«مجله علمی علوم و فنون سازندگی»

سال دوم، شماره ۴، زمستان ۱۴۰۰، صفحه ۵۷ الی ۶۳

علمی– تخصصی

تحلیل خطرپذیری ریزش‌های توده‌ای تونل خوانسار

سعید حمزه‌یی[۱*]، مهرداد مرتضایی[۲]

۱ و ۲- کارشناسی ارشد قرارگاه سازندگی خاتم‌الانبیاء (ص)، هلدینگ راه و شهرسازی، مؤسسه راهیران، تهران، ایران

(دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۰۵، پذیرش: ۱۴۰۰/۱۲/۲۴)

چکیده

هدف از مطالعه پیش رو شناسایی وضعیت ریسک تونل خوانسار است. شناسایی و تحلیل خطر به‌وسیله ماتریس ری نالد انجام گردید. تصاویر و عکس‌های هوایی از توده‌های سنگ فیلیت زغالی و رخنمون آن بر روی سطح زمین تهیه گردید و نیز محل‌های ریزش در عکس‌های هوایی در امتداد محور تونل نشان داده‌شده است. پس از مطالعات و مشاهدات صحرایی و نمونه‌برداری توده سنگ، نمونه‌های برداشت‌شده به آزمایشگاه پراش پرتوایکس در گروه خاکشناسی دانشگاه تهران انتقال داده شد که با بررسی پیک‌های به‌دست‌آمده و مطالعات کانی‌شناسی درصد اجزا تشکیل‌دهنده توده‌های فیلیت زغالی به‌دست‌آمده است. وضعیت فیزیوگرافی و مورفولوژی منطقه شناسایی گردید. اقلیم و شرایط رطوبتی موقعیت تونل با استفاده از داده‌های ساینوپتیک تعیین گردید. اطلاعات مربوط به مقاومت فشاری تک‌محوره در دو حالت خشک و اشباع برای توده‌های سنگ فیلیت زغالی اندازه‌گیری شده و نمودار مقایسه‌ای آن جهت تحلیل خطر فروریزش نمایش داده‌شده است. با توجه به جهت و شیب لایه‌بندی توده‌های سنگ و زوایای مشخص‌شده بین ۴۰ تا ۱۳۰ درجه وضعیت ریزش توده‌ای برای تونل محرز گردید. با استفاده از داده‌های ماتریس ری نالد و ضرایب به‌دست‌آمده مقدار عددی خطرپذیری برای تونل خوانسار در محدوده عدد ۶ قرار گرفت که با قرار دادن عدد موصوف در ماتریس خطر، وضعیت ریسک محدوده میزبان تونل بالا ارزیابی گردید که ازاین‌جهت در نظر گرفتن تمهیدات خاص ایمنی در حفاری تونل خوانسار، بسیار مهم ارزیابی می‌گردد.

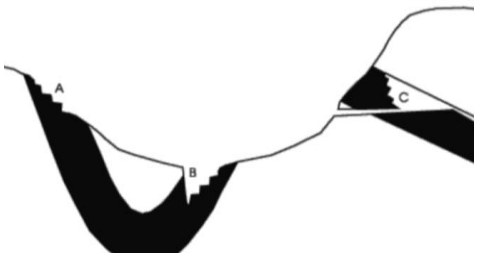
کلیدواژه‌ها: تونل، ریسک، ماتریس، کانی‌شناسی، فیلیت

۱. مقدمه

امروزه جهت احداث تونل با کاربری‌های گوناگون موارد و عوامل مهمی دخیل می‌باشند که ازجمله این عوامل می‌توان به شرایط زمین‌شناسی اشاره نمود. در این خصوص عملکرد ماشین‌های حفاری ازجمله TBM و ماشین‌آلات حفاری سنتی به وضعیت سنگ، جریان آب زیرسطحی، وجود گسل و درزه و سایر ویژگی‌های ساختاری وابسته است و نیز بر روی راندمان پیشروی تأثیر مستقیم دارند [۱]. یکی از حساس‌ترین خواص ژئومکانیک توده سنگ، مقاومت فشاری تک‌محوره هست که بر روی نفوذ دستگاه حفار تأثیر بسزایی دارد[۲]. در برخی موارد وجود زون‌های خردشده، ناپایداری دیواره‌ها و شرایط مچاله شوندگی، راندمان حفاری و نیز ایمنی عملیات را بیش‌ازپیش حائز اهمیت می‌نماید. [۳] آنچه در برخی از ساختارهای سنگی اهمیت دارد، وجود ناپیوستگی در توده سنگ است که علاوه بر ایجاد مشکلات در سیستم حفاری و نگهداری تونل، می‌تواند موجب نفوذ جریان آب به داخل تونل نیز شوند. در انتخاب روش حفاری عوامل مهمی ازجمله شرایط هیدروژئولوژی، فاصله‌داری صفحات لایه‌بندی، ناپایداری دیواره‌ها و سینه کار تونل و شرایط زون گسلی بسیار مهم است. هرچند که مقاومت فشاری کمتر، شرایط حفاری را تسهیل می‌نماید؛ اما از سوی دیگر مقاومت کم می‌تواند پیامدهایی مانند خزش، خردشدگی و ورقه شدن سنگ را در پی داشته باشد و درنهایت تنش جانبی کم شده و پیشروی و عملکرد دستگاه‌های حفاری با مشکل مواجه خواهد شد؛ بنابراین توده سنگ با مقاومت کم ممکن است نتواند نیروی محوری لازم را برای ماشین حفاری فراهم نماید. ناپایداری سینه کار بیشتر با ریزش بلوک و سنگ‌های خردشده همراه است که در موارد حاد می‌تواند عملیات حفاری را متوقف نماید. همچنین انتقال باطله حفاری را تحت تأثیر قرار داده و در موارد بحرانی ریزش‌های تونل و مسدود شدن مسیر حفاری را به دنبال دارد[۳]. با توجه به اطلاعات به‌دست‌آمده در برخی توده‌های سنگ، اثر شیب لایه‌بندی توده سنگ، ریسک لغزش را تشدید نموده است. به‌عنوان‌مثال در ساختارهای دگرگونی خفیف اثر ریزش توده‌های سنگ در جهت ثقل و با زاویه ۴۰ تا ۱۳۰ درجه نسبت به محور

* نویسنده مسئول: Hamzehees@yahoo.com

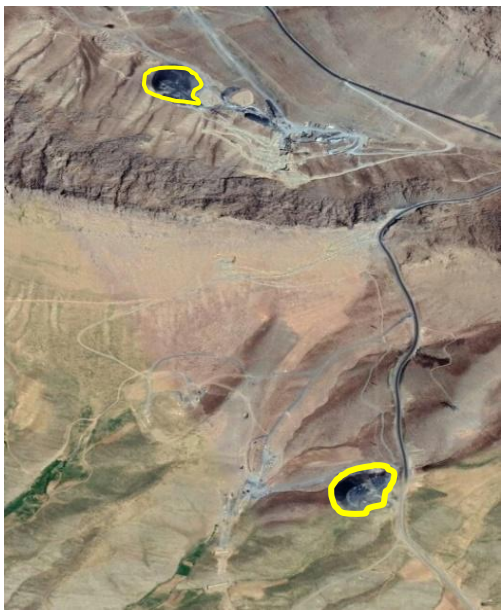
افقی شرایط حفاری را دشوار می‌نماید.



شکل (۱). شیب بندی توده‌های اسلیت بر روی بسترهای شیلی

توده‌های سنگی تورق‌پذیر که تحت فرآیند شیستوزیته شدید قرارگرفته‌اند ازجمله موارد ریزش تونلی محسوب می‌گردند. در این میان توده‌های سنگی فیلیت زغالی و اسلیت نمونه بارز توده سنگی مستعد ریزش و ناپایداری هستند که در محدوده تونل خوانسار در یک بازه ۱۱۹۷ متری قابل‌رؤیت هستند

شکل (۲). توده‌های دگرگون‌شده اسلیت



شکل (۳). رخنمون‌های اسلیت و فیلیت تونل خوانسار

تحقیقات متعدد نشان داده است که توده‌های سنگ اسلیت عمدتاً در اثر دگرگون خفیف شیل‌های سیاه و خاکستری با رس ایلایت و خاکستر آتش‌فشانی حاصل‌شده‌اند که تورق‌پذیری آن‌ها تحت تأثیر فشارهای جانبی بوده و توده سنگ اسلیت را به‌عنوان یک عامل ناپایداری در حفاری تونل معرفی می‌کند.

شکل (۴). نمونه سنگ اسلیت با شیستوزیته بالا و تورق‌پذیر

شکل (۵). نمونه سنگ فیلیت زغالی برداشت‌شده تونل خوانسار

توده‌های سنگ اسلیت عمدتاً در زیر توده‌های آهکی جوان در ایران واقع‌شده‌اند که به آن‌ها دره‌های اسلیتی نیز گفته می‌شود.

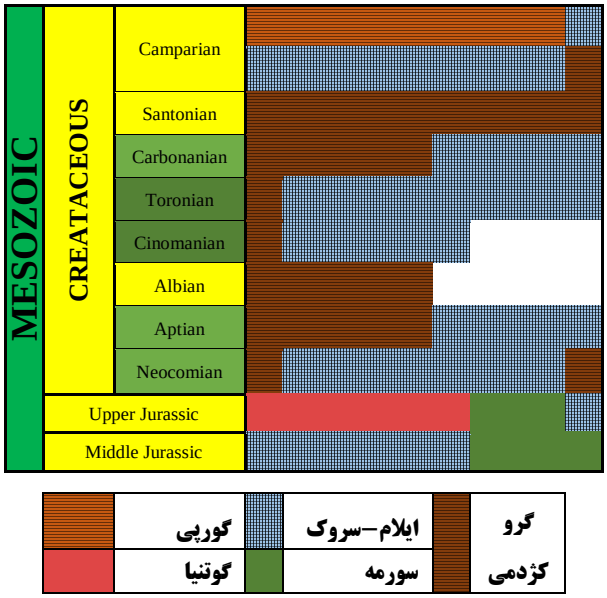
شکل (۶). دره اسلیتی پروژه تونل خوانسار

پوشش آهکی بر روی توده‌های اسلیت اثر عوامل هوازدگی فیزیکی و شیمیایی را بر روی این توده سنگ کاهش داده است و

تا جایی که با حضور توده‌های آهک فرسایش دره‌ای کاهش می‌یابد. خاستگاه توده‌های اسلیت با شرایط توصیف‌شده بین ۴۵۰ تا ۶۵۰ میلیون سال قبل به اواخر کامبرین تا پالئوزوئیک نیز می‌رسند اما در ایران تشکیلات توده سنگ اسلیت در دوره ژوراسیک تا کرتاسه میانی تشکیل‌شده است [۴].

اسلیت‌ها تعاریف مشابهی در منابع مختلف دارند. اسلیت‌ها توده‌های سنگ‌ریزدانه دگرگونی هستند که بر روی تشکیلات شیلی نازک و تورق‌پذیر توسعه‌یافته‌اند. شیل‌ها توده رسوبی هستند که ضخامت لایه‌های تشکیل‌دهنده آن‌ها از ۰/۰۰۴ میلی‌متر به بالا آغاز می‌گردد. زمانی که شیل‌ها تحت تنش فشاری با رس‌ها قرار می‌گیرند، دچار دگرگونی خفیف می‌شوند که اصطلاحاً به آن‌ها سنگ‌های دگرگون‌شده یا متامورفیک می‌گویند [۴]. وضعیت شیب بندی لایه‌های اسلیت را موردبررسی قراردادند که همگی با زاویه ۴۰ تا ۱۳۰ درجه نسبت به افق محاسبه گردیده است [۴].

زمانی که توده‌های فیلیت و اسلیت در جهت ثقل به‌صورت عمود بر محور افقی قرار دارند مستعد لغزش و ریزش هستند. زمانی که توده سنگ اسلیت در زیر توده‌های آهکی با وزن مخصوص زیاد مدفون است، شکستگی و خردشدگی لایه‌ها را دوچندان می‌کند. در یک مطالعه کم‌نظیر، وضعیت توده‌های اسلیت توسط بن‌گایدو در سال ۲۰۱۹ موردبررسی قرار گرفت. این مطالعه محدوده تشکیل توده سنگ را نشان داده است. ترکیب توده سنگ اسلیت از کواتز، فلدسپات، فلیت و میکا هست که جز توده‌های سنگ بسیار مستعد هوازدگی است. در یک گزارش تحقیقاتی گسترده در سال ۲۰۱۹ ترکیب توده سنگ اسلیت با کانی‌های ریزدانه میکا، فلدسپات، شیل، رس ایلایت و خاکستر آتش‌فشانی شناسایی شدند که در رنگ‌های سیاه تا خاکستری دیده‌شده است [۵]. در یک مطالعه دیگر در سال ۲۰۱۷ نحوه شیب بندی لایه‌های سیلتی در جهت عمود بر شیب را مستعد ریزش و خطرآفرین برای عملیات میدانی قلمداد نموده است. باوجود شیستوزیته زیاد در توده‌های سنگ اسلیت که تحت تأثیر فشار و دمای زیاد بوده است. رخنمون این توده‌های سنگی بر روی زمین با سرعت هوا دیدگی بالا می‌تواند ریزش‌های عمودی و در جهت ثقل را تسریع نماید. زمین‌شناسی منطقه خوانسار با توجه به اطلاعات استراتیگرافی زمین‌شناسی ایران دارای شیل‌های دوره ژوراسیک و آهک‌های کرتاسه میانی است که در طبقه‌بندی زمین‌شناسی شیل‌های مشابه سازند سرگلو مرتبط با ژوراسیک میانی و آهک‌هایی با خصوصیات آهک سازند سروک و ایلام مشاهده‌شده است. در ضمن برخی رگه‌های مارنی موجود در آهک با سازند فرخی شباهت نشان داده است [۶].



شکل (۷). استراتیگرافی توده سنگ غالب تونل

۲. روش تحقیق

۲-۱. معرفی منطقه خوانسار

منطقه خوانسار در عرض ۳۳ درجه و ۱۳ دقیقه شمالی و طول ۵۰ درجه و ۱۹ دقیقه شرقی در ناحیه نه‌چندان دور از کویر مرکزی ایران و در زون ۳۹ شمالی در فاصله حدود ۱۵۰ کیلومتری شمال غرب شهر اصفهان واقع‌شده است. منطقه خوانسار ۲۳۰۰ متر بالاتر از تراز سطح آب‌های آزاد است. بر اساس طبقه‌بندی دکتر کریمی، دارای اقلیم نیمه مرطوب با تابستان معتدل و زمستان بسیار سرد است و بر اساس طبقه‌بندی آمبرژه دارای اقلیم نیمه‌خشک و سرد و با روش دومارتن اصلاح‌شده، دارای اقلیم سرد و نیمه‌خشک است.

دمای هوا: میانگین سالیانه دما ۱۷/۱۳ و حداکثر ۱۷/۴۰ و میانگین حداقل ۶/۸ درجه است.

رطوبت: رطوبت میانگین سالانه ۳۵ درصد و میانگین بارش سالانه ۳۱۰ میلی‌متر است.

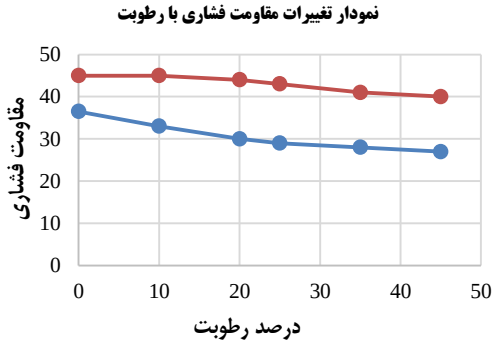
۲-۱-۱. زمین‌شناسی منطقه خوانسار

منطقه خوانسار با تراز ارتفاعی ۲۳۰۰ تا ۲۴۰۰ متر از سطح آب‌های آزاد و فعالیت‌های کوهزایی متوسط دارای آهک‌های سفید تا خاکستری ریزدانه، وجود فعالیت‌های آتش‌فشانی محدود واریزه‌های اسلیتی و فیلیت زغالی که در اثر دگرگونی شیل‌ها با

خواص آتش‌فشانی ایجادشده‌اند به همین دلیل اسلیت‌های شیستوزیه شده و تورق بالای سنگ‌ها یکی از ریسک‌های اصلی تونل خوانسار به لحاظ ریزش‌های محتمل و نیز وجود آب‌های زیرسطحی بالای سر تونل و هجوم آب به داخل تونل خطر فرو ریزش‌ها را بیشتر نموده است. تشکیلات این منطقه از تشکیلات فسیلی ژوراسیک تا کرتاسه هست. ارتفاعات جنوبی به‌صورت ناودیس دارای توده‌های آهک کرتاسه دوره دوم زمین‌شناسی و تشکیلات فسیلی که در اثر فشارهای جانبی و قرارگیری توده سنگ عمود بر فشار منجر به تورق و شیستوزیته بالای توده سنگ غالب تونل شده است که در بحث به آن اشاره‌شده است. ارتباط هیدرولیکی آهک‌ها در زون‌های خردشده و در کنتاکت با شیل‌ها کاملاً مشهود است که باعث ایجاد گردیان هیدرولیکی آب به داخل تونل شده است.

شکل (۸). تشکیلات آهکی (نارنجی) و اسلیتی (سیاه) تونل خوانسار

در برخی از مناطق مشاهده می‌گردد دبی آب ورودی به تونل می‌تواند پتانسیل ۳۰ لیتر بر ثانیه را داشته باشد. تحقیقات بر روی نمونه‌های برداشت‌شده تونلی نشان داد که افزایش میزان رطوبت، مقاومت فشاری تک‌محوره را تا ۴۰ درصد کاهش داده است و مقاومت فشاری توده سنگ اسلیت از ۴۵ به ۲۷ مگا پاسکال کاهش می‌دهد که ریسک ریزش به طرز چشمگیری افزایش می‌یابد. نمودار شکل (۹) مقاومت فشاری تک‌محوره قبل و بعد از تماس با رطوبت را نشان می‌دهد.

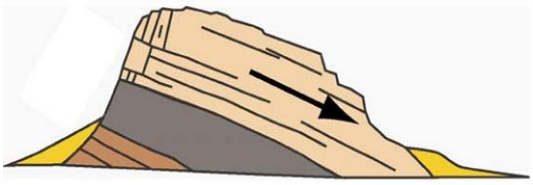


شکل (۹). رابطه مقاومت فشاری تک‌محوره با رطوبت

شکل (۱۰) شیب لایه‌بندی برای توده‌های فیلیت زغالی میزبان تونل نشان داده‌شده است که به‌عنوان عامل ایجاد ریسک شناسایی‌شده است.

شکل (۱۰). شیب بندی لایه‌های اسلیتی تونل خوانسار

خطر ریزش در توده‌های سنگ با خصوصیات شرح داده‌شده در کار مارض و همکاران ۲۰۱۴ نیز مشاهده‌شده است [۷].



شکل (۱۱). شیب بندی لایه‌های اسلیتی (ری نالد، ۲۰۱۲)

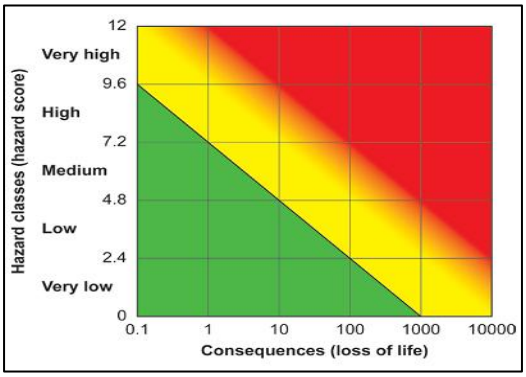
نتایج به‌دست‌آمده از نمونه‌برداری‌های داخل تونل نشان داد توده غالب دربرگیرنده تونل اسلیت شیستوزیته شده است که با دگرگونی خفیف در مجاورت رس ایلایت و مارن‌های آهکی قرار دارد. این تشکیلات نتیجه دگرگونی خفیف شیل‌ها با رس‌های ایلایت و خاکستر آتش‌فشانی نیز هست. شیل‌های ژوراسیک در اثر فشار و هم‌جواری با مواد خاکستر آتش‌فشانی ترکیبات فیلیتی و اسلیت سیاه تا خاکستری را تشکیل داده‌اند. با توجه به آزمون‌های صحرایی و نتایج تحقیقات پراش اشعه ایکس بر روی اسلیت‌ها مشخص گردید ترکیب آن‌ها معمولاً یکسان ولی به‌واسطه رنگ آن‌ها مقدار اکسیدهای آهن و منیزیم اندکی تغییر می‌نماید در کلیه تحقیقات ترکیب اسلیت‌ها عبارت‌اند از: کوارتز، مسکویت، ایلایت، بیوتیت، هماتیت، مگنتیت و فلدسپات است. تونل خوانسار که محور مواصلاتی خوانسار به بویین میاندشت است، به طول ۱۱۹۷ متر در حال احداث است. این تونل در فاصله تقریبی ۴ کیلومتری از شهر خوانسار واقع‌شده است. تونل خوانسار در یک دره با توده‌های آهکی بر روی ساختار اسلیتی با دگرگونی خفیف واقع‌شده است. مقطع تمام‌شده تونل ۷۲ مترمربع هست. همچنین تراز ارتفاعی تونل ۲۶۶۰ متر از سطح آب‌های آزاد است. کیلومتران شروع تونل ۱۵۶۳ و کیلومتران پایان آن ۲۷۶۰ هست. ۲۵ متر ابتدایی شامل گالری ورودی و ۱۳ متر نیز برای گالری پرتال خروجی است که مجموع طول تونل به

همراه گالری‌های آن برابر با ۱۲۳۵ متر هست. شکل زیر وضعیت قرارگیری خط تونل را بدون احتساب گالری‌ها نشان می‌دهد.

شکل (۱۲). خط تونل خوانسار

پارامتری به نام Rock fall hazard ratio (RFHR) نسبت خطرآفرینی برای توده‌های سنگی موردبحث، ارائه گردید.

در شکل زیر ماتریس خطرپذیری ری نالد آمده است که وضعیت خطرپذیری برای توده‌های سنگ در شرایط مختلف نمایش داده‌شده است



شکل (۱۳). ماتریس خطر ریزش (ری نالد ۲۰۱۲)

در این پژوهش شیب‌های ۳۰ تا ۴۵ درجه موردبحث قرارگرفته است. آنچه در این گزارش نگرانی اصلی قلمداد شده است، وجود توده‌های سنگی فیلیت و اسلیت است که قابلیت سقوط به جاده پایین‌دستی توده سنگ رادارند. دراین‌بین عوامل هوازدگی شیمیایی و فیزیکی نیز به‌عنوان فاکتور اصلی برای سقوط توده سنگ اسلیت هست. توده‌های اسلیت موردبررسی از نوع توده اسلیت سیاه و خاکستری و فیلیت زغالی است که در پروژه خوانسار نیز کاملاً مشهود است. ترکیبات توده‌های سنگ موردبحث عبارت‌اند از کوارتز، میکا، فیلیت، در برخی دیگر هورنفلس‌ها به همراه فلدسپات پلاژیوکلاز و آمیفیبول‌ها حضور دارند. حضور کانی‌های اوپک نیز در این توده‌های سنگ دیده‌شده است. مارض و همکاران در سال ۲۰۱۴ اشاره کردند وضعیت هوا دیدگی توده‌های سنگ اسلیت با توجه به ترکیب کانی‌شناسی در محدوده خیلی زیاد قرار دارد. به همین دلیل ریزش‌های محتمل را نیز به دنبال دارد. با توجه به وجود زون‌های متعدد شکستگی در تونل باوجود توده‌های اسلیت با شیب بندی عمودی، راینالد و همکاران در سال ۲۰۱۲ اشاره کردند که وجود زون‌های خردشده، خطر سقوط سنگی را تا ۴۰ درصد افزایش داده است. این محققان نشان دادند که کنتاکت سنگ‌آهک با اسلیت و فیلیت زغالی نیز ازجمله موارد مستعد افزایش خطر ریزش در تونل است. در تونل خوانسار نیز کنتاکت سنگ‌آهک با توده‌های اسلیت تائید کننده همین موضوع است.

شکل (۱۴). تصویر هوایی از ریزش تونل خوانسار

شکل (۱۵). محل ریزش تونل خوانسار

در تونل با توجه به شرایط رطوبت، جنس سنگ، میزان روباره و زون‌های خردشده، سازند زمین‌شناسی منطقه در سه بخش دسته‌بندی‌شده است که اعداد مربوط به ضریب p در جدول ۲ مشاهده می‌شود. در همین رابطه ری نالد و همکاران وضعیت لغزش و امکان خطرات را با استفاده از ضرایب زیر محاسبه نموده و ضریب ۴/۸ به بالا را مخاطره‌آمیز توصیف نمودند. با توجه به ماتریس ری نالد خطر ریزش برای تونل خوانسار بالا و بسیار بالا تلقی می‌گردد. نتایج محاسباتی و تجربی نیز با نتایج به‌دست‌آمده از حفاری تونل تطابق دارد.

شکل (۱۶). ریزش توده‌های اسلیتی در تونل خوانسار

شکل (۱۷). تغییر شکل دادن قاب تونلی به دلیل تنش‌های روبارهای

جدول زیر کلاس مخاطرات با استفاده از ضریب ری نالد و توزیع نرمال را نشان داده است که نتایج آن در پایان اشاره‌شده است.

جدول (۲). کلاس مخاطرات با استفاده از ضریب ری نالد

کلاس مخاطره	امتیاز	احتمال ایجاد خطر	
	ρ	تحلیل مخاطره	توزیع نرمال
خیلی کم	[۰,۰و۲,۴]	٪۰	٪۰,۴
کم	[۲,۲و۴,۸]	٪۳۱,۹۰	٪۳۲,۹۰
متوسط	[۴,۸و۷,۲]	٪۵۹,۹۰	٪۶۲,۹۰
بالا	[۷,۲و۹,۶]	٪۸,۲۰	٪۳,۸۰
خیلی بالا	[۹,۶و۱۲]	٪۰	٪۰

مایلی و همکاران در سال ۲۰۰۴ خطر سقوط و ریزش را برای لایه‌بندی‌های مختلف بررسی نمودند و به این نتیجه رسیدند که شیب و جهت لایه‌ها تا حد بسیار زیادی بر روی ریزش‌ها اثر دارد. همان‌طور که در شکل (۱۰) و (۱۱) مشاهده شد، پدیده لغزش و ریزش توده سنگ عمود بر محور فشار، مستعدترین حالت برای ریزش واحد سنگ است. تحقیقات در تونل خوانسار نشان داد که جهت لایه‌بندی توده‌های سنگ مشابه تحقیقات مایلی و همکاران بوده است که وضعیت ریزش توده سنگ را واضح‌تر بیان نموده است. فیزیوگرافی توده‌های سنگی بر اساس توپوگرافی منطقه شامل دو بخش هست که در بخش غربی توده سنگ یک پای شیب جزئی مشاهده می‌گردد. ولی انگشت شیب در دره تونل خوانسار دیده نشد. با توجه به توصیف عوارض توپوگرافی منطقه در دو بخش قله شیب و شانه شیب، بیشترین میزان خطر ریزش ارزیابی‌شده است. همان‌طور که کریستین در این زمینه در سال ۲۰۱۰ به این نتیجه رسید که نول و شولدر (قله و شانه شیب) بیشترین خطر ریزش رادارند. با استفاده از اطلاعات به‌دست‌آمده کمی و کیفی از تونل خوانسار، وضعیت پایداری توده سنگ را می‌توان در ماتریس ری نالد قرارداد تا امتیاز کلی خطر ریزش برای توده‌های سنگ دربرگیرنده تونل را به دست آورد. این ماتریس کمک می‌نماید که وضعیت پایایی شیب‌ها و تحکیمت مقتضی برای پایدارسازی آن و نیز جلوگیری از ریزش توده سنگ به عمل آید. این ماتریس به‌طورکلی در سه بخش محدوده ریسک را ارزیابی می‌نماید؛ کم، متوسط و زیاد که به ترتیب بارنگ‌های سبز، زرد و قرمز مشاهده‌شده است. محور X آن برآیند صدمات ناشی از ریزش و محور Y آن کلاس توصیفی خطرات است. برآیند صدمات ناشی از خطرات از فرمول زیر محاسبه‌شده‌اند.

$$R=P_F\times P_P\times P_E\times V\times E$$

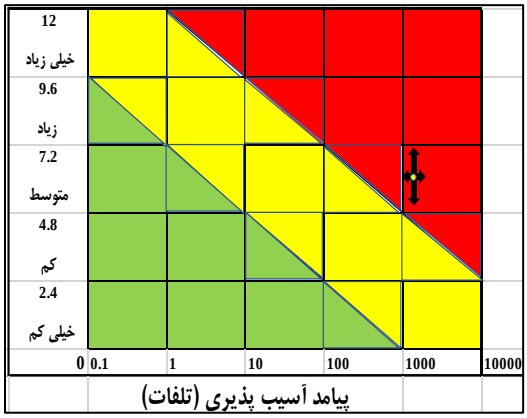
PF: احتمال گسیختگی

PP: احتمال انتشار

PE: احتمال وقوع پدیده

V: احتمال آسیب‌پذیری

E: فاکتور خطر



شکل (۱۸). ماتریس تلفات ناشی از ریزش توده‌های اسلیتی

۳- نتایج و بحث

مطالعات نشان داد تورق حاصل از شیستوزیته بالا با دگرگونی خفیف در این ساختارها به‌گونه‌ای است که شیب لایه‌ها از بالا به پایین و در جهت لغزش قرار داشته و همین موضوع سبب اثر فروریزش را تشدید نموده است. شیب بندی لایه‌ها در خارج از تونل و داخل تونل کاملاً همسان است به‌طوری‌که با توجه به تراز آب زیرسطحی و رطوبت موجود در توده‌های سنگ‌ریزش اتفاق افتاده است که ناشی از اثر آب بر روی توده تورق‌پذیر و آماس بخش رس ایلایت در ساختار سنگی اسلیت هست.

فشار شدید عمودی به توده سنگ فلیتی و اسلیت برای تولید بار، موجبات ریزش ناگهانی و سنگین را فراهم نموده است. یکی دیگر از دلایل ریزش در منطقه موردنظر، ترکیب کانی‌شناسی سنگ‌های فیلیت زغالی در روباره تونل است که باوجود میکاها منجر به ایجاد یک ساختار ضعیف و شکننده در توده سنگ شده است.

با توجه به ماتریس ری نالد و همکاران ۲۰۱۲ عدد به‌دست‌آمده بر روی محور لگاریتمی X برابر ۳۵۰۵ می‌شود که در محدوده زرد و قرمز قرار می‌گیرد. با توجه به توصیف خطر بر روی محور X که حاصل احتمال تجمعی خطر نسبی ۴/۸ تا ۷/۲ درصد است (جدول ۲)، مقدار آسیب‌پذیری و پیامد آن برای تونل خوانسار در محدوده ماتریس شکل شماره ۱۶ آمده است. با توجه به ماتریس ری نالد و همکاران ۲۰۱۲ پیامد آسیب‌پذیری یا تلفات تقریباً ۳۵۰۵ و خطر ریزش عدد ۶ برآورد شده است (شکل ۱۸).

با توجه به عدد حاصله، محدوده موردنظر در وضعیت قرمز قرار می‌گیرد و نشان می‌دهد ریسک آسیب‌پذیری و تلفات، بالا ارزیابی‌شده است.

۴. مراجع

[1] S. Hamzehee and M. R. Soltani, “The specification of tunnel boring machine,” 3rd Conference geology, 2017. (in Persian)

[2] L. Faramarzi, M. Karami, R. Bagherpoor, , “Geology of engineering journal ” the analysis of geological effects on TBM selection, vol. 8 pp. 2169-2193, 2014.

[3] J. Corominas, O. Mavrouli, “Grant Agreement journal” Assessment, effects of global change, and risk management strategies, vol. 7 pp. 1-138, 2010.

[4] M. Dolares, R. Cruz, “The Canadian Mineralogist journal” MINERALOGY AND ORIGIN OF SPOTS IN SPOTTED SLATE FROM THE MALÁGUIDE COMPLEX, BETIC CORDILLERAS, SPAIN: AN XRD, EMPA AND TEM–AEM STUDY, vol. 40 pp. 1483-1505, 2002.

[5] D. Ben Guida, “International Journal of Innovative Technology and Exploring Engineering” Slate rock mines: From formation to extraction, vol. 8 pp. 2411-2414, 2019

[6] S. Elyasi and M. R. Majidifard, “the researches of new stratigraphy on farrokhi formation,” 20th Conference geology of Iran, 2016. (in Persian)

[7] L. Reginald, “Norges geologiske undersøkelse Geological Survey of Norway Journal” Recommended hazard and risk classification system for large unstable rock slopes in Norway, vol. 10 pp. 04-52, 2012

Risk Analysis of Khansar Tunnel Rock Mass Collapse

S. Hamzei*, M. Mortezaei

Abstract

The purpose of this study is to identify the risk status of Khansar tunnel. Hazard identification and analysis was performed by Reynolds matrix. Aerial images and photographs of coal phyllite rock masses and their outcrops on the ground surface were prepared and collapse sites were shown in aerial photographs along the axis of the tunnel. After field studies, observations and sampling of rock masses, the collected samples were transferred to X-ray diffraction laboratory in the Department of Soil Science of the University of Tehran. Physiographic and morphological status of the area was identified. Climate and humidity conditions of the tunnel were determined using synoptic data. Information on uniaxial compressive strength in both dry and saturated states for coal phyllite rock masses has been measured and a comparison diagram is shown to analyze the risk of collapse. Due to the direction and slope of the stratification of rock masses and the specified angles between 40 and 130 degrees, the mass collapse status for the tunnel was determined. Using Reynolds matrix data and obtained coefficients, the numerical hazard value for Khansar tunnel was in the range of 6, which by placing the number in the hazard matrix, the risk statue of the tunnel host area was assessed very high, therefore taking special safety precautions in Khansar tunnel is considered very important.

Keywords: Tunnel; Risk; Matrix; mineralogy; phyllite.

Corresponding author E-mail: Hamzehees@yahoo.com