بخش دوم

نگهداری در معادن

ایجاد حفریات معدنی مختلف، وضعیت نیروهای مؤثر بر سنگها را تغییر می‌دهد و در این زمینه اغتشاشاتی را به‌وجود می‌آورد. اگرچه در بعضی موارد، وضعیت سنگها به گونه‌ای است که پس از احداث حفریات نیز همچنان پابرجا باقی می‌ماند اما در بسیاری موارد، اگر حفریات به حال خود رها شوند، پس از مدتی ریزش خواهند کرد. بنابراین باید به نحوی مانع ریزش و تخریب این حفریات شد که این فرایند را نگهداری می‌گوییم.

بدین ترتیب اولین قدم در زمینه طراحی و اجرای سیستم نگهداری تونلها، کارگاههای استخراج و سایر حفریات معدنی، تحلیل پایداری آنهاست. براساس این تحلیل مشخص خواهد شد که آیا حفریات ایجاد شده بدون نصب سیستم نگهداری پایدار می‌مانند و یا اینکه باید بلافاصله و یا مدتی پس از حفر، سیستم نگهداری را نصب کرد.

طی فصلهای این بخش، ابتدا مفاهیم اولیه موردنیاز در نگهداری را تشریح خواهیم کرد و پس از شرح رده‌بندی‌های مختلف سنگها از دیدگاه نگهداری، وضعیت تنش در اطراف حفریات را شرح خواهیم داد. در فصلهای بعدی این بخش مصالح لازم برای نگهداری را شرح خواهیم داد و سرانجام به شرح چگونگی نگهداری حفریات مختلف خواهیم پرداخت.

فصل چهارم

رده‌بندی توده‌های سنگی

۴ــ۱ــ آشنایی

معمولاً سنگها را از دو دیدگاه مختلف بررسی می‌کنند، یکی دیدگاه زمین شناسی است که طی آن سنگها به انواع آذرین، رسوبی و دگرگونی تقسیم می‌شوند. این تقسیم بندی براساس نحوه تشکیل سنگ و ترکیب کانی شناسی آن انجام می‌گیرد. دیدگاه دیگر، نگاه مهندسی به سنگهاست که طی آن صرفنظر از نوع سنگ، آن را به عنوان مصالح صنعتی درنظر می‌گیرند.

در این تقسیم بندی، سنگ از نظر توانایی نگهداری حفریات زیرزمینی مورد قضاوت قرار می‌گیرد. البته مسئله حفر سنگها نیز در همین دیدگاه بررسی می‌شود. در این فصل، روشهای مختلف تقسیم بندی سنگها را با توجه به توانایی آنها از نظر نگهداری تونلها و سایر حفریات زیرزمینی مورد بررسی قرار می‌دهیم.

۴ــ۲ــ رده‌بندی مهندسی

طرح رده بندی مهندسی سنگها، سابقه‌ای دیرینه دارد و به سال ۱۸۷۹ میلادی باز می‌گردد که در آن سال، ریتر[۱]، نوعی طبقه بندی مهندسی سنگها را برای طراحی سیستم نگهداری تونلها، ارایه داد. پس از این رده بندی، رده بندی‌های دیگری در مورد توده‌های سنگی انجام گرفت که در زیر به‌اختصار آنها را بررسی می‌کنیم.

۴ــ۲ــ۱ــ رده بندی ترزاقی[۲]: قدیمی‌ترین مرجع رده بندی مهندسی توده‌های سنگی برای طراحی سیستم نگهداری تونلها مقاله‌ای است که در سال ۱۹۴۶ میلادی توسط ترزاقی ارایه شد [۹]. در این طبقه بندی سنگها به انواع زیر تقسیم می‌شد [۹] :

الف ــ سنگ بکر: سنگ بکر سنگی است که فاقد درزه و ترکهای مویی باشد. بنابراین، شکستگی سنگ در قسمتهای سالم آن اتفاق می‌افتد. در اثر آتشباری در چنین سنگی، ممکن است ساعتها و حتی روزها پس از آتشباری، قطعاتی از سقف ریزش کند. این وضعیت به نام شرایط

۱ــ Ritter ۲ــ Terzaghi

ریزش[1] نامیده می‌شود. در مورد سنگهای بکر سخت ممکن است وضعیت پوکیدن[2] نیز دیده شود که طی آن قطعاتی از دیواره یا سقف تونل به طور ناگهانی جدا می‌شود و سقوط می‌کند [۹].

ب ــ سنگ لایه لایه[3]: چنین سنگی از لایه‌های مجزایی تشکیل شده که چسبندگی لایه‌ها ممکن است ناچیز باشد و لایه‌ها در امتداد صفحات لایه بندی به آسانی از هم جدا شوند. درصورتی که سنگ درزه‌های عرضی هم داشته باشد، در این امتداد نیز ضعیف خواهد بود. درچنین سنگی، وقوع شرایط ریزش امری عادی است [۹].

ج ــ سنگ نسبتاً درزه‌دار[4]: این سنگ دارای درزه‌ها و ترکهای مویی است اما قطعات سنگ سالم بین درزه‌ها به گونه‌ای در داخل یکدیگر تداخل کرده‌اند که به هنگام حفر تونل در آنها، نیازی به نگهداری دیواره‌های قایم نیست. در چنین سنگی، ممکن است هر دو پدیده ریزش و پوکیدن، رخ دهد.

د ــ سنگ قطعه‌ای[5] و رگه‌دار[6]: این سنگ از قطعاتی تشکیل شده است که هر کدام از نظر شیمیایی، بکر یا تقریباً بکراند اما به طور کامل از هم مجزا هستند و قفل شدگی قطعات کامل نیست. دیواره‌های قایم تونلهایی که در این گونه سنگها احداث می‌شوند، ممکن است نیاز به نگهداری داشته باشند.

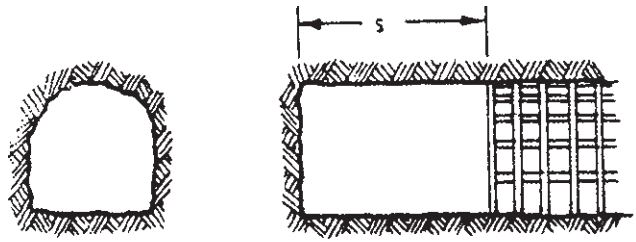
هـ ــ سنگ خردشده[7]: چنین سنگی مرکب از قطعات متعددی است که هر کدام ممکن است بکر و سالم باشند و امکان جاری شدن این قطعات به داخل تونل وجود دارد. اگر ابعاد تمام یا قسمتی از این قطعات در حد ذرات ماسه ریز باشد و در مورد آنها پدیده سیمانی شدن دوباره اتفاق نیفتاده باشد، در این صورت در مواردی که این سنگها در زیر سطح ایستابی قرار گیرند، رفتار آنها مشابه رفتار ماسه‌های آبدار خواهد بود.

و ــ سنگ لهیده[8]: اگر در چنین سنگی تونل حفر شود، توده سنگ به آهستگی به داخل تونل حرکت می‌کند، بدون آنکه افزایش حجم آن محسوس باشد. شرایط لازم برای بروز این پدیده، وجود درصد بالایی از ذرات میکروسکپی گروه کانیهای میکا و رس است که قابلیت تورم آنها کم باشد.

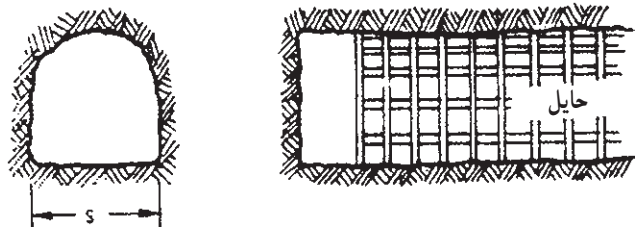
ز ــ سنگ آماس‌پذیر[9]: چنین سنگی، دراثر تورم ذرات، به داخل تونل جریان می‌یابد. این خاصیت محدود به سنگهایی است که حاوی کانیهای رسی ازقبیل مونت موریلونیت[10] با قابلیت تورم بالا هستند.

۱ــ Spalling condition
۲ــ Popping condition
۳ــ Stritified rock
۴ــ Moderately jointed
۵ــ Blocky
۶ــ Seamy
۷ــ Crushed rock
۸ــ Squeezing rock
۹ــ Swelling rock
۱۰ــ Montmorillonite

۴ــ۲ــ۲ــ رده بندی بر مبنای زمان پابرجایی: در سال ۱۹۵۸ میلادی، لوفر[۱]، رده بندی جدیدی بر مبنای زمان پابرجایی[۲] سنگها ارایه کرد. مقصود از زمان پابرجایی، زمانی است که تونلی که با دهانه فعال معین در داخل سنگ حفر شده است، بدون هیچگونه وسیله نگهداری پابرجا بماند و ریزش نکند. دهانه فعال تونل به عنوان فاصله بین دو دیواره تونل و یا فاصله بین جبهه کار و نزدیکترین وسیله نگهداری نصب شده در تونل (هر کدام که بزرگتر باشد)، تعریف می‌شود (شکل ۴ــ۱).



الف ــ سیستم نگهداری با فاصله زیاد از جبهه کار قرار دارد



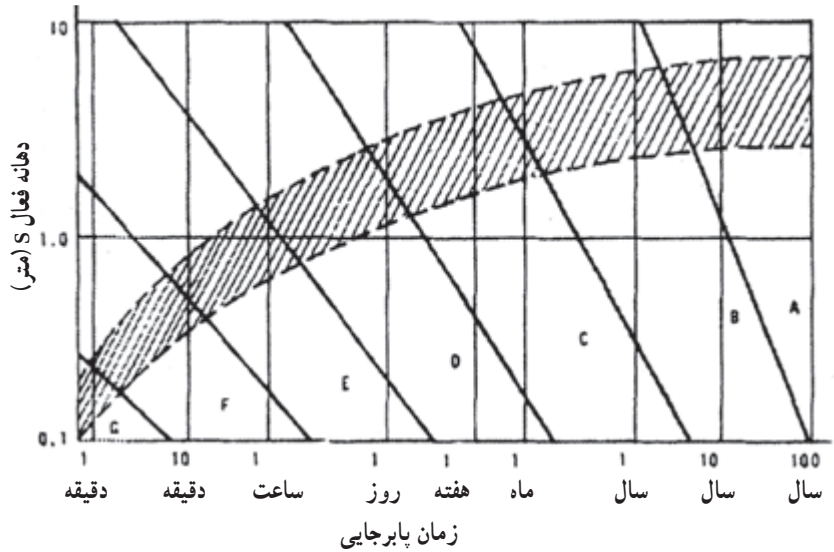
ب ــ سیستم نگهداری با فاصله کم از جبهه کار قرار دارد

شکل ۴ــ۱ــ تعریف دهانه فعال [۱۰]

بسته به زمان پابرجایی و دهانه فعال تونل، سنگها در تقسیم‌بندی لوفر به ۷ گروه A تا G تقسیم می‌شوند. در این تقسیم‌بندی A سنگ خیلی خوب (معادل سنگ بکر در رده بندی ترزاقی) و G سنگ خیلی ضعیف (معادل سنگ لهیده یا سنگ آماس‌پذیر در رده‌بندی ترزاقی) است (شکل ۴ــ۲).

۱ــ Lauffer

۲ــ Stand - up time



شکل ۴ــ۲ــ رده بندی سنگها بر اساس زمان پابرجایی [۱۰]

رده‌بندی اولیه لوفر، بعدها توسط افراد زیادی تکمیل شد که از آن جمله می‌توان به تحقیقات پاشر[۱] و همکارانش در سال ۱۹۷۴ میلادی اشاره کرد. این تحقیقات، بخشی از نگرش عمومی‌تونل‌سازی موسوم به روش جدید اتریشی را تشکیل می‌دهد [۹].

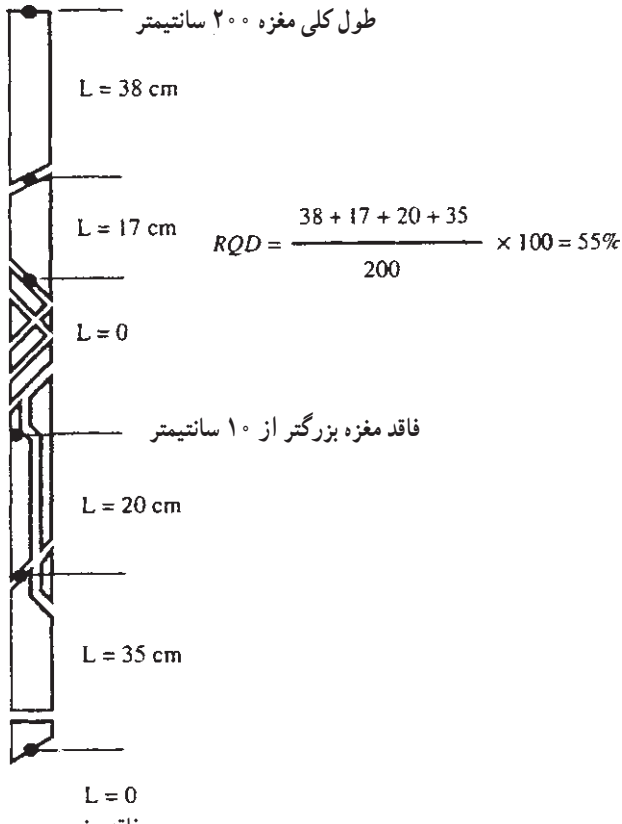
اهمیت روش رده بندی بر مبنای زمان پابرجایی از این واقعیت منشأ می‌گیرد که هرچقدر دهانه فعال تونل زیادترباشد، فرصت نصب سیستم نگهداری تونل کاهش می‌یابد. به‌عنوان مثال در حالی که یک تونل کوچک پیشاهنگ را عملاً می‌توان بدون نیاز به سیستم نگهداری به آسانی احداث کرد، در عین حال در همان سنگ، یک تونل با دهانه بزرگ ممکن است بلافاصله پس از حفر، نیاز به نصب سیستم نگهداری داشته باشد.

۴ــ۲ــ۳ــ رده‌بندی براساس شاخص کیفیت سنگ[۲] (RQD): رده‌بندی سنگها براساس شاخص کیفیت سنگ که به نام رده بندی RQD معروف است، در سال ۱۹۶۷ میلادی توسط دیر[۳] و همکارانش ارایه شد [۹]. شاخص RQD بر اساس وضعیت مغزه‌های حاصل از حفر گمانه‌های اکتشافی در سنگ‌ها، به صورت زیر تعریف می‌شود :

$$RQD = \frac{\text{جمع طول قطعات سالم مغزه‌های با طول ۱۰ سانتیمتر یا بیشتر}}{\text{طول کلی گمانه}} \times ۱۰۰ \quad (۴ــ۱)$$

۱ــ Pacher ۲ــ Rock Quality Designation ۳ــ Deere

دراین رده بندی، گمانه بایدبه وسیله مته NX حداقل به قطر ۵۴/۷ میلیمتر (۲/۱۵ اینچ) و به‌کمک مغزه گیرهای دو جداری حفر شده باشد [۹]. در شکل (۴ـ۳)، مثالی از نحوه محاسبه شاخص RQD نشان داده شده است.



شکل ۴ـ۳ـ مثالی از نحوه محاسبه شاخص RQD [۹]

طبق نظر پالم استروم[۱] (۱۹۸۲) در موردی که مغزه‌های سالم در دسترس نباشد اما در رخنمونهای سطحی و یا حفریات اکتشافی، آثار شکستگی در سنگ مشخص باشد، شاخص RQD را می‌توان از روی تعداد ناپیوستگی‌های موجود در واحد حجم سنگ و براساس رابطه زیر تعریف کرد [۹] :

$$RQD = ۱۱۵ - ۳/۳Jv \qquad (۲ـ۴)$$

که در آن Jv تعداد کل درزه‌ها و ناپیوستگی‌های موجود در واحد طول در مورد تمام مجموعه درزه‌ها و شکستگی‌های موجود در سنگ است و به نام شمارش حجمی‌درزه‌های سنگ نامیده می‌شود. باید

۱ـ Palmstrom

توجه داشت که در حالت کلی، شاخص RQD وابسته به جهت حفر گمانه است و امکان دارد که‌اندازه آن در امتدادهای مختلف، در حد قابل توجهی تغییر کند. در مواردی که تعداد درزه‌ها در امتدادهای مختلف متفاوت باشد، استفاده از رابطه ۴ــ۲، تا حد زیادی نقش امتداد را در تعیین شاخص RQD کلی سنگ، کاهش می‌دهد.

شاخص RQD برای بیان کیفیت سنگ به حالت برجا، بسیار مفید است و برای تعیین آن، باید درزه‌های حاصل از حفر گمانه و جابه‌جایی مغزه‌ها را شناسایی کرد و در محاسبه تعداد درزه‌ها در رابطه ۴ــ۲، آنها را کنار گذاشت تا شاخص کیفیت واقعی سنگ به دست آید. درزه‌های ناشی از آتشباری در سنگها نیز مشمول این قانون هستند.

توصیه شده که بهتر است شاخص RQD برای هر دو متر از مغزه‌ها، به طور مجزا محاسبه شود [۱۰]. براساس شاخص RQD، سنگها را مطابق جدول (۴ــ۱) تقسیم بندی می‌کنند [۱۰].

جدول ۴ــ۱ــ تقسیم‌بندی کیفی سنگها براساس شاخص RQD [۱۰]

شاخص RQD ــ درصد	کیفیت سنگ
کمتر از ۲۵	خیلی ضعیف
۲۵ تا ۵۰	ضعیف
۵۰ تا ۷۵	مناسب
۷۵ تا ۹۰	خوب
۹۰ تا ۱۰۰	خیلی خوب

با معلوم بودن شاخص RQD، با مراجعه به جدولها و نمودارها، می‌توان سیستم نگهداری لازم برای تونل را برآورد کرد.

۴ــ۳ــ رده‌بندی ژئومکانیکی (RMR)[۱]

در سال ۱۹۷۶ میلادی، بینیاوسکی[۲] از مرکز مطالعات علمی‌و صنعتی آفریقای جنوبی (CSIR)[۳] طبقه‌بندی جدیدی از سنگها را بر مبنای ویژگیهای ژئومکانیکی آنها ارایه داد که به‌روش RMR یا

۱ــ Rock Mass Rating (RMR)
۲ــ Bieniawski
۳ــ South African Council for Scientific and Industrial Research

CSIR معروف است و به عنوان یکی از موفق‌ترین سیستمهای رده‌بندی سنگها در مسائل تونل‌سازی و معدنی به کار می‌رود. بعدها، در سال ۱۹۸۹ میلادی، بینیاوسکی رده بندی اولیه خود را اصلاح کرد و آنچه در زیر خواهد آمد، بر مبنای رده‌بندی تجدید نظر شده وی است.

در تقسیم بندی RMR، برای رده بندی سنگها از ۶ پارامتر زیر استفاده می‌شود [۹] :

الف ــ مقاومت فشاری تک‌محوری توده سنگ

ب ــ شاخص RQD

ج ــ فاصله‌داری درزه‌ها

د ــ وضعیت ناپیوستگی‌های سنگ

هـ ــ وضعیت آبهای زیرزمینی

ز ــ جهت یافتگی ناپیوستگی سنگ نسبت به امتداد تونل

در این رده بندی، توده سنگ از نظر ساختاری به چند ناحیه تقسیم شده و هر ناحیه به طور مجزا رده‌بندی می‌شود. مرز نواحی یاد شده با یک پدیده ساختاری مثلاً وجود یک گسل و یا تغییر محسوس در نوع سنگ، مشخص می‌شود. در بعضی موارد، تغییرات مهم و قابل توجه در وضعیت ناپیوستگیها در یک نوع سنگ واحد نیز سبب می‌شود که توده سنگ، به چند ناحیه کوچکتر تقسیم شود. برای اینکه ارزش عددی هر سنگ در رده بندی RMR مشخص شود، به ازای هر وضعیت از ۶ پارامتر اصلی یاد شده، نمره‌ای تعلق می‌گیرد که برای تعیین ارزش عددی آنها باید به جدولهایی که در این زمینه موجود است مراجعه کرد [۱۱]. پس از تعیین ارزش عددی هر یک از ۶ پارامتر یادشده، از مجموع آنها عددی حاصل می‌شود که شاخص RMR سنگ نام دارد.

مطالعه آزاد

در سال ۱۹۸۹ میلادی، بینیاوسکی دستورالعمل‌هایی را برای انتخاب سیستم نگهداری تونلها براساس شاخص RMR منتشر ساخت. این دستورالعمل، در جدول ۴ــ۲ آمده است.

باید توجه داشت که این دستورالعمل برای تونلهای با شرایط زیر تنظیم شده است :

شکل : نعل اسبی

دهانه فعال : ۱۰ متر

روش حفاری : آتشباری

تنش قائم مؤثر بر سنگها : کمتر از ۲۵MPa (عمق کمتر از ۹۰۰ متر از سطح زمین).

به عنوان مثال فرض می‌کنیم که شاخص RMR یک توده سنگی معادل ۵۹ باشد با مراجعه به جدول ۴ــ۲ با این پیشنهاد مواجه می‌شویم که تونل باید به صورت پله‌ای حفر شود و قسمت بالای جبهه کار جلوتر از بقیه قسمتها باشد و پله‌های بعدی به فاصله ۱/۵ تا ۳ متر از آن حفر شوند. پس از هر نوبت آتشباری، باید سیستم نگهداری نصب شود و فاصله سیستم نگهداری تا جبهه کار تونل از حداکثر ۱۰ متر تجاوز نکند. در این مورد استفاده از پیچ سنگهای به قطر ۲۰ میلیمتر و فاصله ۱/۵ تا ۲ متر در تاج و دیواره تونل توصیه شده است. همچنین استفاده از سیستم بتن پاشی به ضخامت ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر در تاج و ضخامت ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها توصیه شده است.

شاخص RMR معادل ۵۹، نشانگر آن است که سنگ در مرز دو رده سنگهای مساعد و خوب قرار دارد. بنابراین در مراحل اولیه طراحی، توصیه می‌شود که سیستم نگهداری تونل براساس رده مساعد انتخاب شود. پس از پیشروی مقداری از تونل، در صورتی که سیستم نگهداری انتخابی مناسب بود و هیچگونه مشکلی از نظر نگهداری پیش نیامد، به تدریج می‌توان سیستم نگهداری را مطابق سنگ خوب تعدیل کرد. از سوی دیگر، اگر مدت زمان استفاده از تونل کوتاه باشد، در این صورت پیشنهاد می‌شود که سیستم نگهداری براساس سنگ خوب انتخاب شود که فاصله‌دارتر و ارزان‌تر است.

۴ــ۴ــ رده‌بندی براساس شاخص کیفیت تونل‌سازی Q

بارتون[۱] و همکارانش از انستیتو ژئوتکنیک نروژ (NGI)[۲] بر مبنای ارزیابی تعداد زیادی از حفریات زیرزمینی، شاخصی موسوم به شاخص کیفیت تونل‌سازی[۳] را ارایه کردند که به‌نام شاخص Q معروف است. این رده بندی برای طراحی سیستم نگهداری تونلها به کار می‌رود. شاخص Q با رابطه ریاضی زیر تعریف می‌شود واندازه عددی آن که به صورت مقیاس لگاریتمی تغییر می‌کند، بین ۰/۰۰۱ تا ۱۰۰۰ در تغییر است [۹] :

۱ــ Barton

۲ــ Norwegian Geotechnical Institute (NGI)

۳ــ Tunnelling Quality Index

جدول ۴ــ۲ــ دستورالعمل انتخاب سیستم نگهداری برای تونلی با دهانه فعال ۱۰ متر براساس شاخص RMR [۹]

شاخص RMR	نوع سنگ	سیستم حفاری	پیچ سنگ به قطر ۲۰ میلیمتر و محکم شده به‌وسیله دوغاب سیمان	بتن‌پاشی (شاتکریت)	قابهای فولادی
۱۰۰تا۸۱	I خیلی خوب	ماشینهای تمام مقطع با ۳ متر پیشروی در هرنوبت	درحالت کلی نیازی به نصب سیستم نگهداری نیست و در بعضی موارد پیچ سنگهای منفرد		
۸۰تا۶۱	II خوب	ماشینهای تمام مقطع با پیشروی ۱ تا ۱/۵ متر در هر نوبت به فاصله ۲۰ متری از جبهه کار سیستم نگهداری دایم نصب شود.	به‌طور موضعی در قسمت تاج تونل پیچ سنگهایی به طول ۳ متر و به فاصله ۲/۵ متر و گاه نیز همراه با توری فلزی نصب شود.	در موارد لزوم ضخامت ۵۰ میلیمتر در قسمت تاج	لازم نیست
۶۰تا۴۱	III نسبتاً خوب	تونل به صورت پله‌ای حفرشود و پله قسمت فوقانی ۱/۵ تا ۳ متر جلوتر باشد. پس از هر نوبت آتشباری سیستم نگهداری موقت نصب شود. به فاصله ۱۰ متری از جبهه کار سیستم نگهداری نصب شود	شبکه پیچ سنگهای منظم به طول ۴ متر و فاصله ۱/۵ تا ۲ متر در قسمت تاج و دیواره در قسمت تاج شبکه فلزی نیز نصب شود.	ضخامت ۵۰ تا ۱۰۰ میلیمتر در قسمت تاج و ضخامت ۳۰ میلیمتر در دیواره‌ها	لازم نیست
۴۰تا۲۱	IV ضعیف	تونل به صورت پله‌ای حفرشود و پله قسمت فوقانی ۱ تا ۱/۵متر جلوتر باشد. فاصله سیستم نگهداری دایم تا جبهه کار حداکثر ۱۰ متر	شبکه پیچ سنگهای منظم به طول ۴ تا ۵ متر و به فاصله ۱ تا ۱/۵ متر در تاج و دیواره همراه با توری فلزی	ضخامت ۱۰۰ تا ۱۵۰ میلیمتر در تاج و ۱۰۰ میلیمتر در دیواره‌ها	قابهای سبک تا متوسط فولادی به فاصله ۱/۵ متر در موارد لزوم
کمتر از ۲۰	V خیلی ضعیف	به صورت گالری‌های چندگانه حفر شود که فاصله جبهه کار آنها ۰/۵ تا ۱/۵متر باشد. همراه با حفاری، سیستم نگهداری نیز نصب شود. بلافاصله پس از آتشباری عملیات بتن پاشی انجام گیرد	شبکه منظم پیچ سنگها به طول ۵ تا ۶ متر و به فاصله ۱ تا ۱/۵ متر در تاج و دیواره یا توری فلزی	ضخامت ۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیمتر در تاج و ۱۵۰ میلیمتر در دیواره‌ها و ضخامت ۵۰ میلیمتر در جبهه کار	قابهای متوسط تا سنگین به فاصله ۷۵ سانتیمتر همراه با لارده‌های فلزی

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \qquad (۴_۴)$$

که در آن :

RQD = شاخص RQD سنگ

J_n = ضریب مربوط به تعداد درزه‌ها

J_r = ضریب مربوط به زبری درزه‌ها

J_a = ضریب مربوط به دگرسانی درزه‌ها

J_w = ضریب مربوط به کاهش آب درزه‌ها

SRF = ضریب مربوط به کاهش تنش

برای تعیین شاخص Q در مورد هر سنگ، ابتدا باید مقادیر عددی هر یک از ضرایب را از جدولهایی که در این زمینه وجود دارد به‌دست آورد و در رابطه **۴ــ۴** قرار داد تا شاخص Q سنگ به‌دست آید [۱۱].

برای اینکه بتوان از روی شاخص Q، سیستم نگهداری مناسب را برای تونل برگزید، بارتون و همکارانش پارامتر دیگری موسوم به بعد معادل (De)[۱] را به شرح زیر تعریف کردند :

$$De = \frac{\text{دهانه، ارتفاع و یا قطر تونل (برحسب متر)}}{\text{نسبت نگهداری تونل ESR}} \qquad (۴_۵)$$

نسبت نگهداری تونل[۲] (ESR) به نحوه استفاده از تونل و نیز اینکه تا چه درجه‌ای از ناپایداری تونل قابل قبول است، بستگی دارد. اندازه ضریب ESR در وضعیت‌های مختلف در جدول **۴ــ۳** درج شده است.

با معلوم بودن شاخص Q و بعد معادل، با مراجعه به نمودارهایی که در این مورد تهیه شده است، می‌توان وضعیت نگهداری تونل را ارزیابی کرد. درشکل **۴ــ۴** نمودار اولیه بارتون و در شکل **۴ــ۵** نمودار اصلاح شده آن درسال **۱۹۹۳** میلادی نشان داده شده است.

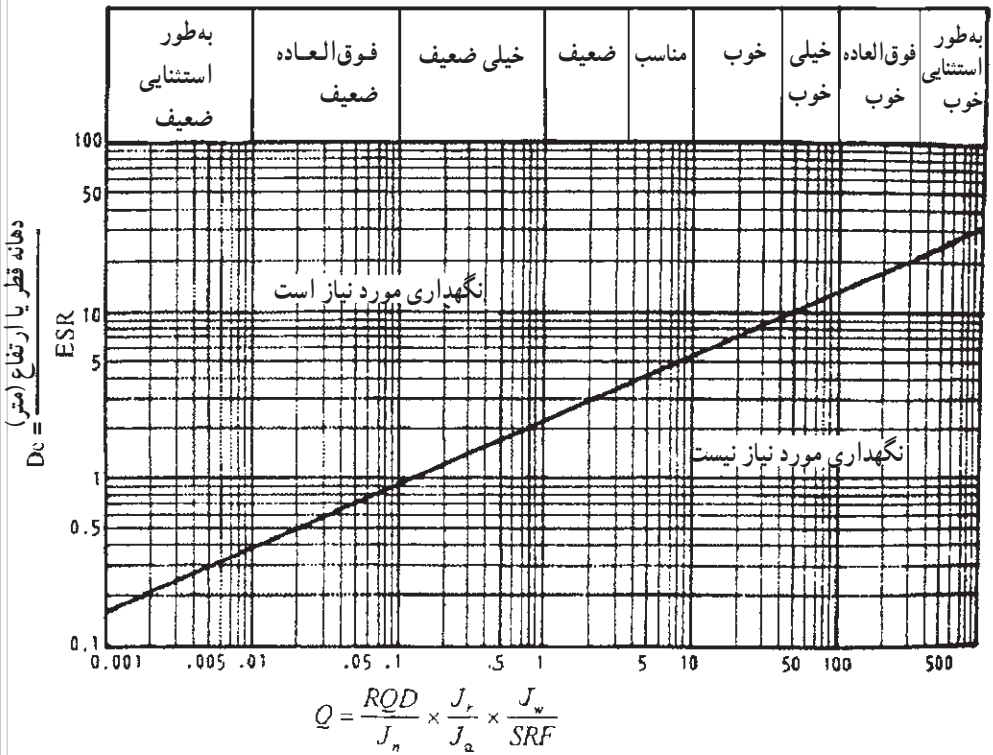
برای روشن شدن نحوه استفاده از شاخص Q در ارزیابی سیستم نگهداری به‌شرح مثالی در این زمینه می‌پردازیم. بدین منظور فرض می‌کنیم که شاخص RQD

۱ــ Equivalent dimension

۲ــ Excavation Support Ratio (ESR)

سنگها معادل ۹۰ درصد و بقیه مشخصه‌ها به شرح زیر باشد :

$J_n = ۴$ $J_r = ۳$ $J_a = ۱$ $J_w = ۱$ $SRF = ۱۵$



$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF}$$

شکل ۴ــ۴ــ رابطه بین حداکثر بعد معادل De یک تونل بدون نصب وسیله نگهداری و ضریب Q [۱۰]

با جایگذاری این مقادیر در رابطه ۴ــ۴ خواهیم داشت :

$$Q = \frac{۹۰}{۴} \times \frac{۳}{۱} \times \frac{۱}{۱۵} = ۴/۵$$

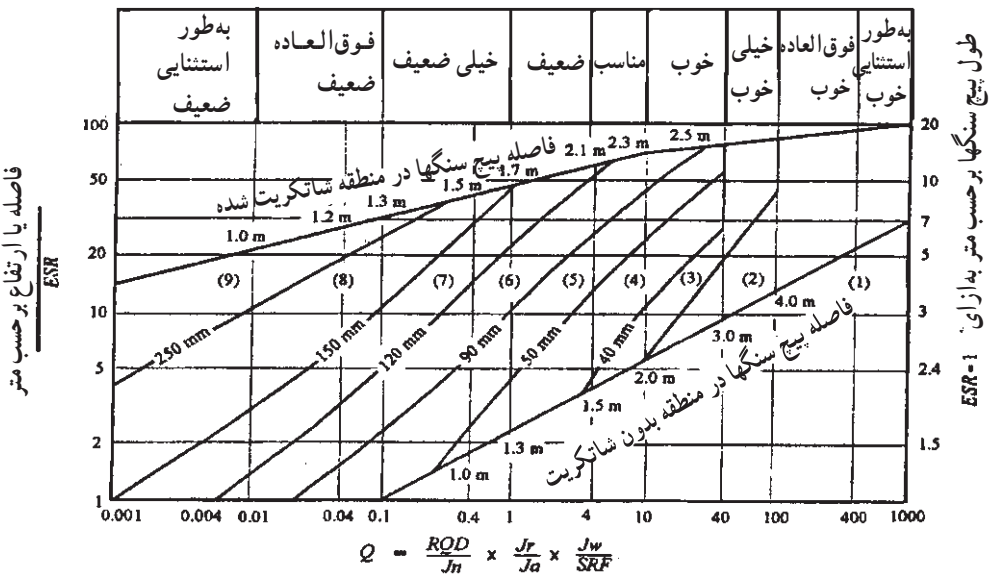
با مراجعه به جدول ۴ــ۳، ضریب ESR معادل ۱/۶ به‌دست می‌آید. بنابراین بعد معادل خواهد شد :

$$De = \frac{۱۵}{۱/۶} = ۹/۴$$

اکنون با مراجعه به شکل ۴ــ۵، با نقل مقادیر $De = ۹/۴$ و $Q = ۴/۵$، جایگاه این سنگ در منطقه ۴ نمودار مشخص می‌شود که نگهداری آن مستلزم استفاده از پیچ سنگ به فواصل ۲/۳ متر و ۴۰ تا ۵۰ سانتیمتر شاتکریت معمولی است.

جدول ۴ــ۳ــ اندازه عددی ضریب RMR در وضعیت‌های مختلف [۹ و ۱۰]

رده	حفریات زیرزمینی	اندازه عددی ESR
الف	تونلهای معدنی موقت	۳ تا ۵
ب	تونلهای معدنی دایمی، تونلهای آبرسانی به نیروگاههای برق آبی (به استثنای تونلهای تحت فشار)، تونلهای پیشاهنگ، تونلهای دنباله رو، تونلهای پیشاهنگ حفریات بزرگ	۱/۶
ج	انبارهای زیرزمینی، تصفیه خانه‌های زیرزمینی، تونلهای فرعی راه و یا راه آهن، تونلهای دسترسی	۱/۳
د	نیروگاههای برقی زیرزمینی، تونلهای اصلی راه و یا راه آهن، پناهگاههای عمومی‌زیرزمینی، ورودی تقاطع‌های زیرزمینی	۱
هـ	نیروگاههای هسته‌ای زیرزمینی، ایستگاههای راه آهن، مراکز عمومی‌و ورزشی زیرزمینی، کارخانجات زیرزمینی	۰/۸



شکل ۴ــ۵ــ برآورد رده نگهداری تونلها براساس شاخص Q و حداکثر بعد معادل [۹]

۱ــ بدون سیستم نگهداری
۲ــ پیچ سنگ نقطه‌ای
۳ــ پیچ سنگ منظم
۴ــ پیچ سنگ منظم همراه با ۴۰ تا ۱۰۰ میلیمتر شاتکریت غیرمسلح
۵ــ پیچ سنگ همراه با شاتکریت مسلح به ضخامت ۵۰ تا ۹۰ میلیمتر
۶ــ پیچ سنگ همراه با شاتکریت مسلح به ضخامت ۹۰ تا ۱۲۰ میلیمتر
۷ــ پیچ سنگ همراه با شاتکریت مسلح به ضخامت ۱۲۰ تا ۱۵۰ میلیمتر
۸ــ شاتکریت مسلح به ضخامت بیش از ۱۵۰ میلیمترهمراه با پیچ سنگ
۹ــ دیوارسازی بتنی