

تحلیل سینماتیکی ریزش‌های سنگی به وسیله روش‌های احتمالاتی و با در نظر گرفتن قابلیت اعتماد (بررسی موردی: معدن شماره یک گل‌گهر)

مجتبی ربیعی وزیری

کارشناس ارشد مکانیک سنگ، دانشگاه شهید باهنر کرمان

شهرام شفیعی

استادیار بخش زمین‌شناسی، دانشگاه شهید باهنر کرمان

محمد حسین پناهی

کارشناس ارشد مکانیک سنگ، دانشگاه شهید باهنر کرمان

تاریخ پذیرش: ۹۴/۱/۴

تاریخ دریافت: ۹۳/۱۰/۲۱

Shafiei_Shahram@uk.ac.ir

چکیده

در اغلب پروژه‌ها نیاز است احتمال رخداد ریزش‌های سنگی بررسی گردد. مختصات ناپیوستگی‌ها از مهم‌ترین پارامترهای تأثیرگذار در این ریزش‌ها است. اغلب مطالعاتی که برای بررسی احتمال رخداد ریزش‌های سنگی صورت می‌گیرند به صورت قطعی و بدون در نظر گرفتن قابلیت اعتماد می‌باشند. در این مطالعه با استفاده از روش‌های تحلیل احتمالاتی اقدام به تعیین ریزش‌های سنگی در دیواره شمالی معدن شماره یک گل‌گهر گردید و نتیجه این بررسی با حالت قطعی مقایسه شد. نتایج نشان داد که تعیین ریزش‌ها با استفاده از روش‌های قطعی معمول در حالتی که قطب‌های دسته درزه‌های شکل‌دهنده ریزش در یک سوی شبکه استریونت قرار گیرند کاملاً قابل اعتماد است اما در حالتی که قطب‌های دسته درزه‌های شکل‌دهنده ریزش به مرز شبکه استریونت نزدیک شده و از سوی دیگر وارد شبکه می‌شوند قابلیت اعتماد به نتایج کاهش می‌یابد، در این مورد روش تحلیل قابلیت اعتماد مناسب‌تر از روش تحلیل قطعی عمل می‌کند و می‌تواند جایگزین این روش گردد. با جایگزین کردن روش تحلیل قابلیت اعتماد به جای روش تحلیل قطعی، محاسبات مربوط به مختصات ناپیوستگی‌ها با قابلیت اعتماد بالایی قابل ارزیابی خواهند بود.

کلمات کلیدی: قابلیت اعتماد، تحلیل احتمالاتی، تحلیل قطعی، ریزش‌های سنگی، معدن شماره یک گل‌گهر.

مقدمه

روش مقابله با عدم اطمینان‌ها بهره‌گیری از تحلیل قابلیت اعتماد می‌باشد. در این روش عدم اطمینان به صورت پراکندگی آماری در نظر گرفته می‌شود و به جای اختصاص یک مقدار مشخص به هر پارامتر ورودی یک تابع توزیع احتمال به آن اختصاص داده می‌شود. به همین ترتیب نتایج مدل‌های محاسباتی در مورد رفتار خروجی مدل نیز به صورت احتمالی به دست می‌آید. بدین ترتیب با بررسی عدم اطمینان‌ها به صورت پراکندگی آماری، امکان مطالعه تأثیر آن‌ها به کمک تئوری احتمالات فراهم می‌شود. بر اساس این تئوری هرگاه توزیع آماری تعدادی متغیر تصادفی مشخص باشد می‌توان توزیع آماری هر تابعی از آن متغیرها را با روش‌های تحلیلی و یا عددی محاسبه نمود. امروزه طراحی ایمن و بهینه سازه‌های مهندسی از اهمیت بالایی برخوردار است. همواره تلاش مهندسیین طراح بر این بوده که بتوانند سازه‌ای را طراحی کنند که احتمال شکست آن به حداقل مقدار ممکن برسد، در نتیجه طراحان به دنبال روش‌هایی هستند که با افزایش اطمینان به طراحی‌های انجام شده احتمال شکست طراحی را کاهش دهند.

در بسیاری از سازه‌های مهندسی حفر شده در سنگ مانند: شیب پله‌های معدن، شیب‌های نهایی معادن، ترانشه‌های حفر شده در سنگ در پروژه‌های راه سازی و همچنین بررسی لغزش‌های سنگی در نزدیکی مناطق مسکونی، دانستن الگوی ناپیوستگی‌ها و مختصات آن‌ها بسیار اهمیت دارند. با این اطلاعات می‌توان احتمال رخداد ریزش‌های سنگی را بررسی کرد و نوع ریزش-ها را نیز تعیین نمود و در صورت احتمال وقوع، برای جلوگیری از ریزش اقدامات لازم را انجام داد.

ریشه اصلی ناکامی در عملکرد صحیح پروژه‌ها، ناتوانی طراحان در شناخت و به کمیت در آوردن متغیرهای نامطمئن حاکم بر فرآیندهای مؤثر در محاسبه و اجرای پروژه‌ها بوده است. بنابراین، تجزیه و تحلیل عدم قطعیت برای هر پدیده، واقعیات حاکم بر پارامترهای آن را آشکار می‌کند و درک درستی از عوامل تأثیرگذار بر آن پدیده را بوجود می‌آورد. بررسی عدم قطعیت و چگونگی تأثیر پارامترهای احتمالی در کارایی سازه‌های مهندسی یکی از مباحث مهم در تحلیل ریسک و اطمینان‌پذیری در طراحی است. به طور ساده می‌توان عدم قطعیت را به عنوان احتمال وقوع رخدادی خارج از کنترل طراح تعریف نمود. منظور از تجزیه و تحلیل عدم اطمینان، تشخیص خصوصیات آماری خروجی (میانگین، انحراف معیار، واریانس، ضریب تغییرات و...) مدل بر اساس روابط موجود بین پارامترهای آماری ورودی می‌باشد. تحلیل احتمالاتی، سهم هر کدام از پارامترهای ورودی بر خطای ظاهر شده در خروجی مدل را ارائه می‌دهد. فهم چنین مطلبی کمک می‌کند تا پارامترهایی که تأثیر بیشتری بر روی نتایج خروجی دارند تشخیص داده شوند و دقت بیشتری برای برآورد آن‌ها به عمل آید که به این وسیله از خطای حاصل در مقادیر خروجی کاسته می‌شود.

در روش‌های تحلیلی قطعی به هر پارامتر مؤثر، تنها یک مقدار عددی اختصاص داده می‌شود و به منظور برخورد با عدم اطمینان‌ها از رویکرد اعمال مقادیر محافظه‌کارانه در محاسبات استفاده می‌شود. در این روش عدم اطمینان‌ها تنها به صورت کیفی و بر اساس قضاوت و تجربه طراح وارد محاسبات می‌شود، که در نهایت نمی‌تواند به یک طرح بهینه منجر شود.

گسل‌ها در محدوده معدنی گل‌گهر سیرجان در سه نوع: گسل‌های امتداد لغز با راستای NNW-SSE، گسل‌های راستا لغز با راستای ENE-WSW و گسل‌های با راستای WNW-ESE قابل مشاهده می‌باشند (مهندسیین مشاور کوشا معدن، ۱۳۹۰).

روش‌های حل مسائل مهندسی

برای حل مسائل مهندسی از جمله مهندسی سنگ و زمین‌شناسی مهندسی روش‌های متعددی وجود دارد، که با گذشت زمان تکمیل شده و هر یک از آن‌ها کمبودهای روش‌های دیگر را برطرف کرده‌اند. در یک تقسیم‌بندی کلی این روش‌ها را می‌توان به دو گروه روش‌های قطعی و احتمالاتی تقسیم‌بندی نمود.

امروزه می‌توان موارد نامطمئن (مجهولات) موجود در تجزیه و تحلیل پایداری سازه‌های سنگی، به خصوص اطلاعات وضعیت هندسی توده‌سنگ و خواص مقاومتی آن را با استفاده از روش‌های احتمالاتی مورد بحث و بررسی قرار داد. در شرایط کلی، روش‌های احتمالاتی در انواع گسیختگی‌های سازه‌های سنگی کاربرد دارند و از روش‌های تجربی و همچنین تجزیه و تحلیل تعادل حدی یکسان نیز، نظیر روش‌های قطعی استفاده می‌نمایند. اما از مفاهیم آماری و احتمالاتی برای تشریح و توصیف تغییرپذیری پارامترهای ورودی انتخاب شده استفاده می‌کنند. مزیت این روش‌ها، تأکید بر موارد مجهول و ناشناخته‌ای است که در تحلیل‌های پایداری وجود دارند. در یک تقسیم‌بندی کلی، روش‌های احتمالاتی بررسی قابلیت اعتماد به سه دسته تقسیم می‌شوند.

دسته اول: روش‌های تحلیلی مانند روش ترکیب توزیع متغیرها (Hoel, 1971)، دسته دوم: روش‌های تقریبی مانند تخمین نقطه‌ای و مرتبه اول ممان دوم و دسته سوم: روش‌های شبیه‌سازی مانند روش مونت کارلو (Baecher, 2003)، می‌باشند. که در این میان روش مونت کارلو با توجه به سهولت در کاربری و دقت در جواب‌های به دست آمده بیش از سایر روش‌ها مورد استفاده قرار گرفته است (Tobutt, 1982).

شبیه‌سازی فرآیندی برای همانند سازی جهان واقعی بر اساس دستگاهی از مفروضات و مدل‌های حاکم بر پدیده‌های واقعی می‌باشد. به عبارت دیگر شبیه‌سازی را می‌توان تولید تکرارهایی از واقعیت‌های موجود در طبیعت بیان کرد. در پاره‌ای موارد، انجام تکرارهایی برای یک واقعیت طبیعی مشکل یا غیر ممکن می‌باشد، از این رو شبیه‌سازی یک ابزار کارآمد برای مهندسان و طراحان می‌باشد تا با هزینه ناچیزی تکرارهایی از پدیده‌ها را تولید کنند.

مدل‌های شبیه‌سازی ترکیبی از مدل‌های قطعی و احتمالاتی می‌باشند و امکان در نظر گرفتن خصوصیات احتمالاتی برخی از متغیرهای سیستم را فراهم می‌سازند. مدل‌های شبیه‌سازی غیرقطعی معمولاً از اطلاعاتی چون تابع توزیع متغیرهای احتمالی، تعداد دفعات تکرار آن‌ها در هر بازه زمانی و میانگین و بازه تغییرات آن‌ها استفاده می‌کنند و عموماً نتایج شبیه‌سازی به صورت احتمالاتی ارائه می‌گردد. یکی از روش‌های مرسوم شبیه‌سازی غیرقطعی شبیه‌سازی مونت کارلو می‌باشد در این روش با توجه به خصوصیات آماری متغیرهای تصادفی سیستم، برای هر متغیر به صورت تصادفی یک مقدار تولید شده و سیستم بر اساس این مقادیر تولید شده و مقادیر متغیرهای ورودی قطعی، به صورت قطعی شبیه‌سازی می‌گردد. با تکرار زیاد این فرآیند، خصوصیات آماری متغیرهای خروجی چون میانگین، انحراف معیار و تابع توزیع احتمالی آن‌ها قابل برآورد می‌باشد.

نرم‌افزارهای متداول در تحلیل ریزش‌های سنگی مانند: Dips, Stereonet, Spheristat و Rock work اقدام به تحلیل قطعی اطلاعات مربوط به مختصات ناپیوستگی‌ها می‌کنند در نتیجه نوع ریزش‌های سنگی را به صورت قطعی و بدون در نظر گرفتن قابلیت اعتماد به نتایج خروجی تعیین می‌کنند، که این خود باعث عدم اطمینان طراح به تحلیل‌های انجام شده می‌شود. در تعیین پارامترهای مختصات ناپیوستگی‌ها در توده‌سنگ، بهره‌گیری از روش‌های تحلیل‌های قطعی متداول می‌تواند پیامدهای گمراه کننده‌ای به دنبال داشته باشد، به کمک تحلیل احتمالاتی و بررسی قابلیت اعتماد دیدگاه واقع‌گرایانه‌ای نسبت به این پارامترها ایجاد می‌شود.

روش‌های بررسی قابلیت اعتماد در تحلیل خصوصیات توده‌سنگ در مطالعات (Hoek, 1998)، (Sari, 2009)، (Sari, 2010) و (Idrisi, 2011)، به کارگرفته شده‌اند. اما در هیچکدام از این مطالعات به بررسی مختصات ناپیوستگی‌ها و تأثیر آن بر اعتمادپذیری ریزش‌های سنگی تعیین شده توسط این اطلاعات پرداخته نشده است.

در این مطالعه به بررسی عدم اطمینان‌های موجود در تعیین ریزش‌های سنگی که به روش‌های تحلیل قطعی متداول تعیین شده‌اند پرداخته شد. و نتایج روش‌های تحلیل قطعی با روش تحلیل احتمالاتی به روش شبیه‌سازی مونت کارلو مقایسه گردید.

زمین‌شناسی منطقه مورد مطالعه

مجموعه معدنی گل‌گهر شامل شش حوزه معدنی است که در مجموع ناحیه‌ای به وسعت ۴۰ کیلومتر مربع را در بر می‌گیرد. ذخیره سنگ آهن حوزه معدنی گل‌گهر یک میلیارد و ۱۳۵ میلیون تن برآورد شده است. روش استخراج در معدن شماره یک، روباز بوده و برای به دست آوردن خوراک مناسب جهت ارسال به کارخانه تغلیظ سینه کارهای مختلف معدن به طور همزمان مورد استخراج قرار می‌گیرند.

از نظر تقسیم‌بندی کشوری معدن سنگ آهن گل‌گهر در استان کرمان و از لحاظ زمین‌شناسی در لبه شرقی زون دگرگونی سنندج - سیرجان قرار گرفته است. این ناحیه معدنی (سنگ آهن گل‌گهر) در ۵۳ کیلومتری جنوب غرب شهر سیرجان در محدوده طول‌های جغرافیایی ۱۵' ۵۵° تا ۲۴' ۵۵° دقیقه شرقی و عرض‌های جغرافیایی ۳' ۲۹° تا ۷' ۲۹° شمالی واقع شده است. معدن گل‌گهر در لبه شمال شرقی کمربند دگرگونی سنندج - سیرجان و لبه فروافتادگی دریاچه کفه نمک سیرجان واقع است. کفه نمک مزبور خود در حد فاصل کمربند سنندج - سیرجان و کمربند آتشفشانی ارومیه - دختر واقع است. علاوه بر رسوبات عهد حاضر که آبرفت‌های منطقه را تشکیل می‌دهند، ارتفاعات معدودی از رخنمون‌های سنگ‌های دگرگونی پالئوزوئیک در جنوب و جنوب غرب معدن و سنگ‌های رسوبی مزوزوئیک و سنوزوئیک در شرق معدن دیده شده است. شش آنومالی سنگ آهن گل‌گهر در درون کمپلکس‌های دگرگونی پالئوزوئیک قرار گرفته‌اند که بخش تحتانی آن تناوبی از گنایس، میکاشیست، آمفیبولیت و کوارتزشیست می‌باشد. بر روی این بخش تناوبی از کوارتزشیست، شیست سبز، گرافیت شیست، بدون دگرشیبی قرار گرفته است (مهندسیین مشاور کوشا معدن، ۱۳۹۰).

در انتهای این مجموعه، یک واحد چینه‌شناسی مرمری - دولومیتی - کلسیتی دیده می‌شود که در تمام کمربند سنندج - سیرجان به نام کرسفید معروف است. وجود سکناس آهکی و دولومیتی در منطقه باعث ایجاد توپوگرافی خاص کارستی در منطقه شده است. در آنومالی شماره یک، سه زون مگنتیت بالایی، زون اکسیداسیون هماتیتی و مگنتیت پایینی تشخیص داده شده است.

انواع ریزش‌های سنگی

ریزش‌های سنگی از مهم‌ترین مخاطرات زمین‌شناسی هستند که سبب ایجاد خسارات مادی و جانی می‌شوند، در نتیجه نیاز است در بسیاری از پروژه‌ها احتمال رخداد اینگونه ریزش‌ها بررسی گردد.

هدف از طراحی دیواره نهایی یک معدن روباز عبارت است از احداث پله با شیب حداکثر که ایمنی لازم برای افراد و صرفه اقتصادی لازم را تضمین نماید. هرچه دیواره‌ها پر شیب‌تر باشند برای استخراج مقدار معینی ماده معدنی مقدار کمتری باطله برداری نیاز خواهد بود که نحوه و میزان تأثیر آن ارتباط با شکل و ابعاد فیزیکی توده معدنی، عمق، توزیع عیار و غیره دارد. از طرف دیگر افزایش شیب باعث کاهش ایمنی خواهد شد و در صورت ریزش علاوه بر خطرات جانی زیان‌های اقتصادی نیز ایجاد خواهد کرد که می‌توان به صورت از دست رفتن بخشی از ماده معدنی، هزینه باطله برداری برای دسترسی به این بخش از ماده معدنی، هزینه بازسازی راه، تأخیر و کاهش در تولید به دلیل اختلال در شرایط کار باشد (ترابی، ۱۳۸۱). یکی از مهمترین عوامل مؤثر در پایداری دیواره‌های سنگی تعداد و توجیه فضایی ناپیوستگی‌ها می‌باشد. این ناپیوستگی‌ها در سنگ نقش اصلی را در پایداری توده‌های سنگی ایفا می‌کنند. مهمترین ریزش‌های سنگی را می‌توان به شرح زیر تقسیم بندی نمود:

۱- ریزش صفحه‌ای: این نوع از ریزش زمانی رخ می‌دهد که یک ناپیوستگی با شیب کمتر از شیب دیواره و یا تقریباً موازی با آن در سنگ وجود داشته باشد. این ناپیوستگی ممکن است به همراه یک درزه کششی باشد که این درزه کششی ممکن است خود سطح شیبدار را قطع کند.

۲- ریزش گوه‌ای: این نوع ریزش زمانی رخ می‌دهد که دو ناپیوستگی چنان یکدیگر را قطع کرده باشند که سنگ بالای این ناپیوستگی بتواند در امتداد موازی با فصل مشترک دو ناپیوستگی بلغزد.

۳- ریزش واژگونی: این حالت از ریزش زمانی رخ می‌دهد که ناپیوستگی‌های تقریباً قائم یا با شیب مخالف در توده‌سنگ وجود داشته باشد.

تحلیل سینماتیکی ریزش‌های سنگی به روش قطعی در دیواره شمالی معدن شماره یک گل‌گهر

در این مطالعه برای تحلیل ریزش‌های سنگی از نرم افزار Dips استفاده شد. در این نرم افزار بعد از وارد کردن اطلاعات مربوط به مختصات ناپیوستگی‌های برداشت شده و تشخیص دسته درزه‌های اصلی و با داشتن مختصات شیب مورد نظر می‌توان نوع ریزش‌های حاصل از برخورد این دسته درزه‌ها با شیب مورد نظر را تعیین کرد. پردازش اطلاعات در نرم افزار Dips برای محاسبه قطب صفحه ناپیوستگی حاصل از یکسری درزه که متعلق به یک دسته درزه می‌باشند با توجه به نحوه قرارگیری درزه‌های برداشت شده بر روی شبکه استریونت به دو صورت انجام می‌شود:

حالت اول زمانی است که قطب‌های درزه‌ها به طور مشخص در یک سوی صفحه قرار می‌گیرد در این حالت میانگین حسابی روند و میل مربوط به قطب-های درزه‌ها محاسبه شده و به عنوان قطب صفحه ناپیوستگی معرفی می‌شود، سپس صفحه مربوط به این قطب رسم می‌گردد.

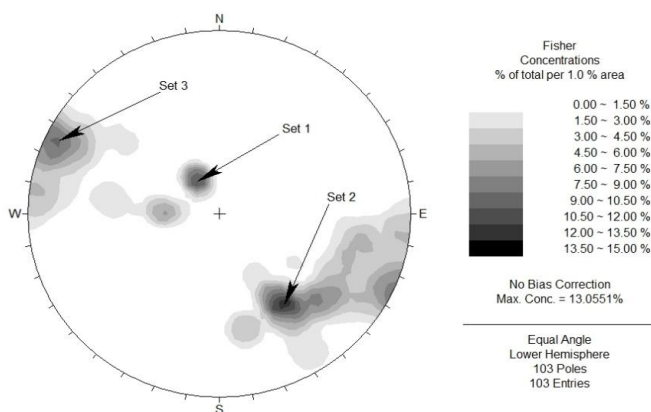
حالت دوم زمانی است که تعدادی از درزه‌های متعلق به یک دسته درزه به محیط استریونت نزدیک شده و از طرف دیگر صفحه وارد شبکه می‌گردند، در این مورد میانگین گیری به شیوه قبل غیر قابل کاربرد می‌باشد و حتی ممکن است قطب شناسایی شده خارج از تمرکز قطب‌های درزه‌ها قرار گیرد.

در این مورد نرم افزار از روشی موسوم به قطب منفی بهره می‌گیرد، در این روش روند قطب‌های یک طرف به علاوه ۱۸۰ درجه شده و سپس با روند قطب-های طرف دیگر مانند حالت اول میانگین گیری می‌شود. در مورد میل، میل-های قطب‌های یک سو منفی شده و بعد از آن با میل‌های قطب‌های طرف دیگر میانگین گیری می‌شوند اگر حاصل مثبت شد مکان قطب همان طرفی است که قطب‌ها به آن طرف منتقل شده‌اند و مقدار محاسبه شده همان میل قطب صفحه ناپیوستگی می‌باشد. در غیر این صورت مکان قطب به طرف دیگر شبکه منتقل می‌گردد.

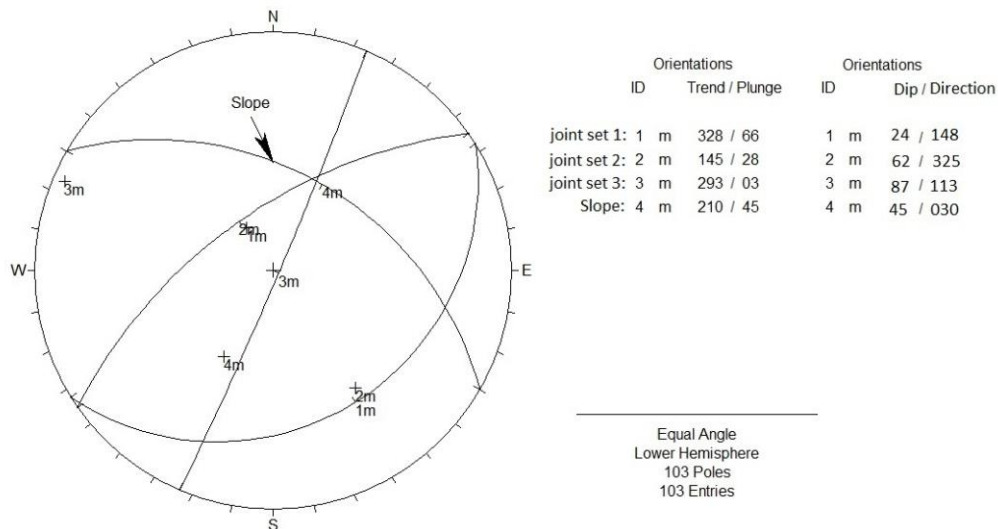
در این مطالعه بعد از ورود اطلاعات مربوط به مختصات ناپیوستگی‌های برداشت شده سه دسته درزه اصلی در محدوده مورد مطالعه شناسایی شد (شکل ۱)، و سپس صفحات ناپیوستگی ناشی از دسته درزه‌های شناسایی شده رسم گردید، با وارد کردن مختصات شیب مورد نظر نوع ریزش‌های ناشی از دسته درزه‌های شناسایی شده تعیین شد (شکل ۲). همان‌طور که در (شکل ۲)، مشاهده می‌شود از برخورد میان صفحه شیب مورد نظر و صفحات ناپیوستگی ناشی از دسته درزه‌های شماره ۲ و ۳ یک ریزش گوه‌ای در مقیاس کوچک صورت می‌گیرد.

تحلیل سینماتیکی ریزش‌های سنگی به روش احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو در دیواره شمالی معدن شماره یک گل‌گهر

برای تحلیل سینماتیکی ریزش‌های سنگی به روش احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو ابتدا باید مختصات ناپیوستگی‌ها را با این روش شبیه‌سازی نمود. اولین گام در شبیه‌سازی مختصات ناپیوستگی‌ها به روش مونت کارلو به دست آوردن نوع تابع توزیع منطبق شده بر هیستوگرام فراوانی داده‌ها است. بر اساس پردازش آماری اطلاعات که توسط نرم افزار Minitab16 صورت گرفت توزیع آماری حاکم بر شیب و جهت شیب سه دسته ناپیوستگی شناسایی شده در محدوده مورد مطالعه عادی می‌باشد (جدول ۱). بعد از شناسایی نوع تابع توزیع حاکم بر داده‌های مربوط به مختصات ناپیوستگی‌ها و خصوصیات آماری مربوط به توزیع آن‌ها، اقدام به شبیه‌سازی ۵۰۰۰۰ داده از تابع توزیع شناسایی شده توسط نرم افزار Minitab16 شد (شکل‌های ۳ تا ۸).



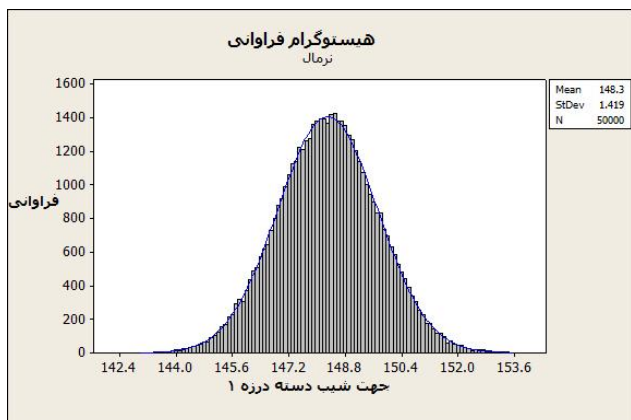
شکل ۱. دسته درزه‌های اصلی در محدوده مورد مطالعه



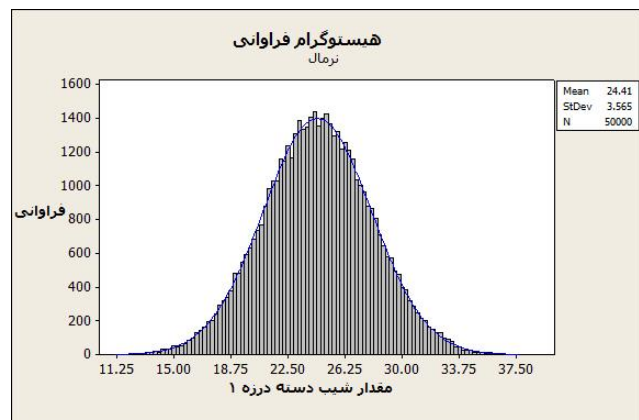
شکل ۲. ریزش‌های تعیین شده ناشی از برخورد دسته درزه‌های شناسایی شده با صفحه شیب، در روش تحلیل قطعی

جدول ۱. خصوصیات توزیع عادی اولیه شناسایی شده برای مختصات ناپیوستگی‌ها

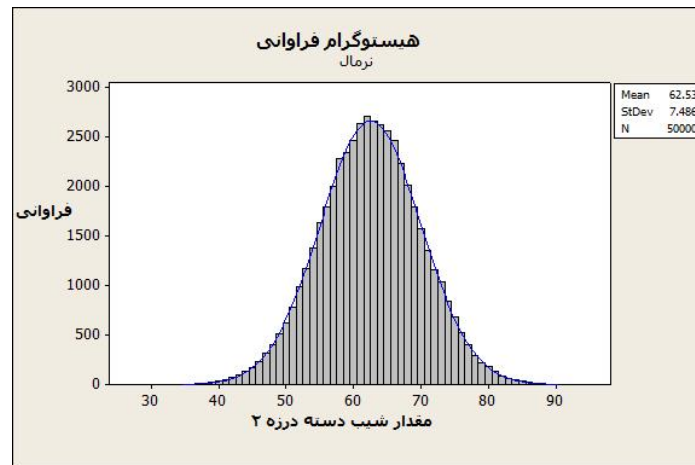
دسته درزه شماره	شیب	میانگین	انحراف معیار	
دسته درزه شماره ۱	شیب	۲۴/۴۲	۳/۵۵۴	
		۱۴۸/۳	۱/۴۲۲	
دسته درزه شماره ۲	شیب	۶۲/۵۲	۷/۴۸۳	
		۳۲۵/۱	۱۱/۹۸	
دسته درزه شماره ۳	شیب	۸۲/۰۴	۵/۲۴۶	
		۱۱۲/۶	۸/۴۹۳	
	جهت شیب	گروه ۱ (بیشترین فراوانی)	۲۹۲/۵	۱۱/۵۵
		گروه ۲ (کمترین فراوانی)		



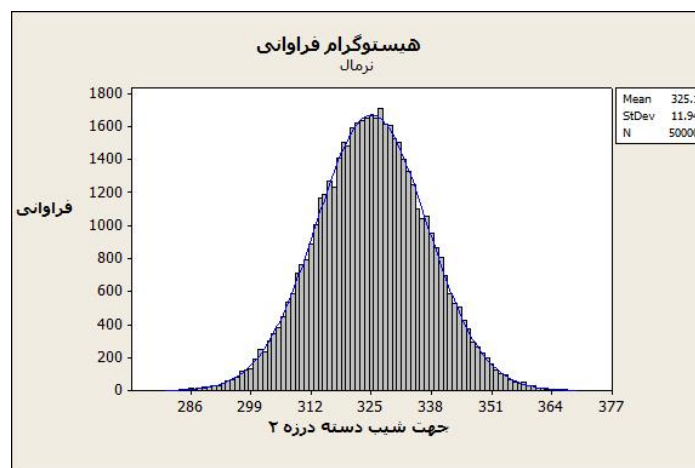
شکل ۴. تابع توزیع آماری جهت شیب دسته درزه شماره ۱



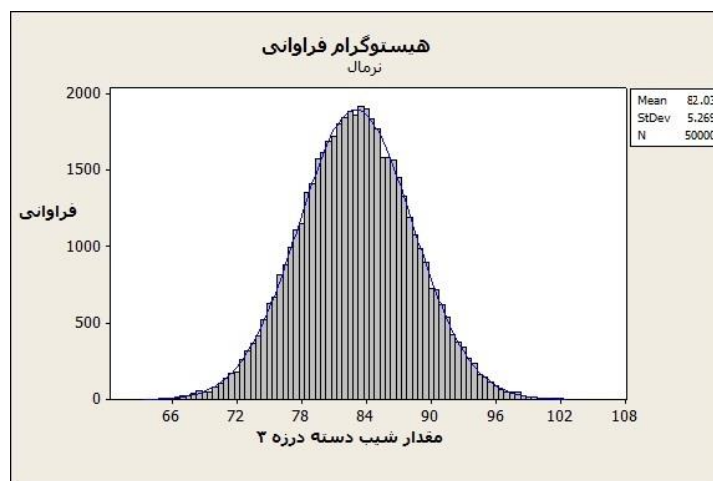
شکل ۳. تابع توزیع آماری مقدار شیب دسته درزه شماره ۱



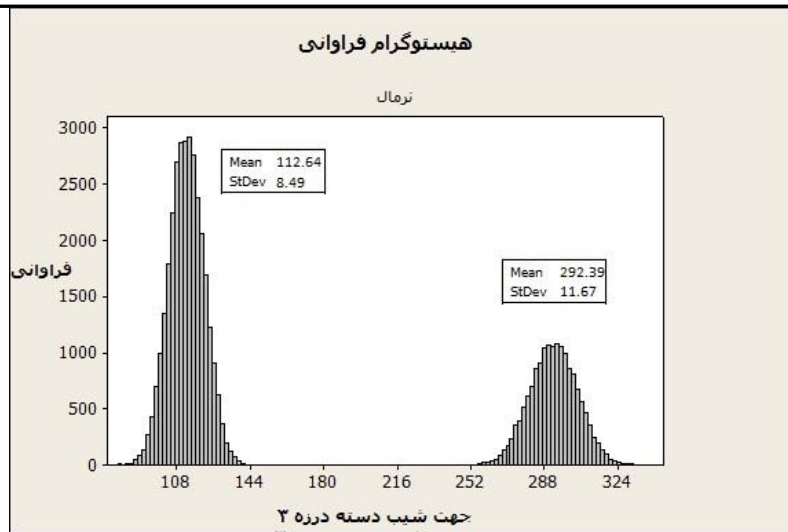
شکل ۵. تابع توزیع آماری مقدار شیب دسته درزه شماره ۲



شکل ۶. تابع توزیع آماری جهت شیب دسته درزه شماره ۲



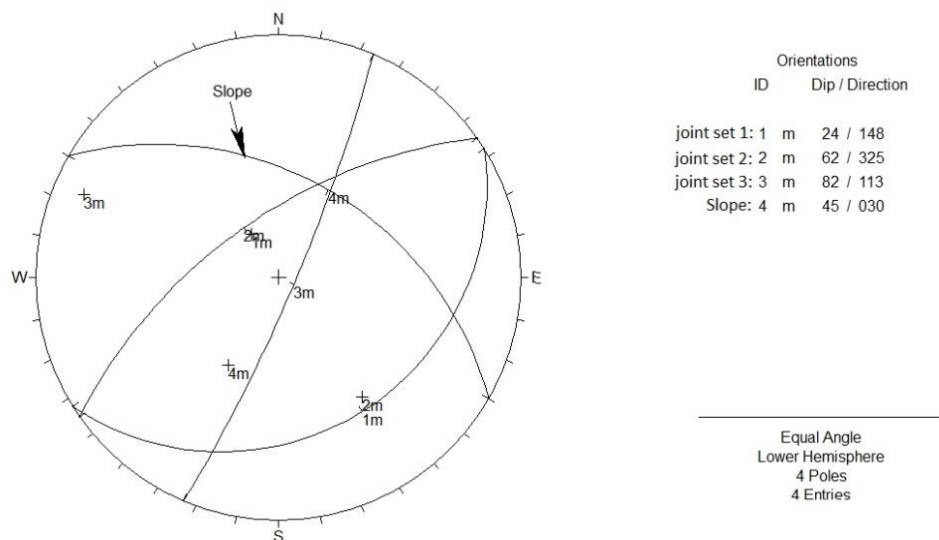
شکل ۷. تابع توزیع آماری مقدار شیب دسته درزه شماره ۳



شکل ۸. تابع توزیع آماری جهت شیب دسته درزه شماره ۳

های صورت گرفته تعداد ۵۰۰۰۰ داده شبیه‌سازی شده مناسب ارزیابی گردید. در مرحله بعد تابع توزیع آماری داده‌های شبیه‌سازی شده رسم گردید و خصوصیات آماری شیب و جهت شیب دسته درزه‌های شناسایی شده تعیین شد. بعد از شبیه‌سازی و با محاسبه شیب و جهت شیب ناپیوستگی‌های ناشی از دسته درزه‌های شناسایی شده و با دانستن مختصات شیب مورد نظر می‌توان نوع ریزش‌ها را با استفاده از شبکه استریونت تعیین نمود (شکل ۹).

لازم به ذکر است که تعداد شبیه‌سازی باید به مقداری باشد که ضمن حفظ دقت در محاسبات و پردازش داده‌ها، زمان پردازش اطلاعات نیز افزایش نیابد، به این منظور شبیه‌سازی با ۱۰۰۰ داده شروع و در هر مرحله نسبت به مرحله قبل به تعداد ۱۰۰۰ داده افزایش داده شد تا در حدود ۵۰۰۰۰ داده شبیه‌سازی شده، اختلاف نتایج با گام‌های قبل و بعد بسیار ناچیز شد ضمن اینکه سرعت پردازش اطلاعات نیز قابل قبول بود. بنابراین با توجه به بررسی-

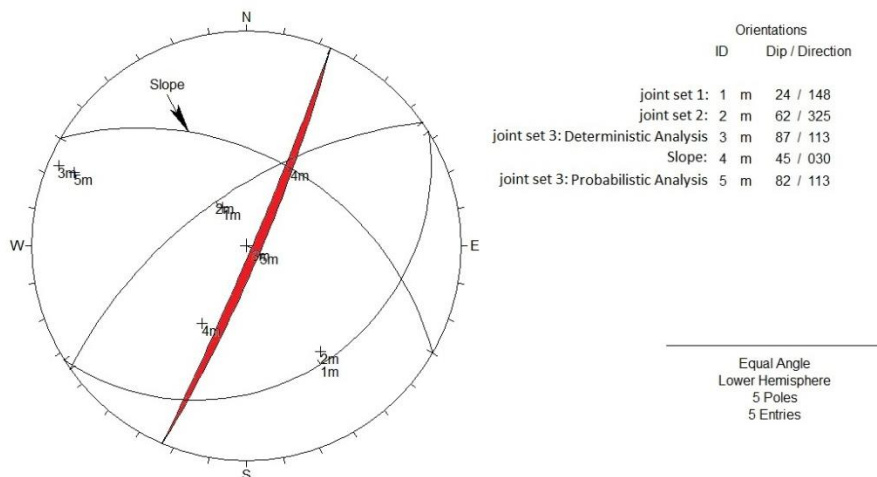


شکل ۹. ریزش‌های تعیین شده ناشی از برخورد دسته درزه‌های شناسایی شده با صفحه شیب، در روش تحلیل احتمالاتی مونت کارلو

مقایسه تحلیل سینماتیکی ریزش‌های سنگی به روش قطعی و روش احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو

روش‌های قطعی حل مسائل اقدام به تجزیه و تحلیل داده‌ها بدون در نظر گرفتن خطاهای موجود در اطلاعات ورودی می‌کنند و همچنین از میزان اعتماد به روش مورد استفاده در تحلیل‌های خود بیانی را ارائه نمی‌دهند. در این مطالعه ابتدا اقدام به تعیین ریزش‌های سنگی با استفاده از روش قطعی مورد استفاده در نرم افزار Dips گردید، سپس با استفاده از روش احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو اعتبار روش قطعی مورد استفاده در نرم افزار Dips بررسی شد. مقایسه دو روش نشان داد که در برخی از موارد جواب‌های دو روش متفاوت از یکدیگر است. روش قطعی مورد استفاده در نرم افزار Dips در حالتی که قطب درزه‌های متعلق به یک دسته درزه به طور مشخص در یک طرف شبکه استریونت قرار می‌گیرند از قابلیت اعتماد بالایی برخوردار است، به طوری که نتایج روش قطعی با روش احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو یکسان است. اما در حالتی که قطب درزه‌های متعلق به یک دسته درزه به محیط شبکه استریونت نزدیک شده و از طرف دیگر وارد شبکه می‌شود نتایج روش

قطعی با روش احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو تفاوت دارد. در روش قطعی مقدار شیب و جهت شیب درزه‌های متعلق به این دسته درزه به دو گروه در دو طرف شبکه تقسیم شده و با محاسباتی که در بخش‌های قبل ذکر شد مقدار شیب و جهت شیب خروجی دسته درزه تعیین می‌شود. بررسی‌های انجام شده توسط روش احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو نشان داد که در این حالت داده‌های جهت شیب دو جامعه آماری را تشکیل می‌دهند (شکل ۸)، در نتیجه تقسیم آن‌ها به دو گروه و انجام محاسبات کاملاً صحیح است، اما داده‌های مقدار شیب یک جامعه آماری واحد را تشکیل می‌دهند (شکل ۷)، و تقسیم آن‌ها به دو گروه و انجام محاسبات صحیح نیست و این مورد دلیل تفاوت دو روش قطعی و احتمالاتی می‌باشد. این تفاوت در تحلیل اطلاعات به وسیله دو روش قطعی و احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو در (شکل ۱۰)، نشان داده شده است. در این مورد مطالعاتی تفاوت دو روش قطعی و احتمالاتی در تخمین مقدار شیب دسته درزه شماره ۳، ۵ درجه است. که باعث می‌شود گوه-ای که در روش تحلیل قطعی شناسایی شده ابعادی کوچک تر از گوه‌ای داشته باشد که روش تحلیل احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو تعیین کرده است.



شکل ۱۰: اختلاف میان روش قطعی و احتمالاتی در تحلیل مختصات دسته درزه شماره ۳

شکل ۱۰. اختلاف میان روش تحلیل قطعی و احتمالاتی در تعیین ریزش‌های سنگی

ناپوستگی ناشی از یک دسته درزه قابلیت اعتماد به نتایج تحلیل انجام شده توسط این روش کاهش می‌یابد، و در این مورد روش تحلیل قابلیت اعتماد شبیه‌سازی مونت کارلو مناسب‌تر از روش تحلیل قطعی به کارگرفته شده توسط نرم‌افزار عمل می‌کند و می‌تواند جایگزین این روش گردد. در تحلیل سینماتیک ریزش‌های سنگی در دیواره شمالی معدن شماره یک سنگ آهن گل‌گهر قطب‌های درزه‌های متعلق به دسته درزه شماره ۳، به محیط استریونت نزدیک شد و از طرف دیگر وارد شبکه گردید در این حالت استفاده از روش قطعی قطب منفی باعث بروز ۵ درجه خطا در مقدار شیب ناپوستگی شکل گرفته ناشی از دسته درزه شماره ۳، شد، این امر باعث گردید که ریزش گوه‌ای تعیین شده بر اساس روش تحلیل قطعی معمول در مقیاس کوچک‌تری نسبت به روش‌های مبتنی بر قابلیت اعتماد رخ دهد. در دیواره شمالی معدن شماره یک سنگ آهن گل‌گهر تنها یکی از دسته درزه-ها به محیط شبکه استریونت نزدیک شد و از سوی دیگر وارد شبکه گردید، چنانچه در مطالعه‌ای دسته درزه‌های بیشتری به این صورت بر روی شبکه توزیع گردند خطای ظاهر شده در تعیین نوع و مقیاس ریزش محتمل بسیار

نتیجه‌گیری

از آنجایی که حتی کوچکترین خطا در تعیین احتمال رخ دادن ریزش‌های سنگی و نوع آن‌ها ممکن است خسارات مالی و جانی جبران ناپذیری را ایجاد کند نیاز است که این ریزش‌ها بر اساس درصد بالایی از قابلیت اعتماد تعیین شوند. در این مطالعه با استفاده از روش تحلیل احتمالاتی و بررسی قابلیت اعتماد شبیه‌سازی مونت کارلو اقدام به تعیین ریزش‌های سنگی در دیواره شمالی معدن شماره یک سنگ آهن گل‌گهر گردید و نتیجه این بررسی با حالت قطعی معمول مقایسه شد. نتایج نشان داد که تعیین ریزش‌ها به وسیله نرم‌افزارهای متداول که به روش قطعی صورت می‌گیرد در حالتی که قطب‌های دسته درزه‌های شکل دهنده ریزش در یک سوی شبکه استریونت قرار گیرند کاملاً قابل اعتماد است اما در حالتی که قطب‌های دسته درزه‌های شکل دهنده ریزش به مرز شبکه استریونت نزدیک شده و از سوی دیگر وارد شبکه می‌شوند نرم‌افزارها از روشی به نام قطب منفی استفاده می‌کنند، این روش برای محاسبات مربوط به جهت شیب ناپوستگی ناشی از یک دسته درزه کاملاً مناسب و قابل اعتماد است اما برای محاسبات مربوط به مقدار شیب

سنگی را نیز با قابلیت اعتماد بالایی تعیین کرد. این دقت و قابلیت اعتماد بالا در تعیین ریزش‌های سنگی احتمال خطا در تعیین احتمال رخداد ریزش و نوع ریزش سنگی را به شدت کاهش می‌دهد و از این طریق باعث کاهش مخاطرات ناشی از این ریزش‌ها و نیز جلوگیری از انجام طراحی محافظه کارانه به دلیل عدم اطمینان بالا به تحلیل‌های صورت گرفته می‌شود.

افزایش می‌یابد، در چنین مواردی حتماً بایستی روش احتمالاتی شبیه‌سازی مونت کارلو را جایگزین روش تحلیل قطعی قطب منفی نمود. جایگزین کردن روش تحلیل قابلیت اعتماد به جای روش تحلیل قطعی مورد استفاده توسط نرم‌افزارهای متداول این کارایی را ایجاد می‌کند که بتوان ضمن افزایش دقت محاسبات مربوط به مختصات ناپیوستگی‌ها، ریزش‌های

منابع

- ترابی. ر.، ۱۳۸۱، مقدمه‌ای بر مکانیک سنگ، انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
مهندسین مشاور کوشا معدن، ۱۳۹۰، مطالعات زمین‌شناسی ساختمانی و زمین‌شناسی مهندسی معدن شماره یک گل‌گهر، مدیریت امور معدن شرکت سنگ آهن گل-گهر.
- Baecher. G. B., Christen. J. T., 2003, Reliability and statistic in geotechnical engineering, John Wiley.
Hoek. E., 1998, Reliability of the Hoek–Brown estimates of rock mass properties and their impact on design, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol: 35, p: 63–68.
Hoel. P. G., Port. S. C., Stone. C. J., 1971, Introduction to probability Theory, Houghton Mifflin Company.
Idris. M. A., Saiang. D., Nordlund. E., 2011, Numerical Analyses of the Effects of Rock Mass Property Variability on Open Stope Stability, American Rock Mechanics Association.
Sari. M., 2009, The stochastic assessment of strength and deformability characteristics for a pyroclastic rock mass, International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, Vol: 46, p: 613–626.
Sari. M., Karpuz. C., Ayday. C., 2010, Estimating rock mass properties using Monte Carlo simulation: Ankara andesites, Computers & Geosciences, Vol: 36, p: 959–969.
Tobutt. D., 1982, Monte Carlo simulation methods for slope stability, Computers & Geosciences, Vol: 8, p: 199–208.