

نقش احداث جاده در کاهش پایداری شیب‌های سنگی در مسیر فشم به میگون و شناسایی نقاط ناپایدار با استفاده از تعیین ارزش SMR

مسعود عنایت*^۱، دکتر محمد رضا نیکودل^۲، دکتر سعید هاشمی طباطبائی^۳

(۱) دانشجوی کارشناسی ارشد زمین‌شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس*

(۲) دانشگاه تربیت مدرس

(۳) مرکز تحقیقات ساختمان و مسکن

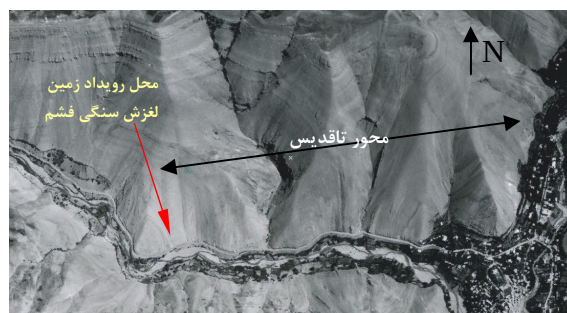
چکیده:

یکی از ویژگی‌های مناطق شمالی استان تهران که در بخش جنوبی رشته کوه البرز واقع شده، داشتن چهره کوهستانی و دامنه‌های پرشیب می‌باشد. حرکات دامنه‌ای و زمین لغزش‌ها در این مناطق یکی از مهمترین مخاطرات زمین‌شناسی می‌باشد که رخداد آنها گاهی موجب خسارت جانی و مالی در این مناطق می‌شود. دخالت عوامل انسانی از طریق توسعه شهرها، روستاها و احداث ابنیه فنی در این مناطق سبب تشدید بروز ناپایداری‌ها شده است. یکی از این موارد، احداث جاده‌های ارتباطی در دامنه‌های پرشیب می‌باشد که با روش گودبرداری و ایجاد ترانشه در دامنه اجرا می‌شوند. جاده ارتباطی فشم-میگون نیز که بخشی از مسیر لشگرک-شمشک می‌باشد با عبور از دامنه‌های سنگی شرایط ناپایداری را ایجاد کرده است. هدف از این تحقیق بررسی شرایط پایداری دامنه در قبل و بعد از احداث جاده و شناسایی نقاط ناپایدار می‌باشد که برای این منظور از طبقه بندی SMR استفاده شده است. نتیجه بدست آمده از امتیازدهی SMR نشان داد که دامنه‌های سنگی با شیب طبیعی در این طبقه بندی در رده خوب (Class II) قرار می‌گیرند و حالت پایدار دارند اما بعد از ایجاد ترانشه ناشی از احداث جاده در رده بد تا بسیار بد قرار گرفته و به حالت ناپایدار تبدیل می‌شوند. مشاهدات صحرایی مجدد جهت کنترل نتایج بدست آمده نشان داد که زمین لغزش‌های رخ داده در منطقه با نتایج بدست آمده از این طبقه بندی منطبق بوده و نتایج حاصله را تأیید می‌کنند. در مرحله بعدی روشهای کلی نگهداری و پایدار سازی ارائه شده است.

مقدمه:

منطقه فشم و میگون در بخش رودبار قصران شهرستان شمیران و حدود ۲۵ کیلومتری شمال شهر تهران قرار دارد. جاده ارتباطی فشم-میگون به طول ۴ کیلومتر و با روند تقریبی شرقی-غربی به موازات تاکدیس میگون احداث شده و بخش عمده‌ای از این مسیر در یال جنوبی این تاکدیس قرار دارد (شکل ۱). این تاکدیس از نهشته‌های عضو شیل تحتانی سازند کرج تشکیل شده و لیتولوژی آن شامل آذر آواری‌ها نظیر توف، توفیت (توفیت‌های آهکی)، شیل‌های سیلیسی و گاهی لایه‌های نازک شیلی می‌باشد. ترانشه ایجاد شده در طول مسیر باعث ضعیف شدن تکیه گاه توده‌های سنگی و کاهش ناپایداری شده است. به عنوان مثال عملیات تعریض جاده در ۲ کیلومتری شهر فشم در زمستان ۸۴ باعث بروز زمین لغزش سنگی و مسدود شدن جاده گردید (شکل ۱ و ۷). وجود گسل‌های فرعی و شکستگیها و نیز جهت گیری نامناسب لایه بندی نسبت به شیب توپوگرافی همراه با دیواره پرشیب

حاصله از احداث ترانشه، شرایط نامناسبی را در طول مسیر مذکور فراهم کرده است که در صورت بروز ناپایداری می‌تواند موجب خسارتهای مادی و حتی تلفات جانی شود. در این تحقیق سعی شده است نقش احداث جاده در محدوده مذکور در ایجاد ناپایداری مورد بررسی قرار گیرد و نسبت به شناسایی نقاط ناپایدار اقدام گردد و حتی الامکان جهت پایدارسازی مناطق ناپایدار راهکار مناسبی ارائه شود. برای رسیدن به این هدف از روش امتیازدهی توده سنگ در شیب‌ها (SMR) استفاده شده است.



شکل ۱- عکس هوایی منطقه، نمایی از تاق‌دیس میگون و جاده ارتباطی در یال جنوبی این تاق‌دیس

توصیف طبقه بندی SMR:

طبقه بندی امتیازدهی توده شیب (Slope Mass Rating, SMR) اولین بار توسط مانوئل رومانا (Manuel R. Romana) در سال ۱۹۸۵ معرفی شد و پس از آن طی چند مرحله تصحیح شده است که آخرین آن در سال ۲۰۰۳ توسط وی و همکارانش انجام شده است. این طبقه بندی در حال حاضر یکی از بهترین نوع طبقه بندی سنگها در شیب‌ها بوده که می‌تواند انواع شکست را پیش بینی کند و راه حل مناسبی برای نگهداری آن ارائه دهد [۲۱].

طبقه بندی امتیازدهی توده شیب SMR که بر پایه طبقه بندی اصلاح شده ژئومکانیکی (RMR, 1989) می‌باشد، دارای چهار پارامتر اساسی (F_1, F_2, F_3, F_4) است که از آنها به عنوان پارامترهای خطر پذیری (Parameters Risk) نامبرده می‌شود. جهت بدست آوردن امتیاز SMR در شیب از رابطه زیر استفاده می‌شود:

$$\text{SMR} = \text{RMR}_B + (F_1, F_2, F_3) + F_4 \quad \text{رابطه (۱)}$$

در رابطه فوق RMR_B ، RMR پایه توده سنگ می‌باشد. F_1 پارامتری است که به زاویه بین امتداد شیب دامنه و امتداد درزه بستگی دارد. این فاکتور از ۰/۱۵ تا ۱ متغیر می‌باشد. پارامتر F_2 به مقدار زاویه شیب درزه وابسته است و امتیاز آن بین ۰/۱۵ تا ۱ می‌باشد. F_3 پارامتری است که به اختلاف یا مجموع شیب‌های درزه و دامنه سنگی وابسته است (با در نظر گرفتن نوع گسیختگی و میزان اختلاف و یا مجموع شیب‌ها، امتیاز آن از صفر تا ۶۰- تغییر می‌کند) (جدول ۱). F_4 پارامتری است که با در نظر گرفتن روش حفاری به کار گرفته شده برای دامنه سنگی، تعیین می‌گردد. امتیاز آن از (+۱۵) تا (-۸) متغیر است که بیشترین امتیاز برای حالتی است که دامنه سنگی، دارای پایداری طبیعی باشد (Natural Slope) و کمترین امتیاز (-۸) برای حالتی است که آتشباری از نوع ضعیف (Poor Blasting) باشد

(جدول ۲). در این طبقه بندی هر شیب سنگی بر اساس مقدار عددی SMR بدست آمده رده بندی می شود که در هر رده میزان پایداری و نوع ناپایداری توصیف شده است (جدول ۳) [۲ و ۱].

Case		Very Favourable	Favourable	Fair	Unfavourable	Very unfavourable
P	$ \alpha_j - \alpha_z $	$>30^\circ$	$30^\circ-20^\circ$	$20^\circ-10^\circ$	$10^\circ-5^\circ$	$<5^\circ$
T	$ \alpha_j - \alpha_z - 180^\circ $					
P/T	$F_1 = (1 - \sin \alpha_j - \alpha_z)^2$	0.15	0.4	0.7	0.85	1.00
P	$ \beta_j $	$<20^\circ$	$20^\circ-30^\circ$	$30^\circ-35^\circ$	$35^\circ-45^\circ$	$>45^\circ$
P	$F_2 = \tan^2 \beta_j$	0.15	0.4	0.7	0.85	1.00
T	F_2	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
P	$\beta_j - \beta_z$	$>10^\circ$	$10^\circ-0^\circ$	0°	$0^\circ-(-10^\circ)$	$<-10^\circ$
T	$\beta_j - \beta_z$	$<110^\circ$	$110^\circ-120^\circ$	$>120^\circ$	-	-
P/T	F_3	0	-6	-25	-50	-60

P - Planar failure α_z - Slope dip direction α_j - Defect dip direction
T - Topping failure β_z - Slope dip β_j - Defect dip

جدول ۱- نحوه محاسبه F_1, F_2, F_3 [۵]

Method	Natural Slope	Presplitting	Smooth Blasting	Blasting or Mechanical	Deficient Blasting
F_4	+15	+10	+8	0	-8

جدول ۲- انتخاب F_4 بر اساس روش حفاری [۵]

SMR	0-20	21-40	41-60	61-80	81-100
Class	V	IV	III	II	I
Description	Very Bad	Bad	Normal	Good	Very Good
Stability	Completely Unstable	Unstable	Partially Stable	Stable	Completely Stable
Failures	Big planar or soil like	Planar or big wedges	Some joints or many wedges	Some blocks	None
Support	Reexcavation	Important/ Corrective	Systematic	Occasional	None

جدول ۳- رده بندی شیبها بر اساس امتیاز SMR [۵]

بحث:

جهت اعمال طبقه بندی SMR برای شیبهای سنگی در طول مسیر، ۲۸ ایستگاه انتخاب شد. برای هر ایستگاه در ابتدا برداشتهای لازم جهت محاسبه RMR_B انجام گرفت. سپس دسته درزههای مهم همراه با نوع ناپایداری که ممکن است به وجود آورند (صفحه‌ای، گوه‌ای، واژگونی) مشخص شدند. در مرحله بعد با مشخص نمودن پارامترهای خطر پذیری و تاثیر دادن آنها در RMR_B از طریق رابطه (۱)، مقدار SMR بدست آمد. برای ارزیابی وضعیت پایداری دامنه‌ها در زمان قبل و بعد از احداث ترانشه، در هر محل شیب ترانشه و شیب طبیعی دامنه همراه با امتداد آنها ثبت شد تا ارزش SMR در دو حالت یکی شیب طبیعی دامنه و دیگری شیب ترانشه محاسبه گردد.

اندازه گیری RMR_B و SMR:

برای اندازه گیری RMR_B ، ۵ پارامتر اساسی شامل مقاومت تک محوری سنگ بکر، شاخص کیفی توده سنگ ($\%RQD$)، فاصله داری درزه‌ها، شرایط درزه‌ها (بازشدگی، زبری، ...) و جریان آب زیرزمینی در برداشتهای صحرایی تعیین شدند. اندازه‌گیری مقاومت تک محوری سنگها که به وسیله چکش اشمیت انجام گرفت نشان داد مقاومت تک محوری سنگهای با لیتولوژی توف (انواع توفهای شیشه‌ای و سنگی) و توفیت (ذرات آذرآواری با درصدهای متفاوت آهک)، در محدوده ۵۰-۱۰۰ مگاپاسکال می‌باشند و سنگهای با لیتولوژی شیل سیلیسی در محدوده ۲۵-۵۰ مگاپاسکال قرار می‌گیرند. مقدار RQD و فاصله داری درزه‌ها متغیر بوده و بسته به نوع لیتولوژی و دوری یا نزدیکی به گسلهای فرعی در محدوده‌های وسیعی تغییر می‌کرد. فاصله داری درزه‌ها به علت شرایط تکتونیکی منطقه نظیر عملکرد گسلهای متعدد در بسیاری موارد کمتر از ۱ متر می‌باشد. شرایط آب زیر زمینی با توجه به مشاهدات انجام گرفته در فصول بارندگی، در تمامی ایستگاه‌ها بدترین حالت ممکن یعنی ارزش عددی ۴ (حالت قطره ای بودن (Dripping)) انتخاب شد.

برای بدست آوردن امتیاز SMR ، در هر ایستگاه دسته درزه‌های موجود مشخص گردید و پارامترهای F_1 ، F_2 ، F_3 بدست آمده از هر دسته درزه در نتیجه طبقه بندی SMR مورد بررسی قرار گرفت. در نهایت کمترین مقدار SMR بدست آمده به عنوان ارزش SMR آن ایستگاه در نظر گرفته شد. با توجه به نوع حفاری مکانیکی، پارامتر F_4 برای تمامی ایستگاه‌ها ارزش عددی صفر در نظر گرفته شد. محدوده شیب دامنه طبیعی از ۳۰ تا ۳۶ درجه و شیب ترانشه ۶۰ تا ۹۰ درجه اندازه گیری شد. در جدول ۴ مقادیر RMR_B و SMR محاسبه شده در هر ایستگاه برای شیب طبیعی و شیب ترانشه همراه با رده (Class) آنها آورده شده است.

ارزش SMR بدست آمده برای شیب‌های طبیعی نشان داد که اکثر شیب‌ها با دارا بودن میانگین امتیاز SMR در حدود ۶۲، در رده ۲ (Class II) قرار می‌گیرند و حالت پایدار دارند. ارزش SMR محاسبه شده برای شیب ترانشه‌ها در محدوده وسیعتری تغییر می‌کند و با کاهش ۱۷ تا ۳۶ واحد، در رده‌های مناسب تا خیلی بد (V-III) قرار می‌گیرند. با توجه به مقادیر SMR بدست آمده در هر ایستگاه و نوع ناپایداری که ممکن است ایجاد شود، مسیر فشم-میگون به ۴ چهار محدوده تقسیم گردید و نتایج حاصله به وسیله مشاهدات صحرایی کنترل شد (شکل ۲). ۴ محدوده‌های مشخص شده به شرح زیر می‌باشند:

محدوده ۱: این محدوده که در قسمت شرقی منطقه قرار دارد، ایستگاه‌های ۱ تا ۱۶ را شامل می‌شود. ارزش SMR برای دامنه‌های طبیعی در این محدوده به طور میانگین ۶۲ می‌باشد که در هنگام احداث ترانشه جاده حدود ۲۰ واحد کاهش می‌یابد. کاهش چشمگیر ناپایداری در بعضی از ایستگاه‌ها به حضور گسل و نوع لیتولوژی مربوط می‌شود؛ گسلها با جابجایی لایه‌ها و درزه دار کردن آنها، باعث کاهش ارزش SMR شده

شماره ایستگاه	RMR_B	SMR ترانشه	Class	SMR شیب طبیعی	Clas	نوع ناپایداری محتمل پس از احداث ترانشه
۱	۵۴	۳۱-۳۳	IV	۶۹	II	واژگونی- گوه‌ای

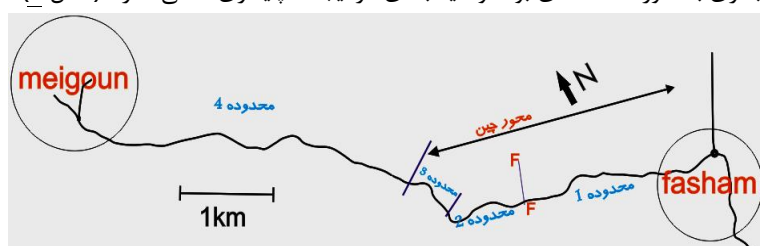


گوهای	II	۶۱	IV	۳۹	۴۸	۲
گوهای	II	۶۶	III	۴۳	۵۲	۳
گوهای	II	۷۱	III	۴۴	۵۲	۴
واژگونی - گوهای	II	۶۷	III	۴۳-۴۲	۵۲	۵
گوهای	II	۶۷	III	۴۹	۵۷	۶
گوهای	III	۵۷	IV	۳۳	۴۲	۷
واژگونی - گوهای	III	۵۴	IV	۳۰	۳۹	۸
صفحه‌ای	II	۶۲	III	۴۴	۵۳	۹
گوهای	III	۵۷	IV	۳۶	۴۵	۱۰
واژگونی - گوهای	II	۶۱	III	۴۰-۳۹	۴۹	۱۱
گوهای - واژگونی	III	۵۶	IV	۳۲-۳۱	۴۱	۱۲
واژگونی - گوهای	II	۶۲	IV	۳۸-۳۷	۴۷	۱۳
صفحه‌ای	III	۵۶	IV	۳۸	۴۶	۱۴
گوهای	III	۵۵	IV	۳۷	۴۵	۱۵
گوهای	II	۶۸	III	۴۴	۵۳	۱۶
صفحه‌ای	II	۶۴	V	۱۷	۵۳	۱۷
صفحه‌ای - گوهای	II	۶۴	IV	۳۷	۵۴	۱۸
صفحه‌ای	IV	۳۵	V	۱۴	۵۰	۱۹
صفحه‌ای - واژگونی	III	۴۵	IV	۳۰	۵۴	۲۰
گوهای	II	۶۹	III	۵۰	۵۹	۲۱
واژگونی	II	۶۰	III	۴۳	۴۵	۲۲
گوهای	II	۶۹	III	۴۵	۵۴	۲۳
گوهای	II	۶۷	III	۴۳	۵۲	۲۴
صفحه‌ای	II	۶۵	IV	۳۰	۵۰	۲۵
صفحه‌ای	II	۶۳	IV	۳۴	۵۴	۲۶
گوهای	II	۶۲	IV	۲۷	۴۷	۲۷
صفحه‌ای	III	۴۳	IV	۲۳	۵۲	۲۸

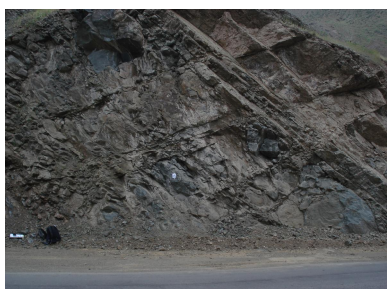
جدول ۴- مقادیر RMR و SMR بدست آمده از ایستگاه‌ها همراه با رده آنها و نوع ناپایداری که ممکن است ایجاد شود.

است (شکل ۳). ناپایداری در این محدوده غالباً از نوع گوه‌ای بوده (شکل ۴) که در بعضی ایستگاه‌ها شرایط بروز لغزش واژگونی نیز وجود دارد. البته به علت درزه دار بودن توده‌های سنگی و کم بودن فاصله داری آنها، لغزش‌های واژگونی اغلب به صورت تکه‌ها و خرده‌های سنگی کوچکی که به داخل جاده ریزش می‌کنند دیده می‌شود. این پدیده را می‌توان در زمان بارندگی به تعداد زیاد در منطقه دید. محدوده ۲: شیب‌های سنگی در این منطقه که ایستگاه‌های ۱۷ تا ۲۰ را شامل می‌شود از امتیاز SMR پایینی برخوردار می‌باشند. این شیب‌ها بعد از احداث ترانشه در رده‌های بد تا خیلی بد (IV - V) قرار می‌گیرند و ناپایدار در نظر گرفته می‌شوند. ناپایداری‌ها که بیشتر از نوع صفحه‌ای بوده غالباً در امتداد صفحات لایه بندی صورت گرفته است و حضور میان لایه‌های ضعیف شیل نیز به ایجاد ناپایداری کمک کرده است. لغزش‌های بزرگ صورت گرفته در منطقه نیز این موضوع را تأیید می‌نمایند (شکل ۵ و ۷).

محدوده ۳: جاده در این منطقه از مرکز تاقدیس میگون می‌گذرد و ایستگاه‌های ۲۱ تا ۲۴ را شامل می‌شود. میانگین عدد SMR برای حالت بعد از احداث ترانشه در حدود ۴۵ می‌باشد و در رده مناسب (III) قرار می‌گیرند و نسبتاً پایدار می‌باشند (شکل ۶). نوع ناپایداری از نوع گوه‌ای و گاهی واژگونی می‌باشد. محدوده ۴: این منطقه در دامنه رو به سمت جنوبی که در یال شمالی تاقدیس میگون شکل گرفته، واقع شده است و شامل ایستگاه‌های ۲۵ تا ۲۸ می‌باشد. امتیاز SMR برای شیب‌های سنگی این محدوده بعد از احداث ترانشه حدود ۲۸ بوده و در رده بد (IV) قرار می‌گیرند و ناپایدار توصیف می‌شوند. نوع ناپایداری به صورت صفحه‌ای بوده و لایه بندی در ایجاد ناپایداری نقشی ندارد (شکل ۸).



شکل ۲- تقسیم بندی مسیر فشم به میگون به ۴ محدوده بر اساس نتایج بدست آمده از طبقه بندی SMR و نوع ناپایداری‌های محتمل



شکل ۴- ترانشه با شیب ۸۵ درجه، محدوده ۱ (ایستگاه



شکل ۳- حضور گسل و جهت گیری نامناسب درزه‌ها (۵)

شرایط ناپایداری را در محدوده ۱ ایجاد کرده‌اند (ایستگاه ۱)



شکل ۶- عبور جاده از مرکز تاقدیس در محدوده ۳، (ایستگاه ۲۳)



شکل ۵- لغزش رخ داده در محدوده ۲ در امتداد صفحه لایه بندی (ایستگاه ۱۷)



شکل ۸- وجود دسته درزه‌های منظم و شرایط مستعد برای بروز لغزش، محدوده ۴ (ایستگاه ۱۸)



شکل ۷- لغزش سنگی بزرگ در امتداد صفحه لایه بندی، محدوده ۲

ارائه روشهای پایدار سازی:

در طبقه بندی SMR جهت نگهداری شیب‌ها و جلوگیری از گسیختگی آنها روشهای کلی پایدارسازی به صورت جدول ۵ پیشنهاد شده است.

SMR →	0	10	15	20	30	40	45	50	55	60	65	70	75	80	90	100
REVEGETATION																
DRAINAGE																
CONCRETE																
REINFORCEMENT																
PROTECTION																
NO SUPPORT																

جدول ۵- روشهای پیشنهادی نگهدارنده در طبقه بندی SMR [۴]

به طور کلی به علت کوچک بودن ابعاد بلوکهای سنگ در اغلب مناطق، استفاده از روشهای مقاومتی نظیر پیچ سنگ پیشنهاد نمی‌گردد. در محدوده ۲ به علت هم جهت بودن شیب لایه بندی با شیب توپوگرافی، حتی در حالت شیب طبیعی نیز شرایط ناپایدار وجود دارد و استفاده از روشهای تغییر شکل دامنه نظیر حفاری مجدد و کاهش شیب دامنه نمی‌تواند مؤثر باشد.

بنابراین بر اساس ارزش SMR و رده مشخص شده برای شیبهای سنگی در هر محدوده و با توجه به شرایط زمین شناسی منطقه می‌توان روشهای نگهداری را مطابق جدول ۶ ارائه نمود.

شماره محدوده	SMR	نگهدارنده پیشنهادی
۱	۳۳-۴۹	نگهدارنده‌های بتونی نظیر شاتکریت، دیواره بتنی پای دامنه
۲	۱۴-۳۰	استفاده از روشهای زهکشی نظیر زهکشی‌های سطحی و عمقی
۳	۴۳-۵۰	نگهدارنده‌های بتونی نظیر شاتکریت، دیواره بتنی پای دامنه
۴	۲۳-۳۴	استفاده از روشهای زهکشی نظیر زهکشی‌های سطحی و عمقی، تغییر شکل دامنه مانند کاهش شیب دامنه

جدول ۶- روشهای نگهداری ارائه شده برای محدوده‌های مختلف



نتیجه:

انجام طبقه بندی SMR بر روی شیبهای سنگی در مسیر فشم-میگون برای دو حالت شیب طبیعی زمین و شیب ترانشه ایجاد شده نشان داد که دامنه‌ها در حالت طبیعی پایدار می‌باشند اما شیب ترانشه‌های ایجاد شده در رده‌های ناپایدار و بسیار ناپایدار قرار می‌گیرند. با توجه به نوع ناپایداری و میزان کاهش ارزش SMR به علت ایجاد ترانشه، این مسیر به ۴ محدوده تقسیم شد. مرز بین این محدوده‌ها توسط عبور مسیر از قسمتهای مختلف تاقدیس میگون و عوامل ساختاری نظیر گسل تعیین می‌شود. محدوده ۱ و ۲ در بال جنوبی تاقدیس میگون واقع شده اند و مرز آنها گسلی می‌باشد. در محدوده ۲ به علت قرار گرفتن شیب لایه‌ها در جهت شیب توپوگرافی شرایط بسیار ناپایدار وجود دارد. شیبهای سنگی در این منطقه بعد از احداث ترانشه در رده بد تا بسیار بد قرار می‌گیرند. وقوع زمین لغزشهای بزرگ در این محدوده بعد از تعریض جاده نتایج حاصله را تأیید می‌کند. محدوده ۳ در مرکز تاقدیس واقع شده و نسبتاً پایدار می‌باشد. محدوده ۴ حالتی ناپایدار دارد اما از آنجایی که اغلب شیب‌ها همان شیب طبیعی می‌باشند و در محل ترانشه‌های ایجاد شده نیز فضای کافی در حاشیه جاده وجود دارد، خطر حاصل از ناپایداری کم می‌باشد.

منابع:

- ۱- «بررسی خطر سنگ افت در جاده چالوس (مرزن آباد تا پل زنگوله)»، (۱۳۸۵)، گزارش شماره ۵-۱-۸۵-Engeo، سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور، گروه زمین شناسی مهندسی.
- ۲- امینی، رفیعا، «مبانی بررسی پایداری دیواره‌های شیبدار در دریاچه پشت سدها»، ۱۳۸۲، نشریه شماره ۵۳ کمیته ملی سدهای بزرگ ایران.
- 4- Romana, M., Serón, J.B., Montalar, E., "SMR Geomechanics classification: Application, experience and validation", ISRM 2003-Technology roadmap for rock mechanics, South African Institute of Mining and Metallurgy, 2003.
- 5- Kurt John Douglas, "THE SHEAR STRENGTH OF ROCK MASSES", 2002, doctoral thesis, the university of new south wales Sydney, Australia.