

## بهینه سازی تسلیح در شیب‌های سنگی ناپایدار با استفاده از روش سطح تسلیح مورد نیاز

عبدالحسین حداد<sup>۱</sup>، حجت دهستانی<sup>۲\*</sup>

اطلاعات مقاله	چکیده
دریافت مقاله: بهمن ۱۳۸۸ پذیرش مقاله: خرداد ۱۳۸۹	<p>بحث بهینه‌سازی عناصر تسلیح کننده در پایدارسازی شیب‌های سنگی به علت تحمیل هزینه‌های کلان در این گونه عملیات و مشکلات ناشی از لغزش و ناپایداری این شیب‌ها به واسطه عدم تسلیح کافی، همواره یکی از موضوعات مورد توجه محققین در زمینه‌های ژئومکانیک و ژئوتکنیک بوده است. بدین منظور در این تحقیق به بررسی توزیع بهینه عناصر تسلیح کننده بر روی شیب‌های سنگی که احتمال ناپایداری دارند، پرداخته شده و روش جدید سطح تسلیح مورد نیاز یا DRD (Degree of Reinforcement Demand) به کار گرفته شده است. هدف این روش ارائه یک روند منطقی جهت توزیع بهینه عناصر تسلیح کننده مورد نیاز در شیب‌های سنگی ناپایدار و به خصوص نواحی بحرانی است. در این روش شیب سنگی با توجه به خواص هندسی منطقه بندی شده و برای هر منطقه با توجه به خواص هندسی و ژئومکانیکی لایه‌ها ضرایب تاثیر و سپس ماتریس ضرایب تاثیر بدست می‌آید. در ادامه با استفاده از روش اجزای محدود و مدل سازی عددی تغییر مکان هر یک از مناطق و بعد از آن ماتریس نسبت تغییر مکان مناطق تقسیم بندی شده بدست می‌آید. در انتها طی یک عملیات ماتریسی مقادیر DRD هر منطقه بدست آمده و توزیع عناصر تسلیح کننده بر اساس این مقادیر صورت می‌گیرد. به منظور ارائه کاربردی، توزیع بهینه عناصر تسلیح کننده در شیب‌های سنگی سد سیاه بیشه مورد ارزیابی قرار گرفته است.</p>
واژگان کلیدی: ضرایب تاثیر، پیچ سنگ، پایدارسازی، سطح تسلیح مورد نیاز.	

### ۱- مقدمه

ناپایداری دارند از طریق بررسی و ارزیابی شرایط زمین‌شناسی مشخص شده و به کمک روش‌های مهندسی نظیر استفاده از پیچ‌سنگ، شاتکریت، ایجاد شیب مجدد و یا برداشت قسمت‌های ناپایدار پایدارسازی شوند. بدین منظور لازم است تا در ابتدا بررسی و ارزیابی‌هایی از وضعیت پایداری شیب‌ها به کمک تحقیقات محلی، برداشت‌های مهندسی و همچنین انجام آزمایش‌های صحرایی و آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های اخذ شده در دستور کار قرار گیرد. سپس با بررسی شرایط هندسی و

شیب‌ها و توده‌های سنگی ناپیوسته وسست همواره در معرض ناپایداری و لغزش‌های موضعی و یا کلی قرار دارند. وجود درزه‌ها و ناپیوستگی‌ها در شیب‌های سنگی ناهمگن یکی از دلایل اصلی لغزش و ناپایداری شیب‌های سنگی محسوب می‌شود [۱]. به منظور جلوگیری از لغزش و شکست شیب‌های سنگی باید مناطقی که احتمال

\* پست الکترونیک نویسنده مسئول: soheilsss89@yahoo.com

۱. استادیار، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه سمنان

۲. عضو هیات علمی مجتمع آموزش عالی فنی و مهندسی قوچان

این روش در سایر پروژه‌های تسلیح شیب‌های سنگی ارائه گردیده است.

### ۳- مروری بر تحقیقات انجام شده

با توجه به این که موضوع تحقیق فوق جدید بوده و روش نوینی را در پایدارسازی شیب‌های سنگی ناپایدار مطرح می‌کند تحقیقات گسترده‌ای در این زمینه در گذشته انجام نشده است. بعضی از تحقیقات انجام شده در رابطه با پایدارسازی شیب‌های سنگی با فن‌آوری پیچ‌سنگ بوده است که در ذیل به آن اشاره شده است.

در این زمینه Peckover تحقیقاتی در رابطه با دلایل ناپایداری شیب‌های سنگی انجام داد. این محقق در طی تحقیقات خود و بررسی مطالعات موردی به این نتیجه رسید که حدود ۷۰ درصد ناپایداری شیب‌های سنگی به وجود آب در شیب سنگی مرتبط است. همچنین بر اساس نتایج این محقق وجود شکاف و درزه‌ها در شیب سنگی و جهت معکوس ناپیوستگی‌ها حدود ۱۷ درصد از لغزش شیب‌های سنگی را در بر گرفته است [۱۳]. Weugel بحث استفاده از سیستم پیچ‌سنگ را به عنوان تسلیح شیب‌های سنگی برای اولین بار مطرح و ارائه کرد و در نتایج تحقیق خود استفاده از سیستم پیچ‌سنگ برای پایدارسازی و تثبیت شیب‌های سنگی را از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه دانست و آن را توصیه کرد [۱۴]. در ادامه حسن مدنی به بحث در رابطه با انواع روش‌های سیستماتیک در تسلیح شیب‌های سنگی پرداخت. این محقق در نتایج خود برای هریک از روش‌های تسلیح سیستماتیک مطرح شده نظیر بارتن، RMR و RSR پارامترهای امتیازدهی را بیان کرده و نتایج را در قالب جداول طراحی و سیستم‌های نگهداری ارائه کرده است [۹]. همچنین Hoek نیز به بررسی انواع روش‌های تسلیح سیستماتیک در تونل و شیب‌های سنگی پرداخت و در نهایت روش RMR را به عنوان یکی از موفق‌ترین

پارامترهای ژئوتکنیکی شیب، مدل عددی از شیب مورد مطالعه تهیه شده و پایداری آن مورد ارزیابی قرار گیرد. یکی از روش‌های جلوگیری از وقوع ناپایداری‌ها در شیب‌های سنگی استفاده از سیستم‌های پیچ‌سنگ است. سیستم پیچ‌سنگ که در شیب‌های سنگی ناپایدار مورد استفاده قرار می‌گیرد، به وسیله‌ی نیروی داخلی ایجاد شده در آن باعث جلوگیری از لغزش بلوک‌های سنگی ناپایدار می‌شود. برای نمونه یکی از موارد تسلیح شیب سنگی به وسیله سیستم پیچ‌سنگ در شیب سنگی نیروگاهی در کشور چین اجرا شده است که بیشترین ارتفاع شیب سنگی مورد بررسی ۱۶۵ متر است [۲]. همچنین یکی از موارد تسلیح شیب سنگی در ایران استفاده از این روش در شیب‌های سنگی سد سیاه بیشه است که در انتهای مقاله به عنوان پروژه موردی مورد بررسی قرار گرفته است. علاوه بر این، روش‌های دیگری نظیر روش تحلیل تئوری [۳]، روش تجربی، روش‌های نظارتی و روش‌های جامع [۴] می‌تواند برای بررسی و ارزیابی پایداری و تسلیح بهینه و اقتصادی شیب‌های سنگی به کار رود.

### ۲- بیان مسئله

در این تحقیق با بررسی اثرات شرایط زمین‌شناسی و ژئومکانیکی محل، اهمیت و ضرورت پایدارسازی و تسلیح شیب‌های سنگی ناپایدار مورد توجه قرار گرفته است. مسایل و مشکلات ناشی از تسلیح سیستماتیک شیب‌های سنگی بخش دیگری از مطالعات حاضر را تشکیل داده است. در ادامه‌ی تحقیق روش مناسبی برای بهینه‌سازی تسلیح شیب‌های سنگی ارائه شده است که به کارگیری این روش می‌تواند از لحاظ اقتصادی و سرعت اجرای کار موثر واقع گردد. به منظور ارزیابی نتایج، این روش در پروژه شیب سنگی سد سیاه بیشه پیاده‌سازی گردیده است و بر اساس نتایج نهایی نمودارهایی برای به کارگیری

نظیر بزرگراه‌ها، خطوط راه‌آهن و خطوط انتقال نیرو را که از نواحی کوهستانی عبور می‌کنند به مخاطره می‌اندازد. از این رو ناپایداری شیب‌های سنگی می‌تواند دارای اثرات منفی زیادی باشد. بنابراین بحث پایداری شیب‌های سنگی با توجه به مباحث مطرح شده می‌تواند دارای اهمیت زیادی باشد.

تاکنون پیشنهاد مناسبی برای بهینه‌سازی در تسلیح شیب‌های سنگی به طوری که بتوان از آن در سایر پروژه‌های تسلیح‌سنگی استفاده کرد ارائه نشده است. بنابراین با توجه به مطالب ذکر شده بررسی بهینه‌سازی در تسلیح شیب‌های سنگی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است؛ که در این مقاله مورد بررسی قرار گرفته است. در انتهای مقاله سعی بر آن است تا با ارائه و پیشنهاد نمودارهایی بتوان استفاده از این روش را در سایر پروژه‌های تسلیح شیب‌های سنگی تعمیم داد.

در این تحقیق سعی گردیده است تا موضوع فوق بررسی گردیده و راهکاری مناسب برای تسلیح بهینه‌ی شیب‌های سنگی ارائه گردد.

## ۵- اهداف تحقیق

در چند دهه اخیر بحث پایداری شیب‌های سنگی به واسطه مشکلات ناشی از لغزش و ناپایداری این شیب‌ها مورد توجه محققین قرار گرفته است. به طور کلی یکی از روش‌های جلوگیری از وقوع لغزش‌ها و ناپایداری‌ها در شیب‌های سنگی، پایداری‌سازی شیب‌های سنگی با استفاده از عناصر تسلیح‌کننده نظیر سیستم‌های پیچ سنگ (Rock Bolt) می‌باشد. توزیع پیچ‌سنگ‌ها بر روی شیب سنگی به طور معمول بر مبنای روش‌های سیستماتیک تسلیح نظیر RMR صورت می‌گیرد. در حالی که بطور معمول توزیع عناصر تسلیح‌کننده در سطوح شیب‌های سنگی بصورت یکنواخت در نظر گرفته می‌شود، ممکن است برخی از قسمت‌های شیب سنگی به صورت موضعی

روش‌های تسلیح سیستماتیک در شیب‌های سنگی معرفی کرد [۱۰]. Cancelli به بررسی و ارزیابی خطر شکست و لغزش در شیب‌های سنگی ناپایدار پرداخت که بر اساس نتایج این محقق مناطق و شیب‌هایی که از لحاظ زمین‌شناسی دارای شرایط پایداری مناسب نبوده، مستعد لغزش بودند و در این نوع ارزیابی خطر لغزش در این شیب‌ها زیاد بدست آمد [۱۱]. در ادامه Zhang به کاربرد سیستم مهندسی سنگ در ارزیابی خطر لغزش شیب‌های سنگی در بزرگراه‌ها در یک پروژه موردی در چین پرداخت. بر اساس نتایج، این محقق توانست روش‌ها و تکنیک‌های موثری برای بررسی اندرکنش و تاثیر متقابل عوامل تاثیرگذار بر پایداری شیب‌های سنگی ارائه کند [۱۲].

سرآغاز اصلی پژوهش‌ها در زمینه‌ی بهینه‌سازی تسلیح شیب‌های سنگی توسط Z.F. Yang ارائه شده است [۲]. این محقق مطالعات فوق را بر روی شیب سنگی در چین با ارتفاع ۱۶۵ متر در حین اجرای پروژه انجام داد. در پروژه‌ی مورد مطالعه‌ی این محقق طی عملیات خاکبرداری و مسلح‌کردن شیب سنگی تغییراتی در هندسه‌ی شیب، توده‌های سنگ و خواص آن به وجود آمد. این تغییرات باعث ناپایداری بعضی از مناطق شیب سنگی موردنظر شده بود. بنابراین مناطقی که ناپایدار شده بودند نیاز به تسلیح بیشتر داشتند. مناطق بحرانی با توجه به خواص ژئومکانیکی لایه‌ها و اندازه‌گیری تغییرمکان مناطق مختلف در محل شناسایی شده و مسلح‌سازی این مناطق با تراکم بیشتری صورت گرفت. در نهایت در پروژه‌ی فوق میزان تراکم اجزای تسلیح‌کننده در مناطق ناپایدار افزایش یافت.

## ۴- اهمیت موضوع

لغزش و ناپایداری شیب‌های سنگی همواره یکی از عوامل تهدید کننده ایست که ایمنی سازه‌ها و شریان‌های حیاتی

است بدست می‌آید و عناصر قطر اصلی این ماتریس همان مقدار DRD برای هر یک از مناطق تقسیم بندی شده است که به صورت  $I_{ij}$  بیان می‌شود. در نهایت با توجه به مقدار DRD هر منطقه بهینه‌سازی تسلیح هر منطقه از شیب سنگی صورت می‌گیرد.

## ۷- عوامل موثر بر ضرایب تاثیر

### ۷-۱- سختی سنگ‌های شیب سنگی ( $R_c$ )

سختی سنگ‌ها به عنوان یکی از عوامل مهم در پایداری شیب‌های سنگی کاربرد دارد. با توجه به رابطه‌ای که بین مقاومت فشاری تک محوری ( $R_c$ ) و مدول الاستیسیته‌ی سنگ ( $E$ ) وجود دارد می‌توان سختی سنگ‌ها را بدست آورد. بر اساس داده‌های تجربی ضریب سختی سنگ با توجه به مقاومت فشاری سنگ به پنج دسته‌ی: سنگ خیلی سخت، سنگ سخت، سنگ با سختی متوسط، سنگ ضعیف و سنگ خیلی ضعیف تقسیم می‌شود. مقادیر مختلف ضرایب سختی سنگ‌های شیب‌های سنگی در جدول ۱ در بخش ضمایم ارائه شده است. در این حالت اگر مقاومت توده سنگی خیلی ضعیف و کمتر از ۱۵ مگاپاسکال باشد این ضریب برابر ۱۸ در نظر گرفته می‌شود، و چنانچه توده سنگی از سختی زیادی برخوردار بوده و مقاومت آن بیش از ۹۰ مگاپاسکال باشد این ضریب برابر ۱ در نظر گرفته می‌شود.

### ۷-۲- وجود گسل‌ها در شیب سنگی ( $A_F$ )

شیب‌های سنگی به طور گسترده‌ای به وجود صفحات و ناپیوستگی‌ها موجود در توده‌ی سنگ مربوط می‌شود. به این دلیل وجود گسل‌ها به عنوان یکی از عوامل مهم در روش DRD مطرح می‌شود. برای بررسی تاثیر گسل‌ها رابطه‌ی بین گسل‌های مایل و سطح شیب و عرض گسل‌ها مورد بررسی قرار می‌گیرد. مقادیر مختلف ضرایب

به واسطه برخی خصوصیات هندسی و یا ژئومکانیکی لایه‌ها نیاز بیشتری به عناصر تسلیح کننده داشته باشند. متاسفانه روش‌های تسلیح سیستماتیک ذکر شده نمی‌توانند به طور کامل این نقیصه را رفع نمایند. اخیراً در جهت بهبود این نوع معایب در تسلیح شیب‌های سنگی روشی با عنوان سطح تسلیح مورد نیاز (DRD Degree of Reinforcement Demand) پیشنهاد شده است. هدف این مقاله ارائه یک روند منطقی جهت توزیع بهینه عناصر تسلیح کننده‌ی مورد نیاز در شیب‌های سنگی ناپایدار و به خصوص نواحی بحرانی است.

## ۶- متدولوژی تحقیق

در پژوهش حاضر ابتدا باید به بررسی شرایط و عوامل محیطی پرداخت. برای کاربرد روش DRD در شیب‌های سنگی مطالب زیر باید مد نظر قرار گرفته شود. توپوگرافی و شرایط زمین شناسی و خواص مکانیکی توده‌های سنگ در قسمت‌های مختلف شیب سنگی باید متفاوت باشد به طوری که بتوان سطح شیب سنگی را با توجه ویژگی‌های زمین‌شناسی و خواص مکانیکی توده‌های سنگی به قسمت‌های مختلف تقسیم بندی کرد که این تقسیم‌بندی به صورت  $j = 1, 2, \dots, m$  نشان داده می‌شود.

در این روش برای هر یک از مناطق شیب سنگی ضرایب تاثیر مشخص گردیده و از روی آن ماتریس ضرایب تاثیر  $[A]$  که مرتبه‌ی آن به صورت  $m \times n$  است برای شیب مورد نظر تعیین می‌گردد. سپس تغییر مکان قسمت‌های مختلف شیب سنگی با استفاده از روش عددی یا با استفاده از اندازه‌گیری‌های صحرایی محاسبه می‌شوند و نسبت تغییر مکان مناطق مختلف و در نتیجه ماتریس نسبت تغییر مکان  $[E]$  که مرتبه‌ی آن به صورت  $n \times m$  است بدست می‌آید. در نهایت طی یک عملیات ماتریسی و ضرب دو ماتریس ضرایب تاثیر و نسبت تغییر مکان می‌توان ماتریس DRD که مرتبه‌ی آن به صورت  $m \times m$

## ۷-۴- وجود هوازدهی در توده‌های سنگی موجود

در شیب سنگی ( $A_W$ )

هوازدهی باعث تغییر خواص توده‌ی سنگ و کاهش خواص مقاومتی توده‌ی سنگ می‌شود. بدین منظور پنج حالت برای هوازدهی توده‌های سنگی به صورت زیر در نظر گرفته شده است: هوازدهی کامل، موثر، متوسط، ضعیف و توده‌ی سنگی تازه. تسلیح شیب سنگی می‌تواند باعث بهبود اثرات ناشی از هوازدهی بر هندسه و خواص مکانیکی توده‌ی سنگ به صورت زیر شود: ابتدا خاکبرداری در توده‌های سنگ هوازده صورت می‌گیرد. سپس تزریق ملات باعث پرشدن ترک‌ها و افزایش خواص مقاومتی توده‌ی سنگ می‌شود، در نهایت نیز بتن مسلح باعث بهبود و تثبیت شرایط زمین‌شناسی محل مورد نظر می‌شود. مقادیر مختلف ضرایب هوازدهی توده سنگ در شیب‌های سنگی در جدول ۴ در بخش ضمایم ارائه شده است. بر این اساس اگر توده سنگی کاملاً هوازده باشد مقدار این ضریب ۲۲، اگر میزان هوازدهی توده سنگی کم باشد مقدار این ضریب ۸ و اگر توده سنگی بدون هوازدهی باشد مقدار این ضریب ۱ در نظر گرفته می‌شود. حال برای تعیین مقدار این ضریب در هر منطقه از شیب سنگی، ضرایب هریک از توده‌های سنگی موجود در منطقه تعیین گردیده و مقدار متوسط این مقادیر به عنوان ضریب هوازدهی منطقه مورد نظر تعیین می‌گردد.

۷-۵- تاثیر زاویه‌ی شیب سنگی ( $A_\alpha$ )

شیب‌هایی با زاویه ی بیشتر احتمال ناپایداری بیشتری دارند و مقدار DRD این نوع شیب‌ها بالاتر است. بدین منظور مقادیر  $A_\alpha$  بر اساس زاویه‌ی شیب سنگی تعیین و درجه بندی می‌شود. مقادیر مختلف ضرایب تاثیر زاویه شیب سنگی در جدول ۵ در بخش ضمایم ارائه شده است. بر این اساس اگر زاویه شیب سنگی کمتر از ۲۵ درجه باشد مقدار این ضریب ۱، اگر زاویه شیب سنگی بین ۲۵ تا ۴۰ درجه باشد مقدار این ضریب ۴، اگر زاویه شیب

وجود گسل در شیب‌های سنگی در جدول ۲ در بخش ضمایم ارائه شده است. این ضرایب برای دو حالت گسل‌های افقی و مایل بر اساس عرض گسل بررسی شده است. برای حالت گسل افقی اگر عرض گسل کمتر از ۰/۲ متر باشد این ضریب دارای مقدار ۸ و اگر عرض گسل بیش از ۰/۵ متر باشد برای این ضریب مقدار ۱۶ در نظر گرفته می‌شود. همچنین برای حالت گسل مایل اگر عرض گسل کمتر از ۰/۲ متر باشد این ضریب دارای مقدار ۲۰ و اگر عرض گسل بیش از ۰/۵ متر باشد برای این ضریب مقدار ۲۸ در نظر گرفته می‌شود. همچنین اگر شیب سنگی بدون گسل باشد مقدار این ضریب ۱ در نظر گرفته می‌شود.

۷-۳- ساختار توده‌ی سنگ در شیب ( $A_S$ )

ساختار توده‌های سنگ نقش مهمی در پایداری و لغزش شیب‌های سنگی دارند. شیب‌های سنگی بر اساس ساختار توده‌ی سنگ و بر اساس طبقه بندی پروفیسور Gu به پنج دسته به صورت زیر تقسیم می‌شوند: ساختار دست نخورده، ساختار لایه لایه، ساختار بهم پیوسته، ساختار شکسته شده و ساختار سنگ‌های شل [۵]. همچنین در بررسی ساختار توده‌ی سنگ از شاخصی به نام  $K_V$  که بر اساس سرعت موج طولی در توده‌ی سنگ بدست می‌آید استفاده می‌شود. مقادیر مختلف ضرایب ساختار توده سنگ در شیب‌های سنگی در جدول ۳ در بخش ضمایم ارائه شده است. بر این اساس اگر ساختار توده سنگ دست‌نخورده باشد مقدار این ضریب برابر ۲، اگر ساختار توده سنگ به صورت لایه لایه بدون لایه ضعیف باشد مقدار این ضریب برابر ۸، اگر ساختار توده سنگ به صورت لایه لایه شیب‌دار همراه با لایه ضعیف باشد مقدار این ضریب برابر ۱۸ و اگر ساختار توده سنگ به صورت سنگ‌های شل و ناپایدار باشد مقدار این ضریب برابر ۲۲ در نظر گرفته می‌شود.

سنگی مورد نیاز است. به این دلیل تاثیر ترک‌ها در روش DRD در نظر گرفته شده است. بدین منظور مقادیر  $A_C$  بر اساس بیشترین عرض ترک در شیب سنگی تعیین و درجه بندی می‌شود. مقادیر مختلف ضرایب تاثیر ترک‌ها در شیب سنگی در جدول ۷ در بخش ضمایم ارائه شده است. بر این اساس اگر شیب‌سنگی بدون ترک باشد مقدار این ضریب ۱، اگر عرض ترک کمتر از ۵ میلی‌متر باشد مقدار این ضریب ۳، اگر عرض ترک بین ۵ تا ۱۰ میلی‌متر باشد مقدار این ضریب ۶، اگر عرض ترک بین ۱۰ تا ۵۰ میلی‌متر باشد مقدار این ضریب ۱۰، اگر عرض ترک بین ۵۰ تا ۱۰۰ میلی‌متر باشد مقدار این ضریب ۱۶ و اگر عرض ترک بیشتر از ۱۰۰ میلی‌متر باشد مقدار این ضریب ۲۵ در نظر گرفته می‌شود.

با توجه به مطالب فوق می‌توان ماتریس ضرایب تاثیر را بر اساس مقادیر و جداول هر یک موارد بالا برای شیب سنگی مورد نظر را تشکیل داد [۲].

#### ۸- معادلات ماتریسی حاکم

در این پژوهش برای تسریع در عملیات و ترکیب ضرایب از ماتریس‌ها استفاده شده است. بدین‌منظور پس از تعیین مقادیر ضرایب تاثیر برای هر یک از مناطق شیب سنگی، نحوه ارائه این ضرایب در قالب ماتریس خواهد بود. همچنین بعد از تعیین تغییرمکان هر منطقه نتایج آن در قالب ماتریس نسبت تغییرمکان ارائه می‌شود. بر این مقادیر نهایی DRD نیز عناصر قطر اصلی ماتریس DRD هستند که طی عملیات ماتریسی بدست می‌آیند.

#### ۸-۱- ساختار ماتریس ضرایب تاثیر [A] و نحوه

##### تشکیل اجزای آن

ماتریس ضرایب تاثیر [A] از ضرایب تاثیر ذکر شده در بالا و مقادیر اختصاص یافته به آن‌ها تشکیل شده است.

سنگی بین ۴۰ تا ۶۰ درجه باشد مقدار این ضریب ۶، اگر زاویه شیب سنگی بین ۶۰ تا ۷۰ درجه باشد مقدار این ضریب ۱۰ و اگر زاویه شیب سنگی بین ۷۰ تا ۹۰ درجه باشد مقدار این ضریب ۱۶ در نظر گرفته می‌شود.

#### ۷-۶- تاثیر نسبت ارتفاع شیب ( $A_e$ )

در بین بارهای وارده بر شیب سنگی، وزن خود شیب تاثیر زیادی بر پایداری مناطق مختلف شیب سنگی دارد. در یک زاویه‌ی معین، ارتفاع و در نتیجه وزن خود شیب با توجه به تنش قائمی که ایجاد می‌کند بر مقدار DRD تاثیرگذار است. به این دلیل تعریف جدیدی به نام نسبت ارتفاع شیب ( $e$ ) در روش DRD به صورت زیر مطرح می‌شود: درصد مسافت قائم از مرکز ثقل شیب تا پنجه‌ی شیب به کل ارتفاع شیب. بنابراین شیب‌هایی با ارتفاع بیشتر پتانسیل ناپایداری بیشتری دارند و مقادیر DRD آن‌ها بیشتر است. بدین منظور مقادیر  $A_e$  بر اساس نسبت ارتفاع شیب سنگی تعیین و درجه بندی می‌شود. مقادیر مختلف ضرایب تاثیر نسبت ارتفاع شیب در جدول ۶ در بخش ضمایم ارائه شده است. بر این اساس اگر نسبت ارتفاع شیب سنگی کمتر از ۱۵ درصد باشد مقدار این ضریب ۱، اگر نسبت ارتفاع شیب سنگی بین ۱۵ تا ۴۵ درصد باشد مقدار این ضریب ۳، اگر نسبت ارتفاع شیب سنگی بین ۴۵ تا ۷۵ درصد باشد مقدار این ضریب ۶ و اگر نسبت ارتفاع شیب سنگی بیشتر از ۷۵ درصد باشد مقدار این ضریب ۱۲ در نظر گرفته می‌شود.

#### ۷-۷- تاثیر ترک‌ها بر پایداری شیب سنگی ( $A_C$ )

وجود ترک‌ها در توده‌های سنگی شیب‌ها می‌تواند بر اساس تغییرات و برهم کنش‌ها بین شرایط زمین‌شناسی و فعالیت‌های مهندسی پدید آید. وجود ترک‌ها در بعضی مواقع می‌تواند باعث ناپایداری شیب‌های سنگی شود. ممکن است این ترک‌ها باعث خطر و لغزش نشوند ولی هنگامی که ترک‌ها بحرانی و جدی باشند تسلیح شیب

است  $n$  تعداد سطرهای ماتریس بیان‌کننده‌ی تعداد ضرایب تاثیر در نظر گرفته شده برای شیب سنگی است و  $m$  تعداد ستون‌های ماتریس و بیان‌کننده‌ی تعداد مناطق تقسیم بندی شیب سنگی است [۲]. ساختار این ماتریس به صورت زیر است:

$$[E]_{n,m} = \begin{bmatrix} e_1 & e_2 & \dots & e_m \\ e_1 & e_2 & \dots & e_m \\ e_1 & e_2 & \dots & e_m \\ e_1 & e_2 & \dots & e_m \\ e_1 & e_2 & \dots & e_m \\ e_1 & e_2 & \dots & e_m \\ e_1 & e_2 & \dots & e_m \\ e_1 & e_2 & \dots & e_m \end{bmatrix} \quad (۳)$$

### ۳-۸- محاسبه‌ی ماتریس و مقادیر DRD

با به کارگیری روش سیستم مهندسی سنگ (RES) و محاسبات ماتریسی Hudson توانست روش مناسبی برای تطبیق و برهم کنش بین ضرایب تاثیر بدست آورد [۶]. بر این پایه برای محاسبه‌ی مقادیر DRD طی یک عملیات ماتریسی و با توجه به روابط ۴ و ۵ داریم:

$$[R]_{m \times m} = [A]_{m \times n} [E]_{n \times m} \quad (۴)$$

$$[R]_{m \times m} = \begin{bmatrix} r_{11} & r_{12} & \dots & r_{1m-1} & r_{1m} \\ r_{21} & r_{22} & & \vdots & \vdots \\ \vdots & \vdots & \ddots & & \\ r_{m-11} & \dots & r_{m-1m-1} & & \\ r_{m1} & \dots & & & r_{mm} \end{bmatrix} \quad (۵)$$

که در روابط فوق  $[R]$  ماتریس DRD مورد نظر برای شیب سنگی است. ماتریس DRD به صورت قطری است و مرتبه‌ی آن  $m \times m$  است که  $m$  تعداد سطر و ستون‌هاست و بیان‌کننده‌ی تعداد قسمت‌های تقسیم‌بندی شده‌ی شیب سنگی است و عناصر قطر اصلی این ماتریس نظیر  $r_{11}, r_{22}, \dots, r_{mm}$  همان مقادیر موردنظر DRD برای هر یک از قسمت‌های تقسیم بندی شده است که هر چه مقدار DRD برای هر منطقه بالاتر باشد آن منطقه ناپایدارتر است و نیاز بیشتری به تراکم اجزای تسلیح کننده دارد.

ساختار این ماتریس به صورت رابطه‌ی ۱ بیان می‌شود که در این ماتریس که مرتبه‌ی آن  $m \times n$  است  $m$  تعداد سطرهای ماتریس و بیان‌کننده‌ی تعداد مناطق تقسیم‌بندی شیب سنگی است و  $n$  تعداد ستون‌های ماتریس و بیان‌کننده‌ی تعداد ضرایب تاثیر در نظر گرفته شده برای شیب سنگی است که در این مقاله هشت ضریب تاثیر در نظر گرفته شده است و این تعداد با توجه به شرایط زمین شناسی شیب سنگی قابل تغییر است [۲]. ساختار این ماتریس به صورت زیر است:

$$[A]_{m,n} = \begin{bmatrix} A_{Re1} & A_{F1} & A_{S1} & A_{W1} & A_{GW1} & A_{z1} & A_{e1} & A_{c1} \\ A_{Re2} & A_{F2} & A_{S2} & A_{W2} & A_{GW2} & A_{z2} & A_{e2} & A_{c2} \\ A_{Re3} & A_{F3} & A_{S3} & A_{W3} & A_{GW3} & A_{z3} & A_{e3} & A_{c3} \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ A_{Rem} & A_{Fm} & A_{Sm} & A_{Wm} & A_{GWm} & A_{zm} & A_{em} & A_{cm} \end{bmatrix} \quad (۱)$$

### ۲-۸- نسبت تغییر مکان و ساختار ماتریس نسبت

#### تغییر مکان $[E]$

پس از معرفی و بدست آوردن ماتریس ضرایب تاثیر حال باید ماتریس نسبت تغییر مکان را برای شیب سنگی مورد نظر بدست آوریم. پس از این که شیب سنگی به  $z$  قسمت مختلف تقسیم بندی شد باید بیشترین تغییر مکان هر قسمت توسط اندازه‌گیری‌های صحرایی یا به وسیله‌ی مدل‌سازی و روش عددی محاسبه شود. سپس با استفاده از رابطه‌ی ۲ می‌توان نسبت تغییر مکان را برای هر قسمت از شیب سنگی بدست آورد [۲]:

$$\frac{\delta_j}{\sum_{j=1}^m \delta_j} = (j=1,2,\dots,m) \quad (۲)$$

که در رابطه‌ی فوق  $e_j$  برای هر یک از قسمت‌های تقسیم‌بندی شده‌ی شیب سنگی و  $\delta_j$  بیشترین تغییر مکان اندازه‌گیری شده برای هر قسمت می‌باشد. این نسبت پارامتری بدون بعد است و جمع مقادیر  $e_j$  برای یک شیب سنگی برابر ۱ است. حال باید ماتریس نسبت تغییر مکان را تشکیل دهیم. ساختار این ماتریس به صورت رابطه‌ی ۳ بیان می‌شود که در این ماتریس که مرتبه‌ی آن  $n \times m$

با استفاده از فلوچارت تهیه شده می‌توان به طور راحت تر روش DRD را برای شیب‌های سنگی ناپایدار به کار برد. این فلوچارت در شکل ۱ ارائه شده است [۷]:



شکل ۱- نمودار جریان استفاده از روش DRD برای شیب های سنگی ناپایدار

#### ۴-۸- ارائه‌ی نمودار جریان برای استفاده از روش DRD

برای کاربرد و استفاده‌ی بهتر روش از DRD در شیب‌های سنگی ناپایدار نمودار جریان از این روش تهیه شده است.

پایداری آن پرداخته می‌شود. اگر شیب سنگی کاملاً پایدار بود نیازی به تسلیح و استفاده از روش DRD نیست ولی اگر پایداری شیب سنگی به طور صد در صد حاصل نشد و شیب مورد نظر کاملاً ناپایدار و یا تا حدودی پایدار بود می‌توان از روش DRD استفاده کرد تا بتوان به تسلیح

با توجه به نمودار جریان ارائه شده مراحل گام به گام کاربرد این روش برای شیب‌های سنگی ناپایدار به صورت زیر است:

در ابتدا شیب سنگی مورد نظر را با استفاده از نرم‌افزارهای اجزای محدود plaxis تحلیل کرده و سپس به بررسی



سنگی پرداخته می‌شود و در نهایت تحلیل پایداری را بر روی شیب سنگی انجام شده و مراحل فوق را تا زمانی که تسلیح شیب سنگی به صورت بهینه صورت پذیرد انجام می‌گیرد.

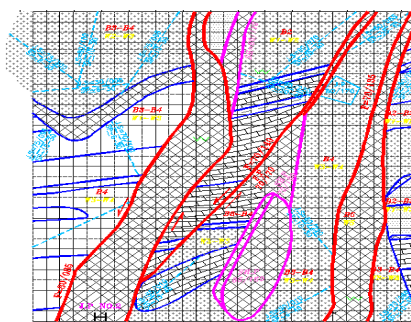
## ۹- مطالعه موردی کاربرد روش DRD در

### ترانشه‌های شیب سنگی سد سیاه

#### پیشه

گام بعدی در این پژوهش، مطالعه موردی روش شرح داده شده با پیاده‌سازی و به‌کارگیری آن در یک نمونه‌ی واقعی و بررسی نتایج حاصل از آن است. از این رو ترانشه‌های شیب سنگی در سد سیاه پیشه مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور دیوارهای ۱ و ۳ از این ترانشه‌ها انتخاب و مورد بررسی قرار گرفته است.

در ابتدا باید شیب سنگی مورد نظر به مناطق مختلف تقسیم‌بندی شود. از این رو دیوارهای اول و سوم از چهار ترانشه‌های فوق را انتخاب کرده و بر اساس شرایط هندسی سطح شیب دیوار اول را به ۵ منطقه و دیوار سوم را به ۷ منطقه تقسیم‌بندی کرده که با توجه به ترتیب دیوارهای اول و سوم این شیب سنگی در این بررسی در مجموع به ۱۲ قسمت مختلف تقسیم شده است. این تقسیم‌بندی بر روی سطح شیب و نقشه‌های زمین‌شناسی موجود صورت گرفته است که برای نمونه خصوصیات زمین‌شناسی منطقه ۵ از دیوار سوم در شکل ۲ [۸].



شکل ۲- خصوصیات زمین‌شناسی منطقه ۵ از دیوار ۳

بهینه بر روی سطح شیب دست پیدا کرد. برای شروع و استفاده از روش DRD در شیب‌های سنگی ناپایدار، شیب مورد مطالعه بر اساس شرایط زمین‌شناسی، خصوصیات هندسی و ژئومکانیکی لایه‌ها به چند قسمت مختلف تقسیم بندی می‌شود. پس از تقسیم بندی شیب مورد نظر به چند قسمت مختلف باید مقادیر ضرایب تاثیر با توجه به مطالب بخش ۶ برای هر منطقه از شیب سنگی محاسبه شود. پس از تعیین مقادیر ضرایب تاثیر باید ماتریس ضرایب تاثیر را برای شیب سنگی مورد نظر با توجه رابطه ۱ تشکیل داد. مرتبه‌ی این ماتریس  $m \times n$  است که  $m$  نشان دهنده‌ی تعداد مناطق تقسیم بندی شده‌ی شیب سنگی است و  $n$  نشان‌دهنده‌ی تعدد ضرایب تاثیر به کار رفته برای تشکیل ماتریس ضرایب تاثیر است. سپس باید تغییرمکان هر یک از قسمت‌های شیب سنگی را با روش اجزای محدود بدست آورد. پس از بدست آوردن تغییرمکان هر قسمت از شیب سنگی با توجه به رابطه ۲ باید نسبت تغییر مکان برای هر منطقه محاسبه شود، سپس با توجه به رابطه ۳ ماتریس نسبت تغییرمکان را برای شیب سنگی موردنظر محاسبه کرد که مرتبه‌ی ماتریس نسبت تغییرمکان  $n \times m$  است، که  $m$  نشان‌دهنده‌ی تعداد مناطق تقسیم بندی شده‌ی شیب سنگی است و  $n$  نشان دهنده‌ی تعدد ضرایب تاثیر به کار رفته برای تشکیل ماتریس ضرایب تاثیر است. در نهایت پس از بدست آوردن ماتریس‌های ضرایب تاثیر و نسبت تغییر مکان، طی یک الگوریتم ریاضی و ماتریسی به محاسبه‌ی ماتریس DRD پرداخته می‌شود. برای سهولت و تسریع در روند محاسبه‌ی الگوریتم برنامه‌ای در نرم‌افزار MATLAB نوشته شده است. پس از انجام عملیات ماتریسی مقادیر DRD برای هر منطقه از شیب سنگی بدست می‌آید. در نهایت با توجه به مقادیر DRD برای هر منطقه تصمیم به تراکم اجزای تسلیح کننده برای قسمت‌های ناپایدار گرفته خواهد شد. پس از تصمیم به تراکم اجزای تسلیح کننده و اتمام گام‌ها و مراحل فوق مجدداً با توجه به نتایج DRD به اصلاح مشخصات شیب

### ۹-۱- بدست آوردن ضرایب تاثیر هر یک از مناطق تقسیم‌بندی شده

اطلاعات زمین‌شناسی موجود و جداول مرجع مقادیر ضرایب تاثیر برای هر منطقه در طی جداولی بدست آمده که برای نمونه دو نمونه از این جداول که مربوط به ضریب وجود گسل و سنگ‌های هوازده هستند ارائه شده است.

پس از تقسیم‌بندی شیب سنگی موردنظر به ۱۲ منطقه، حال باید مقادیر ضرایب تاثیر ذکر شده در بخش ششم برای هر منطقه تعیین شود. بدین‌منظور با توجه به

جدول ۱- مقادیر ضریب گسل برای مناطق دیوار اول و سوم

منطقه	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲
میانگین عرض گسل (cm)	-	۶۰	۳۲	۴۵	۳۰	۴۵	۳۵	۶۰	۵۰	۲۵۰	-	-
ضریب $A_F$	۱	۲۸	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۲	۲۸	۲۲	۲۸	۱	۱

جدول ۲- مقادیر ضریب هوازدهی مناطق دیوار سوم [۷]

منطقه ۱	منطقه ۲	منطقه ۳	منطقه ۴	منطقه ۵	منطقه ۶	منطقه ۷
تعداد قطعات سنگ هوازده	۱۵	۱۰	۱۶	۱۱	۲۰	۱۳
جمع مقادیر ضرایب هوازده	۱۲۳	۱۲۵	۶۳	۹۲	۹۵	۱۱۶
ضریب $A_W$	۸	۸	۶	۵	۶	۹

اول و سوم ترانشه‌های شیب سنگی سد سیاه بیشه در قالب جدول ۳ بیان می‌شود.

در نهایت پس از بدست آوردن ضرایب ذکر شده برای مناطق ۱۲ گانه جدول نهایی ضرایب تاثیر برای دیوارهای

جدول ۳- مقادیر ضرایب تاثیر برای مناطق دیوار اول و سوم [۷]

منطقه مورد نظر	$A_{RC}$ سختی سنگ	$A_F$ گسل	$A_S$ ساختار توده	$A_W$ هوازدهی	$A_a$ زاویه شیب	$A_e$ نسبت ارتفاع	$A_C$ ترکها
دیوار ۱ منطقه ۱	۴	۱	۸	۱۳	۱۸	۳	۳
دیوار ۱ منطقه ۲	۸	۲۸	۱۸	۶	۱۸	۳	۶
دیوار ۱ منطقه ۳	۸	۲۲	۱۸	۷	۱۸	۳	۶
دیوار ۱ منطقه ۴	۴	۲۲	۸	۸	۱۸	۳	۳
دیوار ۱ منطقه ۵	۴	۲۲	۸	۸	۱۸	۳	۶
دیوار ۳ منطقه ۱	۸	۲۲	۱۸	۸	۱۸	۶	۳
دیوار ۳ منطقه ۲	۸	۲۲	۸	۸	۱۸	۶	۳
دیوار ۳ منطقه ۳	۴	۲۸	۱۸	۶	۱۸	۶	۳
دیوار ۳ منطقه ۴	۴	۲۲	۸	۵	۱۸	۶	۳
دیوار ۳ منطقه ۵	۱۲	۲۸	۱۸	۱۰	۱۸	۶	۶
دیوار ۳ منطقه ۶	۴	۱	۸	۶	۱۸	۶	۳
دیوار ۳ منطقه ۷	۴	۱	۸	۹	۱۸	۶	۳

۲-۹- تشکیل ماتریس ضرایب تاثیر برای دیوارهای اول و سوم

با توجه به مراحل ذکر شده در بخش‌های قبل، ماتریس ضرایب تاثیر برای ۱۲ منطقه‌ی فوق تعیین گردید که مرتبه‌ی آن ۱۲×۷ است که ۱۲ سطر آن نشانه‌ی ۱۲ منطقه‌ی تقسیم‌بندی‌شده است و ۷ ستون آن نشان‌دهنده‌ی ۷ ضریب تاثیر به کار رفته در این بررسی است. ساختار کلی این ماتریس همانند رابطه‌ی ۱ می‌باشد. ماتریس ضرایب تاثیر برای دیوارهای اول و سوم در قالب رابطه‌ی زیر بیان می‌شود [۷].

$$[A]_{12 \times 7} = \begin{bmatrix} 4 & 1 & 8 & 13 & 18 & 3 & 3 \\ 8 & 28 & 18 & 6 & 18 & 3 & 6 \\ 8 & 22 & 18 & 7 & 18 & 3 & 6 \\ 4 & 22 & 8 & 8 & 18 & 3 & 3 \\ 4 & 22 & 8 & 8 & 18 & 3 & 6 \\ 8 & 55 & 18 & 8 & 18 & 6 & 3 \\ 8 & 22 & 8 & 8 & 18 & 6 & 3 \\ 4 & 28 & 18 & 6 & 18 & 6 & 3 \\ 4 & 22 & 8 & 5 & 18 & 6 & 3 \\ 12 & 28 & 18 & 10 & 18 & 6 & 6 \\ 4 & 1 & 8 & 6 & 18 & 6 & 3 \\ 4 & 1 & 8 & 9 & 18 & 6 & 3 \end{bmatrix}$$

در ماتریس ضرایب تاثیر فوق ۵ سطر ابتدایی مربوط به دیوار ۱ است و ۷ سطر انتهایی این ماتریس مربوط به دیوار ۳ است.

۳-۹- مقاطع ایجاد شده برای تعیین تغییرمکان هر یک از مناطق تقسیم‌بندی شده

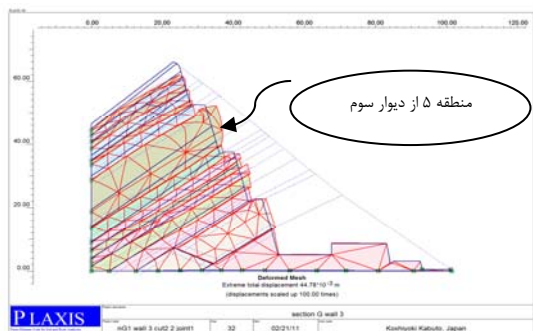
پس از بدست آوردن ماتریس ضرایب تاثیر و با توجه به روند نمودار جریان ارائه شده در بخش هفتم باید تغییرمکان هریک از مناطق تقسیم‌بندی شده محاسبه شود. با توجه به انتخاب ۱۲ منطقه باید ۱۲ تغییرمکان برای هر یک از مناطق این دیوارها بدست آورد. از این رو در هریک از مناطق تقسیم بندی شده مقاطعی را در نظر گرفته و مقطع موردنظر را با نرم‌افزار اجزای محدود تحلیل کرده تا تغییرمکان موردنظر بدست آید.

۴-۹- محاسبه‌ی تغییرمکان مناطق تقسیم‌بندی شده

با توجه به مقاطع ایجادشده بر روی پلان دیوارها می‌توان تغییر مکان دو و یا یک دیوار را محاسبه کرد که در این بخش برای نمونه محاسبه‌ی تغییرمکان منطقه‌ی ۵ از دیوار سوم ارائه شده است.

۱-۴-۹- محاسبه‌ی تغییرمکان منطقه ۵ از دیوار سوم

با استفاده از هندسه‌ی مقطع G و خواص و پارامترهای زمین‌شناسی و ژئومکانیکی لایه‌ها مدل زیر در شکل ۳ ارائه شده است. با استفاده از این مدل می‌توان تغییر مکان منطقه‌ی ۵ از دیوار سوم را بدست آورد که نتایج آن پس از تحلیل ارائه شده است.



شکل ۳- مدل عددی ایجاد شده در مقطع G

پس از تحلیل مدل فوق نتایج تغییرمکان نقاط واقع بر دیوار سوم در جدول ۴ ارائه شده است [۷].

جدول ۴- تغییرمکان نقاط منطقه ۵ از دیوار سوم

U(mm)	y	x	نقاط انتخاب شده دیوار ۳
۳۲	۵۲/۵	۳۲	A
۳۳	۵۰/۷۷	۳۲/۴۵	B
۳۴	۴۹/۰۴	۳۲/۸۹	C
۳۴	۴۷/۳۱	۳۳/۳۴	D
۳۲	۴۵/۵۴	۳۳/۷۹	E
۳۱	۴۴/۴۳	۳۴/۰۸	F
۳۱	۴۳/۲۸	۳۴/۳۸	G
۲۷	۴۲/۱۴	۳۴/۶۷	H
۲۶	۴۰/۹۹	۳۴/۹۷	I
۳۰/۱۰			تغییر مکان میانگین دیوار

برنامه داده شده و در نهایت مقادیر نسبت تغییرمکان هر یک از مناطق و مقادیر نهایی DRD به صورت ماتریس تغییرمکان E ارائه شده است [۷].

$$= \begin{bmatrix} 0.24 & 0.07 & 0.69 & 0.075 & 0.1 & 0.147 & 0.05 & 0.26 & 0.072 & 0.194 & 0.248 & 0.11 \\ 0.24 & 0.07 & 0.69 & 0.075 & 0.1 & 0.147 & 0.05 & 0.26 & 0.072 & 0.194 & 0.248 & 0.11 \\ 0.24 & 0.07 & 0.69 & 0.075 & 0.1 & 0.147 & 0.05 & 0.26 & 0.072 & 0.194 & 0.248 & 0.11 \\ 0.24 & 0.07 & 0.69 & 0.075 & 0.1 & 0.147 & 0.05 & 0.26 & 0.072 & 0.194 & 0.248 & 0.11 \\ 0.24 & 0.07 & 0.69 & 0.075 & 0.1 & 0.147 & 0.05 & 0.26 & 0.072 & 0.194 & 0.248 & 0.11 \\ 0.24 & 0.07 & 0.69 & 0.075 & 0.1 & 0.147 & 0.05 & 0.26 & 0.072 & 0.194 & 0.248 & 0.11 \\ 0.24 & 0.07 & 0.69 & 0.075 & 0.1 & 0.147 & 0.05 & 0.26 & 0.072 & 0.194 & 0.248 & 0.11 \end{bmatrix}$$

نتایج نهایی DRD برای این دیوارها در قالب جدول ۶ در زیر ارائه شده است [۷].

جدول ۶- نتایج نهایی DRD برای دیوارهای اول و سوم

مقدار نهایی DRD	منطقه مورد نظر
۱/۲۳	دیوار ۱ منطقه ۱
۶/۱۱	دیوار ۱ منطقه ۲
۶/۷۵	دیوار ۱ منطقه ۳
۴/۹۸	دیوار ۱ منطقه ۴
۰/۷۳	دیوار ۱ منطقه ۵
۱۲/۲۱	دیوار ۳ منطقه ۱
۳/۶۸	دیوار ۳ منطقه ۲
۲/۱۷	دیوار ۳ منطقه ۳
۴/۷۷	دیوار ۳ منطقه ۴
۱۹/۰۳	دیوار ۳ منطقه ۵
۱۱/۴۵	دیوار ۳ منطقه ۶
۰/۵۵	دیوار ۳ منطقه ۷

همان طور که مشخص است یکی از بیشترین مقادیر DRD در بین مناطق این دیوارها مربوط به منطقه ی ۵ از دیوار ۳ است. این مقدار با توجه به وجود گسل‌های عریض و شرایط نامناسب زمین‌شناسی در این ناحیه منطقی به نظر می‌رسد و بنابراین این منطقه بیشترین نیاز به تراکم تسلیح را دارد.

#### ۷-۹- توزیع عناصر تسلیح کننده بر روی شیب

حال با توجه به نتایج بدست آمده توزیع عناصر تسلیح کننده بر روی شیب سنگی صورت گرفته و نتایج

با توجه به نتایج بدست آمده در جدول ۴ یکی از بیشترین مقادیر تغییرمکان مربوط به دیوار سوم از مقطع فوق است. یکی از مهمترین دلایل این تغییرمکان بالا وجود گسل‌هایی با عرض زیاد در لایه‌های زمین‌شناسی دیوار فوق است که پایداری این دیوار را به شدت کاهش داده است. همچنین یکی دیگر از دلایل تغییرمکان بالای دیوار سوم را می‌توان به ارتفاع زیاد این دیوار نسبت داد. به هر حال وجود گسل در لایه‌های زمین‌شناسی این دیوار باعث کاهش مقاومت توده‌ی سنگ‌ها و خواص ژئومکانیکی لایه‌ها شده به طوری که درصد نیاز به تراکم تسلیح در این دیوار افزایش می‌یابد.

#### ۹-۵- نتایج نهایی تغییرمکان مناطق مختلف دیوارهای اول و سوم

پس از محاسبه‌ی کامل تغییرمکان نقاط و مناطق مختلف دیوارهای اول و سوم در بخش‌های بالا، نتایج نهایی تغییرمکان دیوارها در جدول ۵ ارائه شده است [۷].

جدول ۵- نتایج نهایی تغییرمکان دیوارهای اول و سوم

منطقه مورد نظر	تغییرمکان نهایی U (mm)
دیوار ۱ منطقه ۱	۳/۸۱
دیوار ۱ منطقه ۲	۱۰/۸۸
دیوار ۱ منطقه ۳	۱۰/۷۲
دیوار ۱ منطقه ۴	۱۱/۶۹
دیوار ۱ منطقه ۵	۱/۶۳
دیوار ۳ منطقه ۱	۲۲/۸۰
دیوار ۳ منطقه ۲	۷/۸۱
دیوار ۳ منطقه ۳	۴/۰۵
دیوار ۳ منطقه ۴	۱۱/۲۰
دیوار ۳ منطقه ۵	۳۰/۱۰
دیوار ۳ منطقه ۶	۳۸/۵۷
دیوار ۳ منطقه ۷	۱/۷۳

#### ۹-۶- محاسبه‌ی ماتریس نسبت تغییرمکان برای دیوارهای اول و سوم

حال بر طبق الگوریتم شکل ۱ درایه‌های ماتریس ضرایب تاثیر و مقادیر تغییر مکان جدول ۵ به عنوان ورودی

جدول ۷- توزیع عناصر تسلیح کننده و مقایسه فواصل شبکه‌های اجرا شده در محل با روش DRD

فواصل شبکه‌های ایجاد شده با روش DRD		فواصل شبکه‌های اجرا شده در محل		مقادیر هر DRD منطقه	موقعیت دیوارها
$S_v(m)$	$S_h(m)$	$S_v(m)$	$S_h(m)$		
۲/۵	۲/۵	۲	۲	۱/۲۳	دیوار ۱ منطقه ۱
۱/۲	۱/۲	۲	۲	۶/۱۱	دیوار ۱ منطقه ۲
۱/۲۵	۱/۲۵	۲	۲	۶/۷۵	دیوار ۱ منطقه ۳
۱/۳۵	۱/۳۵	۲	۲	۴/۹۸	دیوار ۱ منطقه ۴
۳	۳	۲	۲	۰/۷۳	دیوار ۱ منطقه ۵
۰/۷۵	۰/۷۵	۲	۲	۱۲/۲۱	دیوار ۳ منطقه ۱
۱/۴	۱/۴	۲	۲	۳/۶۸	دیوار ۳ منطقه ۲
۱/۷	۱/۷	۲	۲	۲/۱۷	دیوار ۳ منطقه ۳
۱/۳۵	۱/۳۵	۲	۲	۴/۷۷	دیوار ۳ منطقه ۴
۰/۵	۰/۵	۲	۲	۱۹/۰۳	دیوار ۳ منطقه ۵
۰/۷	۰/۷	۲	۲	۱۱/۴۵	دیوار ۳ منطقه ۶
۳	۳	۲	۲	۰/۵۵	دیوار ۳ منطقه ۷

۸-۹- ارائه نمودار نسبی ضرایب در روش DRD

هدف از این بخش تولید نمودار نسبی ضرایب برای روش DRD است به طوری که برای هر پروژه و شیب سنگی بتوان از آن استفاده کرد. روش کار بدین صورت است که با توجه به مقدار آرماتور مورد نیاز پروژه مربوطه برای تسلیح سیستماتیک (مقدار مبنا) بتوان مقدار تسلیح را برای هر منطقه از شیب سنگی بر اساس ضریبی از مقدار مبنای تسلیح بدست آورد.

بدین منظور نمودار نسبی شیب سنگی موردنظر بر اساس نتایج DRD و ضرایب پیشنهادی، در شکل ۵ ارائه شده است [۷].

حاصل از توزیع با روش DRD با توزیع عناصر اجرا شده در محل مقایسه گردیده است. در توزیع سیستماتیک اجرا شده بر روی شیب سنگی سد سیاه بیشه از روش RMR بهره گرفته شده است. با توجه به نتایج محلی محدوده‌ی RMR در مناطق مختلف شیب‌موردنظر بین ۳۰ و ۵۰ بدست آمده است. با توجه به جداول RMR موجود و برای دستیابی به ضریب اطمینان بالاتر مقدار تسلیح سیستماتیک با استفاده از پیچ‌سنگ به صورت بلت‌هایی به طول ۶ متر و به صورت شبکه‌های ۲×۲ در نظر گرفته شده است. همان طور که ذکر شد در تسلیح سیستماتیک اجرا شده در شیب سنگی مورد نظر عناصر تسلیح‌کننده به صورت شبکه ۲×۲ اجرا شده است. با توجه به این که در برخی از مناطق شیب سنگی موردنظر وجود گسل، ناپیوستگی‌های زمین‌شناسی و درزه‌ها مشهود می‌باشد اما در فواصل پیچ‌سنگ‌ها در این مناطق هیچ تغییری نسبت به مناطق عادی از لحاظ پایداری مشاهده نشده است و فواصل یکسان است. اما با به کارگیری روش DRD نقاط و مناطقی که از لحاظ پایداری و زمین‌شناسی دچار ضعف هستند به صورت موضعی تقویت می‌شوند. بنابراین با استفاده از پارامترهای روش DRD و امتیازدهی بر اساس این روش می‌توان توزیع بهینه‌ی پیچ‌سنگ‌ها را بر روی شیب سنگی انجام داد. با بررسی جدول ۶ مقادیر DRD بدست آمده در مناطق مختلف کاملاً غیریکنواخت می‌باشند. از این رو استفاده از شبکه‌ی پیچ‌سنگ به صورت ۲×۲ در تمامی مناطق از نظر علمی توجیه‌پذیر نیست. برای رفع این نقص می‌توان این شبکه‌ی ۲×۲ که بر اساس روش RMR بدست آمده است را مبنا در نظر گرفت. به طوری که در مناطقی که مقادیر DRD بالاست این شبکه متراکم‌تر می‌گردد و در مناطقی که DRD آن کمتر از ۲ است پیشنهاد می‌گردد فواصل این شبکه‌ها بیشتر انتخاب گردد. از این رو توزیع عناصر تسلیح‌کننده در مناطق مختلف صورت گرفته که این توزیع با تسلیح سیستماتیک این شیب سنگی در جدول ۷ مقایسه شده است [۷].

نمودار ۶ می‌توان ضریبی نسبی برای هر منطقه بدست آورد. این ضریب در مقدار آرماتور مورد نیاز پروژه مربوطه برای تسلیح سیستماتیک (مقدار مبنا) ضرب شده تا میزان تراکم و تسلیح منطقه‌ی مورد نظر بدست آید.

جدول ۸- مقادیر نهایی DRD بر اساس شرایط پایداری و نیاز به تسلیح شیب سنگی در سد سیاه بیشه [۷]

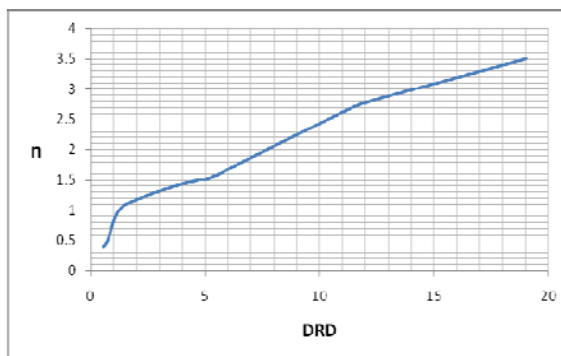
نیاز به تسلیح	شرایط پایداری	بازه‌ی مقادیر DRD
نیازی به تسلیح ندارد	کاملاً پایدار	۰-۲
نیاز کمی به تسلیح دارد	شرایط پایداری عادی است	۲-۵
نیاز زیادی به تسلیح ندارد	شرایط پایداری بحرانی نیست	۵-۸
تا حدود بیشتری نیاز به تسلیح دارد	شرایط پایداری بحرانی نیست	۸-۱۰
نیاز به تسلیح دارد	شرایط پایداری تا نیمه بحرانی است	۱۰-۱۵
نیاز بسیار زیاد به تسلیح دارد	شرایط پایداری تا نیمه بحرانی است	۱۵-۲۰
نیاز بسیار زیادی به تسلیح دارد	شرایط پایداری بحرانی است	۲۰-۳۰
نیاز شدید به تراکم تسلیح دارد	شرایط پایداری کاملاً بحرانی است	۳۰-۵۰

### ۱۰- نتیجه گیری

در نهایت با توجه به مطالب ذکر شده می‌توان نتایج این تحقیق و همچنین مزایای استفاده از این روش را در قالب موارد زیر بیان کرد:

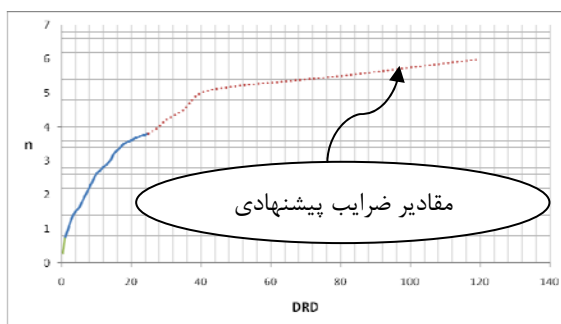
۱- با توجه به نتایج بدست آمده مقدار DRD برای ترانشه‌های شیب سنگی سد سیاه بیشه بین ۱۹/۰۳ و ۰/۵۵ بدست آمد.

۲- در توزیع بهینه عناصر تسلیح‌کننده در منطقه ای که بیشترین مقدار DRD را داشت فواصل شبکه از ۲×۲ (مقدار مبنا بر اساس روش RMR) به توزیع به صورت شبکه ۰/۵×۰/۵ کاهش یافت.



شکل ۴- نمودار تولید شده برای ترانشه‌های شیب سنگی سد سیاه بیشه

برای کاربرد و بررسی بهتر روش DRD، این روش علاوه بر پروژه موردی اشاره شده در ترانشه‌های مشرف به پائین دست سد سیاه بیشه نیز به طریق مشابه انجام گرفته است که نتایج آن موجود می‌باشد [۷].



شکل ۵- نمودار ضرایب نهایی روش DRD برای تسلیح شیب سنگی سد سیاه بیشه [۷]

بر اساس روند کلی شکل ۵ و محاسبات انجام شده جدول نهایی ۸ و نموداری در شکل ۶ ارائه شده است. با استفاده از جدول فوق می‌توان قضاوت مناسبی در مورد نیاز به تراکم اجزای تسلیح‌کننده در شیب‌های سنگی انجام داد. همان‌طور که در جدول ۹ مشخص است ابتدا مقادیر DRD به بازه‌های کوچکتری تقسیم شده است. دلیل این تقسیم‌بندی تعداد تکرار بیشتر مقادیر DRD در بازه‌ی صفر تا ۱۰ می‌باشد بنابراین نیاز به کوچکتر بودن بازه‌ها در این مقادیر ضروری می‌باشد. به همین نسبت هر چه مقادیر DRD افزایش یابد تعداد تکرارپذیری آن کاهش می‌یابد و به این دلیل بازه‌های تقسیم‌بندی مناطق DRD از ۱۰ تا ۲۰ افزایش می‌یابد. در نهایت با توجه به

تغییرمکان هر یک از قسمت‌های تقسیم‌بندی شده است. این فاکتور به صورت نسبت تغییرمکان در نظر گرفته شده و در طی عملیات و محاسبات ماتریس DRD سهم فراوانی در نتیجه‌ی نهایی برای هر منطقه دارد. به طوری که مناطقی که دارای تغییرمکان زیاد هستند و از لحاظ پایداری شرایط بحرانی دارند به تناسب مقادیر DRD بالاتری را دارا خواهند بود و در نتیجه تراکم اجزای تسلیح‌کننده‌ی این مناطق بیشتر خواهد بود. با توجه به این که در هیچکدام از روش‌های عادی سیستماتیک تسلیح شیب‌های سنگی تغییرمکان مناطق مختلف در نظر گرفته نمی‌شود می‌توان این تفاوت را مهمترین مزیت روش DRD در مقایسه با روش‌های دیگر دانست.

پس از بررسی و مقایسه نتایج تحقیق Z.F.Yang با این مقاله مشخص می‌شود که در آن تحقیق پس از تقسیم‌بندی مناطق کمترین مقدار DRD برابر صفر و بیشترین مقدار DRD برابر ۳۱/۳۲ بدست آمد و در تحقیق مذکور نیز کمترین مقدار DRD برابر ۰/۵۵ و بیشترین مقدار DRD برابر ۱۹/۰۳ بدست آمده است. در نتیجه مقادیر DRD با کمیت بالاتر، نشان‌دهنده‌ی ناپایداری بیشتر در مناطق مورد بررسی است. از این رو با عنایت به نتایج ارائه شده می‌توان همخوانی روند کمی تغییرات DRD حاصل از این تحقیق با نتایج سایر محققین را مورد توجه قرار داد.

بنابراین روش DRD می‌تواند راهنمای مناسبی برای توزیع بهینه عناصر تسلیح‌کننده در شیب‌های سنگی باشد به طوری که فواصل شبکه‌های یکنواخت به صورت دقیق‌تری توزیع گردد و در مناطقی که به لحاظ ناپایداری نیاز به عناصر تقویت‌کننده بیشتر دارند این فواصل کمتر شده و در مناطقی که از لحاظ پایداری مناسب بوده این فواصل بیشتر می‌گردد. در نتیجه استفاده از این روش در پایدارسازی شیب‌های سنگی ناپایدار باعث بهینه‌سازی و افزایش ایمنی شیب‌ها خواهد شد.

### تشکر و قدردانی

بدین وسیله از همکاری شرکت‌های تابلیه و آب نیرو و جناب آقای مهندس ملکی به دلیل همکاری در زمینه‌ی تبادل اطلاعات ترانسه‌های شیب سنگی سد سیاه بیشه قدردانی و تشکر می‌گردد.

۳- همچنین در توزیع بهینه عناصر تسلیح‌کننده در منطقه‌ای که کمترین مقدار DRD را داشت فواصل شبکه از  $2 \times 2$  به توزیع به صورت شبکه  $3 \times 3$  افزایش یافت.

۴- به طور کلی در استفاده از این روش در مناطقی که مقادیر DRD در آن‌ها بالاست شبکه توزیع عناصر تسلیح‌کننده متراکم تر می‌گردد و در مناطقی که DRD آن کمتر از ۲ است پیشنهاد می‌گردد فواصل این شبکه‌ها بیشتر انتخاب گردد.

حال مقایسه‌ای بین روش DRD و سایر روش‌های تسلیح شیب سنگی، که برای نمونه در این جا به روش RMR اشاره شده است، انجام شده که نتایج مهم این مقایسه در قالب موارد ذیل ارائه شده است:

۱- در روش DRD باید سطح شیب سنگی با توجه به ویژگی‌های هندسی و ژئومکانیکی به مناطق مختلف تقسیم‌بندی شود و یکی از الزامات این روش منطقه‌بندی سطح شیب است در حالی که در روش RMR تاکید خاصی به منطقه‌بندی تونل و یا سطح شیب سنگی موردنظر نشده است. لذا با توجه به منطقه‌بندی شیب سنگی در روش DRD نتایج حاصله‌ی مربوط به هر منطقه دقیق‌تر بوده و باعث افزایش ایمنی در تسلیح شیب سنگی می‌شود.

۲- یکی دیگر از مزایای روش DRD نسبت به روش‌های ذکرشده خصوصاً RMR این است که تعداد ضرایب تاثیر به کار رفته در روش DRD بیشتر بوده و عوامل تاثیرگذار بیشتری را برای بررسی پایداری نسبت به روش‌های دیگر در نظر گرفته است. این عوامل تاثیرگذار با توجه به موقعیت جغرافیایی پروژه می‌تواند افزایش یابد در حالی که در روش RMR عوامل مهمی همچون ارتفاع و زاویه‌ی شیب سنگی، ساختار لایه‌ها و توده‌های سنگی و گسل‌ها به طور کامل و واضح در نظر گرفته نشده است. بنابراین روش DRD با توجه به در نظر گرفتن عوامل تاثیرگذار بیشتر، می‌تواند نتایجی با ایمنی بهتر را تولید کند.

۳- در نهایت مهمترین تفاوت و مزیت استفاده از روش DRD در تسلیح شیب‌های سنگی در نظر گرفتن فاکتور

## پیوست

جدول پ-۱- مقادیر ضریب تاثیر ناشی از سختی سنگ‌ها در روش DRD [۲]

سنگ خیلی ضعیف	سنگ ضعیف	سنگ نیمه سخت	سنگ سخت	سنگ خیلی سخت	رده سنگ
$Rc < 15$	$30 > Rc \geq 15$	$60 > Rc \geq 30$	$90 > Rc \geq 60$	$Rc \geq 90$	Rc(MPa) مقاومت تک محوری سنگ
۱۸	۱۲	۸	۴	۱	ضریب $A_{Rc}$

جدول پ-۲- مقادیر ضریب تاثیر ناشی از وجود گسل‌ها در روش DRD [۲]

بدون گسل	گسل عمود بر خط پنجه‌ی شیب	گسل افقی	گسل مایل	طبقه بندی
-	$b \leq 0/2$ $0/2 < b \leq 0/5$ $b > 0/5$	$b \leq 0/2$ $0/2 < b < 0/5$ $b \geq 0/5$	$b \leq 0/2$ $0/2 < b \leq 0/5$ $b > 0/5$	عرض گسل b(m) ضریب $A_f$
۱	۳ ۵ ۸	۸ ۱۰ ۱۶	۲۰ ۲۲ ۲۸	

جدول پ-۳- مقادیر ضریب ساختار توده سنگ در روش DRD [۲]

سنگ‌های شل	ساختار شکسته	ساختار موزاییکی	ساختار لایه لایه				ساختار دست نخورده	طبقه بندی
			لایه‌های مایل یا شیب دار		لایه‌های افقی			
			با لایه ضعیف	بدون لایه ضعیف	با لایه ضعیف	بدون لایه ضعیف		
۲۲	۱۸	۱۰	۱۸	۸	۸	۴	ضریب $A_s$	

جدول پ-۴- مقادیر ضریب هوازدگی در توده سنگ در روش DRD [۲]

بدون هوازدگی	تا حدودی هوازده	هوازدگی کم	هوازدگی زیاد	کاملاً هوازده	نوع هوازدگی
۱	۴	۸	۱۸	۲۲	ضریب $A_w$

جدول پ-۵- مقادیر ضریب تاثیر زاویه شیب سنگی در روش DRD [۲]

زاویه شیب سنگی	$\alpha < 25^\circ$	$25^\circ \leq \alpha < 40^\circ$	$40^\circ \leq \alpha < 60^\circ$	$60^\circ \leq \alpha < 70^\circ$	$70^\circ \leq \alpha < 90^\circ$
ضریب $A_\alpha$	۱	۴	۶	۱۰	۱۶

جدول پ-۶- مقادیر ضریب نسبت ارتفاع شیب سنگی در روش DRD [۲]

طبقه بندی e	$e \geq 75\%$	$75\% > e \geq 45\%$	$45\% > e \geq 15\%$	$e < 15\%$
ضریب $A_e$	۱۲	۶	۳	۱

جدول پ-۶- مقادیر ضریب تاثیر ترک‌ها در روش DRD [۲]

بیشترین عرض ترک (mm)	بدون ترک	$c \leq 5$	$5 < c \leq 10$	$10 < c \leq 50$	$50 < c \leq 100$	$c > 100$
ضریب $A_c$	۱	۳	۶	۱۰	۱۶	۲۵



جدول پ-۸- نمادها و پارامترهای مورد استفاده در این مقاله

مقاومت تک محوری توده سنگ	$R_C$
ضریب تاثیر ناشی از سختی سنگها	$A_{Rc}$
عرض گسل	$b(m)$
ضریب تاثیر ناشی از وجود گسلها	$A_f$
ضریب ساختار توده سنگ	$A_s$
ضریب هوازدگی در توده سنگ	$A_w$
ضریب تاثیر زاویه شیب سنگی	$A_\alpha$
نسبت تغییر مکان	$e$
ضریب نسبت ارتفاع شیب سنگی	$A_e$
ضریب تاثیر ترکها در شیب سنگی	$A_c$
ماتریس ضرایب تاثیر	$[ A ]$
ماتریس نسبت تغییر مکان	$[ E ]$
ماتریس مقادیر DRD	$[ R ]$

## مراجع

- [1] Piteau, DR., Peckover, FL. (1978). "Engineering of rock slopes", Schuster RL, Krizek RJ, editors. Landslides analysis and control. National academy of Sciences; p. 192-227;
- [2] Yang, Z.F., Zhang, L.Q., Shang, Y.J., Zeng, Q.L., Li, L.H. (2006). "Assessment of the degree of reinforcement demand for rock slope projects-principles and a case example application", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences 43, 531-542;
- [3] Ming, Yan., Shitian, Wang., Runqiu, Huang., (1997). "Mining-induced subsidence of Mabukan high-slope ", J Eng Geol; 5(2):104-11;
- [4] Zhifa, Yang., Tianhe ,Ke., Zhusheng, Xiao., (1995). "Theory and practice on monitoring design for excavation of Shiplock Slope at left Bank of Wuqiangxi Hydroelectric Power Station", J Eng Geol; 3(2):1-11;
- [5] Dezheng, G. (1979). "Basis of engineering geomechanics of rock mass ", Beijing: Sciences Press.
- [6] Hudson, JA. (1992). "Rock engineering system: theory & practice", Ellis Horwood.
- [۷] دهستانی، ح. (۱۳۹۰)، توزیع بهینه عناصر تسلیح کننده در شیبهای سنگی ناپایدار با روش DRD (با مطالعه موردی بر روی ترانشه‌های شیب سنگی سد سیاه بیشه)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد.
- [۸] گزارش مطالعاتی تسلیح شیب سنگی سد سیاه بیشه، (۱۳۸۸)، شرکت ساختمانی تابلیه.
- [۹] مدنی، ح. (۱۳۷۹). تونلسازی (جلد سوم: تحلیل پایداری)، مرکز نشر دانشگاه صنعتی امیرکبیر (پلی تکنیک تهران)، تهران.
- [10] Hoek, E., Kaiser. P.K, Bawden, W.F. (1995). "support of Underground Excavation in Hard Rock",s A.A. Balkeman/ Rotterdam/ Brookfield.
- [11] Cancelli A, Crosta G. (1993). "Hazard and risk assessment in rockfall prone areas". In: Skipp BO, editor. Risk and reliability in groundengineering. London: Thomas Telford.

- [12] Zhang, LQ., Yang, ZF., Liao, QL. (2004). "An application of the rock engineering system (RES) methodology in rockfall hazard assessment on the Chengdu-Lhasa Highway", China. Int J Rock Mech Min Sci 2004; 41: 3B 11-SINOROCK2004 Symposium.
- [13] Peckover, F.L. (1998). "Treatment of rock falls on railway lines. American Railway Engineering Association", Bulletin 653, Washington, DC, pp. 471-503.
- [14] Weugel, W. (1943). "Channel Iron for Roof Control," Engineering And Mining", Journal v. 144, May, pp. 70-72.

## REINFORCEMENT OPTIMIZATION IN UNSTABLE ROCK SLOPES BY USING THE METHOD OF REINFORCEMENT OF REQUIRED LEVEL

A. Hadad<sup>1</sup>, H. Dehestani<sup>2,\*</sup>

1. Assistant Professor, Faculty of Civil Engineering, Semnan University
2. Faculty member of Quchan Institute of Engineering and Technology

\*Corresponding Author: soheilsss89@yahoo.com

---

### ARTICLE INFO

---

Keywords:  
Influence Coefficient,  
Stabilization,  
Rock Bolt,  
Level of Required  
Reinforcement.

### ABSTRACT

---

The Discussion of optimization of reinforcement elements in stabilizing rock slopes, due to the huge cost of such operations and problems caused by landslides and slope instability due to the lack of adequate reinforcement, has been always considered for researchers in the field of Geomechanic and Geotechnic. Therefore in this study the optimal distribution of reinforcement elements on the rock slopes which has the risk of instability in this study has been considered and new methods of reinforcing the required level or DRD method has been used. The purpose of this study is to provide a rational process for the optimum distribution of reinforcing elements that required in unstable rock slopes and especially critical zones. In this method, rock slope has been divided according to geometrical properties and for each zone with regard to geometrical and Geomechanical layer's properties, the coefficients and finally the Influence coefficients matrix is obtained. Also, according to finite element method and numerical modeling of displacement of each zone and then the displacement ratio matrix of divided zone is obtained. Eventually, within a matrix operation, DRD values for each zone obtain and distributions of reinforcement elements are done based on these values. In order to be practical, distribution of optimized reinforcement elements in rock slopes of Siah Bishe Dam has been evaluated.

---