بررسی جداول کیفیت سنگ و ابعاد شکستگی

با نگاه ویژه به

سد خاکی آستانه دامغان و سد خاکی ماملو

نوشتهٔ: حسن عباسی * محمد گیاهی * عبدالرضا طاهریان *

چکیده

ابعاد شکستگی پارامتر مفیدی است که توسط آن می‌توان خصوصیات شکستگی نامنظم موجود در یک توده سنگ را مشخص و طبقه‌بندی و نمودار جدیدی را برای تعیین کیفیت سنگ بدست آورد در این رابطه الگوریتم جدیدی ارائه می‌گردد که در آن طول مؤثر بازیافتی کلی و تعداد آن‌ها، برای طول‌های مرجع به خصوص محاسبه می‌گردد ترسیم بر روی کاغذی با مقیاس عادی، خطی را با شیب منفی ارائه می‌دهد. این ترسیم به عنوان جدول یا نمودار کیفیت سنگ (RQC) شناخته شده و شیب خط رگرسیون موجود در نمودار اندیس کیفیت در نظر گرفته می‌شود.

Abstract

Fractal dimension is proposed as a useful parameter for characterizing the irregular fragmentation within a Rock mass, leading to a new empirical rock Quality Chart and classification. A new algorithm is developed which total recoverable intact length and their number are calculated for a given set of reference lengths.

Their plot on arithmetic paper yeilds a line with negative slope. This plot is referred to as the Rock Quality Chart (RQC) and the slope of regression straight line is adopted as the rock quality index.

مقدمه

حضور ناپیوستگی‌ها (درزه، شکاف، شکستگی و گسله‌ها) و هم‌زیستی فعلی آنان با توده سنگ، خواص مربوط به مقاومت بکر و اولیه سنگ را کاهش می‌دهد. از این رو شناخت ناپیوستگی‌ها به منظور حل بسیاری از مشکلات مهندسی عمران، معدن و زمین‌شناسی از اهمیت حیاتی برخوردارند. در این مورد می‌توان مشکلاتی نظیر حفر تونل در داخل سنگ، حفر فونداسیون‌های عمیق در سنگ بستر، کنترل نشت آب زیرزمینی و ارزیابی امکان ذخیره گرمابی در سازندهای سنگی را نام برد.

برای ارزیابی کیفیت توده سنگ، روش‌های مختلفی ارائه شده است

(Sen, 1990-91 ; Ege, 1987; Barton, 1974; Bieniawski, 1974; Deer, 1963)

این روش‌ها سالیان متمادی است که به وسیله مهندسان در مطالعات صحرایی (کاربردی) و مطالعات تحقیقاتی به کار برده می‌شوند:

Terzaghi (1964) در ردیف اولین کسانی بود که توده سنگ‌های ماسیو را طبقه‌بندی نمود وی در این طبقه‌بندی امکان فعل و انفعالات مکانیکی انواع مختلف سنگ‌ها را بیان کرد. طبقه‌بندی ترازقی بیشتر جنبه کیفی داشته و از این‌رو تا اندازه‌ای بحث برانگیز می‌باشد. از سوی دیگر، مفاهیم و توصیفات کیفی موجود در آن مکمل طبقه‌بندی تونل‌ها بود. طبقه‌بندی تونل ترازقی بر پایه بارهایی که به سقف و دیواره تونل وارد می‌شود قرار داشت. به طوری که با ارزیابی این بارها می‌بایست نوع سیستم نگهداری تونل در نظر گرفته شود.

بعداً طبقه‌بندی مشابه‌ای نیز برای تونل‌ها، سراشیب‌های سنگی و فونداسیون‌های سنگی توسط محققین مختلف ارائه گردید (Ward, 1968; Duncon and Goodman 1968; Stini, 1950)

Rock Quality Chart and Fractal Dimensions at Astaneh Damghan and Mamloo Earth Fill Dams

By: Abbasi, H * ., Giahi, M*., and Taherian, A *

این طبقه‌بندی‌ها رهنمودهای مفیدی را در بررسی‌های صحرایی ارائه داده و نتایج آن‌ها را می‌توان به خوبی در مراحل طراحی و ساخت سازه مورد نظر به کار گمارد، اما اطلاعات کافی و بایسته‌ای را راجع به ناپیوستگی‌های موجود در توده سنگ ارائه نمی‌دهند. به طوری که شخص بررسی کننده نمی‌تواند اثر «اندازه بلوک» ناپیوستگی‌ها و طول‌های اثر را ارزیابی و در تصمیم‌گیری نهایی طراحی سازه، وارد نماید.

Deer (1964) روش ساده، مؤثر و قابل توجه‌ای را به نام «درجه کیفیت توده سنگ» (RQD) ارائه نمود. این روش ضعف‌ها و کاستی‌های زیر را در بردارد:

۱- روش RQD اطلاعات دقیقی راجع به چگونگی تغییر فاصله بین ناپیوستگی‌های موجود در امتداد مغزه‌ها را ارائه نمی‌نماید. در حقیقت، مقدار عدد به دست آمده ارزیابی بسیار کلی از کیفیت توده سنگ را بیان نموده که ممکن است برای کل توده سنگ مورد بررسی، ارزشمند نباشد.

۲- روش RQD هیچ‌گونه اطلاعاتی در مورد فاصله بین شکستگی‌های بزرگ‌تر از ۱۰ سانتی‌متر را ارائه نمی‌نماید. از این‌رو اگر اندازه‌گیری‌ها در خط سنجش‌های مختلفی انجام گرفته و درتمام آن‌ها طول مؤثر بزرگ‌تر از ۱۰ سانتی‌متر باشد در آن صورت مقدار عددی RQD برای تمامی آن‌ها برابر با ۱۰۰ درصد (کیفیت عالی) خواهد بود.

۳- از نظر آماری، تعریف RQD موید این امر است که مقدار عدد RQD فقط به میانگین حسابی طول‌های مؤثر مربوط می‌گردد حال آن که به خوبی می‌توان دریافت که طول‌های مؤثر در طبیعت بیشتر توزیع تصادفی دارند. از این‌رو، طول‌های مؤثر در امتداد هر طولی از مغزه، علاوه بر مقدار میانگین ساده دارای انحراف معیار و ضریب همبستگی مجموعه‌ای [1] نیز هستند.

۴- روش RQD برای کل توده‌های سنگی مورد بررسی، صرفاً یک نوع کیفیت سنگ را ارائه می‌دهد ولی هر توده سنگی ممکن است از پهنه‌های کیفیتی مختلفی تشکیل شده باشد که توسط RQD نمی‌تواند مشخص گردد.

این مقاله بر اساس آخرین تحقیقاتی که به وسیله Sen (1992) انجام گرفته، قرار دارد و روش‌های جدیدی را (به غیر از RQD) برای ارزیابی کیفیت سنگ ارائه می‌دهد. بدین منظور از گمانه‌های حفر شده در سد خاکی آستانه (گمانه BH5) سد خاکی مملو (گمانه BH9) استفاده شده است. این دو گمانه در کنگلومرای نئوژن (میوسن بالایی) حفر گردیده‌اند.

جدول کیفیت سنگ [2] RQC

هرگونه اندازه‌گیری که در صحرا بر روی مغزه‌های حاصل از حفاری انجام می‌گیرد، نهایتاً منجر به ارزیابی طول‌های مؤثری (در روش RQD قطعات مساوی و بزرگ‌تر از ۱۰ سانتی‌متر) می‌شوند که صبیعتاً از نظر اندازه، نامنظم هستند (X1, X2, ... Xn) که در این جا N تعداد طول‌های مؤثر [3] است.

برای تهیه جدول کیفیت (RQC)، اولین گام در صحرا برداشته می‌شود. در این مرحله بعد از هر نوبت مغزه‌گیری، به کل قطعات مغزه بازیافتی توجه شده و هر قطعه برحسب سانتی‌متر اندازه‌گیری و ثبت می‌گردند. بدیهی است که مجموع طول مغزه‌های مؤثر (کم‌تر یا بیشتر از ۱۰ سانتی‌متر) در هر نوبت مغزه‌گیری با مقدار مغزه بازیافتی [4] (CR) آن نوبت برابر می‌باشد. بعد از اتمام گمانه، و پس از ارزیابی جدول حاصل از اندازه‌گیری طول قطعات مغزه (جدول شماره ۱ ضمیمه) با توجه به تعداد فراوانی قطعات اندازه‌گیری شده (طول قطعات مغزه‌ها) و از ضرب کردن تعداد قطعات در اندازه آن‌ها طول کلی قطعات مورد نظر به دست می‌آید. این کار می‌تواند برای هر طول مغزه موجود در گمانه تکرار گردد. سپس با توجه به فراوانی طول مغزه‌ها، طول‌های مرجع [5] را انتخاب می‌نماییم و در این حالت هر طول مؤثر بر طول‌های مرجع انتخابی تقسیم می‌گردند (جدول ۱ و ۲)

1. Serial Correlation
2. Rock quality chart
3. Effective length
4. Core recovery
5- Reference length

جدول ۱ جدول کیفیت سنگ (RQC) برای گمانه BH5 سد آستانه دامغان (موقعیت = بستر رودخانه، عمق =۶۰ متر، مقدار آبرفت ۵/۳ متر، مقدار مغزه سنگی بازیافتی =۵۳۹۱ سانتیمتر یا ۹۸ درصد)

طول مرجع	تعداد	(نسبت طول کلی) مغزه بازیافتی		طول مغزه باز یافت نشده
		(درصد)	(سانتی‌متر)	
۱	۵۳۹۱	۱۰۰	۵۳۹۱	۰
۶	۸۹۴	۹۹	۵۳۶۴	۲۷
۱۰	۴۹۴	۹۱	۴۹۴۰	۴۵۱
۱۲	۳۹۶	۸۸	۴۷۵۲	۶۳۹
۱۸	۱۹۳	۶۴	۳۴۷۴	۱۹۱۷
۲۰	۱۲۴	۴۶	۲۴۸۰	۲۹۱۱
۲۴	۸۹	۳۹	۲۱۳۶	۳۲۵۵
۳۰	۴۸	۲۷	۱۴۴۰	۳۹۵۱
۶۰	۵	۶	۳۰۰	۵۰۹۱
۷۰	۴	۵	۲۸۰	۵۱۱۱

جدول ۲ ارزیابی جدول کیفیت سنگ (RQC) برای گمانه BH5 سد ماملو (موقعیت= ساحل راست، عمق =۴۲ متر، مقدار آبرفت =۱/۱۵ متر، مقدار مغزه سنگی بازیافتی =۳۸۵۹ سانتی‌متر یا ۹۵ درصد).

طول مرجع	تعداد	(نسبت طول کلی)	مغزه بازیافتی	طول مغزه باز یافت نشده
		سانتی‌متر	درصد	
۱	۳۸۵۹	۳۸۵۹	۱۰۰	۰
۳	۱۲۵۹/۸	۳۷۷۹/۴	۹۸	۲۷
۵	۷۵۰/۸۶	۳۷۵۴/۳	۹۷	۴۵۱
۱۰	۳۴۴/۰۷	۳۴۴۰/۷	۸۹	۶۳۹
۱۲	۲۶۶/۶	۳۱۹۹/۷	۸۳	۱۹۱۷
۱۵	۱۹۰/۸	۲۸۶۱/۴	۷۴	۲۹۱۱
۲۰	۱۱۴/۸	۲۲۹۵/۸	۵۹	۳۲۵۵
۲۵	۷۹/۵	۱۹۸۶/۲	۵۱	۳۹۵۱
۳۰	۴۴	۱۳۲۱/۶	۳۴	۵۰۹۱

برای مثال تعداد قطعه مغزه‌های ۶ سانتی‌متری به دست آمده از گمانه BH5 سد آستان دامغان، ۲۷ قطعه می‌باشد که پس از ضرب در عدد ۶، مجموع طول مغزه‌های ۶ سانتی‌متری به دست می‌آید حال با کسر مجموع طول مغزه‌های کوچک‌تر از ۶ سانتی‌متر از طول کل گمانه (۵۳۹۱ سانتی‌متر) مجموع طول مغزه‌های بازیافتی برابر یا بزرگ‌تر از ۶ سانتی‌متر به دست می‌آید که پس از تقسیم به ۶ سانتی‌متر تعداد قطعات مساوی یا بزرگ‌تر از ۶ سانتی‌متر حاصل می‌شود (نگاه کنید به جدول ۲ ضمیمه).

با توجه به جداول فوق می‌توان دریافت که افزایش در طول مرجع منجر به کاهش کل مقدار طول مؤثر بازیافتی و تعداد طول‌های مرجع انتخابی می‌گردد.

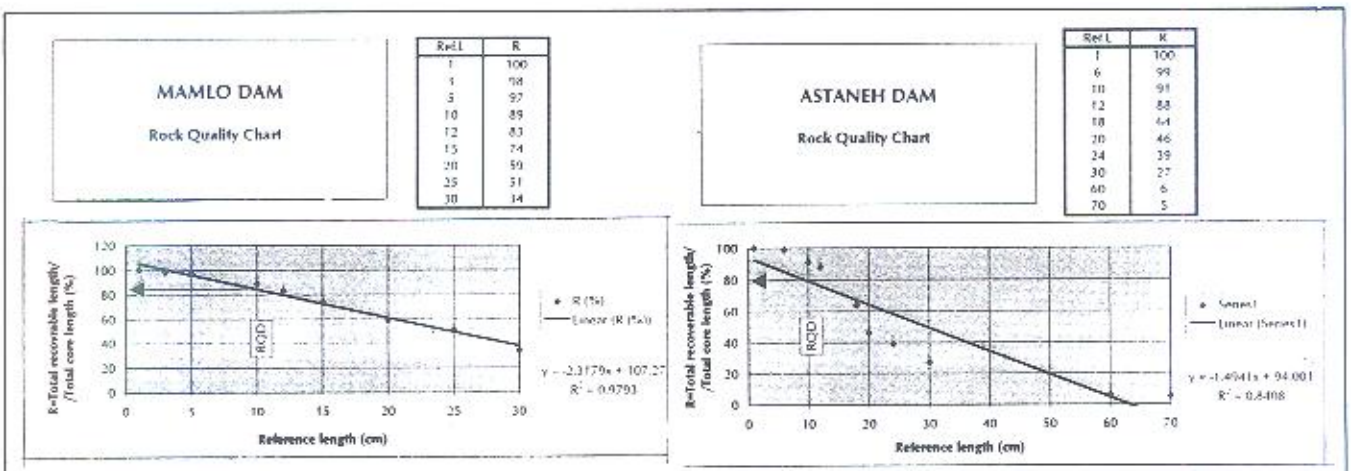
هم‌چنین این امکان نیز وجود دارد تا نسبت کل طول بازیافتی به کل طول مغزه را به صورت درصد، محاسبه نمود. همین روش را می‌توان برای مجموعه‌ای از طول‌های مرجع تکرار نمود که در این حالت بزرگ‌ترین اندازه موجود با طویل‌ترین طول مؤثری که در امتداد گمانه (یا یک نوبت مغزه‌گیری) وجود دارد برابر می‌گردد.

مطلب جالب دیگری که در نگاه اول مشاهده می‌شود این است که هرچه به طول مرجع افزوده می‌گردد از طول و هم‌چنین از تعداد «طول کلی مغزه بازیافت شده [۶]» کاسته می‌گردد حال آن که «طول مغزه بازیافت نشده [۷]» افزایش حاصل می‌نماید.

در این مرحله، جدول کیفیت سنگ (RQC) تعریف می‌گردد. برای این منظور نموداری رسم می گردد که توسط آن تغییرات طول مرجع نسبت به درصد «طول مغزه باز یافتی» تقسیم بر«کل مغزه» (R) مشخص می شود (شکل های ۱و۲).

6. Total length of recoverable

7. Non- recoverable



شکل ۱- نمودار جدول کیفیت سنگ برای گمانه BH5 (سد آستانه دامغان)

شکل ۲- نمودار جدول کیفیت سنگ برای گمانه BH9 (سد خاکی ماملو)

به هرحال، برای طول‌های مرجع بزرگ، تعداد نمونه‌های بازیافتی کم‌تر خواهد بود و در نتیجه نقاط به دست آمده در اطراف خط مستقیم نمودار، پراکندگی چندی را از خود نشان می‌دهند. این پراکندگی را فقط می‌توان به خاطر تغییرپذیری ناشی از نمونه‌برداری دانست. از میان نقاط موجود، بهترین خط راست (با آنالیز ساده رگرسیون) برازش داده می‌شود.

شیب این خط (S) معرف جامع کیفیت توده سنگ است:

گمانه S = -۱/٤۹٤۱ سد آستانه دامغان BH5

گمانه S = -۲/۳۱۷۹ سد خاکی ماملو BH9

مطلب جالب و مهم دیگر این است که این جداول کیفیت، ارزیابی تقریبی از مقدار کلاسیک RQD را برای کل گمانه ارائه خواهند داد. برای این منظور طول مرجع ۱۰ سانتی‌متر را در محور طولی تعیین و خط عمود بر این محور را رسم می‌نماییم. نقطه تقاطع آن با خط نمودار و ادامه آن به محور Yها، مقدار درصد RQD را مشخص می‌کند (شکل‌های ۱ و ۲). به طور کامل از روی این نمودار می‌توان مقدار RQD را برای هر طول مرجع انتخابی به دست آورد. هرچه شیب خط کم‌تر باشد، کیفیت سنگ بهتر خواهد بود. پرشیب بودن خط نمودار موید زوال و کیفیت پایین توده سنگ مورد بررسی است. براساس شیب به دست آمده توده سنگ مورد بررسی طبقه‌بندی خواهد شد (به جدول ۳ مراجعه شود).

جدول ۳- طبقه‌بندی کیفیت سنگ

شیب	کیفیت سنگ
(Cm-1)	
S< ۱،۰۰	عالی
۱،۰۰ <S< ۲،۵	بسیارخوب
۲،۵۵ <S< ۵ ،٤۵	متوسط
۵،۰۰ <S< ۷،۵	ضعیف
S< ۷،۵	بسیارضعیف

براین اساس گمانه BH5 (سدآستانه دامغان) در «محدوده بسیارخوب» و گمانه BH9 (سد خاکی ماملو) نیز جز سنگ‌هایی با کیفیت «متوسط» قرار می‌گیرد.

بایستی خاطرنشان ساخت که شیب‌های به دست آمده دارای واحد (Cm^{-1}) هستند. کلاً شکل ریاضی خط مستقیم، به صورت زیر خواهد بود:

Lr = ۱۰۰ -SX (۱)

که در آن Lr = درصد طول‌های مؤثر بازیافتی، S = شیب خط و نهایتاً X = طول مرجع است. با این فرمول می‌توان برای هر طول مرجع انتخابی، درصد طول‌های مؤثر بازیافتی را محاسبه نمود. معادله (۱) را می‌توان برای طول مفزه‌های ۱۰ سانتی‌متر (t) و بیش از آن (مبنای محاسبه RQD) به RQD مربوط نمود.

RQD =۱۰۰ -St (۲)

که در نتیجه:

گمانه BH5 سد آستانه دامغان RQD =۱۰۰ -(۱/٤۹٤۱) ×۱۰ =۸۵

گمانه BH9 سد خاکی ماملو RQD =۱۰۰ -(۲/۳۱۷۹) ×۱۰ =۷۷

نمودار کیفیت شکستگی سنگ (۸) (FRQC)

نمودار FRQC، مکمل نمودار RQC است. در این حالت، ابعاد شکستگی توده سنگ از نموداری که در آن لگاریتم طول مرجع در مقابل لگاریتم تعداد طول مرجع بازیافتی ترسیم می‌شود، بدست می آید. ازمیان نقاط بدست آمده بهترین خط برازش داده می شود(شیب این خط منفی است) (شکل های ۳ و٤). این نمودار درمنابع آماری به عنوان «ترسیم ریچارد سون » شناخته می گردد (1982 ,Mandelbrot)، سپس ابعاد شکستگی به صورت D = 1-sd تعریف می شود. ازسوی دیگر ارزیابی طول پروفیل رامی توان به صورت زیر نوشت:

L = NX - D (۳)

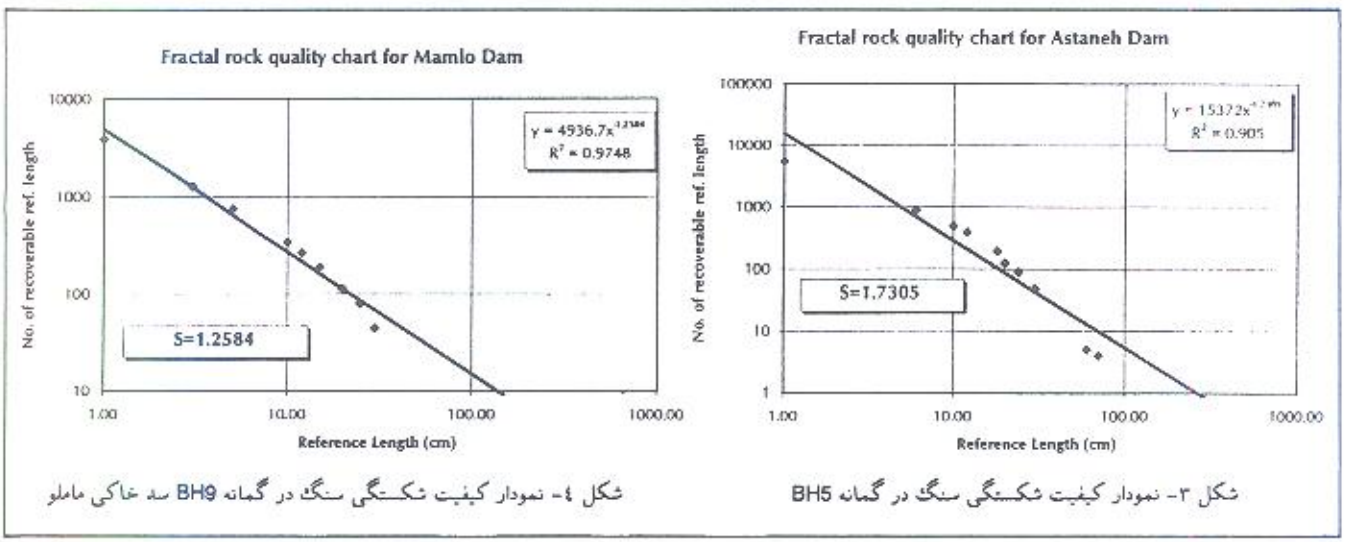
8. Fracture rock quality chart

مجموع بر حسب سانتیمتر	تکه‌های مغزه بر حسب سانتیمتر	نوبت مغزه گیری
۲۰	۲۰	۱۱
۱۶۰	۲۴+۳۰+۸+۲۰+۴۰+۸+۲۴+۴	۱۲
۱۶۰	۳۴+۱۵+۶+۲۸+۸+۲۹+۲۷+۶+۲۵	۱۳
۱۲۰	۲۰+۳۶+۸+۱۰+۸+۱۵+۶+۱۶+۸	۱۴
۱۱۰	۱۶+۴+۸+۴+۶۸+۱۷+۲	۱۵
۱۰۰	۲۶+۸+۲۳+۱۵+۶+۱۶+۸+۱۴+۳+۳	۱۶
۱۷۰	۲۰+۳+۳۰+۷۸+۳۱+۶	۱۷
۱۶۰	۹+۶+۱۲+۲۰+۴+۱۲+۳۱+۶+۱۸+۱۶+۸+۱۴+۴+۱۲+۱۲+۱۱+۲	۱۸
۷۰	۲۲+۲۴+۱۴	۱۹
۱۴۰	۱۲+۳۰+۱۲+۷+۲۲+۲۳+۲۳	۲۰
۲۸۰	۱۲+۶+۱۲+۱۲+۱۲+۱۲+۱۰+۱۲+۱۸+۱۲+۱۲+۱۲+۲۴+۹+۶+۲۴+۱۲+۲۳+۶+۱۲+۸	۲۱
۸۰	۱۳+۲+۹+۶+۱۶+۲۲+۱۸	۲۲
۲۴۵	۹+۶+۱۲+۷+۲+۱۲+۷+۲+۱+۱۰+۸+۲۰+۱۲+۲۳+۹+۶+۷+۲+۶+۱۳+۴+۳۰+۶+۶+۳۰	۲۳
۱۵۰	۲۳+۹+۶+۶+۱۲+۸+۲+۱۲+۱۲+۱۲+۶+۱۸+۱۸	۲۴
۹۰۰۰	۸+۴+۱۵+۶+۸+۴+۱۴+۶+۱۸+۶+۶+۱۳	۲۵
۲۰۰	۹+۶+۱۸+۱۵+۶+۱۶+۸+۱۸+۱۲+۳+۶+۹+۶+۳۶+۱۸+۱۲+۱۸+۴۲+۳+۲۱+۲۵+۲	۲۶
۶۰	۱۸+۱۸+۶+۱۲+۶	۲۷
۱۳۵	۱۲+۶+۱۸+۳۶+۱۲+۲۳+۲۷	۲۸
۱۰۰	۶+۱۲+۱۸+۶+۶+۶+۱۸+۱۰+۱۴	۲۹
۲۵۰	۱۲+۷۲+۱۸+۱۳+۱۸+۳۶+۱۸+۱۸+۲۲+۲۲	۳۰
۱۵۰	۱۸+۱۸+۴۲+۱۸+۷+۱۸+۲۹	۳۱
۹۰	۱۸+۱۲+۱۲+۱۴+۲+۱۸+(۱۵+۶)	۳۲
۱۲۰	۱۲+۱۲+۷+۱۸+۱۰+۱۰+۱۵+۶+۶+۷+۱۲+۱۸+۱۲+۴	۳۳
۲۲۰	۱۸+۱۸+۲۴+۱۸+۱۸+۲۳+۱۸+۱۲+۶+۶+۶+۱۶+۱۲+۳۶۰	۳۴
۱۰۰	۲۴+۲۴+۷+۷+۷+۱۸+۱۳	۳۵
۱۱۰	۵۲+۵+۱۹+۱۳+۵+۱۲+۱۲	۳۶
۳۰	۱۵+۱۵+۱۰	۳۷
۲۸۰	۱۲+۱۸+۱۸+۷+۱۲+۱۲+۱۸+۶+۱۸+۱۸+۱۸+۱۲+۱۸+۱۲+۱۲+۱۸+۱۵+۱۲+۶+۱۶	۳۸
۱۸۰	۸+۴+۸+۴+۱۲+۱۲+۲۴+۳۶+۳۶+۱۸+۱۲+۳۰	۳۹
۵۰	۱۸+۳۲	۴۰
۲۶۰	۱۸+۵۴+۲۴+۲۰+۱۸+۳۰+۳۰+۱۸+۲۴+۲۴	۴۱
۲۰۰	۲۰+۱۲+۱۲+۳۲+۵۴+۶۰	۴۲
۲۳۰	۹+۶+۹+۶+۱۴+۴+۱۸+۱۳+۴+۱۸+۶+۱۴+۴+۸+۱۲+۲۰+۴+۱۸+۳۰+۱۲+۱۸+۶+۱۳+۶+۱۳+۶	۴۳
۸۶	۱۸+۲+۲+۱۲+۶+۱۲+۱۲+۱۲+۶+۲+۲	۴۴
۹۵	۲۲+۲۴+۲۰+۶+۸	۴۵
۹۰	۳۰+۲۲+۱۸+۶+۸+۳	۴۶
۱۶۰	۱۸+۳۰+۴+۲۴+۲۴+۱۲+۱۸+۱۲+۶+۱۲	۴۷
۵۳۰۹۱		
۵۰۳ آسفت		
۵۹۰۲۱	C.F =۶۹۸	

جدول ۱ ضمیمه- محاسبات مقدماتی برای ترسیم نمودار کیفیت سنگ سد آستانه دامغان، گمانه BH5

طول کلی مغزه در گمانه (سانتی متر)	تعداد	طول مغزه (سانتی متر)
۵۳۹۱	۵۳۹۱	۱
۱۰۰۴	۵	۲
۷	۲	۳
۸	۲	۴
۱۶۲	۲۷	۶
۷۷۰۶	۱۱	۷
۸۲۰۸	۱۰	۸
۹۶	۱۰	۹
۹۱۰۶	۹	۱۰
۱۱۰۲	۱	۱۱
۷۲۰۰۳	۶۰	۱۲
۲۶	۲	۱۳
۲۴۳۰۵	۱۷	۱۴
۱۵۴۰۲	۱۰	۱۵
۱۱۵۰۶	۷	۱۶
۱۷۰۲	۱	۱۷
۹۹۰	۵۵	۱۸
۱۲۰۰۸	۶	۲۰
۱۹	۱	۱۹
۴۳۰۲	۲	۲۱
۱۱۰	۵	۲۲
۴۶	۲	۲۳
۴۸۰۰۴	۲۰	۲۴
۵۰۰۲	۲	۲۵
۲۶۰۸	۱	۲۶
۵۴۰۶	۲	۲۷
۲۸۰۸	۱	۲۸
۵۸	۲	۲۹
۴۵۰	۱۵	۳۰
۱۰۲	۳	۳۴
۶۴	۲	۳۲
۱۸۰	۵	۳۶
۴۰۰۸	۱	۴۰
۴۶۰۸	۱	۴۶
۴۱۰۶	۱	۴۱
۱۲۶	۳	۴۲
۵۴	۱	۵۴
۶۰	۱	۶۰
۶۸	۱	۶۸
۷۸	۱	۷۸

جدول ۲ ضمیمه- ارزیابی جدول کیفیت سنگ گمانه BH5 سد آستانه



شکل ۳- نمودار کیفیت شکستگی سنگ در گمانه BH5

شکل ٤- نمودار کیفیت شکستگی سنگ در گمانه BH9 سد خاکی ماملو

N = تعداد طول مرجع
X = طول خط مورد اندازه گیری
ازاین رو:
D= ۱-(-۱/۷۳۰۵) =۲/۷۳۰۵ گمانه BH5 سد آستانه دامغان
D= ۱-(-۱/۲۵۸٤) =۲/۲۵۸٤ گمانه BH9 سد خاکی ماملو
اگرابعاد شکستگی D=1 باشد در آن صورت خط سنجش مورد بررسی هیچ گونه ناپیوستگی رادربرنداشته وکیفیت سنگ عالی است (جدول ٤).

کیفیت سنگ	ابعاد شکستگی
عالی	D< ۲
بسیارخوب	۲ <D< ۲/۲۵
خوب	۲/۲۵ <D< ۲/۵
نسبتاًخوب	۲/۲۵ <D< ۲/۷۵
ضعیف	۲/۷۵ <D< ۳
بسیارضعیف	D> ۳

جدول ٤- طبقه‌بندی کیفیت سنگ

با توجه به جدول (٤) مشاهده می‌گردد که کیفیت شکستگی سنگ دو گمانه BH5 سد آستانه دامغان نسبتاً خوب و در گمانه BH9 سد خاکی ماملو خوب می‌باشد.
اغلب الگوهای شکستگی موجود در طبیعت دارای ابعاد شکستگی (D) بین ۲ و ۳ هستند. در هر حال طبقه‌بندی موجود در جدول ٤ با تجربیات صحرایی زیادتر و تحقیقات ژرف‌تر در آینده به یقین تغییراتی را در خود خواهد دید.
نکته قابل توجه و مهم در مفهوم FRQC این است که توسط آن می‌توان میانگین حداکثر اندازه بلوک (Lmax که مطابق با n=1 است)، را ارزیابی نمود. این مورد در طراحی تونل‌هایی که از میان سنگ عبور می‌نمایند، بسیار مهم و قابل توجه است. برای نیل به این هدف، محل برخورد خط رگرسیون را با محور Xها مشخص و Lmax به دست می‌آید (نگاه کنید به شکل‌های ۳ و ٤).

جدول ۳ ضمیمه- محاسبات مقدماتی برای ترسیم نمودار کیفیت سنگ سد ماملو، گمانه BH9

مجموع طول سر هم شده سانتیمتر	شکستگی‌های پیوسته بر حسب سانتیمتر	ردیف شمارش
۱۰	۳۰۳۱۲	۵
۳۰	۱۸۰۵۰۸۰۶۰۲	۶
۲۱۰	۸۱۰۶۱۳۰۳۵۶۰۶۴۶۰۶۱۵۰۴۰۲۸۰۲۰۱۲۰۵۰۲۵۰۵۰۳۴۰	۷
۲۱۰	۱۰۶۱۲۰۵۴۶۳۵۶۱۰۶۳۳۰۲۰۱۷۰۵۰۱۲۰۴۳۰۲۰۱۷۰۵۰۲۰۶۱۸	۸
۷۵	۱۵۶۲۱۴۲۵۲۱۵	۹
۲۸۵	۱۷۰۴۳۰۲۹۰۱۰۸۶۰۶۰۲۲۰۳۷۰۵۰۲۶۰۶۰۲۴۰۲	۱۰
۱۲۰	۱۲۰۲۵۰۲۸۰۱۲۰۲۵۰۱۶	۱۱
۲۹۰	۱۰۶۵۶۵۱۲۰۳۱۲۵۶۳۰۶۲۰۶۲۰۰۲۵۰۲۷۰۵۰۱۰۶۳۷۰۵۰۱۶۰۶۰۱۲۰۴	۱۲
۱۹۲	۲۵۰۳۳۰۲۶۸۰۲۶۱۶۰۷۰۲۶۰۱۶۰۲۰۲۸۰۱۵۲۶۰۲۴۵	۱۳
۸۰	۵۶۵۰۸۶۱۰۰۱۲۰۲۶۳۰۶۱۵	۱۴
۲۵	۶۰۶۰۶۰۴۰۱۰۶۱۲	۱۵
۲۰۰	۳۰۰۱۸۰۲۰۲۵۱۶۰۷۰۲۳۰۲۰۳۱۰۵۰۱۵۰۵۰۵۰۵۰۵۰۵۰۳۰۲	۱۶
۱۴۰	۱۲۰۳۷۰۵۰۲۰۶۵۸۰۲۰۱۲۰۲	۱۷
۲۶۰	۲۰۳۰۲۶۲۶۰۷۰۲۹۰۲۰۲۳۰۵۶۱۰۶۵۶۲۹۰۲۰۶۲۱۶۱۹۰۱۰۶۲۵۰۲۲۰۲۰۳۰۲۰۲۶۸۰۹	۱۸
۶۵	۱۵۰۳۰۲۰۳۰۲۶۱۲۶۱۲۰۶۹۰۶۰۶۰۶۲۰۱۰۲۳۰۱	۱۹
۹۵	۴۰۳۰۶۰۸۰۲۶۱۵۰۱۵۶۱۰۰۱۰۰۶۰۶۵۰۲۰۳	۲۰
۸۰	۱۲۶۱۲۰۳۰۲۶۰۱۰۰۱۰۰۱۰۰۱۰۰۱۰۰۱	۲۱
۲۶۰	۱۰۰۵۰۱۳۰۵۰۶۰۱۲۶۱۲۶۱۲۶۸۰۱۲۶۱۷۱۲۲۰۵۰۱۵۰۲۱۰۱۷۰۲۵۰۱۲۶۱۱	۲۲
۱۴۵	۶۰۲۰۶۰۲۶۲۲۰۱۵۰۱۵۲۲۰۰۵۱۲۲۰۵۶۰۰۱۵	۲۳
۹۵	۱۳۱۱۰۲۹۰۲۰۶۸۰۲۲۰۲۰۴۰۵	۲۴
۱۲۰	۱۲۰۱۵۰۲۰۰۵۰۷۰۲۰۵۰۵۰۱۸۰۲۶	۲۵
۲۷۰	۲۰۶۰۶۰۱۷۰۱۵۰۱۰۶۱۰۰۲۹۰۲۰۵۲۰۲۵۰۱۰۰۱۰۰۲۵۰۲۵۰۲۲۰۸	۲۶
۱۰۰	۱۰۰۲۲۱۵۰۱۲۱۵۰۲۱۰۱۵	۲۷
۲۹۰	۸۰۱۵۰۲۰۳۰۲۰۲۰۱۵۰۱۷۰۵۵۰۱۷۰۶۰۱۷۰۲۱۰۱۹۰۱۲۰	۲۸
۲۰	۲۰	۲۹
۷۰	۵۰۵۱۰۱۰۳۰۶۰۱۰۱۵۰۵	۳۰
۸۰	۲۰۰۱۰۵۰۵۰۵۰۵۰۵۰۵۰۵۰۵۰۵۰۵	۳۱

C.R=۲۸۰۵۹ n
□ ۳۰۱۰۱۵ آبرف

طول کلی مغزه در گمانه (سانتی متر)	تعداد	طول مغزه (سانتی متر)	طول کلی مغزه در گمانه (سانتی متر)	تعداد	طول مغزه (سانتی متر)
۱۱۳۰۴	۴	۲۸	۳۸۵۹	۱	۳۸۵۹
۱۴۵۰۹	۵	۲۹	۷۹۰۶	۲۲	۳
۱۵۰	۵	۳۰	۲۵۰۱	۶	۴
۶۶۰۶	۲	۳۳	۱۷۶۰۹	۳۶	۵
۳۲	۱	۳۲	۸۲۰۱	۱۳	۶
۳۱	۱	۳۱	۱۴	۲	۷
۳۶	۱	۳۶	۴۰۰۶	۵	۸
۴۴۰۲	۱	۴۴	۲۳۰	۲۳	۱۰
۴۲	۱	۴۲	۲۴۲۰۱	۲۰	۱۲
۲۲۵	۶	۳۷	۱۱	۱	۱۱
۴۵	۱	۴۵	۳۹۰۸	۳	۱۳
۸۶۰۸	۱	۸۶	۵۶۰۴	۴	۱۴
۷۷۰۵	۱	۷۷	۲۴۰	۱۶	۱۵
۵۸/۳۰	۱	۵۸	۸۲۰۳	۵	۱۶
۵۴	۱	۵۴	۱۷۱	۱۰	۱۷
۹۰	۱	۹۰	۷۲۰۳	۴	۱۸
۵۵	۱	۵۵	۱۴۰	۷	۲۰
			۱۰۵	۵	۲۱
			۱۹۰۲	۱	۱۹
			۶۶۰۵	۳	۲۲
			۶۹۰۹	۳	۲۳
			۴۹	۲	۲۴
			۳۲۵	۱۳	۲۵
			۵۳۰۳	۲	۲۶
			۲۷	۱	۲۷

جدول ٤ ضمیمه- ارزیابی جدول کیفیت سنگ گمانه BH9 سد ماملو

نتیجه گیری

جداول کیفیت سنگ نتایج مهم زیر را برای هر خط سنجش (گمانه، یک نوبت مغزه‌گیری، طول به خصوصی از گمانه، رخنمون) ارائه خواهد داد:

۱- خطی که از بین نقاط برازش می‌شود، نمودار را به دو منطقه مکمل تقسیم می‌نماید منطقه بالایی خط نمودار، منطقه‌ای است که در آن کیفیت سنگ بالا است در حالی که در منطقه زیرین، کیفیت‌های ضعیف‌تری از سنگ وجود دارد.

۲- شیب خط راست، کیفیت سنگ را ارائه می‌دهد (شکل‌های ۱ و ۲).

۳- با استفاده از جدول کیفیت سنگ (RQC) می‌توان تشخیص داد که چه در صدی از کل طول مؤثر، قابل بازیافت و چه درصدی از آن باز یافت نشده است. به طور مثال (نگاه کنید به جدول ۱) برای طول مرجع ۳۰ سانتی‌متر، ۲۷ درصد کل طول مؤثر قابل بازیافت و مابقی (۷۳ درصد) بازیافت نشده است.

کتاب‌نگاری

عباسی حسن، گیاهی محمد، طاهریان عبدالرضا، (۱۳۷۳)، «زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک سد آستانه دامغان» مهندسین مشاور لار.

عباسی حسن، گیاهی محمد، طاهریان عبدالرضا، (۱۳۷۳)، «زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک سد خاکی ماملو» مهندسین مشاور لار.

گیاهی محمد ، فروردین ۱۳۷۳ «بررسی‌های ژئوتکنیکی درسدها»، ترجمه مقاله سمپوزیم مسائل وتجربیات درمهندسی سد مهندسین مشاور لار.

گیاهی محمد،اسفند ۱۳۷۳ «تجربیات تخریب سدهای خاکی»؛ ترجمه مقاله سمپوزیم مسائل تجربیات درمهندسی سد، مهندسین مشاور لار.

References

Beacher, G. B., Lanney, N. A., and Einstein, H. H., 1977- Statistical description of rock properties and sampling. In: 18th U. S. Symposium on Rock Mechanics, 5C1- 8. of joint set characteristics from surface mapping data, in the 17th U. S. Symposium on Rock Mechanics, 2B2-1-9.

Deere, D. U., 1963- Technical description of rock cores for engineering purposes. Rock Mechanics Engineering Geology, Vol. 1, pp. 18-22.

Priest , S. D. and Hudson, J., 1976- Discontinuity spacing of rock. Rock mechanics, Vol. 13, pp. 135- 148.

Priest, S. D. and Hudson, J., 1981- Estimation of discontinuity spacing and trace length using scanline survey; Rock Mechanics, Vol. 18, pp. 183- 197.

Robertson, A., 1970- The interpretation of geologic factors for use in slope stability. In proceedings, Symposium on the theoritical background to th planning of open pit mines with special reference to slope stability. South African Institute of Mining and Metallurgy, Johannesburg, South Africa, pp. 55- 71.

Ryckes, K. D., 1984- A Routine Method to Evaluate the Modes of Failure and the Stability of Rock Slopes: Unpublished MS Thesis, imperial College of Science and Technology, London, England, 246 p.

Sen, Z., 1984- RQD medels and fracture spacing. Journal of Geotechnical Engineering, American Society of Civil Engineers, Vol. 110, no. 2, pp. 203- 216.

Sen, Z., 1990 a - RQP and rock fracture. Rock Mechanics, Vol. 27, pp. 235- 137.

Sen, Z., 1990 b- Cumulative core index for rock quality evaluations. Rock mechanics, Vol. 27, pp. 87- 94.

Sen, Z., and kazi, A. 1984- Discontinuity spacing and RQD estimates from finite length scanlines: Rock mechanics, Vol. 21, No. 4, pp. 203- 212.

Walits, P. F., and King, M. S., 1980- Discontinuity spacings in a crystalline rock. Rock Mechanics, Vol. 17, pp. 63- 66.

* مهندسین مشاور لار

* Lar Consulting Engineers.