



## بررسی پایداری شیبهای سنگی تاقدیس کنگان با استفاده از امتیازدهی SMR به شیبها توسط سیستم GIS

مسعود عنایت

دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، تهران

دکتر محمد رضا نیکودل

دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، تهران

دکتر ماشا... خامه چیان

دانشگاه تربیت مدرس، دانشکده علوم پایه، تهران

### چکیده

تاقدیس کنگان در فاصله ۷۵ کیلومتری شمال باختر بندر عسلویه و در محدوده بندر کنگان واقع شده است. ناپایداری دامنه‌ای در این تاقدیس می‌تواند خطرات جدی را به تأسیسات مربوط به استخراج گاز در این منطقه وارد کند. به علت گسترش واحدهای سنگی، جهت ارزیابی پایداری دامنه‌ها در این منطقه امتیازدهی SMR انتخاب گردید. با توجه به وسعت منطقه، امتیازدهی از طریق روش GIS صورت گرفت. در این روش باید پارامترهای مورد نیاز برای محاسبه SMR به صورت لایه‌های رقومی آماده گردد و از همپوشانی آنها SMR محاسبه گردد. بنابراین ابتدا در برداشتهای صحرائی اطلاعات مورد نیاز جمع آوری شده و لایه‌های رقومی حاوی اطلاعات مربوط به این پارامترها تهیه گردید. نتایج حاصله از این امتیازدهی نشان داد که بیشتر مناطق از پایداری خوبی برخوردار می‌باشند و مناطق ناپایدار در محدوده مطالعاتی وجود ندارد. این نتایج گرچه در بسیاری از نقاط با شرایط واقعی منطبق بود اما در نواحی مجاورت گسلها با مشاهدات صورت گرفته همخوانی نداشت زیرا تقریباً "همه ناپایداری های صورت گرفته در مجاورت گسل قرار داشتند. پس از انجام تصحیحات لازم در این نواحی از طریق کاهش RMR، رده‌های پایداری تعیین شده در نقشه با لغزشهای صورت گرفته منطبق شد و مشخص شد که گسلها با کاهش خصوصیات ژئومکانیکی سنگها از مهمترین عوامل ایجاد ناپایداری هستند.

**کلمات کلیدی:** تاقدیس کنگان، شیبهای سنگی، طبقه بندی SMR، روش GIS.

ناحیه مورد مطالعه در ۲۳۰ کیلومتری جنوب شرق بوشهر و بین طولهای جغرافیایی شرقی  $47^{\circ} 51'$  تا  $30' 06'' 52^{\circ}$  و عرضهای جغرافیایی شمالی  $41' 41'' 27^{\circ}$  تا  $58' 08'' 28^{\circ}$  واقع شده و مساحتی حدود ۳۲۰ کیلومتر مربع را به خود اختصاص داده که بخشهایی از برگه‌های آبدان، دهرم و کنگان را در بر میگیرد. به علت وجود منابع گاز در هسته تاقدیس کنگان، چاههای استخراج گاز، خطوط انتقال گاز، راههای دسترسی و دیگر ابنیه فنی مربوطه بر روی این تاقدیس احداث شده و یا در دست اجرا می‌باشند. وجود حرکات دامنه‌ای در این

تاقدیس می تواند خطرات مالی و جانی فراوانی به دنبال داشته باشد و عملیات استخراج را متوقف سازد. لذا شناسایی مناطق ناپایدار جهت دوری جستن از این مناطق از ضروریات می باشد.

به علت محدود بودن واحدهای خاکی و گسترش واحدهای سنگی در منطقه و وجود ناپایداری های سنگی که توسط سطوح ضعف کنترل می شوند تصمیم گرفته شد از سیستم طبقه بندی SMR (Slope Mass Rating) برای ارزیابی پایداری دامنه ها در منطقه استفاده نماییم. این طبقه بندی که توسط رومانا (۱۹۸۵) ارائه شده یکی از کاملترین طبقه بندی توده سنگها برای ارزیابی پایداری شیب های سنگی می باشد که تاکنون در کشورهای مختلفی مورد استفاده قرار گرفته است. در این طبقه بندی علاوه بر تأثیر خصوصیات ژئومکانیکی سنگهای سازنده شیب ها (RMR) در پایداری شیبها، به جهت گیری سطوح ضعف نسبت به سطح دامنه نیز توجه شده است (Romana, 1993). در این طبقه بندی شیبها در ۵ رده دسته بندی می شوند و در هر رده میزان پایداری و نحوه گسیختگی توصیف شده است. با توجه به وسعت محدوده مورد مطالعه تصمیم گرفته شد امتیازدهی SMR به شیبها توسط سیستم GIS صورت گیرد. در این سیستم پارامترهای مورد نیاز جهت محاسبه SMR به صورت لایه های رقومی تهیه می گردند و از همپوشانی آنها محاسبات لازم انجام می گیرد. این روش تاکنون در چند مورد در کشورهای ایتالیا و اسپانیا انجام گرفته است (Irigaray 2003, Romana 2003, Tomás & Cano 2006, Coluccino & Filipello 2004, Marchetti & Giannecchini 2005). یکی از مواردی که این روش به طور کامل مورد بررسی قرار گرفته است در منطقه شمال شهر تهران (محدوده فشم و میگون) بوده که نتایج آن همخوانی خوبی با مشاهدات صورت گرفته در منطقه داشته است (عنایت، ۱۳۸۶). در این تحقیق سعی گردیده است با بکارگیری این نوع امتیازدهی، علاوه بر شناسایی مناطق ناپایدار در محدوده مورد مطالعه، نتایج حاصله از این روش نیز مورد ارزیابی قرار گیرد.

## ۲ زمین شناسی منطقه

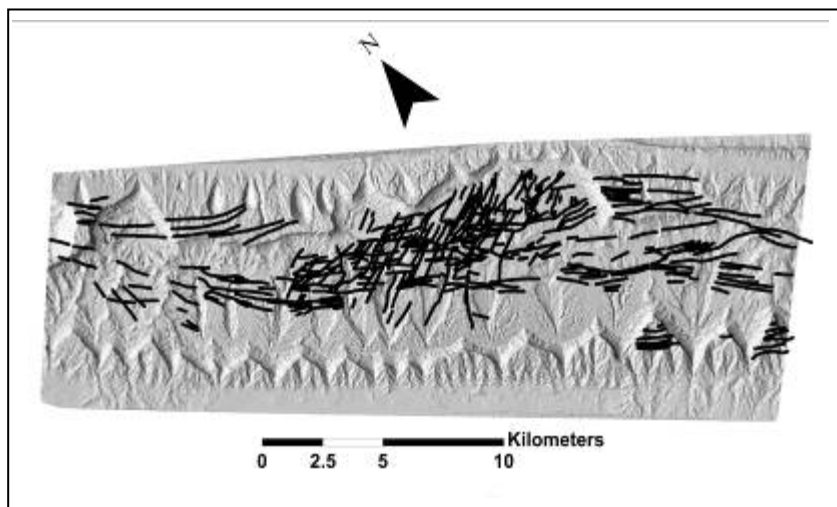
۴۰

تاقدیس کنگان بخشی از زون زمین شناسی کمربند چین خورده-رانده زاگرس می باشد که واحدهای سنگی کرتاسه میانی-پایانی یعنی سازندهای سروک و ایلام در بخش های مرکزی و هسته آن رخنمون یافته است (آقانباتی ۱۳۸۳). به سمت بیرون تاقدیس به ترتیب سازندهای گورپی، پابده، آسماری و گچساران و میشان و آغاچاری رخنمون دارد. سازندهای گروه بنگستان و آسماری بیشترین رخنمون را در منطقه دارند. رسوبات کواترنری به صورت محدود و پراکنده در مناطق گود و دره ها و اطراف تاقدیس حضور دارند. این تاقدیس روند عمومی شمال غرب-جنوب شرق دارد که در محدوده مورد مطالعه تحت تأثیر دگرریختی گسل پی سنگی نظام آباد با راستای شمال شرقی-جنوب غربی با سازوکار چپ بر قرار گرفته است. گسلهای شکل گرفته در تاقدیس کنگان با روندی موازی روند تاقدیس کنگان مشاهده می شوند. گروهی دیگر نیز با امتداد شمال شرق-جنوب غرب از روند گسل بزرگ نظام آباد تبعیت می کنند (شکل ۱).

## ۳ توصیف طبقه بندی SMR

امتیازدهی SMR به وسیله اضافه کردن پارامترهای اصلاحی به  $RMR_B$  بدست می آید. این پارامترها به جهت یابی نسبی درزه ها، جهت یابی سطح دامنه و یا به روش حفاری بستگی دارد (Romana, 2003). ارزش این طبقه بندی از رابطه ۱ محاسبه می گردد:

$$SMR = RMR_B + (F_1 \times F_2 \times F_3) + F_4 \quad \text{رابطه ۱}$$



شکل ۱- نمایی از تاقدیس کنگان؛ گسلهای نرمال به موازات محور چین و گسل‌های برشی (مرتبط با گسل نظام آباد) که در قسمت میانی محدوده مورد مطالعه شکل گرفته‌اند.

در این رابطه  $RMR_B$  همان  $RMR$  پایه توده سنگ می‌باشد که بر اساس طبقه بندی توده سنگ بینیاوسکی (۱۹۷۹) و بدون هیچ گونه اصلاحی بدست می‌آید. این فاکتور با اضافه کردن امتیازهای مقاومت سنگ بکر، (RQD)، فاصله داری، شرایط درزه‌ها و شرایط آب زیرزمینی محاسبه می‌گردد. پارامترهای  $F_1$  و  $F_2$  و  $F_3$  برای اصلاح جهت یابی درزه‌ها به کار می‌روند و مطابق جدول ۱ محاسبه می‌گردند.  $F_4$  نیز طبق جدول ۲ به نحوه حفاری دامنه بستگی دارد.

در طبقه بندی  $SMR$  هر شیب سنگی بر اساس مقدار عددی  $SMR$  بدست آمده رده بندی می‌شود که در هر رده میزان پایداری، نوع پایداری و نحوه بهسازی توصیف شده است (جدول ۳).

جدول ۱- پارامترهای اصلاحی برای جهت یابی درزه‌ها (رومانا ۱۹۹۳)

فاکتورهای اصلاحی برای درزه‌ها ( $F_1, F_2, F_3$ )	جهت شیب درزه = $\alpha_j$ جهت شیب دامنه = $\alpha_s$		شیب درزه = $\beta_j$ شیب دامنه = $\beta_s$		
	خیلی خوب	خوب	قابل قبول	ضعیف	بد
$ \alpha_j - \alpha_s  =$ (برای گسیختگی صفحه‌ای) $ \alpha_j - \alpha_s - 180^\circ  =$ (برای گسیختگی واژگونی)	$> 30^\circ$	$30^\circ - 20^\circ$	$20^\circ - 10^\circ$	$10^\circ - 5^\circ$	$< 5^\circ$
فاکتور $F_1$	0.15	0.4	0.7	0.85	1
رابطه	$F_1 = (1 - \sin  \alpha_j - \alpha_s )^2$				
$ \beta_j  =$	$< 20^\circ$	$20^\circ - 30^\circ$	$30^\circ - 35^\circ$	$35^\circ - 45^\circ$	$> 45^\circ$
فاکتور $F_2$ (برای گسیختگی صفحه‌ای)	0.15	0.4	0.7	0.85	1
فاکتور $F_2$ (برای گسیختگی واژگونی)	1				
رابطه	$F_2 = \tan^2 \beta_j$				
$ \beta_j - \beta_s  =$ (برای گسیختگی صفحه‌ای)	$> 10^\circ$	$10^\circ - 0^\circ$	$0^\circ$	$0^\circ - (10^\circ)$	$< -10^\circ$
$\beta_j + \beta_s =$ (برای گسیختگی واژگونی)	$< 110^\circ$	$110^\circ - 120^\circ$	$> 120^\circ$	-	-
فاکتور $F_3$	0	-6	-25	-50	-60

روش حفاری	شیب طبیعی Natural slope	پرسی پلیتینگ Presplitting	انفجار صاف Smooth blasting	انفجار منظم Blasting or mechanical	انفجار ضعیف Deficient blasting
فاکتور $F_4$	15	10	8	0	-8

جدول ۳- توصیف رده‌های SMR (رومانا ۱۹۹۳)

SMR	0-20	20-40	40-60	60-80	80-100
رده (Class)	V	IV	III	II	I
توصیف	خیلی بد	بد	قابل قبول	خوب	خیلی خوب
پایداری	کاملاً ناپایدار	ناپایدار	نسبتاً پایدار	پایدار	کاملاً پایدار
گسیختگی‌ها	صفحه ای بزرگ یا چرخشی	صفحه ای یا گوه های بزرگ	تعداد زیادی گوه صفحه ای	تعدادی بلوک	ندارد
تقویت	دوباره حفاری شود	نیاز به اصلاحات اساسی دارد	تقویت سیستماتیک	گاهی	نیاز ندارد

## ۴ بحث

## ۴-۱ جمع آوری داده ها

در بازدیدهای صحرایی صورت گرفته از منطقه اطلاعات لازم برای تعیین هر یک از پارامترهای SMR یعنی  $RMR_B$  و  $F_1$  و  $F_2$  و  $F_3$  و  $F_4$  جمع آوری گردید. این اطلاعات شامل ثبت داده های مربوط به تعیین RMR و همچنین برداشت درزه ها به منظور مشخص نمودن سیستم دسته درزه‌ها و جهت یابی آنها می‌باشد. در ادامه نحوه برداشتهای صحرایی و تعیین هر یک از این پارامترها شرح داده می‌شود.

۴-۱-۱ تعیین  $RMR_B$ 

برای محاسبه این پارامتر در ۴۳ ایستگاه مختلف واقع در برشهای موجود در راستای دره‌های یال شمالی و جنوبی و مرکز تاق‌دیس برداشتهای لازم انجام شده و میزان RMR آنها محاسبه گردید. با استفاده از مقادیر RMR محاسبه شده برای ایستگاه‌های مختلف و تعمیم آنها به سایر نقاط، می‌توان محدوده مورد مطالعه را به پهنه‌هایی مختلف تقسیم کرد. از آنجایی که هر سازند دارای لیتولوژی مشخص بوده و میزان تغییرات RMR در یک لیتولوژی نسبتاً ثابت می‌باشد، برای هر سازند مقدار RMR مشخص گردید و نقشه RMR تهیه شد (مقدار RMR برای هر سازند: ایلام ۵۱، آسماری ۶۷، آغاچاری ۵۹، پابده ۵۷، گچساران ۵۷، گورپی ۵۷، میشان ۶۲). همچنین تعداد زیادی گسل در محدوده مشاهده می‌شد. بدیهی است که گسلها تأثیر زیادی در کاهش پارامترهای ژئومکانیکی سنگ و در نتیجه کاهش RMR دارند. با توجه به ایستگاههای برداشت RMR که در مجاورت گسل بودند و نیز مشاهدات صورت گرفته در مورد تأثیر فاصله از گسل بر روی پارامتر RMR، بعد از تعیین مقدار RMR برای هر سازند، تا فاصله ۱۰۰ متری اطراف گسل به میزان ۱۰ واحد از مقدار RMR کسر گردید.

۴-۱-۲ تعیین پارامترهای  $F_1$  و  $F_2$  و  $F_3$ 

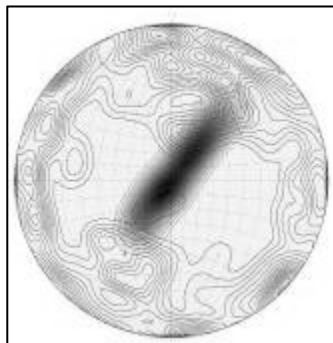
جهت تعیین این پارامترها لازم است موقعیت فضایی (شیب و جهت شیب) درزه ها و سطح دامنه تعیین گردد.

برای تعیین شیب و جهت شیب دامنه‌ها از نقشه توپوگرافی ۱/۲۵۰۰۰ (تهیه شده توسط سازمان نقشه برداری) استفاده گردید و لایه‌های رقومی شیب و جهت شیب دامنه تهیه گردید.

برای تعیین شیب و جهت شیب درزه‌ها تعداد زیادی درزه در نقاط مختلف در سطح منطقه برداشت شد و مورد تفسیر قرار گرفت. درزه‌های توسعه یافته در منطقه بر اساس منشا به ۲ گروه اصلی قابل تقسیم می‌باشند: درزه‌های مرتبط با چین خوردگی و درزه‌های مرتبط با گسلش. درزه‌های مرتبط با چین خوردگی شامل ۴ دسته درزه هستند: درزه‌های کششی موازی محور چین و درزه‌های کششی عمود بر محور چین و درزه‌های مزدوج برشی چپ بر و راستبر که به ترتیب راستاهای +۶۰ و -۶۰ نسبت به محور چین دارند. درزه‌های کششی عمود بر محور دره‌های عمیقی را در راستای خود ایجاد کرده‌اند.

دو سامانه گسلی عمده در محدوده مورد مطالعه توسعه یافته‌اند. سامانه گسله‌های کششی موازی محور تاقدیس و سامانه گسله‌های مرتبط با عملکرد پهنه گسل عرضی-برشی نظام آباد. سامانه گسلی نرمال با جهت یابی موازی محور تاقدیس در ناحیه لولایی در تمام محدوده دیده می‌شود. این گسلها جابجایی‌هایی چند متر تا چند ۱۰ متر دارند، شیب سطح گسل بین ۵۰ تا ۸۰ درجه متغیر است. این گسلها دارای روند حدود N125 هستند.

گسل نظام آباد یک گسل امتداد لغز چپ بر پی سنگی با روند عمومی N60 می باشد که طول مجموعه قطعات آن حدود ۲۳۰ کیلومتر است. پهنای منطقه دگرریخت شده حاصل از عملکرد گسل نظام آباد در محدوده تاقدیس کنگان حدود ۸ کیلومتر می‌باشد. همچنین گسله‌های نرمال با راستای حدود N60 در نواحی لولایی تاقدیس و در پهنه گسلی نظام آباد توسعه زیادی دارند، این گسلها محصول برهمکنش کشش موازی محور مرتبط با چین خوردگی و شکستگیهای مرتبط با عملکرد گسل امتدادلغز نظام آباد می‌باشند. که در نتیجه این دو عامل گسلهایی ایجاد شده‌اند که راستای تقریباً "موازی با پهنه گسل نظام آباد دارند اما سازوکار آنها بدلیل کشش موازی محور مرتبط با چین خوردگی سازوکار نرمال است.



شکل ۲- کنتورهای قطب سطوح درزه‌های برداشت شده بر روی شبکه استریوگرافیک هم مساحت

سطوح درزه و شکستگیهایی که در منطقه شناسایی شده‌اند و برای محاسبه منظور شده‌اند به قرار زیر می‌باشد:

برای هر یک از این سطوح درزه محاسبات بر اساس جدول ۱ انجام گرفت و برای هر کدام مقدار  $F_1$  و  $F_2$  و  $F_3$  به صورت نقشه‌های رقومی تهیه گردید.

$$F_4 - \text{تعیین پارامتر } F_4$$

شیب در نظر گرفته شده برای تمام منطقه طبیعی است و هیچ گونه دستکاری برای آن پیش بینی نشده است. لذا امتیاز این پارامتر برابر ۱۵+ خواهد بود.

$$F_4 - \text{محاسبه } SMR$$

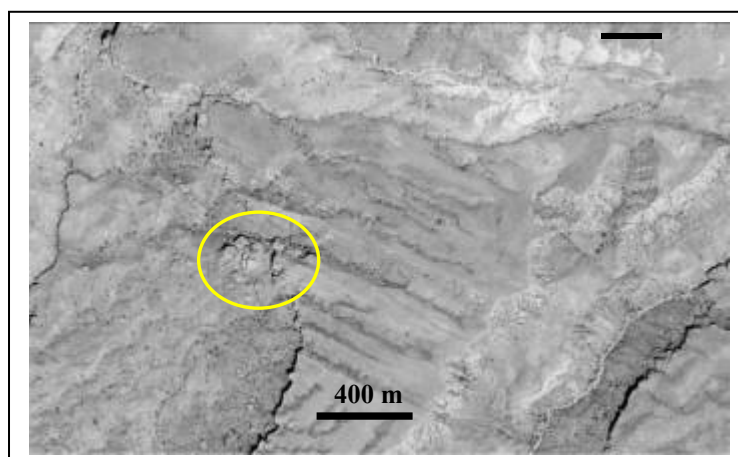
در این مرحله محاسبه SMR با استفاده از همپوشانی لایه‌های رقومی تهیه شده برای هر یک از درزه‌ها انجام گرفت. در انتها هر یک از نقشه‌های SMR تهیه شده بر روی هم قرار گرفتند و کمترین مقدار برای هر

سلول (Minimum آنها) انتخاب شد و بدین ترتیب نقشه SMR نهایی تهیه شد. از آنجایی که تعیین امتیاز SMR برای واحدهای خاکی بی معنی است این واحدها قبلاً از نقشه حذف گردیدند.

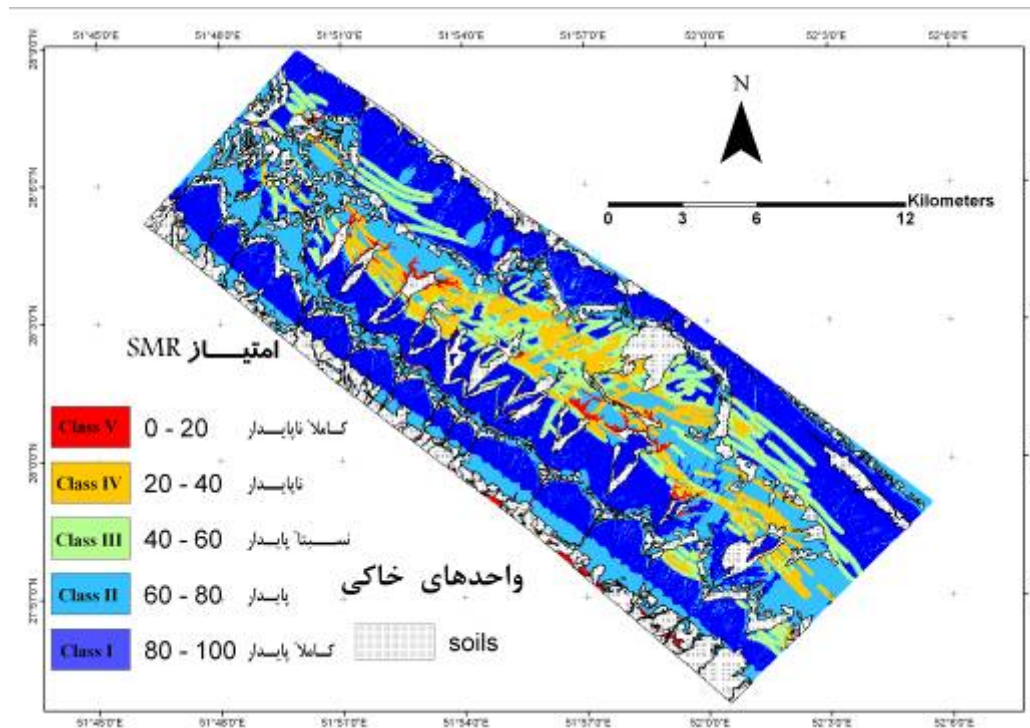
#### ۳-۴ ارزیابی نقشه تهیه شده

مقایسه رده‌های پایداری تعیین شده در نقشه SMR با وضعیت پایداری دامنه‌های سنگی مشاهده شده در منطقه انطباق خوبی دارد. در بسیاری از نقاط رده پایداری خوب و یا بسیار خوب تعیین شد. به عنوان مثال سازند آسماری کاملاً مقاوم و بدون هیچ گونه شواهدی از حرکات لغزشی بود. اما در نقشه تهیه شده هیچ کجا منطقه‌ای با رده پایداری بد و یا بسیار بد مشخص نشده بود در صورتی که در منطقه لغزشهایی به خصوص در قسمت‌های میانی محدوده مورد مطالعه و در محور چین مشاهده می‌شد. این مسئله با نتایج حاصل از این امتیازدهی تناقض داشت. بررسی بیشتر نشان داد که این لغزشها تماماً در مجاورت گسل هستند (شکل ۳). بنابراین با اینکه قبلاً بر اساس برداشتها مقدار ۱۰ واحد از میزان RMR در این نواحی کسر شده بود تصمیم گرفته شد در مناطق اطراف گسل مجدداً تصحیحی صورت گیرد. این تصحیح قاعدتاً باید بر روی میزان RMR صورت گیرد. زیرا دیگر پارامترهای تأثیر گذار بر روی میزان SMR یعنی جهت‌گیری درزه‌ها در کل مناطق تاق‌دیس ثابت می‌باشند و تغییر نمی‌کنند و همه آنها قبلاً در محاسبه دخالت داده شده‌اند اما میزان RMR به علت حضور گسل و تأثیر آن تغییر می‌کند. همچنین بررسی مناطقی که در آنها لغزش صورت گرفته نشان داد که شکستگیهای زیادی وجود دارند که دارای طول زیاد و بازشدگی قابل توجه می‌باشند اما در یک ایستگاه برداشت قابل رویت و ثبت نیستند ولی در مقیاسهای کوچکتر قابل مشاهده‌اند. این شکستگیها تأثیر بسیار زیادی در کاهش خصوصیات ژئومکانیکی توده سنگ و در نتیجه کاهش RMR و بروز لغزش دارند. بنابراین سعی شد تا RMR در این نواحی آن قدر کم شود تا بهترین انطباق بین نقشه تهیه شده با مشاهدات صحرایی و لغزشهای صورت گرفته حاصل شود؛ به عبارتی رده پایداری تعیین شده در این نواحی با مشاهدات صورت گرفته منطبق شود. نتایج نشان داد که با کاهش مجدد ۲۶ واحد RMR برای گسل‌های برشی (مرتبط با گسل نظام آباد) و ۲۰ واحد برای گسل‌های نرمال (گسل‌های کششی در محور چین) بهترین انطباق صورت می‌گیرد. با انجام این تصحیح رده‌های پایداری مشخص شده در نقشه SMR تهیه شده با شرایط واقعی منطبق شده و دقت آن افزایش پیدا کرد (شکل ۴).

۴۴



شکل ۳- ناپایداری صورت گرفته در مجاورت گسل‌های نرمال



شکل ۴- طبقه بندی دامنه‌ها بر اساس SMR بدست آمده

۴۵

## ۵ نتیجه گیری

پس از امتیازدهی SMR توسط سیستم GIS در تاق‌دیس کنگان معلوم شد که به جز در مجاورت گسلها انطباق خوبی بین نتایج حاصله و پایداری مشاهده شده دامنه‌های سنگی در منطقه وجود دارد. در نقشه تهیه شده هیچ گونه منطقه ناپایدار با لغزش مهم و بزرگی مشخص نشده بود در حالی که در منطقه لغزشهایی مشاهده شد که همگی در مجاورت گسل قرار داشتند. از آنجایی که گسلها بیشتر در محور چین و بر روی رأس تاق‌دیس قرار داشتند لغزشهای مشاهده شده نیز در این نواحی تمرکز داشتند. بنابراین در نواحی مجاورت گسل نقشه SMR تصحیح شد. به علت عدم تأثیر گسل بر روی پارامترهای  $F_1$  و  $F_2$  و  $F_3$  و  $F_4$  این امر از طریق تصحیح نقشه RMR صورت گرفت. انجام این تصحیح نشان داد که مقدار RMR در مجاورت گسلهای نرمال (در محور چین) ۲۰ واحد و گسلهای برشی (مرتبط با گسل نظام آباد) ۲۶ واحد باید مجدداً کاهش یابد تا بهترین انطباق حاصل شود. از آنجایی که مقدار RMR در مجاورت گسلها قبلاً بر اساس برداشتهای انجام شده ۱۰ واحد کم شده بود، گسل‌های نرمال ۳۰ واحد و گسلهای برشی ۳۶ واحد از مقدار RMR می‌کاهند. این تحقیق نشان می‌دهد که در صورتی که پارامترهای مربوط به تعیین SMR به درستی انتخاب شده باشند نتایج حاصله نیز قابل اطمینان و کاربردی خواهند بود. با استفاده از این الگو می‌توان برای دیگر تاق‌دیس‌های موجود در زاگرس که به لحاظ زمین شناسی مشابهت زیادی با منطقه مورد مطالعه دارند نیز نقشه SMR و در نتیجه پایداری دامنه‌های سنگی را تهیه نمود.

## ۶ تشکر و قدردانی

با تشکر از آقایان مرتضی هاشمی و مهدی نجفی و ابراهیم باقری مهرورز که در برداشتهای صحرایی و بررسی‌های زمین شناسی کمک‌های شایانی نمودند و در مراحل مختلف این تحقیق ما را یاری نمودند.

## ۷ مراجع

- آقابیاتی، علی، (۱۳۸۳). "زمین شناسی ایران" انتشارات سازمان زمین شناسی و اکتشافات معدنی کشور.
- شرکت پارس کانی، (۱۳۸۷). "گزارش زمین شناسی ناحیه ای تاقدیس کنگان (بخش شمال باختری)"
- عنایت، مسعود، (۱۳۸۶). "بررسی شرایط زمین شناسی مهندسی مسیر فشم به میگون با نگرشی بر ناپایداری دامنه ها" پایان نامه کارشناسی ارشد رشته زمین شناسی مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- Coluccino, M., Filipello, A., Bacchin, G., Casuccl, S., (2004). "GIS application in the extractive activities" planning in the Verbano Cusio Ossola Province (Piedmont, NW Italy): a model for preliminary rock slope stability assessment".
- Irigaray, C., Fernández, T., Chacón, J., (2003). "Preliminary rock-slope susceptibility assesment using GIS and the SMR classification", *Natural Hazard*, 30: 309-324, Page 1.
- Marchetti, D., Giannecchini, R., Falaschi, F., (2005). "Elaboration of SMR Index by overlay of thematic maps: an applicative example in the Serchio River valley (North- Western Tuscany)", *Giornale di Geologia Applicata* 2 (2005) 271-277, doi: 10.1474/GGA.2005-02.0-39.0065, (Spanish paper with English abstract).
- Romana, M., Serón, J.B., Montalar, E., (2003). "SMR Geomechanics classification: application, experience and validation", *ISRM 2003- Technology roadmap for rock mechanics*, South African Institute of Mining and Metallurgy
- Romana, M., (1993). "A geomechanical classification for slopes: slope mass rating", In: Hudson, JA (ed) *Comprehensive rock engineering*, 3. Pergamon, New York, pp 575-600.
- Tomás, R., Cano, M., Cañaveras, J.C., (2006). "Nuevas funciones continuas para el calculo del slope mass rating (SMR): application mediante un sistema de informacion geografica a los taludes rocosos de una cantera", *Revista de la Sociedad Geológica de España*, 19(1-2).
- Toma's, R., Delgado, J., Sero'n, J.B., (2007). "Modification of slope mass rating (SMR) by continuous functions", *International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences* 44, 1062-1069.