

ارزیابی اثر ترکیب کانی‌شناسی واحدهای سنگی توده نفوذی الوند بر مقاومت رخنمون‌ها در برابر هوازدگی و فرسایش

حسین بختیاری - دانشجوی دکترای ژئومورفولوژی، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران، گروه جغرافیای طبیعی
ابراهیم مقیمی* - استاد گروه جغرافیای طبیعی، دانشکده جغرافیا، دانشگاه تهران
محمدرضا ثروتی - دانشیار دانشکده علوم زمین، دانشگاه شهید بهشتی

پذیرش مقاله: ۱۳۹۲/۰۳/۰۷ تأیید نهایی: ۱۳۹۲/۰۹/۱۹

چکیده

توده نفوذی الوند، یکی از بزرگترین توده‌های نفوذی در کمربند دگرگونی سنندج - سیرجان است. این مقاله به ارزیابی اثر ترکیب کانی‌شناسی واحدهای سنگی بر مقاومت آنها در برابر هوازدگی و فرسایش پرداخته است. این کار با ارائه یک روش پیشنهادی، یعنی استفاده از نمودار QAPF انجام گرفته است. در این روش با توجه به فرارگیری کانی‌های کوارتز و فلدسپاتوئیدها در دو قطب مخالف نمودار و نقش تعیین‌کننده آنها در مقاومت رخنمون‌ها، ابتدا سطح نمودار QAPF به ده محدوده تقسیم و ارزش‌گذاری شد که ارزش هر محدوده به صورت نسبی، معرف تأثیر ترکیب کانی‌شناسی بر مقاومت سنگ‌های داخل آن در برابر هوازدگی و فرسایش است. سپس درجه مقاومت رخنمون واحدهای سنگی توده نفوذی الوند تعیین و ضمن طبقه‌بندی در چهار گروه، نقشه پهنه‌بندی مربوطه تهیه شده است. با تعیین درجه مقاومت کانی‌شناسی رخنمون واحدهای سنگی، می‌توان نقش ترکیب کانی‌شناسی را به صورت یک متغیر کمی در تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی برای تبیین فرم و فرآیندهای حاکم بر ناهمواری‌ها مورد توجه قرار داد.

کلیدواژه‌ها: توده نفوذی الوند، رخنمون، ترکیب کانی‌شناسی، درجه مقاومت، نمودار QAPF.

مقدمه

به طور کلی مقاومت رخنمون واحدهای سنگی با دو دسته از عوامل در ارتباطند، یکی ویژگی‌های سنگ‌شناسی شامل ترکیب کانی‌شناسی، بافت، صفحات ضعف، شکستگی‌های داخل سنگ، درجه دگرسانی کانی‌ها، درجه فشردگی سنگ، اندازه، میزان و جهت‌یابی حفره‌ها، درجه درهم‌شدگی دانه‌ها، میزان و نوع سیمان ماتریکس (در صورت موجود بودن) و

دیگری، عوامل و شرایط محیطی است که سنگ در آن قرار دارد (حافظی مقدس، ۱۳۹۰: ۲۲۹، به نقل از الوسی، ۱۹۹۴) و شامل شرایط اقلیمی، توپوگرافی، پوشش گیاهی و زمان می‌شود. نقش ویژگی‌های سنگ‌شناسی بر هوازدگی و فرسایش رخنمون‌ها را می‌توان با تعیین شاخص‌های کانی‌شناسی، پتروگرافی و مهندسی، مورد ارزیابی و بررسی قرار داد.

ترکیب کانی‌شناسی میزان حساسیت سنگ‌ها را در برابر کارکرد فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی مشخص می‌کند (محمودی، ۱۳۸۹: ۹)، بنابراین پایداری سنگ در برابر عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی، به مقدار زیادی به پارامترهای ذاتی سنگ، از جمله ترکیب کانی‌شناسی بستگی دارد و از آنجا که سنگ‌ها از کانی‌های متفاوتی تشکیل شده‌اند، دوام متفاوتی در برابر عوامل تخریب از خود نشان می‌دهند (نیکودل، ۱۳۹۰). برای مثال سنگ‌های آذرین حاوی کانی کوارتز (کانی پیونددهنده) بیشترین مقاومت را دارند (امانین، ۱۳۸۴)؛ زیرا کانی‌های کوارتز خیلی کم تجزیه شده و بسیار کند حل می‌شوند (درایو، ۱۳۷۰: ۳۰). همچنین با افزایش درصد کوارتز، روزنگی (تخلخل) سنگ آذرین کاهش می‌یابد و این امر به دلیل درجه درهم‌شدگی و قدرت پیوند بهتر کوارتز است (امانین، ۱۳۸۴). رنگ سنگ نیز که متأثر از ترکیب کانی‌شناسی سنگ است، در سطح زمین عامل مهم گسیختگی سنگ به‌شمار می‌رود. سنگ‌های تیره‌رنگ که به خوبی حرارت را در خود جذب می‌کنند، بیش از سنگ‌های روشن به گسیختگی یا ترکیدن حساسیت دارند (درایو، ۱۳۷۰: ۲۱). به‌طور کلی در سنگ‌های تیره، به دلیل تیرگی سیستم درزه‌های ناشی از حرارت، جذب انرژی تابشی خورشید بیشتر است (مقیمی، ۱۳۸۹: ۲۲۶) و چنانچه خورشید تابش یکسانی به یک سنگ آذرین داشته باشد، سنگی که سیلیس بیشتری دارد تغییر کمتری از خود نشان می‌دهد (مقیمی، ۱۳۸۷: ۱۴). عمل انحلال هم نسبت به کانی‌های سنگ بسیار نابرابر عمل می‌کند. از نظر دگرسانی نیز، فلدسپارها به سهولت دگرسان می‌شوند. میکروکلین که یک فلدسپار محتوی پتاس است، بیشتر مقاومت دارد و پلاژیوکلازهای دارای سدیم، مقاومت متوسطی را نشان می‌دهند؛ بر عکس پلاژیوکلازهای دارای کلسیم به سهولت تجزیه می‌شوند و احتمالاً علت آن ترکیب سیلیسیم و اکسیژن با پتاسیم است که از نظر الکتریکی قوی‌تر از کلسیم و سدیم است (درایو، ۱۳۷۰: ۲۴ - ۲۲).

برای طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین، اصول و قواعد بدون ابهامی برگرفته از خواص فیزیکی و شیمیایی آنها وجود دارد (لی باس، ۱۹۹۴) و این امر سبب شده است که در طبقه‌بندی‌های سنگ‌های آذرین، مباحث مختلفی اساس طبقه‌بندی قرار گیرند و امروزه تعداد این تقسیم‌بندی‌ها که با هم اختلاف جزئی دارند، بسیار زیاد است (سرابی، ایران‌پناه و زرعیان، ۱۳۸۵: ۷۰ و ۷۴). معمولاً سنگ‌های آذرین را براساس نوع بافت، اندازه بلورها، رنگ، کانی‌شناسی (به دو روش کمی و کیفی)، ترکیب شیمیایی، نحوه تشکیل و منشأ آنها می‌توان طبقه‌بندی کرد (نصر اصفهانی و احمدی، ۱۳۸۴: ۹۷)، اما در زمین‌شناسی روش واضح طبقه‌بندی دقیق و چشمی سنگ‌های آذرین، روش کانی‌شناسی و بافتی است (بَلت، تریسی و اونز، ۱۳۸۹: ۱۴۳) و به جرئت می‌توان گفت که بافت سنگ توأم با کانی‌های تشکیل‌دهنده آن، مهم‌ترین و مفیدترین راهنما برای شناسایی و طبقه‌بندی سنگ‌ها و اطلاع از نحوه تشکیل آنها است (سرابی، ایران‌پناه و زرعیان، ۱۳۸۵: ۳۸). بر این اساس است که در ژئومورفولوژی، سنگ‌ها را بر مبنای پایداری و نسبت‌های متفاوت واکنش در مقابل تخریب و فرسایش مورد بررسی قرار می‌دهند (مقیمی، ۱۳۸۹: ۵۳) که رابطه مستقیمی با ترکیب کانی‌شناسی و خصوصیات بافت و ساخت سنگ دارد.

تا کنون در ژئومورفولوژی طبقه‌بندی‌ای ارائه نشده است که به‌طور منحصر بر اساس تأثیر ترکیب کانی‌شناسی واحدهای سنگی بر مقاومت رخنمون‌ها در برابر هوازدگی و فرسایش صورت گرفته باشد و این نخستین بار است که نگارندگان برای تعیین درجه مقاومت سنگ‌ها در برابر هوازدگی و فرسایش از یک سیستم رده‌بندی استفاده می‌کنند که در زمین‌شناسی برای نام‌گذاری سنگ‌ها به کار می‌رود. در طبقه‌بندی‌های صورت‌گرفته در دانش ژئومورفولوژی، مانند سلبی (۱۹۸۰) و لیندسی، داسبرگ و والرینو (۱۹۸۲) که چورلی، شوم و سودن (۱۳۷۹: ۳۲-۳۱) و کوک و دورکمپ (۱۳۷۸: ۲۲۹-۲۲۷) نیز آن را ارائه دادند و طبقه‌بندی‌های مهندسی، مانند دیر و میلر (۱۹۶۶)، فرانکلین و برش (۱۹۷۲) و آنون (۱۹۷۷) و همچنین طبقه‌بندی حساسیت ذاتی واحدهای سنگ و خاک به فرسایش را که پژوهشکده حفاظت خاک و آب‌خیزداری کشور (۱۳۷۴) انجام داده است، طبقه‌بندی سنگ‌ها به صورت کلی و عمومی با منشأهای تشکیل مختلف، یکجا ارائه شده‌اند.

در این مقاله بررسی درجه مقاومت رخنمون واحدهای سنگی توده نفوذی الوند و طبقه‌بندی آنها بر مبنای ترکیب کانی‌شناسی سنگ بکر^۱ در برابر هوازدگی و فرسایش، از نظر ژئومورفولوژی مورد نظر است. تفاوت عمده سنگ بکر با توده‌سنگ^۲ که یک سنگ برجا شمرده می‌شود، در ناپیوستگی‌ها و پروفیل هوازدگی است (سینک و گوئل، ۱۳۸۲: ۱۵)، بنابراین در این مقاله از نقش درزه‌های ایجاد شده با منشأهای مختلف، ناپیوستگی‌ها و همچنین پروفیل هوازدگی در مقاومت رخنمون‌ها، صرف نظر شده است.

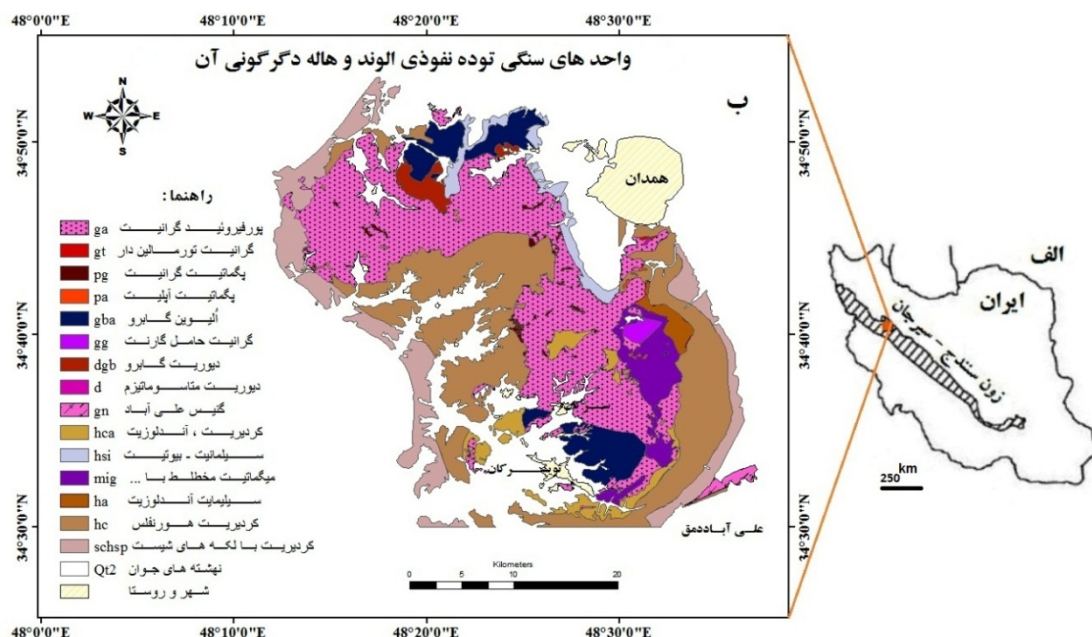
معرفی منطقه مورد مطالعه

توده نفوذی الوند یکی از بزرگترین توده‌های نفوذی در کمربند دگرگونی سنندج - سیرجان است (سپاهی، ۲۰۰۸). برونزد این توده با وسعتی در حدود ۳۶۲/۹۲ کیلومترمربع (بدون در نظر گرفتن نهشته‌های کواترنری) به طول ۴۰ کیلومتر در امتداد کلی شمال غربی - جنوبی شرقی در شمال غرب کشور، استان همدان بین شهرستان‌های همدان در شمال و توپسرکان در جنوب در مختصات ۴۸ درجه و ۱۲ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۳۸ دقیقه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۴ درجه و ۵۲ دقیقه عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱).

این توده نفوذی از نظر تقسیمات ساختمانی ایران (اشتوکلین و روتنر، ۱۹۷۲) و تقسیمات واحدهای ساختمانی - رسوبی ایران (نبوی، ۱۳۵۵)، به‌طور کامل در نیمه شمال غربی پهنه زمین‌ساختی سنندج - سیرجان واقع است (جداری عیوضی، ۱۳۷۴: ۳۹-۳۸) و از نظر توپوگرافی، بخشی از پیشکوه‌های داخلی زاگرس محسوب می‌شود (علایی طالقانی، ۱۳۹۰: ۲۳۵). بلندترین قله رشته‌کوه الوند (قله یخچال^۳ در نقشه زمین‌شناسی) از نوع گرانیت پورفیروئید بیوتیت و گرونادار است (زرعیان، فرقانی و فیاض، ۱۳۵۱ و مشاهدات نگارندگان، ۱۳۹۱) که با ۳۵۸۴ متر ارتفاع در مختصات ۴۸ درجه و ۲۹ دقیقه و ۱۰ ثانیه طول شرقی و ۳۴ درجه و ۳۹ دقیقه و ۵۱ ثانیه عرض شمالی در فاصله ۷/۵ کیلومتری در امتداد ۲۵ درجه از شهر سرکان قرار دارد.

1. Intact Rock or Rock Material
2. Mass rock

۳. این قله در نقشه توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰ با نام کوه بریه آمده است.



شکل ۱. الف) موقعیت توده نفوذی الوند در پهنه سنندج - سیرجان؛ ب) واحدهای سنگی توده نفوذی الوند و هاله دگرگونی آن
منبع: نقشه‌های چاپی زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ توبسرکان و همدان، رقمی‌شده در ArcGIS توسط نگارندگان

پلوتونیزم الوند از کرتاسه میانی شروع شده و تا اوایل تشریری (پالئوسن) ادامه داشته است (سپاهی و معین وزیری، ۱۳۷۹). به‌طور کلی توده نفوذی الوند متشکل از سه دسته سنگ‌های اصلی، شامل گابروها، گرانیت‌ها و گرانیتوئیدهای لوکوکرات است که به‌ترتیب گابروها در $1/8 \pm 165/5$ ، گرانیت‌ها در ۱۶۲ تا ۱۶۴ و گرانیتوئیدهای لوکوکرات بین ۱۵۳ تا ۱۵۴ میلیون سال قبل نفوذ کرده‌اند (شهبازی، ۲۰۱۰). مطالعات کانی‌شناسی، سنگ‌شناسی و ژئوشیمیایی نشان می‌دهد که گرانیتوئیدهای پورفیروئید الوند دارای ویژگی‌های نوع S هستند (آلیانی، صبور و معانی‌جو، ۲۰۱۱) و بر اساس ویژگی‌های ترکیبی سه دسته سنگ‌های اصلی، این توده متعلق به سه سری از ماگماهای مختلف است که منشأ آنها را می‌توان با فرآیندهای پترولوژیکی متفاوتی توضیح داد. گابروها دارای منشأ گوشته‌ای با عمق متوسط هستند، منشأ گرانیت‌ها پوسته قاره‌ای است و احتمالاً گرانیتوئیدهای پروتروزوئیک و ارتوژنز هستند و گرانیتوئیدهای لوکوکرات، حاصل ذوب پوسته‌ای غنی از پلاژیوکلاز، مانند تونالیت‌ها و رسوبات دگرگون شده‌اند. (شهبازی، ۲۰۱۰). در مجموعه پلوتونیک الوند، ماگماتیزم مافیک دوره زمانی طولانی‌تری دارد، ولی در برخی از دوره‌ها احتمال همپوشی زمانی بین برخی فازهای فلسیک و مافیک وجود داشته است (سپاهی، ۲۰۰۸).

بخش میانی توده الوند را گرانیت‌های پورفیروئید با فلدسپارهای پتاسیک (میکروکلین) دانه‌درشت تشکیل داده و بخش حاشیه آن دانه‌های متوسطی دارد که از نظر شیمیایی و کانی‌شناسی تفاوت زیادی بین آنها دیده نمی‌شود (درویش‌زاده، ۱۳۸۹: ۳۱۰). به‌طور کلی سنگ‌های گرانیتی الوند با دانه‌بندی ریز و درشت (قطر دانه‌ها ۲ تا ۵ میلی‌متر) معمولاً دارای رنگ خاکستری روشن تا سفید هستند. بر اساس مطالعات پتروگرافی، کانی‌های اصلی سنگ‌های الوند را پلاژیوکلاز (۲۵ درصد)، ارتوکلاز (۳۰ درصد)، کوارتز (۲۵ درصد)، بیوتیت (۱۵ درصد) و ۵ درصد کانی‌های دیگری چون

هورنبلند همراه با مقادیر کمی از آپاتیت، تیتانیم، زیرکون، اپیدوت و... تشکیل داده است (خانلری، حیدری و قلی‌زاده، ۲۰۱۰). سپاهی (۱۳۸۱) با ارائه شواهد پتروگرافی، مهم‌ترین سازوکار عمل‌کننده در جایگیری این توده نفوذی را، احتمالاً دیاپیرسم^۱ و بالونینگ^۲ متعاقب آن می‌داند. همچنین بررسی نقشه پراکندگی واحدهای سنگی (شکل ۱-ب) و انطباق آن با نقشه‌های توپوگرافی، نشان می‌دهد که حدود ۹ کیلومتر مربع از واحد کردیریت آندالوزیت‌ها و کردیریت هورنفلس‌ها (سنگ‌های دگرگونی)، در ۲۳ محدوده با وسعت‌های متفاوت بر سطح گرانیتهای پورفیروئید پراکندگی دارند که بیشتر بر رأس ارتفاعات منطبق هستند، به‌ویژه کوه تخت‌رضا، دره گوسالو، کوه نیلی و اودزه بزرگ (ارتفاعات گاوره در نقشه زمین‌شناسی) که می‌توان آن را دلیل دیگری از طی مرحله دیاپیرسم در جایگیری توده دانست (بررسی نقشه‌ها و مشاهدات نگارندگان، ۱۳۹۱). زرعیان، فرقانی و فیاض (۱۳۵۰)، وجود هورنفلس در رأس برجستگی‌ها را به صورت سرپوش دگرگونی فرسایش نیافته دانسته‌اند که قسمت‌های زیرین آنها از گرانیتهای شکل گرفته است.

مواد و روش‌ها

در این پژوهش جمع‌آوری داده‌ها به شیوه کتابخانه‌ای و میدانی (نمونه‌برداری و مشاهده) انجام گرفته و روش پژوهش توصیفی - تحلیلی بوده است. پس از بررسی منابع مرتبط، با استفاده از نقشه‌ها، عکس‌های هوایی و تصاویر ماهواره‌ای، پراکندگی واحدهای سنگی و محدوده آنها تعیین شد و به صورت موردی با نمونه‌برداری و مشاهدات صحرائی کنترل و به محیط ArcGIS منتقل شدند. در مرحله بعد با مطالعه و بررسی طبقه‌بندی‌های مختلف صورت گرفته برای سنگ‌های آذرین، از بین آنها رده‌بندی پیشنهادی اتحادیه بین‌المللی علوم زمین (IUGS)^۳، به دلایلی که در ادامه خواهد آمد، برای تعیین درجه مقاومت رخنمون واحدهای سنگی آذرین نفوذی انتخاب شد و با توجه به نقش تعیین‌کننده کوارتز (Q) در ترکیب سنگ‌های آذرین و تأثیر مستقیم آن بر افزایش مقاومت رخنمون‌ها در مقابل هوازدگی و فرسایش و همچنین نقش منفی فلدسپاتوئیدها (F) در این زمینه، سطح نمودار (QAPF)^۴ در حد فاصل دو رأس Q و F به ده محدوده تقسیم شد. محدوده‌ها از شماره ۱ تا ۱۰ ارزش‌گذاری شدند که این ارزش‌گذاری معرف درجه مقاومت هر محدوده (از نظر ارزش عددی) در مقابل هوازدگی و فرسایش است. در صورت تعیین درصد کانی‌های مشخص شده در نمودار QAPF و داشتن نام سنگ مطابق رده‌بندی IUGS، می‌توان درجه مقاومت نسبی سنگ مورد نظر را در بین سایر سنگ‌های آذرین درونی مشخص کرد. در این پژوهش، هر دو روش اشاره شده برای تعیین درجه مقاومت رخنمون واحدهای سنگی توده نفوذی الوند به کار گرفته شد که نتیجه آن نقشه پهنه‌بندی واحدهای سنگی توده نفوذی الوند از نظر درجه مقاومت در برابر هوازدگی و فرسایش است. آزمون روش با تحلیل مدل ارتفاعی رقومی توده و طبقه‌بندی شیب در دو واحد سنگی صورت گرفته است.

1. Diapirism
2. Ballooning
3. International Union of Geological Sciences

۴. کوارتز (Q = Quartz); آلکالی فلدسپار (A= Alkali Feldspar); پلاژیوکلاز (P= Plagioclase); فلد اسپاتوئید (F=Feldspathoids)

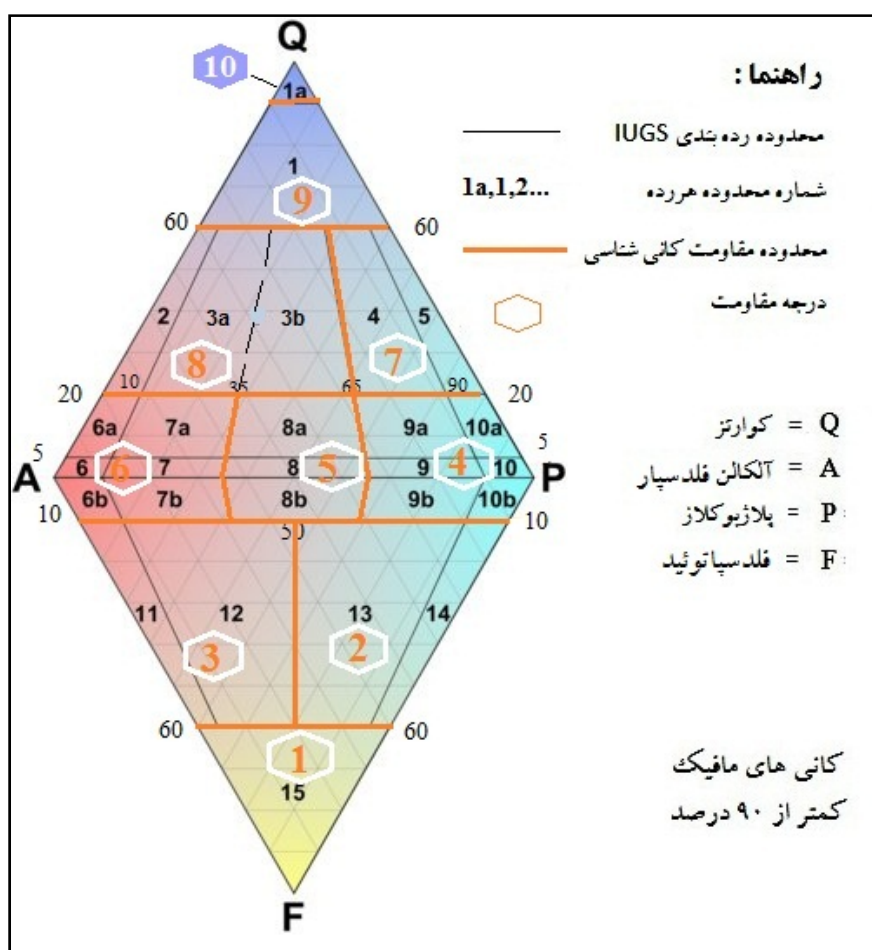
دلایل انتخاب و استفاده از سیستم رده‌بندی IUGS عبارتند از:

۱. این سیستم طبقه‌بندی جامع و مورد پذیرش همه است و در اکثر نقاط دنیا از سوی زمین‌شناسان و سنگ‌شناسان به کار برده می‌شود (مرتضوی راوری و پوستی، ۱۳۸۸: ۱۲۰):
 ۲. در این رده‌بندی، اساس نام‌گذاری سنگ‌های آذرین بر ویژگی‌های توصیفی و استفاده از خواص واقعی سنگ‌ها است (لی باس و همکاران، ۱۹۹۱):
 ۳. این رده‌بندی برای نام‌گذاری سنگ‌های آذرین در مقیاس ماکروسکوپی، نیازی به شناسایی نوع پلاژیوکلازها ندارد و در مورد تمامی سنگ‌های که به ظاهر آذرین هستند، بدون توجه به نحوه تشکیل آنها استفاده می‌شود (سرابی و همکاران، ۱۳۸۵: ۷۷):
 ۴. در مواقعی که مقطع نازک و دقیقی از یک نمونه در دسترس نباشد، نمودار طبقه‌بندی میدانی^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد که براساس طرحی ساده از نمودار QAPF برای نام‌گذاری سنگ‌های درشت‌بلور ارائه شده است. در این نمودار با تعیین نسبت‌های ظاهری کوارتز، آلکالی فلدسپار، پلاژیوکلاز و فلدسپاتوئید، می‌توان ارزیابی نسبتاً دقیقی از نمونه‌های دستی انجام داد؛ به‌گونه‌ای که اغلب سنگ‌های دانه‌درشت روی یکی از ده زمینه مختلف قرار می‌گیرد که در محدوده تقسیمات روی نمودار ساده QAPF مشخص شده است (گلسپی و استیلز، ۱۹۹۹: ۱۰).
- در واقع می‌توان گفت مبنای رده‌بندی سنگ‌های آذرین در نمودار QAPF، همانند سری واکنشی باون^۲ برپایه جدایش حرارتی است که سنگ دارای ترکیب کوارتز را از سنگ حامل فلدسپاتوئید جدا می‌کند. در این رده‌بندی سطح نمودار QAPF برای نام‌گذاری سنگ‌های آذرین درونی با سازند کانی‌های مافیک (M) کمتر از ۹۰ درصد، به ۲۶ محدوده تقسیم می‌شود (شکل ۲). محدوده مربوط به گرانیت را نیز در این رده‌بندی، می‌توان به دو محدوده سینو گرانیت و منزو گرانیت تقسیم کرد (گلسپی و استیلز، ۱۹۹۹: ۱۱-۱۰). نمودار از دو مثلث QAP و APF تشکیل شده است و نام‌گذاری سنگ‌ها در هر مثلث با توجه به تغییر نسبت کانی‌های مشخص شده رؤس هر مثلث و به صددرصد رساندن آنها ($Q + A + P = 100$ و / یا $F + A + P = 100$) تعیین می‌شود (همام، ۱۳۸۸: ۳۴). کانی‌های تعیین شده در رؤس هر مثلث، از نظر مقاومت در برابر هوازدگی و فرسایش ماهیت متفاوتی دارند و تغییر در نسبت هر یک از کانی‌ها، در ترکیب سنگ بر میزان تخریب و در نهایت، مقاومت و پایداری سنگ در مقابل هوازدگی و فرسایش منعکس می‌شود. برای مثال، در رأس دو مثلث با قاعده مشترک، دو کانی قطبی کوارتز (Q) و فوئیدها (F) واقع شده‌اند - که در سری واکنش ناپیوسته باون با شرایط تبلور و ساختمان بلوری متفاوت در جهت مخالف یکدیگر قرار دارند - از نظر پایداری در مقابل هوازدگی و فرسایش نیز، سنگ‌های نزدیک به هر یک از این قطب‌ها در مقابل هوازدگی حالت قطبی به خود می‌گیرند؛ به طوری که مقاوم‌ترین سنگ (کوارتزولیت) و حساس‌ترین سنگ‌ها (فلدسپاتوئیدها) را در مقابل هوازدگی و فرسایش تشکیل می‌دهند.

1. Field Classification

2. Bowen

در این روش مطابق با شکل ۲، سطح نمودار QAPF به ده محدوده از نظر تأثیر ترکیب کانی‌شناسی واحدهای سنگی بر مقاومت رخنمون آنها در برابر هوازدگی و فرسایش تقسیم شده‌اند و هر محدوده با عددی از ۱ تا ۱۰ ارزش‌گذاری شده است. برای سهولت در تعیین مقاومت سنگ‌ها، تلاش شد تا مرز محدوده‌های مقاومتی تعیین شده، بر مرز محدوده‌های نمودار QAPF و طرح ساده آن که برای طبقه‌بندی میدانی سنگ‌ها مورد استفاده است، منطبق باشد. با توجه به اینکه در نمودار QAPF، ۲۶ محدوده برای نام‌گذاری سنگ‌ها تعیین شده و همچنین ماهیت مقاومتی سنگ‌ها، ممکن است در هر یک از محدوده‌های مقاومتی تعیین شده یک یا بیش از یک بخش از نمودار QAPF قرار گیرد. تعیین درجه مقاومت رخنمون واحدهای سنگی از حساس‌ترین سنگ‌های آذرین در مقابل هوازدگی شیمیایی، یعنی فوئیدولیت‌ها با کمترین درجه مقاومت (۱) و در نظر گرفتن درصد بالای F و P و فقدان Q در ترکیب آنها آغاز شد و به نسبت کاهش P و F و افزایش A و Q، درجه مقاومت سایر محدوده‌ها به دست آمد؛ به گونه‌ای که در محدوده ۹، گرانودیوریت‌های غنی از کوارتز و در نهایت کوارتزولیت (سیلکسیت) که مقاوم‌ترین سنگ آذرین درونی در برابر هوازدگی از نظر کانی‌شناسی است با بیشترین درجه مقاومت (۱۰) جای گرفتند.



شکل ۲. نمودار QAPF برای رده‌بندی و نام‌گذاری سنگ‌های آذرین درونی در IUGS (منطبق بر نمودار گلوسی و استیلز، ۱۹۹۹) و تعیین محدوده و درجه مقاومت کانی‌شناسی سنگ‌ها در مقابل هوازدگی و فرسایش (نگارندگان).

در جدول ۱، طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین درونی بر اساس درجه مقاومت آنها از نظر ترکیب کانی‌شناسی در برابر هوازدگی و فرسایش مشخص شده است. چنانچه نام سنگ بر اساس رده‌بندی IUGS تعیین شده باشد، با استفاده از این جدول می‌توان درجه مقاومت آن را نیز از نظر ترکیب کانی‌شناسی مشخص کرد.

جدول ۱. نام‌گذاری سنگ‌ها با توجه به شکل ۲ (گلسپی و استیلز، ۱۹۹۹) و طبقه‌بندی و تعیین درجه مقاومت کانی‌شناسی با توجه به محدوده‌بندی انجام‌شده نگارندگان

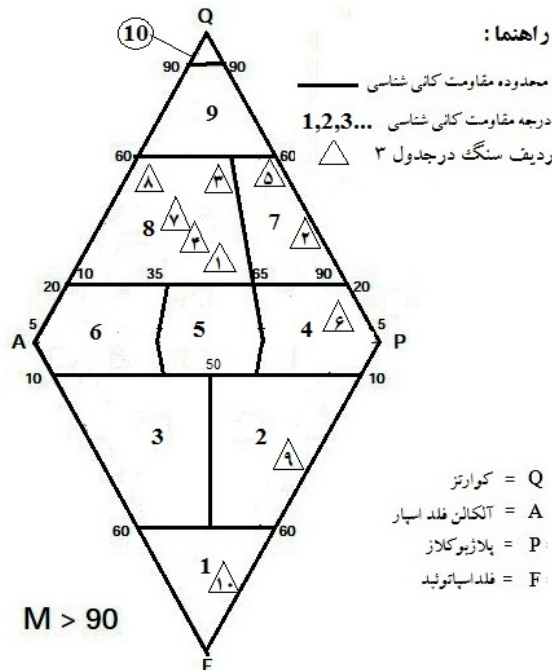
مقاومت کانی‌شناسی	شماره محدود و نام سنگ‌های آذرین درونی (بر اساس شکل ۲)
۱۰	۱۸. کوارتزولیت.
۹	۱. گرانیتوئیدهای غنی از کوارتز.
۸	۲. آلکالی فلدسپارگرانیت (قلیایی): ۳ا. سینوگرانیت؛ ۳ب. منزوگرانیت.
۷	۴. گرانودیوریت؛ ۵. تونالیت.
۶	۶ا. کوارتز آلکالی فلدسپار سینیت؛ ۶. آلکالی فلدسپار سینیت؛ ۶ب. آلکالی فلدسپار سینیت فوئیددار؛ ۷ا. کوارتز سینیت؛ ۷. سینیت فوئیددار.
۵	۸ا. کوارتز مونزونیت؛ ۸. مونزونیت؛ ۸ب. مونزونیت فوئیددار.
۴	۹ا. کوارتز منزودیوریت، کوارتز منزوگابرو؛ ۹. منزودیوریت، منزوگابرو؛ ۹ب. منزودیوریت فوئیددار، منزوگابرو فوئیددار؛ ۱۰ا. کوارتز دیوریت، کوارتز گابرو، کوارتز آنورتوزیت؛ ۱۰. دیوریت، گابرو، آنورتوزیت؛ ۱۰ب. دیوریت فوئیددار، گابرو فوئیددار، آنورتوزیت فوئیددار.
۳	۱۱. فوئید سینیت؛ ۱۲. فوئید منزو سینیت.
۲	۱۳. فوئید منزودیوریت، فوئید منزوگابرو؛ ۱۴. فوئید دیوریت، فوئید گابرو.
۱	۱۵. فوئیدولیت.

برای آزمون روش ارائه‌شده، ۱۰ عنوان از سنگ‌های توده نفوذی الوند را که به روش آنالیز مودال^۱ بررسی و نام‌گذاری شده‌اند (زرعیان، فرقانی و فیاض، ۱۳۵۱) انتخاب کرده و پس از محاسبه درصد کانی‌های آنها، براساس روش ارائه‌شده در سیستم رده‌بندی IUGS و با استفاده از نمودار QAPF، نام سنگ در این سیستم تعیین شده است (جدول ۲). با مشخص شدن نام سنگ در سیستم رده‌بندی IUGS، به دو روش می‌توان درجه مقاومت سنگ را از نظر ترکیب کانی‌شناسی در مقابل هوازدگی و فرسایش تعیین کرد. روش اول با جانمایی سنگ مورد نظر و استفاده از درصد کانی‌های محاسبه شده روی نمودار QAPF که در آن محدوده‌بندی مقاومتی ترسیم شده است، همانند روشی که نام سنگ تعیین می‌شود (شکل ۲). روش دیگر استفاده از جدول ۱ است که طبقه‌بندی سنگ‌های آذرین درونی بر اساس درجه مقاومت کانی‌شناسی در آن ارائه شده است. شکل ۳ جانمایی سنگ‌های نامبرده در جدول ۲ را روی نمودار QAPF برای تعیین درجه مقاومت از نظر کانی‌شناسی نشان می‌دهد.

جدول ۲. تعیین درجه مقاومت کانی شناسی ۱۰ عنوان از سنگ‌های توده نفوذی الوند در برابر هوازدگی و فرسایش

درجه مقاومت کانی شناسی	نام سنگ در سیستم IUGS	درصد کانی‌ها براساس				نام سنگ به روش مودال	ردیف
		$(F+A+P) / 100$ یا $(Q+A+P) / 100$					
		%F	%P	%A	%Q		
۷	گرانودیوریت اسفن‌دار	-	۴۲/۳	۲۳/۲	۳۴/۵	گرانیت پورفیروئید اسفن‌دار	۱
۷	تونالیت	-	۶۹/۷	۳/۷	۲۶/۶	دیوریت کوارتز و اسفن‌دار	۲
۷	گرانودیوریت روتیل‌دار	-	۳۳/۷	۱۶/۶	۴۹/۷	گرانیت پورفیروئید روتیل‌دار	۳
۸	منزوگرانیت بیوتیت‌دار	-	۲۹/۰	۳۰/۱	۴۰/۹	گرانیت پورفیروئید بیوتیت و گروندار	۴
۷	تونالیت (ترانجمیت)	-	۴۴/۵	۲/۱	۵۳/۴	گرانودیوریت گرونا و آندالوزیت‌دار	۵
۴	کوارتز دیوریت پیرکسن‌دار	-	۹۰/۹	۰/۸	۸/۳	دیوریت پیرکسن‌دار	۶
۸	منزوگرانیت دیستن‌دار	-	۲۱/۵	۳۶/۷	۴۱/۷	گرانیت دیستن‌دار	۷
۸	سینوگرانیت	-	۱۳/۲	۳۹/۲	۴۷/۶	گرانیت دارای دومیکا	۸
۲	فوئیددیوریت (ترالیت)	۴۶/۶	۵۲/۴	۰	-	دلریت اوژیت و هیپرستن‌دار	۹
۱	فوئیدیت ترا لیتی	۷۶/۶	۲۳/۴	۰	-	ملادلریت آلیون‌دار	۱۰

Q: کوارتز؛ A: آلکان فلدهسپار؛ P: پلاژیوکلاز؛ F: فلدهسپاتوئید



شکل ۳. جانمایی ۱۰ عنوان از سنگ‌های توده نفوذی الوند (جدول ۲) روی نمودار QAPF دارای محدوده‌بندی از نظر مقاومت کانی شناسی (نگارندگان)

تحلیل داده‌ها

در نقشه‌های زمین‌شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ توپسرکان و همدان، واحدهای سنگی توده نفوذی الوند با هشت نماد در ۱۰۰ محدوده مشخص شده‌اند که وسعت این محدوده‌ها بین حداقل ۰/۰۲ تا حداکثر ۲۵۶/۱۷ کیلومتر مربع متغیر است. نقشه‌های مورد استفاده در این پژوهش نیز، بر مبنای پراکندگی و ویژگی‌های این واحدها در محیط GIS تهیه شده که در جدول ۴ برخی از مشخصات این واحدها آمده است (شکل ۱-ب و جدول ۴). وسیع‌ترین واحد سنگی در توده نفوذی الوند با ۴۱ محدوده، به گرانیتهای پورفیروئید اختصاص دارد که بیشتر شامل منزوگرانیته و گرانودیوریت است. این واحد با وسعت ۲۸۶ کیلومتر مربع، در ۷۸/۸ درصد از سطح توده مشاهده می‌شود. ترکیب کانی‌شناسی این واحد سنگی با عنوان گرانیتهای پورفیروئید الوند در جدول ۳ آمده است.

جدول ۳. ترکیب کانی‌شناسی گرانیتهای پورفیروئید الوند

سنگ	ترکیب کانی‌شناسی			
	درصد پلاژیوکلاز	درصد بیوتیت	درصد کوارتز	درصد کانی‌های فرعی اورتوکلاز
گرانودیوریت	۳۰-۴۰	۱۰-۲۰	۲۵-۳۰	< ۲۰ آپاتیت، زیرکن، مسکویت، تورمالین، گارنت، آندالوزیت، سیلیمانیت و آپاک
منزوگرانیته	~۳۰-۳۵	~۵-۱۰	~۲۵-۳۰	~۳۰-۳۵ ارتوکلاز میکروکلین زیرکن، آپاتیت، مسکویت، تورمالین، گارنت و آپاک
سینوگرانیته	~۲۵-۳۰	~۱۰	~۲۵	~۲۵ فلدسپار پتاسیم زیرکن، آپاتیت، رتیل و مسکویت
آلکالی فلدسپار گرانیته	~۱۰	~۸	~۲۵-۳۰	~۴۵ ارتوکلاز میکروکلین آپاتیت، زیرکن، مسکویت و آپاک

برگرفته از آلبانی، صبوری و معانی‌جو، ۲۰۱۱

با توجه به اینکه واحدهای سنگی توده نفوذی الوند در نقشه‌های زمین‌شناسی، بر مبنای رده‌بندی IUGS نام‌گذاری شده است، بر اساس روش پیشنهادی و با استفاده از جدول ۱، درجه مقاومت نسبی رخنمون واحدهای سنگی از نظر تأثیر ترکیب کانی‌شناسی بر مقاومت آنها در برابر هوازدگی و فرسایش، تعیین و در جدول ۴ ارائه شده است. همچنین با مشخص کردن محدوده هر یک از سنگ‌های آذرین درونی نامبرده شده روی نمودار QAPF که در آن محدوده‌بندی مقاومت سنگ‌ها نشان داده شده (شکل ۲)، ضمن اینکه امکان تعیین درصد سه کانی تشکیل‌دهنده سنگ در دامنه تغییر معین وجود دارد، درجه مقاومت سنگ نیز از نظر تأثیر ترکیب کانی‌شناسی بر مقاومت رخنمون‌های آن مشخص می‌شود.

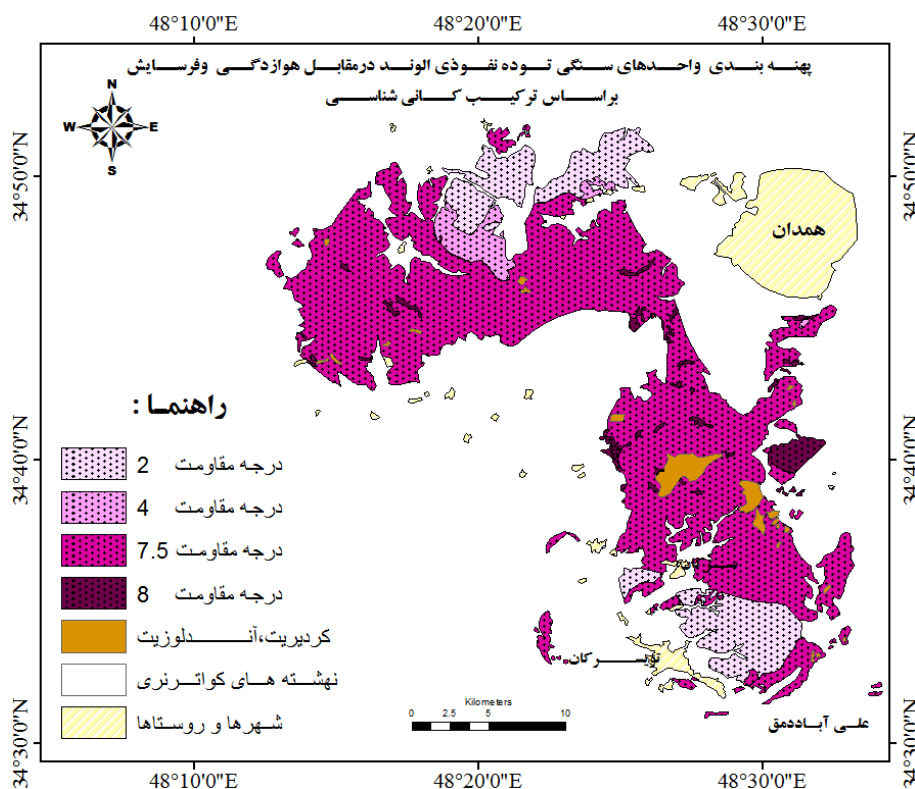
جدول ۴. برخی مشخصات واحدهای سنگی توده نفوذی الوند و تعیین درجه مقاومت کانی‌شناسی رخنمون آنها در برابر هوازدگی و فرسایش

ردیف	عنوان واحد سنگی در نقشه زمین‌شناسی	نماد در نقشه	مشخصات واحدهای سنگی			درجه مقاومت کانی‌شناسی
			تعداد محدوده	مساحت کل (km ²)	درصد مساحت در سطح توده	
۱	پورفیروئید گرانیت‌ها (شامل: منزوگرانیت بیوتیت‌دار، گرانودیوریت سینوگرانیت و تونالیت)	g ^a	۴۱	۲۸۵/۹	۷۸/۷۸	۷/۵
۲	الیوین گابرو، نورتیک گابرو، گابرو دگرگون شده، منزوگابرو، دیوریت، برش ماگمایی از گابرو و گرانیت.	gb ^a	۱۲	۵۳/۷۳	۱۴/۸۱	۲
۳	دیوریت گابرو، دیوریت، کوارتز دیوریت، سنگ‌های ریز گابرویی متداخل ga و pg	dgb	۲	۱۱/۶۴	۳/۲۱	۴
۴	پگماتیت گرانیت، گرانودیوریت، آپلیت؛ تورمالین گرانیت، گرافیک گرانیت... (هلولوکرات گرانیت)	pg	۳۴	۶/۱	۱/۶۸	۸
۵	گرانیت گرونادار	g ^g	۱	۴/۳۶	۱/۲۰	۸
۶	پگماتیت آپلیت گرانیت	p ^a	۸	۰/۷۴	۰/۲۰	۸
۷	گرانیت تورمالین‌دار (لوکسولیانیت)	g ^t	۱	۰/۲۷	۰/۰۷	۸
۸	دیوریت متاسوماتیزم شده، گابرو، متابازیت‌ها	d	۱	۰/۱۸	۰/۰۵	۴
	جمع		۱۰۰	۳۶۲/۹۲	٪۱۰۰	

منبع: نقشه رقمی شده توده نفوذی الوند، توسط نگارندگان، برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی همدان و تویسرکان

بر اساس درجه مقاومت تعیین شده برای واحدهای سنگی توده نفوذی الوند (جدول ۴) از نظر تأثیر ترکیب کانی‌شناسی بر مقاومت رخنمون‌ها، می‌توان واحدهای سنگی این توده را در چهار گروه طبقه‌بندی کرد. در گروه اول رخنمون‌های واحد سنگی الیوین گابرو با درجه مقاومت ۲ با توجه به ترکیب فوئیدی آن قرار می‌گیرد که کمترین درجه مقاومت را نسبت به رخنمون سایر واحدهای سنگی دارند. این واحد سنگی که در جدول ۴ سنگ‌های همراه آن نیز مشخص شده است، ۱۴/۸۱ درصد از سطح توده را دربرمی‌گیرد. دومین گروه از نظر مقاومت کانی‌شناسی در برابر هوازدگی و فرسایش رخنمون واحدهای سنگی، دیوریت گابرو، دیوریت، کوارتز دیوریت و دیوریت متاسوماتیزم با درجه مقاومت ۴ هستند که در مجموع ۳/۲۶ درصد سطح توده را شامل می‌شوند. در سومین گروه، واحد سنگی پورفیروئید گرانیت‌ها (بیشتر شامل منزوگرانیت، گرانودیوریت، سینوگرانیت و تونالیت) قرار دارند که ۷۸/۸ درصد از سطح توده را دربرمی‌گیرند و روی نقشه‌های زمین‌شناسی به صورت تفکیک‌نشده با عنوان پورفیروئید گرانیت - گرانو دیوریت با اگزئولیت و اگزئوکریست فراوان از سنگ‌های متامورفیک و توده‌های کوچک گابرویی مشخص شده‌اند. این سنگ‌ها در محدوده‌بندی مقاومتی انجام‌شده روی نمودار QAPF، در دو محدوده مقاومتی ۷ و ۸ قرار دارند، بنابراین درجه مقاومت این واحد به‌طور متوسط ۷/۵ تعیین شده است. در چهارمین گروه این طبقه‌بندی، مقاوم‌ترین رخنمون‌ها در برابر هوازدگی و فرسایش با درجه مقاومت ۸ قرار می‌گیرند که شامل واحدهای سنگی پگماتیت گرانیت، پگماتیت آپلیت گرانیت، تورمالین گرانیت و گرانیت‌های گرونادار است و در مجموع در ۳/۱۵ درصد از سطح توده برونزد دارند. پگماتیت گرانیت‌ها،

همراه با گرانودیوریت، آپلیت؛ تورمالین گرانیت و... در ۴۳ محدوده به صورت رگه‌های پراکنده در داخل سایر واحدهای سنگی مشاهده می‌شوند. گرانیت گرونادار در حاشیه شرقی توده نفوذی الوند در یک محدوده به وسعت ۴/۳۶ کیلومتر مربع با میگماتیت‌ها احاطه شده که دو مرحله دگرگونی دینامیکی و دگرگونی حرارتی را تحمل کرده (اقلیمی، ۱۳۸۱) و سبب مقاومت زیاد آن از نظر بافت و ساخت سنگ شده است. بر اساس طبقه‌بندی صورت گرفته، نقشه پهنه‌بندی واحدهای سنگی توده نفوذی الوند از نظر تأثیر ترکیب کانی‌شناسی واحدهای سنگی بر مقاومت رخنمون‌ها در شکل ۴ ارائه شده است.

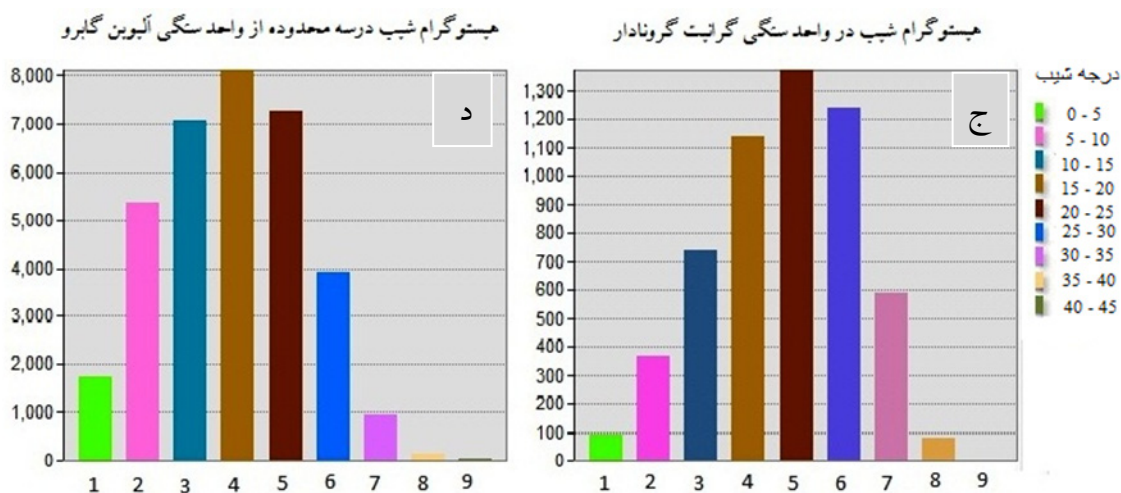
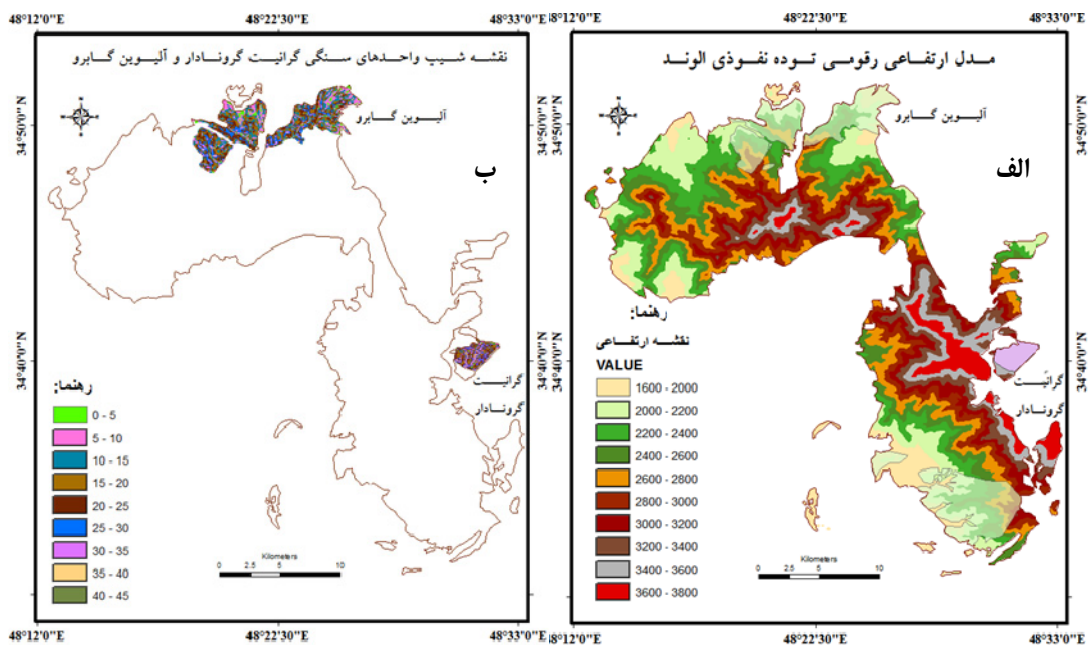


شکل ۴. پهنه‌بندی واحدهای سنگی توده نفوذی الوند بر اساس تأثیر ترکیب کانی‌شناسی بر مقاومت رخنمون‌ها در برابر هوازدهی و فرسایش

منبع: نقشه رقمی شده توده نفوذی الوند توسط نگارندگان، برگرفته از نقشه‌های زمین‌شناسی همدان و تویسرکان

به منظور مشخص کردن کاربرد نتایج حاصل از روش ارائه شده در تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی و هیدرولوژی، مدل ارتفاعی رقمی توده نفوذی الوند در شکل ۵- الف نمایش داده شده است. در این نقشه آلیوین گابروها که دارای درجه مقاومت ۲ هستند با اینکه در مجاورت بلافاصله گرانیت‌های پورفیروئید قرار دارند، اما حداکثر ارتفاعی که ایجاد کرده‌اند ۲۷۳۰ متر است (مانند شرق تویسرکان) که حساسیت و فرسایش‌پذیری بیشتر این سنگ‌ها در مقایسه با واحدهای سنگی مجاور، در کنار سایر عوامل تأثیرگذار می‌تواند توجیه‌کننده ارتفاع کم آنها باشد. همچنین برای مقایسه شیب سطحی واحدهای سنگی با درجه مقاومت کانی‌شناسی مختلف، واحد سنگی گرانیت گرونادار با درجه مقاومت ۸ (به دلیل وسعت قابل مشاهده آن در نقشه‌های تهیه شده) و سه محدوده از واحد سنگی آلیوین گابروها انتخاب شد و ضمن ارائه نقشه

شیب آنها (شکل ۵-ب)، نمودار طبقه‌بندی شیب هر واحد سنگی نیز به تفکیک آورده شده است (شکل ۵-ج و ۵-د). مقایسه نقشه و نمودار طبقه‌بندی شیب این واحدها، نشان می‌دهد که به‌طور کلی درجه شیب حاکم بر سطح واحد سنگی الپوین گابروها، ۵ درجه کمتر از شیب سطحی واحد گرانیت گرونادار است؛ به‌گونه‌ای که ۶۶/۷ درصد از سطح واحد الپوین گابروها دارای شیبی بین ۲۵ - ۱۰ درجه هستند و همین میزان سطح از واحد گرانیت گرونادار شیب سطحی ۳۰ - ۱۵ درجه دارند.



شکل ۵. الف) مدل ارتفاعی رقومی توده نفوذی الوند؛ ب) نقشه شیب واحدهای سنگی گرانیت گرونادار و الپوین گابرو، ج) نمودار ستونی طبقه‌بندی شیب واحد سنگی گرانیت گرونادار؛ د) نمودار ستونی طبقه‌بندی شیب واحد سنگی الپوین گابرو
منبع: مدل ارتفاعی رقومی استر الوند و نقشه‌های زمین‌شناسی سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور

البته باید به این مسئله توجه داشت که در بررسی‌های ژئومورفولوژی، متغیر زمین‌شناسی (سنگ‌شناسی و ساختمان زمین) یکی از چهار متغیر اصلی و مستقلی است که در پیشرفت و تکامل چشم‌اندازها تأثیر می‌گذارد (چورلی و همکاران، ۱۳۷۵: ۱۶) و این متغیر، خود شامل مجموعه‌ای از ویژگی‌ها و خصوصیات زمین‌شناسی است که یکی از آنها تأثیر ترکیب کانی‌شناسی (جنس) سنگ است. همان‌گونه که شوم (۱۹۸۵) گفته‌اند، سیستم‌های ژئومورفیک، حتی انواع کوچک آنها، معمولاً ترکیبی و درهم بافته‌اند و نه تنها روابط متقابل بین متغیرهای علی از جمله آب و هوا، زمین‌شناسی، خاک‌ها، پوشش گیاهی، مورفولوژی و... را منعکس می‌کنند، بلکه اثر و نقش تحولی را که ممکن است در ادوار زمانی بسیار طولانی رخ داده باشد نیز، دربرمی‌گیرند (کوک و دورکمپ، ۱۳۷۷: ۱۲۲).

درجه مقاومت‌های تعیین شده برای واحدهای سنگی مختلف توده نفوذی الوند، بیانگر ۶ درجه اختلاف مقاومت بین آنهاست، این تفاوت گرچه بر هوازدگی و فرسایش تفریقی بین واحدهای مختلف تأثیرگذار است، ولی با توجه به وسعت کم این واحدها در مقایسه با گرانیت‌های پورفیروئید که ۷۸/۸ درصد از سطح توده را دربرگرفته‌اند، پایین‌بودن درجه مقاومت آنها تأثیر کمی بر تحول کلی چشم‌انداز توده طی زمان دارند. اگر درجه مقاومت هر واحد سنگی را با لحاظ کردن وسعت آن در سطح توده در نظر بگیریم (جدول ۴)، میانگین وزنی درجه مقاومت کانی‌شناسی برای کل سطح توده با استفاده از رابطه ۱ رقم ۶/۵۹ به دست می‌آید (علیزاده، ۱۳۷۱: ۳۹۵).

$$\bar{X} = \frac{\sum X_i W_i}{\sum W_i} \quad \text{رابطه ۱}$$

که در آن؛ X : درجه مقاومت از نظر کانی‌شناسی و W : مساحت هر واحد سنگی براساس اندازه‌گیری روی نقشه زمین‌شناسی در نظر گرفته شده است.

این رقم، صرف نظر از سایر عوامل ذاتی سنگ‌شناسی (مانند خصوصیات بافت و ساخت سنگ و...) و شرایط محیطی حاکم (مانند دامنه تغییرات دمایی و...)، نشان‌دهنده پایداری بالای این رخنمون‌ها از نظر ترکیب کانی‌شناسی در برابر هوازدگی و فرسایش است و علت آن را می‌توان مربوط به درصد بالای کوارتز و آلکالی فلدسپار در ترکیب اغلب رخنمون‌ها و همگنی تقریبی موجود در واحدهای سنگی توده نفوذی الوند (از نظر کانی‌شناسی) دانست که سبب درجه مقاومت بالای رخنمون‌ها در برابر هوازدگی شیمیایی و تجزیه می‌شود. این مسئله می‌تواند در مطالعه و بررسی ژئومورفولوژی توده الوند از نظر ایجاد و تحول اشکال و تغییر دامنه‌ها در طول زمان، با توجه به ترکیب کانی‌شناسی (جنس) سنگ‌ها مورد توجه قرار گیرد.

بحث و نتیجه‌گیری

میزان هوازدگی رخنمون‌های سنگی را می‌توان از طریق ویژگی‌های سنگ‌شناسی و محیطی که در آن واقع شده‌اند، بررسی کرد. ویژگی‌های سنگ‌شناسی عموماً ترکیب کانی‌شناسی و خصوصیات بافت و ساخت سنگ‌ها را شامل می‌شود و مقاومت رخنمون واحدهای سنگی مختلف با توجه به زمان و مکان در ارتباط با عوامل فرسایش متغیر است. در این مقاله تأثیر ترکیب کانی‌شناسی واحدهای سنگی توده نفوذی الوند بر مقاومت رخنمون‌ها در برابر هوازدگی و فرسایش با

بهره‌گیری از نمودار QAPF، در بازه عددی ۱۰ - ۱ تعیین شده است. بر این اساس ۶ درجه اختلاف مقاومت بین واحدهای سنگی مختلف الوند وجود دارد که در ایجاد هوازدگی و فرسایش تفریقی در قسمت‌های مختلف توده، تأثیرگذار است. میانگین وزنی درجه مقاومت واحدهای سنگی توده از نظر تأثیر ترکیب کانی‌شناسی بر مقاومت رخنمون‌ها برای کل سطح توده، رقم ۶/۵۹ به دست آمده است که در مجموع مقاومت بالای رخنمون‌ها را نشان می‌دهد و علت آن را می‌توان در وجود درصد بالای کوارتز و آلکالی فلدسپار در ترکیب اغلب رخنمون‌ها و همگنی تقریبی موجود در واحدهای سنگی توده (از نظر کانی‌شناسی) دانست. از نظر تأثیر ترکیب کانی‌شناسی واحدهای سنگی بر مقاومت رخنمون‌های الوند، کمترین مقاومت مربوط به واحد آلیوین گابرو با درجه مقاومت ۲ است که ۱۴/۸ درصد از سطح توده را شامل می‌شود و بیشترین مقاومت مربوط به رخنمون‌های پگماتیت گرانیت، پگماتیت - آپلیت گرانیت، گرانیت تورمالین و گرانیت گرونادار با درجه مقاومت ۸ است که در مجموع ۳/۱۵ درصد از سطح توده را دربرمی‌گیرند. بیشترین سطح توده (۷۸/۸ درصد) به واحد سنگی گرانیت‌های پورفیروئید با درجه مقاومت کانی‌شناسی ۷/۵ اختصاص دارد.

در تحلیل‌های ژئومورفولوژیکی، یکی از متغیرهای اصلی تأثیرگذار بر شکل‌گیری و تحول چشم‌اندازها، متغیر زمین‌شناسی است که شامل مجموعه‌ای از ویژگی‌ها و خصوصیات سنگ‌شناسی و ساختمانی می‌شود. در این میان با توجه به اینکه ترکیب کانی‌شناسی و خصوصیات بافت و ساخت سنگ، میزان حساسیت سنگ‌ها را در برابر کارکرد پدیده‌های فیزیکی، شیمیایی و بیوشیمیایی مشخص می‌کند، بنابراین تعیین مقاومت رخنمون واحدهای سنگی به صورت کمی بر اساس ترکیب کانی‌شناسی و خصوصیات بافت و ساخت سنگ، می‌تواند در مطالعه و بررسی زمین‌شکل‌ها از نظر ایجاد و تحول در طول زمان، نقش اساسی داشته باشد.

منابع

- اشراقی، ص. و محمودی قاری، م. (۱۳۸۱). نقشه زمین‌شناسی توپوگرافیک و گزارش آن، سری ۱:۱۰۰۰۰۰، شماره برگ ۵۶۵۹، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- اقلیمی، ب. (۱۳۷۹). نقشه زمین‌شناسی همدان و گزارش آن، سری ۱:۱۰۰۰۰۰، شماره برگ ۵۷۵۹، سازمان زمین‌شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- امانپان، م.؛ حافظی مقدس، ن.؛ نیکودل، م. ر. و مهدی‌زاده شهری، ح. (۱۳۸۴). ارزیابی نقش ویژگی‌های پتروگرافی در دوام و مقاومت سنگ‌های آذرین (مطالعه موردی: موج‌شکن شهید رجایی)، چهارمین کنفرانس زمین‌شناسی مهندسی و محیط زیست ایران، چهارم تا ششم اسفندماه، دانشگاه تربیت مدرس، صص. ۷۳-۶۰.
- بَلت، اچ.؛ تریسی، آر. و اونز، بی. (۱۳۸۹). پترولوژی سنگ‌های آذرین (سری کتاب‌های پترولوژی). ترجمه حبیب‌الله قاسمی، محمد لنکرانی و مسعود همام، چاپ اول، شاهرود: انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- جداری عیوضی، ج. (۱۳۷۴). ژئومورفولوژی ایران. چاپ چهارم، تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- چورلی، آر.جی.؛ شوم، ای. و سودن، دی. ای. (۱۳۷۵). ژئومورفولوژی. جلد اول، ترجمه احمد معتمد و ابرهیم مقیمی. چاپ اول، تهران: انتشارات سمت.
- چورلی، آر.جی.؛ شوم، ای. و سودن، دی. ای. (۱۳۷۹). ژئومورفولوژی. جلد سوم، ترجمه احمد معتمد و ابرهیم مقیمی. چاپ اول، تهران: انتشارات سمت.

- حافظی مقدس، ن. (۱۳۹۰). زمین‌شناسی مهندسی. چاپ اول. مشهد: انتشارات آرسس.
- درايو، ام. (۱۳۷۰). ژئومورفولوژی اقلیمی و دینامیک خارجی. ترجمه مقصود خیام. چاپ اول. تبریز: انتشارات نیما.
- درویش‌زاده، ع. (۱۳۸۹). زمین‌شناسی ایران، چینه‌شناسی، تکتونیک، دگرگونی و ماگماتیسم. چاپ چهارم. تهران: مؤسسه انتشارات امیرکبیر.
- زرعیان، س.؛ فرقانی، ع. و فیاض، ه. (۱۳۵۰). توده نفوذی الوند و هاله دگرگونی آن (قسمت اول). نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران، سال سوم، شماره ۴، صص. ۳۷-۴۷.
- زرعیان، س.؛ فرقانی، ع. و فیاض، ه. (۱۳۵۱). توده نفوذی الوند و هاله دگرگونی آن (قسمت سوم). نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران، سال چهارم، شماره ۳، صص. ۸۲-۹۰.
- سپاهی گرو، ع.ا. و معین وزیری، ح. (۱۳۷۹). مروری بر فازهای پلوتونیک رگه‌های موجود در مجموعه پلوتونیک الوند، نشریه دانشکده علوم دانشگاه تهران، سال بیست‌وششم، شماره ۲، صص. ۱۷۵-۱۸۶.
- سپاهی، ع.ا. (۱۳۸۱). مطالعه روابط ساختاری گرانیتوئیدهای الوند و سنگ‌های میزبان آنها. مجموعه مقالات ششمین همایش انجمن زمین‌شناسی ایران. ۷-۵ شهریور، دانشگاه کرمان، صص. ۴۳۳-۴۲۹.
- سرابی، ف.؛ ایران‌پناه، ا. و زرعیان، س. (۱۳۸۵). سنگ‌شناسی. جلد اول. چاپ هشتم. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- سینگ، بی. و گوئل، آر. کی. (۱۳۸۲). رده‌بندی توده‌سنگ، روشی کاربردی در مهندسی عمران. ترجمه رسول اجل لوثیان و داود محمدی، چاپ اول. همدان: انتشارات فن آوران.
- علائی طالقانی، م. (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی ایران. چاپ ششم. تهران: نشر قومس.
- علیزاده، ا. (۱۳۷۱). اصول هیدرولوژی کاربردی. چاپ چهارم. مشهد: مؤسسه چاپ و انتشارات آستان قدس رضوی.
- کوک، آر. یو و دورکمپ، جی. سی. (۱۳۷۷). ژئومورفولوژی و مدیریت محیط. جلد اول، ترجمه شاپور گودرزی. چاپ اول. تهران: انتشار سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
- کوک، آر. یو و دورکمپ، جی. سی. (۱۳۷۸). ژئومورفولوژی و مدیریت محیط. جلد دوم، ترجمه شاپور گودرزی. چاپ اول. تهران: انتشار سازمان مطالعه و تدوین کتب علوم انسانی دانشگاه‌ها (سمت).
- محمودی، ف. (۱۳۸۹). ژئومورفولوژی دینامیک. چاپ دوم. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- محمودی، ف. (۱۳۹۰). ژئومورفولوژی ساختمانی. چاپ چهارم. تهران: انتشارات دانشگاه پیام نور.
- مرتضوی راوری، س. م. و پوستی، م. (۱۳۸۸). سنگ‌شناسی آذرین. چاپ اول. هرمزگان: انتشارات دانشگاه هرمزگان.
- مقیم، ا. (۱۳۸۷). ژئومورفولوژی اقلیمی قلمرو سرد و یخچالی. چاپ اول. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- مقیم، ا. (۱۳۸۹). ژئومورفولوژی ایران. چاپ اول. تهران: انتشارات دانشگاه تهران.
- نصراصفهانی، ع. و احمدی، م. (۱۳۸۴). پتروگرافی سنگ‌های آذرین. چاپ اول. اصفهان: انتشار دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان.
- نیکودل، م. ر.؛ جمشیدی، ا. و حافظی مقدس، ن. (۱۳۸۹). همبستگی شاخص دوام با ویژگی‌های مکانیکی نمونه‌هایی از سنگ‌های ساختمانی باتأکید بر تأثیر تعداد چرخه‌های تر و خشک شدن. فصلنامه زمین‌شناسی ایران. سال چهارم، شماره ۱۶، صص. ۳-۱۴.
- همام، س. م. (۱۳۸۸). سنگ‌شناسی آذرین. چاپ دوم. مشهد: انتشارات دانشگاه فردوسی.

Alaee Taleghani, M., 2011, **Geomorphology of Iran**, Sixth edition, Ghoomes Publishing Company, LTD, Tehran.

Aliani, F., Sabouri Z and Maanijou, M., 2011, **Petrography and Geochemistry of Porphyroid Granitoid Rocks in the Alvand Intrusive Complex, Hamadan (Iran)**, Australian Journal of Basic and Applied Sciences, Vol. 5, No. 12, PP. 2192-2199.

- Alizadeh, A., 1992, **Principles of Applied Hydrology**, Fourth Edition, Publications Astan-e Ghodse Razavi, Mashhad.
- Amaanian, M., Hafezi Moghaddas, N., Nikudel, M., Hossein Zadeh Shahri, M., 2005, **Assessment of the Urability and strength of Petrographic Characteristics of Rocks (Case Study Rajaee Breakwater)**, Fourth Iranian Conference of Engineering Geology and the Environment, Tarbiat Modarres University, IRAN, February 23-25, PP.60-73.
- Blatt, H., Tracy, R. J. and Owens, B. E., 2010, **Petrology of Igneous Rocks**, First Edition, Translated by Ghasemi, H., Lankarani, M. and Homam, S. M., University Technology of Press, Shahrood.
- Chorly, J. R., Schumm, S.A.I., and Sugden, D. A., 2000, **Geomorphology Volume I I I**, First Edition, Translated by: Motamed, A. and Moghimi, A., Samt Press, Tehran.
- Chorly, J. R., Schumm, S.A.I., and Sugden, D. A., 1996, **Geomorphology Volume I**, First Edition, Translated by: Motamed, A. and Moghimi, A., Samt Press, Tehran.
- Cooke, R.U., Doornkamp, J. C., 1999, **Geomorphology in Environmental Management, Volume I I**, First Edition, Translated by: Goudarzi, S., Samt Press, Tehran.
- Cooke, R.U., Doornkamp, J. C., 1998, **Geomorphology in Environmental Management, Volume I**, First Edition, Translated by: Goudarzi, S., Samt Press, Tehran.
- Darvish-zade, A., 2010, **Geology of Iran, Stratigraphy, Tectonic Metamorphic and Magmatism**, Fourth Edition, Amirkabir Publisher Tehran.
- Derruau, M., 1991, **Les forms Du Relief Terrestre Notion de Geomorphologie**, First edition Translated by Khayam M., Nima Publishing, Tabriz.
- Eghlimi, B., 2000, **Hamedan Geological Map and Reporting**, Geological Survey of Iran Series 100,000, No.5759, Tehran.
- Eshragi, S.A., and Mahmoudi Gharai, M., 2002, **Tuyserkhan Geological Map and Reporting**, Geological Survey of Iran Series 100,000, No.5659, Tehran.
- Gillespie, M.R. and Styles, M.T., 2006, **BGS Rock Classification Scheme Volume 1- Classification of Igneous Rocks**, British Geological Survey Research Report, 2nd Edition, RR1999.
- Hafezi Moghaddas, N., 2011, **Engineering Geological**, First Edition, Arses Publishing, Mashhad.
- Heidari, M., Khanlari, G.R., and Momenim, A.A., 2010, **Weathering Indices and its Relation to Unaxial Compressive Strength of Hamadan Hololeucogranite Rocks in West of Iran**, World Applied Sciences Journal, Vol. 11, No. 2, PP. 142,150.
- Homam, S. M., 2009, **Igneous Petrology**, Second Edition, Ferdowsi University Press, Mashhad.
- Jedari-eivazi, J., 1999, **Geomorphology of Iran**, First Edition, Payame Noor University Press, Tehran.
- Khanlari, G., Heidari, R.M. and Jafar-Gholizadeh, H., 2010, **Engineering Geological Assessment of Alvand Granitic Rocks**, The 1st International Applied Geological Congress Department of Geology Islamic Azad University- Mashhad Branch, IRAN, 26-28 April, PP.408-413.
- Le Bas, M.J. and Streckeisen, A.L., 1991, **The IUGS Systematic of Igneous Rocks**, Journal of the Geological Society, Vol. 148, No.5, PP.825-833.
- Lindsey, C.G., Doesburg, J.M. and Vallario, R.W., 1982. A Review of long-term rock durability: implications for survivability of riprap used to protect uranium mill tailings. Uranium Mill Tailings Management: Proceedings of the Fifth Symposium, Colorado State University, December 9-10, PP. 101-116.
- Mahmoudi, F., 2011, **Structural Geomorphology**, Fourth Edition, Payam Noor University Press, Tehran.
- Mahmoudi, F., 2010, **dynamics Geomorphology**, Second Edition, Payame Noor University Press, Tehran.
- Moghimi, E., 2008, **Climatic Geomorphology Cold and Glacial Territory**, First Edition, Tehran University Press, Tehran.
- Moghimi, E., 2010, **Geomorphology of Iran**, First Edition, Tehran University Press, Tehran.
- Mortazavi Ravari, S.M. and Poosti, M., 2009, **Igneous Petrology, Petrography**, First Edition Hormozgan University Press.

- Nasr Esffahani, A. and Ahmadi, M., 2005, **Petrography of Igneous Rocks**, First Edition Publisher, Khorasgan Branch Islamic Azad University, Isfahan, Iran.
- Nikudel, M., Jamshidi R.A., and Hafezi Moghaddas, N., 2010, **Durability Correlated Index with the Mechanical Properties of the Sample Stones of Construction with Emphasis on the Effect of Wetting and Drying Cycles**, Geological Survey of Iran Quarterly, Vol. 14, No.16, PP.3-14.
- Sarabi, F., Iranpanah, A., and Zarian, S., 2006, **Petrology, Vol.1**, Eighth Edition, University of Tehran Press.
- Sepahi, A.A., 2002, **Study of Alvand Granitoides Structural Relations and their Host Rocks**, Proceedings of the Sixth Symposium of Geological Society of Iran, Kerman University.,IRAN, OUT, 27-29 2002,PP.429-433.
- Sepahi, A.A., and Moeen Vaziry, H., 2000, **Overview of the Veins in the Plutonic Phases of the Alvand Plutonic Complex**, Tehran University Journal of Faculty Science, Vol. 26, No. 2, PP. 175 - 186.
- 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, No. 3, PP. 295–312.
- Shahbazi, H., Siebe, W., Pourmoafee, M., Ghorbani, M., 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, Vol. 39, No. 6, PP. 668–683.
- Singh, B., and Goel, R. K., 2003, **Rock Mass Classification A Practical Approach for Civil Engineering**, First Edition, Translated by: Ajalloeian, R. and Mohammadi, S.D., Fanavaran Press, Hamadan.
- Zarian S., Forghani, A. and Hashemi, H., 1971, **The Alvand Granite Mass and its Metamorphic Halo**, (Part I), Journal of Faculty of Science, Tehran University, Vol. 3, No. 4, PP.37-47.
- Zarian, S., Forghani, A. and Hashemi, H., 1972, **The Alvand Granite Mass and its Metamorphic halo**, (Part III), Journal of Faculty Science, Tehran University, Vol. 4, No. 3, PP.82-90.