

## کاربرد رده بندی توده سنگ جهت تخمین تزریق پذیری (مطالعات موردی)

سید سجاد کراری

دانش آموخته گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

رسول اجل لوئیان

گروه زمین شناسی، دانشکده علوم، دانشگاه اصفهان

تاریخ پذیرش: ۹۷/۱۱/۰۹

تاریخ دریافت: ۹۷/۵/۱۰

sajjadkarrari@yahoo.com

### چکیده

با استفاده از طبقه بندی توده سنگ به روش شاخص مقاومت زمین شناسی می توان اقدام به ارزیابی نفوذپذیری و تزریق پذیری توده های سنگی نمود. در این مقاله با بکارگیری این سیستم طبقه بندی، مقادیر نفوذپذیری توده های سنگ بر حسب لوژان با مقادیر شاخص مقاومت زمین شناسی معادل سازی گردید. در این نمودار طبقه بندی میزان GSI بیش از ۵۵ محدوده لوژان ۱-۳ یا نفوذناپذیر، میزان GSI بین ۴۵ تا ۵۵ محدوده لوژان ۳ تا ۱۰ یا نفوذپذیری کم، میزان GSI بین ۳۵ تا ۴۵ محدوده لوژان ۱۰ تا ۳۰ یا نفوذپذیری متوسط و میزان GSI کمتر از ۳۵ محدوده لوژان ۳۰ تا ۱۰۰ یا نفوذپذیری زیاد را نشان می دهند. پس از انجام این زون بندی در نمودار طبقه بندی شاخص مقاومت زمین شناسی اقدام به تخمین تزریق پذیری و بهسازی توده های سنگی گردیده است. زون اول ناحیه بدون توان تزریق پذیری (None groutable) می باشد. زون دوم ناحیه با تزریق پذیری محدود که به صورت محلی (Local) می باشد. زون سوم ناحیه با تزریق پذیری متوسط (Medium groutable) می باشد. زون چهارم ناحیه با تزریق پذیری بالا (High groutable) می باشد.

**کلمه های کلیدی:** طبقه توده سنگی، شاخص مقاومت زمین شناسی، نفوذپذیری، تزریق پذیری، زون بندی

### مقدمه

در عملیات سد سازی تعیین میزان نفوذپذیری توده های سنگی جهت اجرای پرده آب بند دارای اهمیت بسزائی می باشد. تعیین میزان نفوذپذیری به روش معمول از طریق آزمایش فشار آب یا لوژان انجام می شود. این آزمایش در سال ۱۹۳۳ توسط لوژان (Lugeon) ارائه گردید و تا به امروز علیرغم کاستی هایش، به طور معمول در پروژه های سدسازی مورد استفاده قرار می گیرد. از این آزمایش برای تعیین نفوذپذیری ناشی از حضور سطوح ضعف مانند گسل ها، سطوح لایه بندی، درزه ها، شکستگی ها و غیره در توده های سنگی استفاده می شود.

تزریق شامل عملیات پرکردن ناپیوستگی ها و حفرات سنگ با دوغاب به منظور تشکیل توده سنگی پایدار و یکپارچه و یا ایجاد یک پرده با نفوذپذیری اندک جهت کنترل نشت در پی و یا تکیه گاه های سد می باشد. پس از ارزیابی نفوذپذیری تصمیم گیری در مورد میزان تزریق پذیری توده های سنگی تابع شرایط دوغاب تزریق می باشد. به طور کلی از آنجایی که در عمل مقادیر لوژان با میزان خورندهای دوغاب سیمان تطابق زیادی ندارند، بدین لحاظ تصمیم گیری برای تزریق از نظر غلظت دوغاب و فشار تزریق براساس تفسیر نتایج لوژان نمی تواند منطقی باشد. بدین لحاظ لازم است تزریق پذیری ویژه سنگ ها برای هر نوع سنگ متفاوت در نظر گرفته شود. این پارامتر به تعداد درزه ها و میزان بازشدگی آنها، نوع و ارتباط آنها بستگی دارد. به این ترتیب تمام سنگها دارای قابلیت تزریق یکسانی نیستند، بلکه هر یک تزریق پذیری ویژه خود را دارند (طاهری، ۱۳۸۱). در سال ۲۰۰۵ فویو (Foyo) و همکاران شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI) را ارائه کردند. این شاخص اساساً وابسته به ویژگی درزه ها می باشد که در واقع به درجه ی درزه داری توده سنگ،

تداوم و ویژگی های مواد پر کننده داخل ناپیوستگی ها اشاره دارد. در بسیاری از موارد شاخص نفوذپذیری ثانویه مبنایی برای طبقه بندی فونداسیون سدها می باشد و به زون های مختلف و ارائه راهکارهای مناسب جهت بهسازی آن ها اشاره دارد. شاخص نفوذپذیری ثانویه علاوه بر اینکه مبنایی برای طبقه بندی توده سنگ است، بیان کننده تراوایی و یا هدایت هیدرولیکی توده سنگ می باشد. از آزمایش لوژان به عنوان روشی معمول برای تعیین نفوذپذیری ثانویه در محل شالوده سدها استفاده می شود (Foyo, 2005). پرده تزریق به عنوان آخرین بخش در روند اکتشافی در نظر گرفته می شود. بنابراین باید ضعف های موجود در پی از قبیل مناطق مستعد فرار آب که در حفاری های مطالعاتی شناخته نشده اند به کمک آزمایش لوژان مشخص نمود (رستمی بارانی و همکاران، ۲۰۱۴). جهت تعیین میزان تزریق پذیری توده های سنگی تعیین کیفیت توده سنگ به تنهایی نمی تواند کافی باشد. به همین منظور می توان از آزمایشات لوژان به همراه طبقه بندی توده های سنگی استفاده نمود (ارومیه ای و فرخی، ۲۰۱۱). در بین طبقه بندی های موجود شاخص مقاومت زمین شناسی می تواند مناسب تر باشد. به علت آنکه این روش نسبتاً کیفی است و بخشی از آن به اندازه بلوک ها و بخش دیگر به وضعیت درزه ها به لحاظ درجه درزه داری، پرکننده ها و ناهمواری سطح درزه ها می پردازد، که همگی به تراکم و چگونگی وضعیت درزه ها مرتبط می باشد. جریان هدایت هیدرولیکی ارتباط مستقیمی با این پارامترها داشته لذا به نظر می رسد این روش طبقه بندی نسبت به دیگر روش های طبقه بندی توده سنگ در خصوص تزریق پذیری ارجحیت دارد.

هوک - براون قابل محاسبه می‌باشد. معیار عمل سیستم GSI بر توصیف دو پارامتر استوار است:

- ساختار توده سنگ و میزان در هم قفل شدگی اجزای تشکیل دهنده آن؛
- شرایط سطح درزه‌ها که توسط زبری و هوازدهی سطح درزه معین می‌شود.

که این دو پارامتر محدوده وسیعی از سنگ‌ها را می‌تواند در برگیرد (Cai et al., 2004).

این سیستم طبقه‌بندی با مشاهده بیرون زدگی‌ها و با توجه به هدف طبقه‌بندی توده سنگ، اثر هوازدهی و فرسایش، میزان گسترش ساختارهایی هم چون درزه‌ها، شیب‌توزیته، سطوح لایه‌بندی و گسل‌ها به گروه‌های مختلفی تقسیم می‌شود. این گروه‌ها براساس میزان درزه‌داری و خردشدگی شامل گروه‌های سنگ‌های توده‌ای، بلوکی، بسیار بلوکی، به هم ریخته و درزه‌دار، از هم پاشیده و برشی می‌باشند و از میان سیستم‌های رده بندی توده‌ی سنگ، تنها شاخص مقاومت زمین شناسی به طور مستقیم برای ارزیابی پارامترهای طراحی و مهندسی به کار می‌رود (اجل لوفیان و محمدی، ۱۳۸۹). ارزیابی مقدار GSI، براساس وضعیت ساختاری منطقه و شرایط درزه‌های توده سنگ می‌باشد. به همین جهت از طریق مشاهده صحرایی (درجه بلوکی شدن سنگ و شرایط حاکم بر ناپیوستگی‌ها) مقدار GSI به کمک داده‌های ارائه شده تعیین می‌گردد.

لازم به ذکر است که پارامترهای وضعیت آب زیرزمینی و تنش‌های برجا در مقدار GSI در نظر گرفته نشده است. هم چنین در این رده بندی لازم است رخنمون‌های سنگی دست نخورده مورد ارزیابی قرار گیرند. چنانچه آتشکاری شدید موجب شکستگی‌های جدیدی در سنگ گردیده است، بنا به پیشنهاد هوک و براون (۱۹۹۷) برای چنین توده سنگی امتیاز ۱۰ به شاخص مقاومت زمین شناسی اضافه می‌شود تا مقدار شاخص زمین شناسی مربوط به توده سنگی دست نخورده بدست آید. به منظور تعیین شاخص مقاومت زمین‌شناسی براساس مطالعات دانشمندان مختلف، روش‌های متعددی وجود دارد که در ادامه به بررسی دو مورد از آن‌ها پرداخته شده است. در روش اول به منظور تعیین GSI مطابق با (شکل ۱) مقادیر پارامتر (Surface SCR) (Condition Rating) که محور افقی این چارت است را تشکیل می‌دهد. مقدار این پارامتر با جمع کردن پارامترهای زبری (Roughness)، هوازدهی (Weathering) و پرکننده (Filling) درزه‌ها بدست می‌آید. نرخ این پارامترها همان پارامترهای سیستم طبقه بندی RMR می‌باشند. از بین این پارامترها، پارامتر پرکننده درزه‌ها نسبت به زبری و هوازدهی در نفوذپذیری توده سنگی موثرتر می‌باشد.

جهت تعیین میزان درزه داری در واحد حجم توده سنگ (JV) می‌توان از فرمول پالمستروم (۲۰۰۹؛ رابطه ۱) استفاده نمود. میزان RQD را می‌توان از طریق دو روش (Scan line و Scan window) در بیرون زدگی های توده سنگ و یا با استفاده از روش لاگ های حفاری رابطه ۲ بدست آورد. در نهایت با مشخص شدن RQD می‌توان میزان درزه داری را محاسبه نمود.

با وجود اینکه به تنش برجا و وضعیت آب زیر زمینی در این طبقه بندی توجهی نشده است و این موارد می‌تواند نقاط ضعف این روش باشد لیکن به نظری رسد که با وجود این نقاط ضعف می‌توان تخمین نسبتا مناسبی از تزریق پذیری توده های سنگی ارائه نمود. از طریق شاخص مقاومت زمین-شناسی می‌توان بدون انجام آزمایش لوژان در مرحله مقدماتی مطالعات برآورد نسبتا منطقی از میزان نفوذپذیری توده‌های سنگی و میزان تزریق پذیری آن‌ها ارائه نمود. که این عمل می‌تواند کمک زیادی در اختصاص هزینه و زمان اجرای پروژه به کارشناسان کنترل و برنامه ریزی پروژه نماید (اجل لوفیان و کراری، ۱۳۹۴). براین اساس زون‌هایی را بر روی چارت این طبقه بندی مشخص نموده که شرایط نفوذپذیری و تزریق پذیری آن‌ها به طور کلی تعیین شده است.

### مواد و روش‌ها

در مقاله حاضر از طبقه‌بندی شاخص مقاومت زمین شناسی به همراه نتایج آزمایش لوژان و سایر پارامترهای موثر در نفوذپذیری مانند تعداد درزه ها، زبری، پرشدگی، هوازدهی و بازشدگی درزه‌ها استفاده شده است. برای انجام این پژوهش از حدود ۲۰۰ آزمایش لوژان و طبقه بندی شاخص مقاومت زمین شناسی استفاده شده است. هر کدام از این پروژه‌ها به طور خلاصه در ادامه شرح داده شده است. سد کارون ۲ در استان خوزستان، سد مخزنی جامیشان در شمال شرق شهرستان کرمانشاه بر روی رودخانه جامیشان واقع گردیده است. گمانه های این سد در سنگ های رسوبی مانند: آهک، ماسه سنگ و کنگلومرا به همراه توف و ولکانیک های زیر دریایی حفاری شده است (حیدری، ۱۳۷۹ و حبیبی، ۱۳۹۰). پروژه دیگر مخزنی و نیار در شمال شرقی تبریز بر روی رودخانه آجی‌چای است. که گمانه های این سد در سنگ های آذرین مانند: گابرو و دیاباز و سنگ های اولترابازیک حفاری شده است (مقلب، ۱۳۸۸). در هر سه پروژه آزمایشات لوژان مربوط به هر گمانه، مقدار RQD به همراه ویژگی درزه های برداشت شده از لاگ های حفاری مورد بررسی و برداشت قرار گرفته است. از داده های سد کارون ۲ که حدود ۱۲۰ داده می‌باشد جهت ارائه چارت اصلی استفاده شده است. در چارت طبقه بندی شاخص مقاومت زمین شناسی با پیاده سازی نقاط (تعیین مقادیر SR و SCR و لوژان هر نقطه) زون بندی‌هایی براساس میزان نفوذپذیری (لوژان) مشخص و پس از آن میزان تزریق پذیری در زون‌های مختلف مورد ارزیابی و به طور کلی تعیین شده است. از حدود ۸۰ داده مربوط به سدهای جامیشان و نیار جهت راستی آزمایی چارت ارائه شده استفاده گردیده است. چارت ارائه شده تا حدود ۹۰ درصد زون های تعیین شده را تایید می‌نماید.

### نتایج و بحث

#### تعیین میزان شاخص مقاومت زمین شناسی

در اولین گام اقدام به تعیین میزان شاخص مقاومت زمین شناسی گردیده است. طبقه‌بندی توده سنگ براساس شاخص مقاومت زمین شناسی یا GSI که توسط هوک (Hoek) و همکاران در سال ۱۹۹۴ ارائه گردید، راهی است برای ایجاد ارتباط صحیح مابین مشاهدات زمین شناسی و توصیفی توده سنگ و پارامترهای مهندسی آن و از طریق معیار شکست

(Kayabasi et al., 2009)

رابطه (۲)

$RQD=110.4-3.68 \lambda$

$RQD=110-2.5Jv$

(Palmstrom, 2009)

طریق روابط ۲ و ۴ و SCR نیز از طریق جمع کردن پارامترهای زبری، هوازدگی و پرکننده درزه‌های لاگ‌های حفاری و بیرون زدگی های سطح زمین محاسبه شده است. نتایج این پیاده سازی در (شکل ۲) قابل مشاهده می باشد.

### ارزیابی نفوذپذیری

پس از انجام طبقه بندی توده سنگ اقدام به ارزیابی نفوذپذیری این توده ها گردید. جهت این امر از آزمایش لوژان که عموماً به منظور ارائه‌ی معیاری برای انجام تزریق در توده‌های سنگی کاربرد دارد استفاده می شود. مقادیر نفوذپذیری براساس طبقه بندی لوژان تقسیم بندی و مورد ارزیابی قرار گرفته و در (جدول ۱) آورده شده است. در طبقه‌بندی دیگری براساس SPI نفوذپذیری را می‌توان به چهار گروه تقسیم کرد که کلاس A در بهترین شرایط از لحاظ نفوذپذیری قرار داشته و کمترین میزان آبگذری را خواهد داشت و کلاس D در بدترین شرایط نفوذپذیری و بیشترین میزان آبگذری را خواهد داشت (Foyo, 2005). در این طبقه بندی ارتباط منطقی بین SPI و RQD وجود دارد. بدین صورت که با افزایش RQD کلاس SPI نیز افزایش می یابد و برعکس آن نیز صادق است. کاهش RQD کلاس SPI افزایش می یابد که دلیل آن درزه داری بالا و بازشدگی ناچیز درزه ها می باشد. هم چنین با افزایش RQD کلاس SPI کاهش می یابد که به دلیل بازشدگی زیاد درزه ها و درجه درزه داری کم می باشد (Zeidabadi Nezhad et al., 2012).

کلاس های ارائه شده در این طبقه بندی با نفوذپذیری های (جدول ۱) قابل قیاس می باشند. بدین صورت که کلاس A نفوذ ناپذیر، کلاس B با نفوذپذیری کم، کلاس C با نفوذپذیری متوسط و کلاس D با نفوذپذیری زیاد بایکدیگر قابل قیاس می باشند. مقادیر لوژان ارائه شده معادل با کلاس های SPI می باشند (Azimian and Ajalloeian, 2015). شرایط تزریق پذیری براساس نام گذاری فویو در طبقه بندی SPI (Ground treatment) ارائه شده است. مقادیر لوژان مربوط به هر نقطه بر روی (شکل ۲)، بر اساس (جدول ۱) و با رنگ ها و اشکال مشخص (دایره، مربع و...) دسته بندی گردیده است.

### تعیین محدوده زون ها

در این مرحله اقدام به تعیین محدوده زون ها بر روی (شکل ۲) گردیده است. براین اساس با توجه به (شکل ۳) چهار زون بر روی چارت تعیین گردیده است. محدوده زون ۱ از مرز Blocky/Disturbed/Seamy یا  $SR=30$  در محور قائم شروع و تا میانه های مرز Blocky ادامه می یابد. در محور افقی تمامی محور SCR را در بر می گیرد.

محدوده زون ۲ از مرز Disintegrated در محور قائم شروع و تا میانه های مرز Very blocky ادامه می یابد. در محور افقی تمامی محور SCR را در بر می گیرد.

محدوده زون ۳ از ابتدای مرز Laminated/Shesred در محور قائم شروع و میانه های مرز Blocky/Disturbed/Seamy ادامه می یابد. در محور افقی از ابتدای مرز Good شروع و تا انتهای مرز Very poor ادامه می یابد.

فرآوانی درزه‌ها در طول یک متر از مغزه حفاری پس از تعیین میزان JV یا  $\lambda$  از طریق فرمول سونمز و اولیسی (۲۰۰۲) روابط ۳ و ۴ میزان SR تعیین می‌شود

. پارامتر SR (Structure Rating) میزان خردشدگی توده سنگی را نشان می‌دهد. این پارامتر محور قائم چارت GSI را تشکیل می‌دهد.

رابطه (۳) (Sonmez and Ulusay, 2002)

$$SR = -17.5 \ln(0.4RQD - 44) + 79.8 \quad r = 1$$

رابطه (۴) (Sonmez and Ulusay, 2002)

$$SR = -17.5 \ln((0.3RQD - 34.85) + 79.8) \quad r = 1$$

پس از تعیین دو پارامتر یاد شده میزان GSI بر روی چارت آن مشخص می‌شود. در روش دوم شاخص مقاومت زمین شناسی (GSI) را می‌توان از طریق طبقه بندی ژئومکانیکی (RMR) نیز بدست آورد. برای این کار در رده بندی  $RMR_{(76)}$  توده سنگ را کاملاً خشک در نظر گرفته و امتیاز ۱۰ برای آب زیرزمینی در نظر گرفته می‌شود. هم چنین جهت ناپیوستگی‌ها، باید خیلی مطلوب و عدد مربوط به تعدیل جهت درزه، صفر در نظر گرفته شود. برای محاسبه GSI از روی  $RMR_{(76)}$  طبق رابطه ۵ عمل می‌شود.

رابطه (۵)

$$\text{If } RMR_{(76)} > 18 \rightarrow GSI = RMR_{(76)}$$

برای مقادیر  $RMR_{(76)} < 18$  به جای استفاده از رابطه فوق، از مقدار Q استفاده می‌شود.

در رده بندی  $RMR_{(89)}$  روش کار مشابه  $RMR_{(76)}$  می‌باشد. فقط در این حالت برای آب زیر زمینی، امتیاز ۱۵ در نظر گرفته می‌شود. حداقل امتیاز رده بندی  $RMR_{(89)}$  عدد ۲۳ است. مقدار GSI با استفاده از  $RMR_{(89)}$  طبق رابطه (۶) بدست می‌آید:

رابطه (۶)

$$GSI = (RMR_{(89)} - 5) \quad \text{If } RMR_{(89)} > 23 \rightarrow \text{---} \quad \text{برای } RMR_{(89)} < 23$$

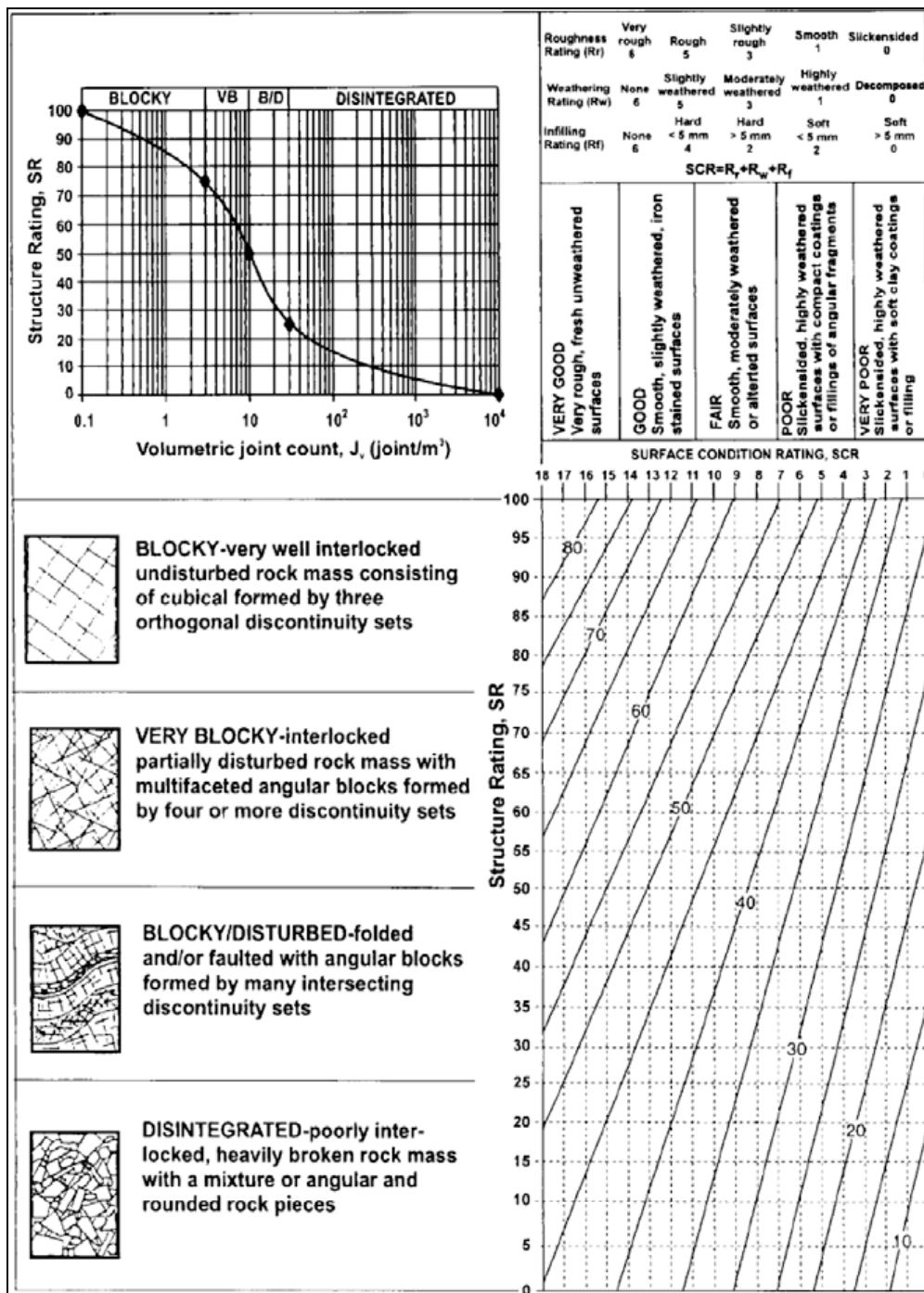
مقدار GSI از طریق طبقه بندی Q بدست می‌آید. در این روش، از رده‌بندی اصلاح شده Q استفاده می‌شود. در رده بندی اصلاح شده، به جای عبارت JW/SRF مقدار عددی ۱ قرار می‌گیرد و GSI از رابطه ۷ بدست می‌آید (Barton, 2008):

رابطه (۷)

$$GSI = 9 \ln Q' + 44$$

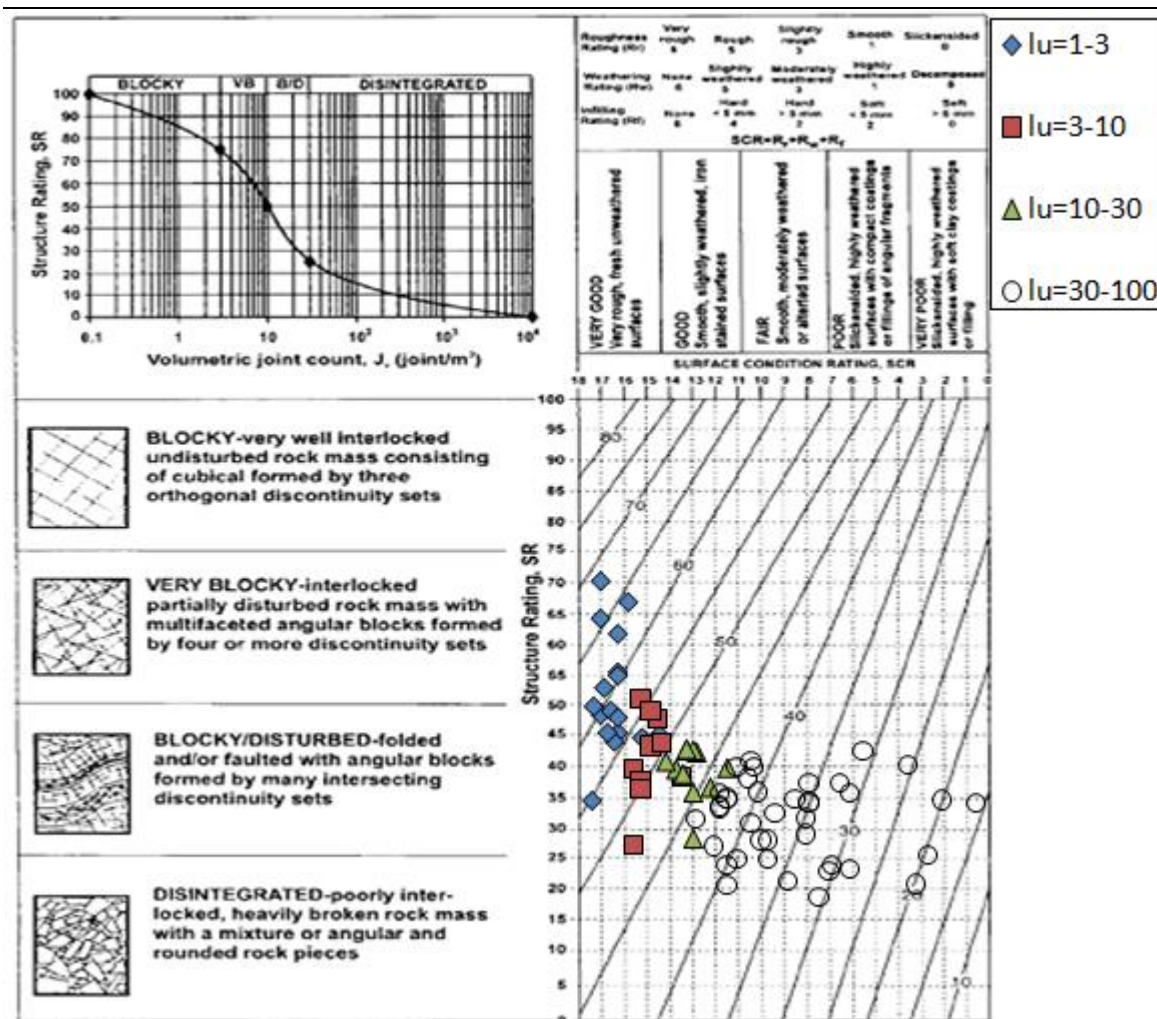
کمترین مقدار  $Q'$  برابر  $0.0208$  است که برای یک گسل پر شده از رس با یک زون برشی می‌باشد. در این صورت مقدار GSI برابر ۹ خواهد بود (Barton, 2008).

در این پژوهش برای تعیین میزان GSI از روش اول که با پیاده کردن نقاط SR و SCR تعیین می‌گردد، استفاده شده است. جهت انجام پیاده سازی از حدود ۱۲۰ داده مربوط به پروژه سد کارون ۲ که شامل مقادیر GSI و لوژان می باشد، جهت ارائه چارت اصلی استفاده گردیده است. مقدار SR در این روش از



شکل ۱. طبقه بندی شاخص مقاومت زمین شناسی (Sonmez and Ulusay, 2002).





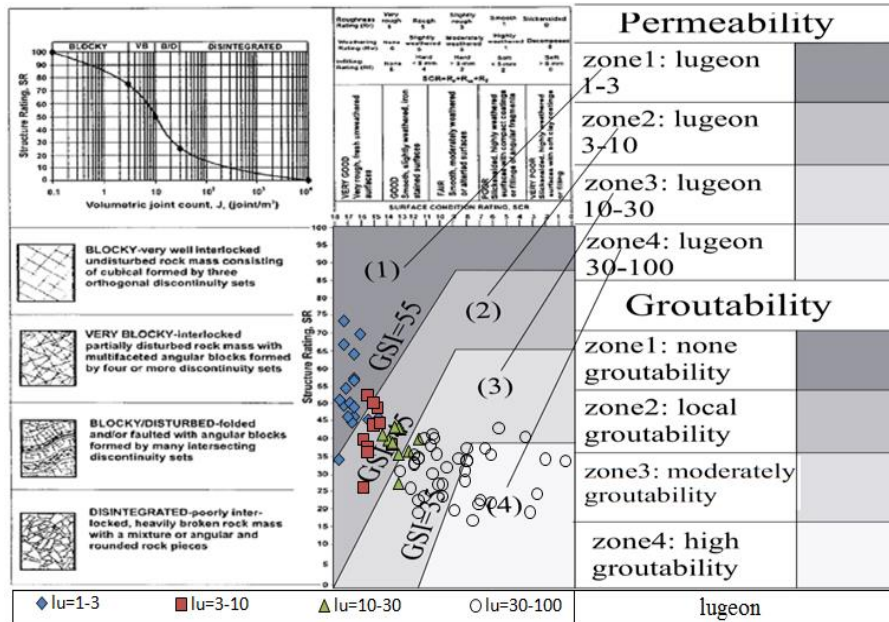
شکل ۲. نقاط پیاده شده بر روی چارت طبقه بندی شاخص مقاومت زمین شناسی (Sonmez and Ulusay, 2002).

جدول ۱. طبقه بندی لوزان در چهار کلاس نفوذپذیری (Houlsby, 1990).

توصیف کیفی	لوزان (Lugeon) (لیتر/ دقیقه، متر)
نفوذناپذیر	۱-۳
نفوذپذیری کم	۳-۱۰
نفوذپذیری متوسط	۱۰-۳۰
نفوذپذیری زیاد	۳۰-۱۰۰

جدول ۲. طبقه بندی براساس SPI در چهار کلاس (Foyo, 2005)

شاخص نفوذپذیری ثانویه (SPI) (لیتر/ثانیه، متر)	$SPI \leq 2/14 \times 10^{-14}$	$2/14 \times 10^{-14} < SPI \leq 1/72 \times 10^{-12}$	$1/72 \times 10^{-12} < SPI \leq 1/72 \times 10^{-10}$	$SPI < 1/72 \times 10^{-10}$
کلاس سنگ	A	B	C	D
طبقه بندی توده سنگ	عالی	متوسط - خوب	ضعیف	خیلی ضعیف
بهبودی زمین	احتیاج نیست	به طور محلی نیاز است	مورد نیاز است	به طور گسترده نیاز است
لوزان معادل	< ۱	۱-۸	۸-۸۰	> ۸۰



شکل ۳. زون بندی انجام شده بر روی چارت طبقه بندی شاخص مقاومت زمین شناسی به همراه تزریق پذیری و بهسازی آن.

این صفحات معمولاً در فواصل دهها سانتیمتری ظاهر می‌شوند

$$(Q_s = Q_{WPT}) \cdot (nw = 1)$$

۲- سنگ با صفحات انفصالی و درزه‌های با فواصل متوسط

در این گروه فاصله بین ناپیوستگی‌ها ۱۵ الی ۲۰ سانتی‌متر می‌باشد و تعداد درزه‌ها در هر متر از گمانه بین ۵ تا ۱۰ عدد تغییر می‌کند که این مورد به جهت حفاری گمانه نسبت به ناپیوستگی‌ها بستگی دارد.

$$(Q_s = 0.35Q_{WPT}) \cdot (nw = 3)$$

۳- سنگ با صفحات انفصالی و درزه‌های با فواصل کم

فاصله بین ناپیوستگی‌ها در این حالت تقریباً حدود ۵ سانتی‌متر است

$$(Q_s = 0.16Q_{WPT}) \cdot (nw = 6)$$

به‌طور کلی براساس تجربیات بدست آمده می‌توان نتیجه گرفت: الف- در شرایطی که فاصله بین ناپیوستگی‌ها زیاد است، اگر  $Q_s > 1$  باشد، سنگ تزریق پذیر است. ب- در شرایطی که سنگ با صفحات انفصالی و درزه‌های آن دارای فواصل متوسط باشد، اگر  $Q_s > 1/5$  باشد، سنگ تزریق پذیر است. ج- در شرایطی که فاصله صفحات انفصالی سنگ کم است، اگر  $Q_s > 2$  باشد، سنگ تزریق پذیر است (Ewert, 1985 and 2005).

با توجه به اینکه میزان درجه درزه داری در زون‌های مختلف متفاوت می‌باشد، براساس میزان لوژان اقدام به تعیین تزریق پذیری و بهسازی توده‌های سنگی گردیده است. با توجه به تقسیم بندی مربوط به جذب ویژه و شروط الف تا ج برای هر محدوده لوژان و ثابت بودن مقادیر  $nw$  در فرمول جذب ویژه و مشخص بودن دامنه مقدار لوژان در هر زون امکان تزریق پذیری تعیین گردید. در محدوده لوژان ۱ تا ۳ زون ۱ تقریباً امکان تزریق وجود ندارد.

در محدوده لوژان ۳ تا ۱۰ زون ۲ فقط در صورت درجه درزه داری پایین تا متوسط امکان تزریق وجود دارد. در محدوده لوژان ۱۰ تا ۳۰ زون ۳ در صورتی که درجه درزه‌داری بالا باشد به شرط اینکه لوژان بین ۱۳ تا ۳۰ باشد امکان تزریق وجود دارد. لوژان بین ۵ تا ۱۲ در درجه درزه داری بالا تزریق پذیر نخواهد بود. در محدوده لوژان ۳۰ تا ۱۰۰ در هر درجه درزه داری امکان تزریق وجود دارد. با

در این چارت میزان  $GSI$  بیش از ۵۵ محدوده لوژان ۱-۳ یا نفوذناپذیر، میزان  $GSI$  بین ۴۵ تا ۵۵ محدوده لوژان ۳ تا ۱۰ یا نفوذپذیری کم، میزان  $GSI$  بین ۳۵ تا ۴۵ محدوده لوژان ۱۰ تا ۳۰ یا نفوذپذیری متوسط و میزان  $GSI$  کمتر از ۳۵ محدوده لوژان ۳۰ تا ۱۰۰ یا نفوذپذیری زیاد را نشان می‌دهند. زمانی که میزان  $GSI$  بیشتر از ۶۰ و  $SCR$  در محدوده (۱۵/۵ تا ۱۸) و یا (Very good) خیلی خوب باشد، کیفیت خوب توده سنگ به لحاظ خردشدگی و نفوذناپذیری این محدوده را نشان می‌دهد. زمانی که میزان  $GSI$  کمتر از ۲۰ و  $SCR$  در محدوده (۰ تا ۳/۵) و یا (Very poor) خیلی ضعیف می‌باشد، کیفیت نامناسب توده سنگ به لحاظ خردشدگی و نفوذپذیری بالای آن را نشان می‌دهد که در چارت زون بندی شده این نتایج قابل استنباط است. پس از تعیین زون‌ها و میزان نفوذپذیری آن‌ها اقدام به ارزیابی تزریق پذیری در این زون‌ها گردیده است. خاطر نشان می‌شود مرز زون‌های تفکیک شده به خصوص زون‌های ۲ با ۳ و ۳ با ۴ کمی نسبت به هم نوسان نشان می‌دهند.

### ارزیابی تزریق پذیری

در این مرحله میزان تزریق پذیری محدوده زون‌ها به کمک جذب ویژه مورد ارزیابی قرار گرفته است. در ارزیابی تزریق پذیری بر اساس آزمایش فشار آب، میزان جذب آب در طول یک متر از مقطع آزمایش دارای اهمیت اول نبوده، بلکه میزان جذب آب در یک مسیر انفرادی دارای اهمیت است. این میزان خوردند را مقدار جذب ویژه ( $Q_s$ ) می‌نامند (Ewert, 1985 and 2005).

شاخص مقادیر جذب ویژه از رابطه ۶ زیر قابل محاسبه است:

$$Q_s = Q_{WPT} / nw \quad (6)$$

که در این رابطه  $Q_{WPT}$ : مقدار خوردند آب بدست آمده برای هر متر گمانه  $nw$ : تعداد مسیرهای آب در طول گمانه می‌باشد.

با توجه به میزان درزه داری در سنگ‌ها می‌توان آن‌ها را براساس تزریق پذیری به سه گروه اصلی زیر تقسیم‌بندی نمود:

۱- درزه‌های با فواصل زیاد

پارامتر SCR بازشدگی درزه ها مربوط طبقه بندی RMR در نظر گرفته شود. با این عمل می توان تاثیر دو پارامتر اصلی بازشدگی و درجه درزه داری را در میزان نفوذپذیری و تزریق پذیری توده های سنگی تعیین نمود

### نتیجه گیری

در مقاله حاضر با انجام طبقه بندی شاخص مقاومت زمین شناسی و استفاده از مقادیر لوژان امکان تعیین زون هایی در چارت شاخص مقاومت زمین شناسی فراهم گردید. در این زون ها میزان نفوذپذیری تعیین گردیده است. در این چارت میزان GSI بیش از ۵۵ محدود لوژان ۱-۳ یا نفوذناپذیر، میزان GSI بین ۴۵ تا ۵۵ محدود لوژان ۳ تا ۱۰ یا نفوذپذیری کم، میزان GSI بین ۳۵ تا ۴۵ محدود لوژان ۱۰ تا ۳۰ یا نفوذپذیری متوسط و میزان GSI کمتر از ۳۵ محدود لوژان ۳۰ تا ۱۰۰ یا نفوذپذیری زیاد را نشان می دهند. در این زون ها میزان تزریق پذیری و راهکار بهسازی توده سنگ های قرار گرفته در هر زون تعیین گردیده است. زون اول ناحیه بدون توان تزریق پذیری (None groutable) می باشد. زون دوم ناحیه با تزریق پذیری محدود که به صورت محلی (Local) می باشد. زون سوم ناحیه با تزریق پذیری متوسط (Medium groutable) می باشد. زون چهارم ناحیه با تزریق پذیری بالا (High groutable) می باشد.

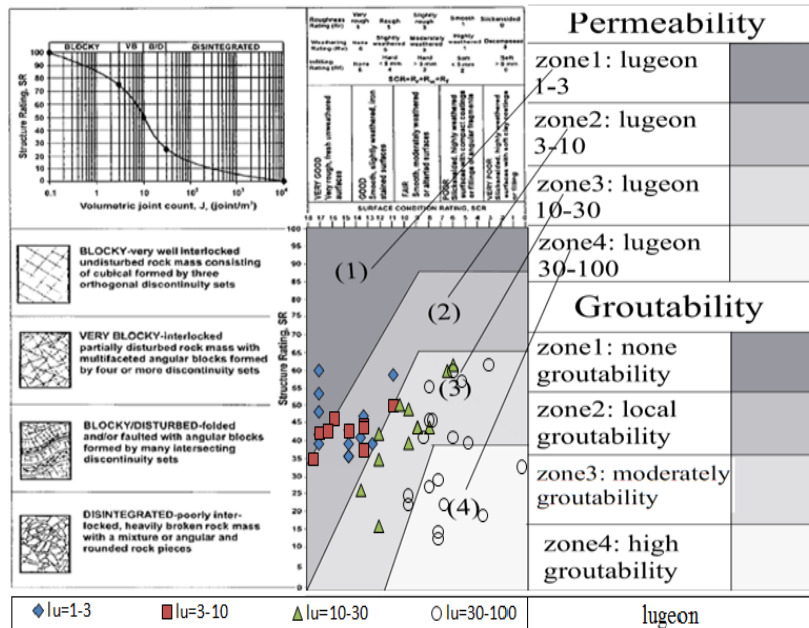
محدوده های پیشنهادی ارائه شده مورد آزمایش قرار گرفته است که مطابقت نسبتا خوبی را نشان می دهند. تعیین میزان نفوذپذیری و تزریق پذیری توده های سنگی قبل از انجام آزمایش لوژان چشم اندازی در نحوه تخصیص هزینه های اکتشافی و کنترل و برنامه ریزی پروژه در اختیار مهندسين طراح و کارفرما قرار خواهد داد. در این مقاله سعی بر تعیین میزان نفوذپذیری توده های سنگی بدون انجام آزمایش لوژان بوده که این امر می تواند در کاهش هزینه های آب بندی و تحکیم توده های سنگی موثر باشد. در واقع زون بندی انجام شده در راستای ایجاد ایده ای به خوانندگان محترم جهت بررسی های بیشتر و دقیق تر برای ارائه شاخصی جهت ارزیابی نفوذپذیری توده های سنگی پیش از انجام آزمایشات تزریق پذیری می باشد.

توجه به راهنمای شکل ۳ و قسمت Groutability آن قابلیت بهسازی این زون ها مشخص شده است. زون اول ناحیه بدون توان تزریق پذیری (None groutable) می باشد. زون دوم ناحیه با تزریق پذیری محدود که به صورت محلی (Local) می باشد. زون سوم ناحیه با تزریق پذیری متوسط (Medium groutable) می باشد. زون چهارم ناحیه با تزریق پذیری بالا (High groutable) می باشد.

### نتایج ارزیابی چارت

پس از تعیین چارت اصلی اقدام به ارزیابی آن گردیده است. جهت انجام این امر از حدود ۸۰ داده که مربوط به سد مخزنی جامیشان در استان کرمانشاه و سد مخزنی و نیار در استان آذربایجان شرقی استفاده شده است. این داده ها بر روی چارت ارائه شده پیاده سازی گردید و نتایج آن در شکل ۴ قابل مشاهده می باشد. در زون ۳ با نفوذپذیری متوسط و زون ۴ با نفوذپذیری بالا تطابق نقاط پیاده سازی نسبتا خوب می باشد. در حالی که در زون ۲ با نفوذپذیری کم و زون ۱ بدون نفوذپذیری میزان تطابق کمی نوسان را نشان می دهد.

علت این امر را می توان به ضریب اطمینانی که جهت عملیات تزریق به صورت Local اعمال می شود دانست. در کل می توان چارت ارائه شده را به عنوان شاهد جهت اظهار نظر کلی در مورد میزان نفوذپذیری و تزریق پذیری مورد استفاده قرار داده و چشم اندازی در مورد میزان نیاز به تزریق برای پرده آب بند ارائه نمود. همان طور که قبلا ذکر گردید آزمایشات مربوط به لوژان و تعیین RQD در سنگ های رسوبی و آذرین از جمله: آهک، ماسه سنگ، کنگلومرا، گابرو، دیاباز انجام شده است. چارت ارائه شده در سنگ های با خردشدگی زیاد (RQD کمتر از ۱۰) و نفوذناپذیر مانند: شیل و شیست کاربرد ندارد. لازم به ذکر است راه حل ارائه شده در ارتباط با توده سنگ های شیلی و شیستی تخمین منطقی از نفوذپذیری و تزریق پذیری ارائه نمی دهد که این موضوع به دلیل وضعیت خاص این سنگ ها به لحاظ نفوذپذیری می باشد. خاطر نشان می شود به دلیل عدم دسترسی به نتایج تزریق آزمایشی سیمان در این مناطق امکان صحت-سنجی بیشتر و دقیق تر وجود نداشته است. پیشنهاد می گردد به جای



شکل ۴. داده های پیاده سازی شده مربوط به سد مخزنی جامیشان و سد مخزنی و نیار.

## منابع

- اجل لوئیان. ر.، محمدی. د.، ۱۳۸۲، رده بندی توده سنگ روشی کاربردی در مهندسی عمران، انتشارات فن آوران، ص ۳۴۷.
- اجل لوئیان. ر.، کراری. س.س.، ۱۳۹۴، راهکار اجرایی تزریق در سد با استفاده از لوژان و شاخص نفوذپذیری ثانویه، مجله زمین شناسی کاربردی پیشرفته، شماره ۲۱، ص ۹-۱.
- حیبی. و.، ۱۳۹۰، بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی ساختگاه سد جامیشان با توجه به نتایج عملیات مهندسی تزریق، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه اصفهان.
- حیدری. ف.، ۱۳۷۹، بررسی مسائل زمین شناسی مهندسی و ژئوتکنیکی محل سد کارون ۲ محور A-3، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه اصفهان.
- طاهری. د.، ۱۳۸۱، بررسی ویژگی های زمین شناسی مهندسی ساختگاه سد بختیاری و ارزیابی تزریق پذیری پی سنگ و تکیه گاه های آن به منظور طراحی پرده آب بند، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه تربیت مدرس.
- مقلب. ع.، ۱۳۸۸، بررسی خصوصیات زمین شناسی مهندسی ساختگاه سد ونیار با توجه به نتایج عملیات مهندسی تزریق، پایان نامه کارشناسی ارشد دانشگاه اصفهان.
- Azimian. A., Ajalloeian R., 2015, Permeability and groutability appraisal of the Nargesi dam site in Iran based on the secondary permeability index, joint hydraulic aperture and Lugeon tests, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol: 74, No: 3, p:845-859.
- Barton. N., 2008, *Workshop Rock Engineering for Drill and Blast and TBM Tunneling and Important Aspects of Rock Mass Behavior*, Iran.
- Cai. M., Kaiser. Uno. H., Tasaka. Y., Minami. M., 2004, Estimation of Rock Mass Deformation Modulus and Strength of Jointed Hard Rock Masses Using the GSI System, *Int. J. Rock Mech. And Min. Sci*, Vol: 41, p:319.
- Ewert. F. K., 1985, *Rock Grouting with Emphesises on Dam Sites*, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg.
- Ewert. F. K., 2005, Hydrofracturing of Latent discontinuities in rock and implication for successful and economical execution of grouting, *Dam Engineering*, Vol: 16, No: 1, p:5-56.
- Foyo. A. M. A., Sanchez. C., Tomillo., 2005, A proposal for Secondary Permeability Index obtained from water pressure test in dam foundations, *Engineering Geology*, Vol: 77, p:69-82.
- Hoek. E., Brown, E. T., 1997, Practical estimates or rock mass strength. *Int J Rock Mech Min Sci*, 34(8), p: 65-86.
- Hoek. E., Kaiser. P. K., Bawden. WF., 1994, *Support of under-ground excavations in hard rock*, Rotterdam, Balkema, p:215.
- Houlsby. A. C., 1990, *Construction and Design of Cement Grouting*, John willy & Sons, p:422.
- Kayabasi. A., Akgun. A., Gokceoglu. C., Hoek. E., Martinos. P., Martinos. V., 2005, Characterisation and engineering properties of tectonically undisturbed but lithologically varied sedimentary rock masses under publication, *Int J Rock Mech Min Sci*, Vol: 42, p:277-285.
- Palmstrom. A., 2009, Combining the RMR, Q, and RMI classification systems, *Rock Mass*, Oslo Norway, p:25.
- Rostami Barani. H. R., Lashkaripour. Gh., Ghafoori. M., 2014. A Proposal for Geological Groutability Index (GGI) of Cement Grouting in Rock Foundations, *Indian Journal of Science and Technology*, vol: 7, No: 2, p:95-103.
- Sonmez. H., Ulusay. R., 2002, A discussion on the Hoek-Brown failure criterion and suggested modifications to the criterion verified by slope stability case studies, *Yerbilimleri*, Vol: 26, p: 77- 99.
- Uromeihy. A., Farrokhi. R., 2011, Evaluating groutability at the Kamal-Saleh Dam based on Lugeon tests, *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, Vol: 71, No: 2, p:50-63.
- Zeidabadi Nezhad. H., Ajalloeian. R., Azimian. A., 2012, Evaluation of Geological and Engineering Geological Properties of Cheshmeh-Asheq Dam Site, *EJGE*, Vol: 17, p:2633-2644.