



ارزیابی کارآبی رده‌بندی RMR در پیش بینی رفتار مهندسی سازند شمشک در حفریات زیر زمینی منطقه‌ی سیاه بیشه

محمد بشیر گنبدی

دانشگاه تربیت مدرس تهران- دانشجوی دکتری زمین شناسی مهندسی

دکتر علی ارومیه‌ای

دانشگاه تربیت مدرس تهران- دانشیار بخش زمین شناسی مهندسی

دکتر محمد رضا نیکودل

دانشگاه تربیت مدرس تهران- استادیار بخش زمین شناسی مهندسی

دکتر غلامرضا لشکری پور

دانشگاه فردوسی مشهد- استاد گروه زمین شناسی

چکیده

رفتار مکانیکی و مهندسی توده‌سنگ‌هایی که از تنابوی از لایه‌های سست و مقاوم تشکیل شده‌اند (توده سنگ‌های مرکب)، بسیار پیچیده و متفاوت با رفتار مکانیکی تک‌تک اجزاء تشکیل دهنده‌ی آن‌ها می‌باشد. طبقه‌بندی ژئومکانیکی یا RMR به عنوان یکی از رایج‌ترین طبقه‌بندی‌های مهندسی مورد استفاده در طراحی روش حفاری و سیستم نگهدارنده‌ی فضاهای زیر زمینی، نمی‌تواند به طور کامل رفتار این قبیل توده‌سنگ‌ها را پیش‌بینی نماید. مهمترین دلیل این نقیصه، نادیده گرفتن تأثیر لایه‌های سست بر رفتار مکانیکی توده‌ی سنگ در این طبقه‌بندی می‌باشد. بنابراین طبقه‌بندی RMR باید به گونه‌ای اصلاح گردد که بتواند تأثیر واقعی این لایه‌ها را در رفتار مکانیکی توده‌ی سنگ اعمال نماید. سازند شمشک به عنوان سازندی که از تنابوب لایه‌های مقاوم ماسه‌سنگ و برخی انواع سیلتستون‌ها و لایه‌های سست شیل، گل‌سنگ، سیلتستون و زغال تشکیل شده است، یکی از سازندهای مهم ایران می‌باشد که در زمره‌ی توده‌سنگ‌هایی فوق‌الذکر قرار می‌گیرد. این تحقیق به ارائه‌ی یک جدول تعديل اثر ضخامت و شب لایه‌های سست برای طبقه‌بندی RMR برای سازند شمشک در منطقه‌ی سیاه بیشه می‌پردازد.

کلمات کلیدی: سازند شمشک، طبقه‌بندی RMR، توده سنگ‌های مرکب، فضاهای زیر زمینی.

Evaluation of RMR Classification Efficiency while Predicting the Engineering Behavior of Shemshak Formation in Underground Excavations of Siah Bishe Area

Mohammad Bashir Gonbadi

Tarbiat Modares University, Tehran, Iran, Ph.D. Candidate

Ali Oromiehea

Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Mohammad Reza Nikudel

Tarbiat Modares University, Tehran, Iran

Gholam Reza Lashkaripour

Ferdousi University of Mashhad, Iran

Abstract: Mechanical and Engineering Behavior of rock masses made of alternation of weak and strong layers (compound rock masses) is so complicated and it differs from mechanical behavior of its every components. It is not possible to predict these rock masses behaviors completely via Geo mechanical or RMR classification which is one the most common engineering classification used to design Excavation method and the support of underground openings. So RMR classification should be modified in a way that it could reveal the actual impact of weak layers on mechanical behavior of the rock mass. Shemshak formation made of alternation of Strong layers of sandstone, some siltstones and weak layers of shale, mudstone, siltstone and coal is one of the most important formations placed among the aforesaid rock masses. The current research is submitting a table for modification of the impact of thickness and dip of weak layers on RMR classification related to Shemshak formation in Siah Bishe area.

Keywords: Shemshak Formation, RMR Classification, Compound Rock Masses, Underground Openings

۷۵۴

۱ مقدمه

استفاده از طبقه‌بندی‌های توده‌ی سنگ به عنوان روش‌های تجربی در طراحی روش حفاری و نگهداری فضاهای زیر زمینی در توده‌های سنگی به دلیل سریع و راحت بودن، امروزه بسیار رایج و گستردگی شده است. در این میان طبقه‌بندی RMR و Q رایج‌ترین طبقه‌بندی‌های مورد استفاده در طراحی فضاهای زیر زمینی می‌باشند که طبقه‌بندی RMR با استقبال بیشتری روبرو شده است.

برای اولین بار طبقه بندی ژئومکانیکی یا سیستم امتیاز توده سنگ (RMR) توسط بنیاوski (Bieniawski, 1974) در انجمن تحقیقات علمی و صنعتی جنوب آفریقا (CSIR) و بر اساس تجربیات وی در تونل‌های کم عمق حفر شده در سنگ‌های رسوبی توسعه یافت. از آنجائیکه این طبقه بندی در سال ۱۹۷۶ دستخوش تغییرات زیادی شد، پارامترهای آن از تعداد ۸ به ۶ عدد کاهش یافت و این تغییرات منجر به کاهش حجم تحکیمات نیز گردید. در سال ۱۹۷۶ تغییری نیز در مرز کلاس‌های این طبقه بندی اعمال گردید (بر اساس ۶۴ مطالعه‌ی موردنی). کلاس‌های مختلف این طبقه‌بندی، ضریبی از عدد ۲۰ می‌باشند. بر اساس Bieniawski , 1989 شیروانی، فونداسیون و مغاره‌ای سنگی به کار گرفته شد. تعیین ۵ پارامتر زیر برای هر واحد ساختاری به منظور ارزیابی امتیاز RMR ضروری است.

(۱) مقاومت فشاری تک محوری ماده‌ی سنگ یکپارچه (سنگ بکر) (۲) ضریب کیفیت سنگ (RQD) (۳) فاصله داری ناپیوستگی یا درزه‌ها - وضعیت درزه‌ها (۴) شرایط آب‌های زیرزمینی (۵) جهت یافته‌گی درزه

مجموع امتیاز حاصل از امتیاز دهی به پنج پارامتر فوق، مقدار امتیاز پایه‌ی توده سنگ یا RMRbasic بدست می‌آید. تأثیر امتداد و شب درزه‌ها (ناپیوستگی‌ها) با توجه به امتداد پیشروی تونل در نظر گرفته می‌شود. از آنچاییکه در سیستم RMR امتیاز نهایی حاصل جمع امتیازات به دست آمده از پارامترهای مختلف می‌باشد، این موضوع محدوده‌ی موادی که این امتیاز به آن تعلق می‌گیرد را محدود کرده (Kirsten, 1988) و این از دیگر امتیازات سیستم طبقه‌بندی RMR می‌باشد. از طبقه‌بندی RMR در معیارهای گسیختگی هوک و براؤن (Hoek and Brown, 1980) و Yudhbir, 1983 (Sheorey, 1997)، شئوری برای توصیف ویژگی‌های توده‌ی سنگ استفاده شده است.

نقشه‌ی ضعف این طبقه‌بندی در این است که نمی‌تواند توزیع تنشهای و تغییر شکلهای بوجود آمده در حفریات زیرزمینی را پیش‌بینی کنند. این نقیصه به خصوص در توده‌سنگهای با خواص ناهمسان، مانند سنگهای دارای تناوب لایه‌های با جنس متفاوت، دارای اهمیت بیشتری است. از طرفی در این طبقه‌بندی میانگین خواص اجزای مختلف تشکیل دهنده‌ی توده سنگ به عنوان خواص توده سنگ در نظر گرفته می‌شود. مشکل در جایی بوجود می‌آید که توده‌ی سنگ از ترکیبی از لایه‌های سست و مقاوم (لایه‌های با خواص مهندسی و مکانیکی بسیار متفاوت) تشکیل شده باشد و این ترکیب به گونه‌ای تکراری باشد که امکان تفکیک توده‌ی سنگ به دو بخش مجزا (سست و مقاوم) وجود نداشته باشد. در چنین شرایطی استفاده از میانگین خواص اجزای مختلف تشکیل دهنده‌ی توده سنگ به عنوان خواص توده سنگ سبب افزایش خواص مهندسی بخش‌های سست تشکیل دهنده‌ی آن و کاهش خواص مهندسی اجزای مقاوم می‌شود. این در حالیست که ناپایداری و گسیختگی توده‌ی سنگ عمده‌ای در امتداد اجزای سست آن اتفاق می‌افتد. نمونه‌ی بارز چنین توده‌های سنگی، سازند شمشک در ایران می‌باشد. این تحقیق با هدف بررسی ارزیابی کارآیی طبقه‌بندی RMR برای تخمین رفتار مهندسی سازند شمشک و طراحی روش حفاری و نگهداری فضاهای زیرزمینی با میزانی این سازند و با استفاده از داده‌های حاصل از بیش از ۵۰۰۰ متر تونل طرح سد و نیروگاه تلمبه-ذخیره‌ای سیاه بیشه، انجام شده است.

۱ محل و روش انجام مطالعات

۱-۱ محل انجام مطالعات

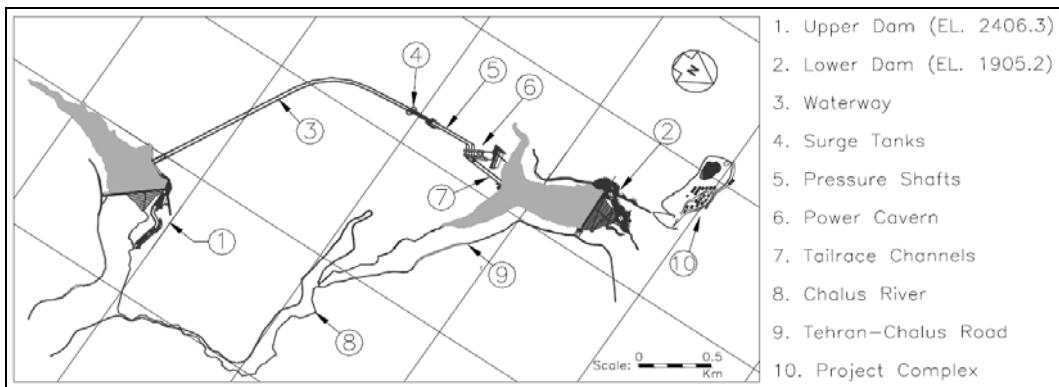
سد و نیروگاه تلمبه-ذخیره‌ای سیاه بیشه، به عنوان اولین نیروگاه تلمبه-ذخیره‌ای ایران با هدف تنظیم ۱۰۰۰ مگاوات برق شبکه (قابل توسعه تا ۲۰۰۰ مگاوات)، در ۱۳۵ کیلومتری جاده‌ی کرج-چالوس (۱۰ کیلومتری شمال تونل کندوان و ۶۰ کیلومتری چالوس) در حال ساخت می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی و راه دسترسی به محل طرح سیاه بیشه (محل تحقیق)

این طرح مشتمل بر دو سد بالا و پایین، سازه‌ی ورودی، تونل‌ها آبرسان، مخازن تعادل، شفت‌های فشار، نیروگاه و ترانسفورمر و سازه‌های وابسته، تونل‌های سرآب و سازه‌ی خروجی و مجموعه تونل‌ها و مجموعه تونل‌های و راه‌های دسترسی می‌باشد (شکل ۲). بالغ بر ۴۰۰ متر از تونل آبرسان، تونل‌های دسترسی به تونل آبرسان، اتاقک جابجایی، تونل دسترسی به اتاقک جابجایی، تونل دسترسی اتاقک‌های تعادل، شفت‌های مخازن آبرسان، سد بالا و تمام سازه‌های مرتبه تونل انحراف و سرریز به طور کامل در سازند شمشک واقع تعادل، سد بالا و تمام سازه‌های مرتبه تونل انحراف و سرریز به طور کامل در سازند شمشک واقع شده‌اند. به همین دلیل برای انجام این تحقیق اطلاعات مربوط به فضاهای زیر زمینی این طرح به طور کامل مورد استفاده قرار گرفته است.

۷۵۶



شکل ۲- جانمایی سازه‌های طرح سد و نیروگاه تلمبه-ذخیره‌ای سیاه بیشه

۱-۲- تعریف مسئله و روش انجام کار

سازند شمشک با داشتن گسترش قابل توجه در البرز و ایران مرکزی یکی از سازندهای مهم ایران می‌باشد. این سازند از تناوبی از ماسه سنگ، سیلتستون، شیل، مادستون و لایه‌های زغال تشکیل شده است. تفاوت قابل توجه در خواص مکانیکی و مهندسی اجزای تشکیل دهنده این سازند وجود طرح‌های عمرانی متعدد در دست ساخت و مطالعه، از عوامل اهمیت شناخت رفتار مهندسی این سازند می‌باشد.

رفتار مهندسی توده سنگ‌هایی که از تناوبی از اجزای سست و سخت تشکیل یافته‌اند، بسیار متفاوت از رفتار مهندسی هر کدام اجزای تشکیل دهنده‌ی شان می‌باشد. به عبارت دیگر در این قبیل سنگ‌ها علاوه بر پیچیدگی که سیستم ناپیوستگی در رفتار مهندسی سنگ ایجاد می‌کند، وجود لایه‌های سست و ضعیف بر پیچیدگی رفتاری آنها می‌افزاید. این موضوع در موقعیت که علاوه بر تفاوت‌های مکانیکی تفاوت‌های دیگری نظیر تفاوت در خواص هیدرولیکی اجزاء مختلف نیز وجود دارد، بارزتر است. به طور مثال شیل‌ها، سنگ‌هایی با مقاومت عموماً پایین و شکل پذیر هستند که وجود لامیناسیون خواص مکانیکی خاصی به آنها بخشیده است. این سنگ‌ها عموماً نفوذپذیری پایینی داشته و دارای خواصی همچون تورم پذیری بالا، دوام پایین و تمایل بالا برای هوادره شدن و ... می‌باشند، در صورتیکه ماسه سنگ‌ها، سنگ‌هایی با مقاومت زیاد تر بسیار زیاد (مطابق تعریف ISRM)، تغییر شکل پذیری پایین و تورم پذیری بسیار کم می‌باشند. از این رو همچو این دو نوع سنگ به صورت متناوب، توده سنگی را تشکیل می‌دهد که رفتارهای پیچیده‌ای را به ویژه در فضاهای زیر زمینی از خود بروز می‌دهد.

بررسی رفتار فضاهای زیر زمینی با میزانی این سازند در زمان حفاری و پس از آن در دراز مدت نشان می‌دهد که روش‌های تجربی نظری RMR به عنوان رایج‌ترین روش‌های طراحی سیستم نگهداری و روش حفاری در مهندسی سنگ به خوبی نمی‌تواند رفتار مهندسی این سازند را پیش‌بینی نماید. علت اصلی این موضوع عدم توجه کامل به اهمیت لایه یا میان لایه‌های سست (نظری شیل و مادستون و حتی زغال) در رفتار مهندسی این سازند در روش‌های فوق‌الذکر می‌باشد. لذا بسیار ضروری است که برای طراحی روش حفاری و سیستم نگهدارنده فضاهای زیر زمینی با میزانی این سازند همزمان از روش‌های عددی، تعادل حدی و تجربی به صورت ترکیبی استفاده کرد که انجام اینکار هم فوق‌العاده زمان بر و مشکل و هم هزینه بر است. به عنوان راه حل دیگر می‌توان اقدام به تعدل جدول RMR برای این سازند اقدام نمود. که موضوع این تحقیق می‌باشد. روش کار به شرح زیر است:

بررسی رفتار فضاهای زیر زمینی که با استفاده از روش RMR طراحی و اجرا شده‌اند، در ضمن و پس از حفاری منجمله بررسی مقاطع ریزشی و شناسایی علل ریزش

بررسی نتایج ابزار دقیق نصب شده در مقاطع مختلف به منظور اطلاع از تغییر شکل‌های واقعی استفاده از روش‌های تعادل حدی نظری استفاده از نرم‌افزار Unwedge برای تحلیل پایداری و ارائه‌ی سیستم نگهدارنده‌ی مقاطع مختلف برای بررسی تأثیر ناپیوستگی‌ها (به خصوص لایه‌بندی) در پایداری فضای زیر زمینی

استفاده از روش‌های عددی از جمله روش‌های المان محدود (در اینجا Phase2) و المان مجزا (در اینجا Udec) برای تحلیل پایداری مقاطع مختلف (مشترک با مقاطع قبلی) به منظور شناخت از وضعیت تنش و تغییر شکل در مقاطع مختلف و ارائه‌ی سیستم‌های نگهدارنده‌ی مناسب برای حصول به تغییر شکل‌های مجاز

مقایسه‌ی نتایج روش‌های فوق و تعدل روش RMR به عنوان یک روش سریع و آسان و کارآ در محل

۲ بحث

۱-۲ نتایج بررسی‌های صورت گرفته توسط نرم افزار *Udec*

مبانی اولیه روش المان مجزا در سال ۱۹۷۱ توسط Dr Cundall، ارائه شد. محققینی از جمله Bardet (1988)؛ and Scott (1985)؛ Hart et al. (1990) و Butkovich et al. (1988)؛ and Heuzé (1990) بر روی مدلسازی توده‌سنگ‌های درزه‌دار با استفاده از روش عددی المانهای مجزا تحقیق کردند. در این روش، توده‌ی سنگ به تعدادی بلوک‌های مجزا تقسیم می‌شود که ناپیوستگی‌ها مرز بلوک‌ها را تشکیل می‌دهند. بنابراین ناپیوستگی‌ها برای بلوک‌ها مانند محدوده‌های مرزی عمل می‌کنند. حرکت بلوک‌ها نحوه‌ی توزیع تنفسها در مرز بین بلوک‌ها را کنترل می‌کند. نتایج بررسی نتایج حاصل مقاطع مختلف تحلیل شده توسط این نرم افزار به شرح زیر است:

۱- هم‌خوانی مقایسه‌ای جابجایی‌های به دست آمده از مدل و جابجایی‌های ثبت شده توسط ابزار همگرایی سنج نصب شده در توپل ابزار کنترل صحت نسبی نتایج به دست آمده از مدل می‌باشد.

۲- از آنجایی که سیستم نگهدارنده‌ی توپل بر اساس توصیه‌ی RMR در مدل اجرا شده است، نتایج حاصل از مدل مؤید کفایت یا عدم کفایت این سیستم رده بندی در برآورد سیستم نگهدارنده‌ی پیشنهادی RMR می‌باشد. نتایج نشان داد سیستم نگهدارنده‌ی برخی مقاطع به خوبی کنترل کننده‌ی جابجایی‌های توپل بوده و حتی در برخی قسمت‌ها بیش از نیاز می‌باشد. در بیشتر مقاطع سیستم نگهدارنده‌ی پیشنهادی RMR به هیچ عنوان پاسخگوی پایداری توپل نمی‌باشد. علت تفاوت در رفتار توپل در مقاطع مختلف، با وجود یکسان بودن شرایط در توپل (به جز وضعیت لایه بندی)، موقعیت لایه‌های سست شیلی و فاصله‌ی آنها از مقطع حفاری شده می‌باشد.

۳- مقاطع مورد مطالعه، به علت تناوب لایه‌های شیل، ماسه‌سنگ و سیلتستون، دارای توده‌سنگی با خواص ناهمگون و غیر قابل پیش‌بینی می‌باشد. استفاده از روش‌های تجربی بر مبنای میانگین خواص کل سنگ‌ها، نمی‌تواند سیستم پایداری با ضریب اطمینان قابل قبول ارائه دهد. وجود لایه‌های شیل تا حد زیادی بر رفتار سیستم نگهداری موجود، تأثیر می‌گذارد.

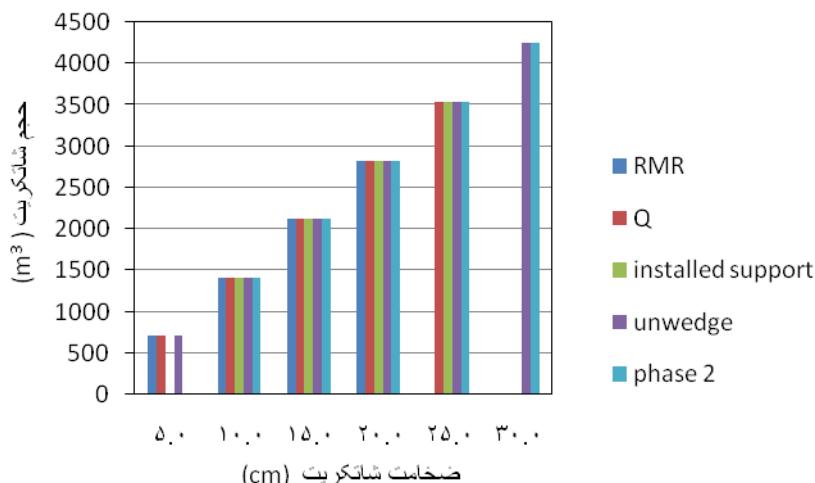
۲-۲ نتایج حاصل بررسی‌های صورت گرفته توسط *Unwedge* و *Phase2*

نرم افزار Unwedge برای تحلیل هندسی و پایداری گوههای حاصل از تقاطع ناپیوستگی‌های مختلف، در توده‌ی سنگ در برگیرنده‌ی فضای زیر زمینی به کار می‌رود. تحلیل‌ها بر این فرض استوارند که گوههای تقاطع سه ناپیوستگی‌ها تعریف می‌شوند، فقط در معرض بارگذاری ثقلی قرار می‌گیرند. به بیان دیگر، تأثیر میدان تنش موجود در توده‌ی سنگ در برگیرنده‌ی فضای زیر زمینی، در محاسبات لحاظ نمی‌شود. Phase2 یک برنامه دو بعدی کرنش صفحه‌ای الاستو-پلاستیک به روش اجزاء محدود می‌باشد که برای تحلیل پایداری حفریات زیرزمینی و تخمین سیستم نگهداری این حفریات مورد استفاده قرار می‌گیرد. مش بندی در Phase2 به طور اتوماتیک و با استفاده از ملاحظات هندسی انجام می‌شود. این توانایی به کاربر اجازه می‌دهد که یک مدل را در حدود چند دقیقه اجرا کند و کاستی‌ها و نواقص را سریع مرتفع سازد. مطابق شکل ۳ ضخامت شاتکریت

پیشنهادی روش های مختلف کاملاً یکسان می باشد. در صورتیکه مطابق جدول ۱، پیچ سنگ های پیشنهادی روش های مختلف با آرایش های مختلف، متفاوت می باشد.

جدول ۱- تعداد پیچ سنگ برای فواصل مختلف در حفریات سازند شمشک

آرایش	RMR	Q	Installed Support	Unwedge	Phase 2
2.5×2.5	-	16	-	-	-
2×2	-	25	25	27	29
1.5×2	33	-	-	-	-
1.5×1.5	-	44	44	49	52
1×1.5	60	-	-	71	74
1×1	-	99	99	105	107



شکل ۳- مقایسه‌ی ضخامت و حجم شاتکریت اجرا شده و پیشنهادی روش‌های مختلف مورد بررسی

طول پیچ سنگ‌ها از جمله دیگر ویژگی‌های سیستم نگهدارنده از نوع پیچ سنگ یا بولت سنگی می باشد که تأثیر قابل توجهی بر هزینه‌ی سیستم نگهدارنده‌ی تونل و در نتیجه‌ی هزینه‌ی اجرای تونل دارد. مطابق جدول ۲ طول پیچ سنگ پیشنهادی روش RMR از دیگر روش‌های مورد بررسی بیشتر است.

جدول ۲- طول پیچ سنگ‌ها در روش‌های مختلف

روش‌های مختلف	RMR	Installed support	Q	UNWEDGE	Phase 2
طول پیچ سنگ (متر)	4-6	2.2	3-4	4	3-4

۱-۳ بررسی نتایج حاصله

همانطور که مشاهده شد، ضخامت شاتکریت پیشنهادی روش‌های مختلف مورد بررسی یکسان است. اما تفاوت در تعداد پیچ سنگ پیشنهادی روش‌های مختلف (روش‌های تجربی و دو روش دیگر) نشان می‌دهد که تفاوت این روش‌ها در نحوه اعمال تأثیر لایه بندی و گوههای حاصل از تقاطع ناپیوستگی‌های توده‌ی سنگ بر پایداری فضای زیر زمینی می‌باشد. به طوریکه در روش‌های تجربی RMR و Q نقش گوههای در ناپایداری فضاهای زیر زمینی به خوبی لحاظ نشده و نقش لایه‌های سست شیلی بر ناپایداری‌های حاصل از جدایش بلوک‌های سنگی که یکی از وجود آنها را سطوح لایه بندی تشکیل می‌دهد، بسیار خفیفتر از آنچه واقعیت است، لحاظ می‌شود. این امر به این دلیل است که در این دو روش میانگین خواص اجزای مختلف تشکیل دهنده‌ی توده‌ی سنگ به عنوان خواص توده‌ی سنگ در نظر گرفته می‌شود، در صورتیکه وجود اجزای سست می‌تواند به تنها بی سبب ناپایداری توده‌ی سنگ میزبان تونل گردد. در حالیکه دو روش Phase2 و Unwedge به خوبی نقش لایه‌های سست شیلی و نیز گوههای سنگی که یکی از وجود آنها را لایه‌های شیلی تشکیل می‌دهند در پایداری فضاهای زیر زمینی را لحاظ می‌کنند. به همین دلیل است که نتایج حاصل از این دو روش بسیار شبیه به هم می‌باشد. نتیجه‌ی بررسی‌های صورت گرفته توسط Udec هم نشان داد که موقعیت و وضعیت لایه‌های سست شیلی تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر پایداری فضاهای زیر زمینی و در نتیجه حجم نگهدارنده‌ی مورد نیاز تونل دارد در صورتیکه در دو روش تجربی مورد بررسی این موضوع تأثیر بر محاسبه‌ی سیستم نگهدارنده‌ی تونل ندارد. بررسی‌های صورت گرفته توسط نرم افزار phase2 نشان می‌دهد که با افزایش شیب لایه‌های شیل (از ۰ تا ۹۰ درجه)، جابجایی اطراف تونل افزایش می‌یابد، اما تغییر ضخامت لایه‌ی شیلی (بین ۲۰ تا ۱۰۰ سانتی متر)، جابجایی مشاهده شده در اطراف تونل کاملاً تابع تغییر ضخامت نبوده و در شیب‌های مختلف لایه‌ها، ضخامت لایه‌ی شیلی تأثیر متفاوتی بر جابجایی اطراف تونل دارد اما با افزایش شیب و ضخامت لایه‌های شیلی، حجم تحکیم مورد نیاز تونل افزایش می‌یابد. همانطور که اشاره شد، ضعف عمدی سیستم طبقه بندی RMR در توصیف رفتار مهندسی توده‌سنگ‌های مرکب از لایه‌های سست و سخت نظری سازند شمشک عدم اعمال تأثیر لایه‌ای شیلی (شیب، ضخامت و موقعیت این لایه‌ها نسبت و فضای زیر زمینی) به طور مجزا، بر پایداری فضای زیر زمینی مطابق با واقعیت می‌باشد. از این رو لازم است این طبقه بندی باید به گونه‌ای اصلاح شون تا بتواند تأثیر موارد فوق الذکر را تا حد امکان لحاظ نماید که این کار با افزودن جدول تعديل امتیاز بر اساس مقدار شیب ظاهری و ضخامت لایه‌ی سست به طبقه‌بندی RMR انجام شده است. تلاش‌های صورت گرفته برای رسیدن به تعديل‌های مناسب منجر به ارائه‌ی جدول تعديلی مشابه جدول ۳ و ردیف C در جدول ۴ گردید.

۲-۳ توصیه در خصوص طول پیچ سنگ‌ها و دیگر تحکیمات پیشنهادی RMR

تا به اینجا تعداد و آرایش پیچ‌سنگ‌ها (Rock Bolts) مورد نیاز برای نگهداری فضاهای زیر زمینی با میزبانی سازند شمشک بر اساس طبقه بندی RMR تعديل و تدقیق گشت. طول پیچ سنگ‌ها و قطر آنها از دیگر

ویژگی پیچ سنگ‌ها می‌باشد که باید در زمان ارائه سیستم نگهدارنده‌ی تونل‌ها تعیین گردد. علاوه بر تأثیر این دو عامل بر پایداری فضاهای زیر زمینی تحکیم شده با پیچ‌سنگ‌ها، تغییر طول پیچ سنگ‌ها، با کاهش امتیاز RMR توده‌ی سنگ، طول پیچ سنگ‌های مورد نیاز برای تحکیم تونل علاوه بر افزایش تعداد آنها، افزایش می‌یابد. به طوریکه طول پیچ سنگ‌ها از ۳ متر در رده‌ی ۲ تا ۶ متر در رده‌ی ۵ افزایش می‌یابد. افزایش طول پیچ سنگ‌ها علاوه بر افزایش هزینه‌ی تحکیم تونل، سبب افزایش صعوبت و هزینه‌های نصب آن می‌گردد. بنابراین منطقی است، طول پیشنهادی پیچ سنگ‌ها نیز بهینه گردد. بررسی‌های صورت گرفته در این تحقیق نیز نشان داد که طول سه متر حداقل طول مورد نیاز برای پیچ سنگ‌ها می‌باشد. اما بدون در نظر گرفتن ابعاد گوههای سنگی شکل گرفته در اثر تقاطع ناپیوستگی‌های موجود در توده‌ی سنگ، در کلاس‌های ۲ و ۳ طول ۳ متر طول بهینه بوده و در کلاس‌های ۴ و ۵ طول ۴ متر طول بهینه‌ی پیچ سنگ‌ها برآورده شده است. اما احتمال وجود گوههای سنگی حاصل از تقاطع ناپیوستگی‌های موجود در توده‌ی سنگ سبب می‌گردد که همواره ابعاد این گوهها برای برآورده طول پیچ‌سنگ‌ها مهم باشد، از این رو همواره ضروری است برای بهینه کردن طول پیچ‌سنگ‌ها از روش‌های مناسب مبتنی بر مشخصات و ویژگی‌های ناپیوستگی‌های موجود در توده‌ی سنگ بهره گرفته شود. به عبارت دیگر استفاده‌ی همزمان از طبقه‌بندی RMR و روش‌های تعادل حدی نظیر استفاده از نرم‌افزار Unwedge مجددًا توصیه می‌شود. علاوه بر ابعاد گوههای سنگی، دیگر عاملی که در تعیین طول پیچ‌سنگ‌ها دخیل می‌باشد، طول گیرداری لازم برای تأمین مقاومت کششی و برشی لازم برای تحمل بار وارد بر پیچ سنگ می‌باشد. همانطور که در بخش‌های قبلی نیز توضیح داده شد، یکی از مشکلات عمده‌ی نصب پیچ سنگ در این سازند این است که تزریق پیچ سنگ‌ها در لایه‌های شیلی به هیچ عنوان به کیفیت مناسب صورت نگرفته و از این رو بخش‌هایی از پیچ سنگ‌ها که در لایه‌های شیل قرار می‌گیرند، هر چند تزریق شده باشند، کمک چندانی به باربری پیچ سنگ نمی‌کنند. از این رو در این خصوص توصیه می‌شود که اولاً همواره سعی گردد از پیچ سنگ‌های تمام تزریقی استفاده شود. ثانیاً در صورت مشخص بودن موقعیت لایه‌های شیلی در محاسبه‌ی ظرفیت باربری پیچ سنگ‌ها که متناسب با طول تزریق شده‌ی پیچ‌سنگ می‌باشد، طولی از پیچ سنگ‌ها که در لایه‌های شیل قرار می‌گیرند، در محاسبه‌ی ظرفیت باربری پیچ سنگ لاحظ نشود. در صورت استفاده از انکر یا مونوبار بر تحکیم فضاهای زیر زمینی واقع در سازند شمشک (مثلاً مغارهای زیر زمینی) باید دقت شود که طول گیرداری انکر یا مونوبار به هیچ عنوان در لایه‌های شیلی قرار نگیرند به همین دلیل توصیه می‌شود، چالهای انکرها به روش مغزه‌گیری حفاری شوند. در نهایت در خصوص شاتکریت لازم است دقت شود که وجود لایه‌های شیل و هوازدگی‌پذیری بالای این لایه‌ها لزوم اجرای هر چه سریع شاتکریت، بلافصله بعد از حفاری فضای زیر زمینی را ضروری می‌کند.

جدول ۳-جدول تعدیل مقادیر RMR بر اساس شیب و ضخامت لایه‌های شیلی و لایه‌های سست برای سازند شمشک

Rating Adjustment for Apparent Dip and Thickness of Weak Shale and Weak Layers						
Dip of Layer	0-10					
Thickness Of Shale Layer (cm)	0	20	40	60	80	100
Rating	+20	0	-5	-10	-17	-23
Dip of Layer	11-35					
Thickness Of Shale Layer (cm)	20	40	60	80	100	0
Rating	0	-8	-14	-20	-27	0
Dip of Layer	36-60					
Thickness Of Shale Layer (cm)	0	20	40	60	80	100
Rating	0	-5	-10	-17	-23	-30
Dip of Layer	61-80					
Thickness Of Shale Layer (cm)	0	20	40	60	80	100
Rating	0	-8	-14	-20	-26	-33
Dip of Layer	81-90					
Thickness Of Shale Layer (cm)	0	20	40	60	80	100
Rating	0	-10	-16	-22	-29	-35

جدول ۴-طبقه‌بندی تعدیل شده RMR، برای سازند شمشک

Classification Parameters and Their Ratings						
Parameter		Range of Values				
1	Strength of Intact Rock Material	>10 MPa	4-10 MPa	2-4 MPa	1-2 MPa	For this range UCS Is Preferred
		>250 MPa	100-250 MPa	50-100 MPa	25-50 MPa	5-25 1-5 <1
	Rating	15	12	7	4	2 1 0
2	Drill Core Quality RQD	90-100 %	75-90 %	50-75 %	25-50 %	<25 %
		Rating	20	17	13	8 3
3	Spacing of Discontinutis	>2 m	0.6-2 m	200-600 mm	60-200 mm	<60 mm
		Rating	20	15	10	8 5
4	Condition of Discontinutis	Very rough surfaces not continuo us no seperatio n unweathe red wall	Slightly rough surfaces separation < 1mm slightly weathered walls	Slightly rough surfaces seoeration <1mm highly weathered walls	Slickensi ded surfaces or gouge<5 mm thick or separatio n 1-5mm continuus	Soft gouge>5mm thick or separation >5mm continuus

		Rating	30	25	20	10	0	
5	Groundwater	Per 10m Tunnel Length(l/m)	None	<10	10-25	25-125	>125	
		General Condition	C. Dry	Damp	Wet	Driping	Flowing	
		Rating	1 5	10	7	4	0	
B. Rating Adjustment for Discontinutiey Orientations (See G)								
Strike and Dip Orientation			V. favorable	Favorable	Fair	Unfavorable	V.Unfavorable	
Ratings	Tunnels & Mines		0	-2	-5	-10	-12	
	Founndations		0	-2	-7	-15	-25	
	Slopes		0	-5	-25	-50		
C. Rating Adjustment for Apparent Dip and Thickness of Weak Shale and Weak Layers								
Dip		0-10			11-35			
Thichness	0	20	40	6 0	8 0	1 0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	
Rating	+ 2 0	0	-5	- 1 0	- 1 7	- 2 3	- 2 3 30	
	2	0	-5	1	1	2	-	
C. Rating Adjustment for Apparent Dip and Thickness of Weak Shale and Weak Layers (continue)								
Dip		61-80			81-90			
Thichness	0	20	40	6 0	8 0	1 0	0	
	0	0	0	0	0	0	0	
Rating	0	-8	-14	- 2 0	- 2 6	- 3 3	- - -	
	0	0	0	0	0	0	0	
D. Rock Mass Classes Determined From Total Ratings								
Rating			81-100	61-80	41-60	21-40	<21	
Class Number			I	II	III	IV	V	
Description			VeryGood Rock	Good Rock	Fair Rock	Poor Rock	Very Poor Rock	
E. Meaning of Rock Classes								
Class Number			I	II	III	IV	V	
Average Stand-Up Time			20yrs for 15m span	1 year for 10m span	1 weak for 5m span	10 hrs for 2.5m span	30min for 1m span	
Cohesion of Rock Mass (KPa)			>400	300-400	200-300	100-200	<100	
Friction Angle Of Rock Mass (Deg.)			>45	35-45	25-35	15-35	<15	
F. Guidelines for Classification of Discontinutied Conditions								
Discontinuties length (persistance)			<1m 6	1-3m 5	3-10m 4	10-20m 1	>20m 0	

Separation (aperture) Rating	None 6	<0.1mm 5	0.1- 1.0mm 4	1-5mm 1	>5mm 0		
Roughness Rating	Very Rough 6	Rough 5	Slightly Rough 3	Smooth 1	Slickenside d 0		
Infilling-Thickness(mm) rating	None 6	Hard Filling<5 4	Hard Filling>5 2	Soft Filling<5 2	Soft Filling>5 0		
Weathering Rating	Unweathered 6	S. Weathered d 5	M. Weathered 3	H. Weathered d 1	Decomposed 0		
G. Effect of Discontinuity Stryke and Dip Orientation in Tunneling							
Strike Perpendicular to Tunnel Axis		Strike Parallel to Tunnel Axis					
Drive with dip-Dip 45- 90°	Drive with dip-Dip 20- 45°	Dip 45-90°		Dip 20-45°			
Very Favorable	Favorable	Very Favorable		Fair			
Drive against dip-Dip 45-90°	Drive against dip-Dip 20-45°	Dip 0-20°-Irrespective of Strike					
Fair	Unfavorable	Fair					

مراجع ۴

- Bardet, J.-P., and Scott, R. F., (1985). Seismic Stability of Fractured Rock Masses with the Distinct Element Method, in Research and Engineering Applications in Rock Masses, Vol. 2 : 139-150.
- Bierniawski, Z.T., (1974). Estimating the strength of rock materials. J. S. Afr. Inst. Min. Metall. (74): 312– 320.
- Bierniawski, Z.T., (1989). Engineering Rock Mass Classifications. Wiley. New York,
- Butkovich, T. R., Walton, O. R. and Heuze, F. E., (1988). Insights in Cratering Phenomenology Provided by Discrete Element Modeling, in Key Questions in Rock Mechanics: Proceedings of the 29th U.S. Symposium, : 359-368.
- Cundall, P. A., (1971). A Computer Model for Simulating Progressive Large Scale Movements in Blocky Rock Systems, in Proceedings of the Symposium of the International Society of Rock Mechanics Nancy, France, (Vol. 1): 2-8.
- Hart, R. D., emos, J. L Lorig L. J. and Cundall, P. A., (1990). Tunnel Prediction Using Distinct Elements, Computer Code Modification and Verification, DNA, Technical Report DNA-TR-90-56-V2, Volume 2.
- Heuzé, F. E., Walton, O. R. Maddix, D. M. Shaffer, R. J. and Butkovich, T. R., (1990). Analysis of Explosions in Hard Rock: The Power of Discrete Element Modeling, Lawrence Livermore Laboratory.
- Hoek, E. and Brown, E. T., 1980. Underground Excavations in Rock, (Institution of Mining and Metallurgy: London).