی می توان مقاومت پتروژئومورفولوژی واحد های سنگی را جهت برآورد میزان تخریب و فرسایش در اجرای پروژه های آبخیز داری و عمرانی مورد استفاده قرار داد.

نتیجه گیری

در مطالعه و بررسی ژئومورفولوژی دینامیکی در مقیاس حوضه‌های کوچک که تغییر عوامل محیطی مانند آب و هوا، عموماً کم و ثابت است بررسی ماهیت و ویژگی‌های سنگ نقش بسیار مهمی را ایفا می‌کند زیرا ویژگی‌های ذاتی مواد تشکیل دهنده سنگ‌ها، شامل ترکیب کانی شناسی و بافت، مستقل از محیط عامل ایجاد مقاومت درونی سنگ در برابر انفصال ذرات و تخریب هستند. براین اساس در این مقاله نقش خصوصیات بافت و ساخت سنگ‌های آذرین درونی جهت تعیین درجه مقاومت رخنمون واحد های سنگی توده نفوذی الوند برمبنای ارزش عددی در بازه ۱۰–۱ مورد استفاده قرار گرفته اند.



شکل ۳- پهنه بندی مقاومت توده نفوذی الوند در مقابل تخریب و هوازدگی براساس خصوصیات ساخت و بافت واحد های سنگی

یافته‌های تحقیق نشان می دهندکه کمترین مقاومت مربوط به رخنمون واحد سنگی گرانیت پگماتیتی با درجه مقاومت ۳/۷۵ است و بیشترین مقاومت مربوط به رخنمون واحد سنگی اُلیوین گابرو با درجه مقاومت ۵/۷۵ می باشد. درجه مقاومت رخنمون واحد سنگی گرانیت های پورفیروئید به عنوان وسیع‌ترین واحدسنگی با برونزدی در حدود ۷۸/۸ درصد از سطح توده ۵ است. و میانگین وزنی درجه مقاومت برونزد توده با توجه به وسعت مختلف واحد های سنگی ۵/۱ به دست آمده است. براساس درجه مقاومت های به دست آمده واحد های سنگی توده نفوذی الوند در سه گروه با درجه مقاومت ٤-۳، ۵- ٤ و ٦-۵ طبقه بندی و نقشه پهنه بندی مقاومت رخنمون‌های واحد های سنگی بر اساس خصوصیات ساخت و بافت سنگ ارائه شده است. تعیین درجه مقاومت ذاتی سنگ‌ها ازنظرترکیب کانی شناسی و خصوصیات ساخت و بافت مستقل از سایر شرایط محیطی می تواند در مطالعه و بررسی های ژئومورفولوژی به ویژه در حوضه‌های کوچک از نظر تعیین فرسایش تفریقی اهمیت زیادی داشته باشد.

منابع

۱- اشراقی، صفرعلی و محمودی قاری، ۱۳۸۱، نقشه زمین شناسی تویسرکان و گزارش آن، سری ۱:۱۰۰۰۰۰، شماره برگ ٥٦٥٩، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، تهران

۲- اقلیمی، بهروز، ۱۳۷۹: نقشه زمین شناسی همدان و گزارش آن، سری ۱:۱۰۰۰۰۰، شماره برگ ۵۷۵۹، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.

۳- امانیان، مهدی و ناصرحافظی مقدس و همکاران، ۱۳۸٤، ارزیابی نقش ویژگی‌های پتروگرافی در دوام و مقاومت سنگ‌های آذرین (مطالعه موردی موج شکن شهید رجایی)، چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس، تهران، ص ۷۳-٦۰.

٤- جداری عیوضی، جمشید، ۱۳۸٤، ژئومورفولوژی ایران، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

۵- جعفرقلی زاده، هادی. مجتبی حیدری و غلام رضا خانلری، ۱۳۸٦، ارزیابی هوازدگی گرانیت های الوند همدان با استفاده از شاخصهای کمی، سومین کنفرانس مکانیک سنگ ایران، دانشگاه صنعتی امیرکبیر، تهران،، ص.۱٦۰-۱۵۵.

٦- حافظی مقدس، ناصر، ۱۳۹۰، زمین شناسی مهندسی، چاپ اول، انتشارات آرسس، مشهد.

۷- درایو، ماکس، ترجمه مقصود خیام، ۱۳۷۰، ژئومورفولوژی اقلیمی و دینامیک خارجی، چاپ اول، انتشارات نیما، تبریز.

۸- درویش زاده، علی، ۱۳۸۹، زمین شناسی ایران، چینه شناسی، تکتونیک، دگرگونی وماگماتیسم، چاپ چهارم، مؤسسه انتشارات امیر کبیر، تهران.

۹- رجائی، عبدالحمید، ۱۳۷۰، نقش نفوذپذیری سنگ‌های متصل در فرسایش دیفرانسیل و روش های تعیین آن، مجله دانشکده ادبیات و علوم انسانی دانشگاه تبریز، شماره ۱٤۰ و ۱٤۱، ص، ٦۹-٤۷، تبریز

۱۰- زرعیان، سیروس، عبدالحسین فرقانی و هاشم فیاض، ۱۳۵۱، توده نفوذی الوند و هاله‌ی دگرگونی آن، (قسمت سوم)، نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران، جلد چهارم شماره ۳، ص ۹۰-۸۲. تهران.

۱۱- سپاهی گرو، علی اصغر و حسین معین وزیری، ۱۳۷۹، مروری بر فازهای پلوتونیک رگه‌های موجود در مجموعه پلوتونیک الوند، نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران، جلد بیست و ششم شماره ۲. ص ۱۸٦-۱۷۵، تهران.

۱۲- سینگ، ب و ر، ک، گویل، ترجمه، رسول اجل لوئیان و داود محمدی، ۱۳۸۲، رده بندی توده سنگ، چاپ اول، انتشارات فن آوران، همدان.

۱۳- شریعت جعفری، محسن و جعفر غیومیان، ۱۳۸٤، طبقه بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش (ایران مرکزی- حوزه کویرهای درانجیر و ساغند)، چهارمین کنفرانس زمین شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، دانشگاه تربیت مدرس. ص ۱۱۹۰-۱۱۸۰، تهران.

۱٤- شریعت جعفری، محسن، جعفرغیومیان و حمیدرضا پیروان، ۱۳۸۵، حساسیت ذاتی سازندهای زمین شناسی به هوازدگی و فرسایش در حوضه‌های واقع در پهنه رسوبی - ساختاری خرده قاره ایران مرکزی، نشریه علوم دانشگاه تربیت معلم جلد ٦، شماره ۲، ص ۷۲۲-۷۱۰، تهران.

۱۵- علائی طالقانی، محمود، ۱۳۹۰، ژئومورفولوژی ایران، چاپ ششم، نشر قومس، تهران.

۱٦- فیض نیا سادات، ۱۳۷٤، مقاوت سنگ‌ها در برابر فرسایش در اقالیم مختلف ایران، مجله منابع طبیعی ایران، شماره ٤۷، صص ۱۱٦- ۹۵، تهران.

۱۷- قریب، عبدالکریم، ۱۳۷۲، شناخت سنگ‌ها با نگاهی ویژه به سنگ‌های ایران، چاپ اول، انتشارات و آموزش انقلاب اسلامی، تهران.

۱۸- کوک. آر. یو وجی. سی. دورکمپ، ترجمه، شاپور گودرزی نژاد، ۱۳۷۸، ژئومورفولوژی و مدیریت محیط، جلد دوم، انتسارات سمت، تهران.

۱۹- کک، رژه، ترجمه فرج الله محمودی،۱۳٦۸، ژئومورفولوژی جلد اول ژئومورفولوژی ساختمانی و دینامیک بیرونی، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.

٢٠- محمودی، فرج الله، ١٣٨٩، ژئومورفولوژی دینامیک، چاپ دوم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

٢١- محمودی، فرج الله، ١٣٩٠، ژئومورفولوژی ساختمانی، چاپ چهارم، انتشارات دانشگاه پیام نور، تهران.

٢٢- مقیمی، ابراهیم،١٣٨٩، ژئوموفولوژی ایران، چاپ اول، انتشارات دانشگاه تهران.

٢٣- مقیمی، ابراهیم و فرج الله محمودی، ١٣٨٣ روش تحقیق در جغرافیای طبیعی (ژئومورفولوژی)، چاپ اول، نشرقومس، تهران.

٢٤- نیکودل، محمدرضا، امین جمشیدی و ناصر حافظی مقدس، ١٣٨٩، همبستگی شاخص دوام با ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌های از سنگ‌های ساختمانی با تأکید بر تأثیر تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن، فصلنامه زمین شناسی ایران، سال چهارم شماره شانزدهم. ص ١٤-٣، تهران.

٢٥- وفائیان، محمود، ١٣٨٧، خواص مهندسی سنگ‌ها تئوری‌ها و کاربردهای اجرایی، چا پ سوم، انتشارات ارکان دانش، اصفهان.

26 - Aliani,Farhad, Zahra Sabouri and Mohammd Maanijou, 2011, petrography and Geochemistry of Porphyroid Granitoid Rocks in the Alvand Intrusive Complex, Hamadan (Iran), Australian Journal of Basic and Applied Sciences, 5(12), 2011,pp2192-2199.

27 - Heidari, M., Khanlari. G.R and Momeni, A.A, 2010, Weathering Indices and its Relation to Un iaxial Compressive. Strength of Hamadan Hololeucogranite Rocks in West of Iran.World Applied Sciences Journal, vol. 11(2), 2010, pp. 142,150.

28 - Khanlari, G, R., M Heidari and H. Jafar-Gholizadeh, 2010, Engineering Geological Assessment of Alvand Granitic Rocks. The1st International Applied Geological Congress Department of Geology Islamic Azad University- Mashhad Branch,IRAN,26-28 April, 2010,pp.408-413.

29 - Lindqvist, J, E., and U, Åkesson, 2005, Microscope Rock Texture Characteriza- tion and Simulation of Rock Aggregate Properties, SGU project 60-1362/2004, Project Report 1, Department of Civil & Environmental Engineering, Luleå University of Technology (LTU), pp.48.

30 - Olvmo, M, (2010): Review of denudation processes and quantification of weathering and erosion rates at a 0.1 to 1 Ma time scale, Technical Report,TR-09-18 University of Gothenburg, June 2010, pp. 56.

-31 - Selby, M.J, 1985, Earth changing surface and introduction to Geomorphology ,Published in the United States by Oxford university press, New York, PP.607.

32 - Sepahi, A. A, 2008, Typology and petrogenesis of granitic rocks in the Sanandaj-Sirjan metamorphic belt, Iran: with emphasis on the Alvandplutonic complex. N. Jb. Geol. Paläont. Abh, Stuttgart, vol. 247/3, March 2008, pp. 295–312

33 - Shahbazi, H., W, Siebe, M, Pourmoafee, M, Ghorbani and et al, 2010, Geochemistry and U–Pb zircon geochronology of the Alvand plutonic complex in Sanandaj–Sirjan Zone (Iran), New evidence for Jurassic magmatism. Journal of Asian Earth Sciences, No. 39, 2010, pp. 668–683.

34 - Wilson, J, R, 2010, Minrals and Rocks, Ventus Publishing Aps, ISBN 987 – 7681-647-6.