مکان‌یابی محل نصب ابزاردقیق در دیواره غربی معدن مس سرچشمه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی

علیرضا شمس الدینی‌فرد[1]، لهراسب فرامرزی*[2]، راحب باقرپور[3]، مرتضی اسدی‌پور میبدی[4]

1- کارشناس ارشد مهندسی معدن، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

2- استادیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

3- دانشیار، دانشکده مهندسی معدن، دانشگاه صنعتی اصفهان

4- مجتمع مس سرچشمه

(دریافت: فروردین 1394 پذیرش: اسفند 1394)

چکیده

انتخاب نوع ابزاردقیق و محل مناسب برای نصب آن تأثیر به سزایی بر هزینه ابزار و عملیات معدنکاری دارد. استفاده از ابزاردقیق برای کنترل پایداری شیب در کشورهای پیشرفته، به عنوان افق جدید در مهندسی معدن و ژئومکانیک به طور گسترده مورد استفاده قرار گرفته است. پایداری دیواره غربی معدن مس سرچشمه در حال حاضر از مسائل مهم معدن است. با مطالعات انجام شده در خصوص وضعیت زمین‌شناسی و ژئومکانیکی توده‌سنگ های دربرگیرنده ماده معدنی و هندسه معدن، نصب ابزاردقیق در دیواره غربی به عنوان مناسب‌ترین راه‌حل برای کنترل پایداری است. در این تحقیق برای مکان یابی محل مناسب نصب ابزاردقیق در دیواره غربی معدن مس سرچشمه از سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. انتخاب نوع ابزار و تعیین مکان مناسب برای نصب آن نیاز به شناخت شرایط زمین‌شناسی، وضعیت ساختاری، خواص توده‌سنگ و هیدروژئولوژی ناحیه مورد مطالعه دارد. در این مقاله با تعیین و جمع‌آوری اطلاعات مذکور و تبدیل آنها به نقشه، محل مناسب برای نصب ابزار شناسایی شد. مهترین پارامترهای زمین‌شناسی و ژئومکانیکی شامل سنگ شناسی، آلتراسیون، ارتفاع پیزومتری، گسل‌ها، وضعیت ناپیوستگی‌ها، فاصله‌داری ناپیوستگی ها، شاخص مقاومت زمین شناسی، امتیاز توده‌سنگ، ضریب کیفیت سنگ، مقاومت فشاری تک محوره، ارتفاع، شیب و جهت شیب مورد بررسی قرار گرفتند و در سامانه اطلاعات جغرافیایی به نقشه تبدیل شدند، لایه اطلاعاتی مربوط به هر پارامتر بر اساس وزن هر پارامتر، در نرم افزار *ArcGIS9.3* کلاسه‌بندی و وزن‌دهی شد. تلفیق داده ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی و منطق فازی انجام شد. در نهایت نقشه مناطق مطلوب جهت انتخاب محل مناسب برای نصب ابزاردقیق در دیواره غربی معدن مس سرچشمه تهیه شد و با انجام عملیات کنترل صحرایی، چندین ناحیه جهت مطالعات تکمیلی در مناطق پیشنهادی مشخص گردید.

واژگان کلیدی

ابزار دقیق، پایداری شیب، مکان‌یابی، سامانه اطلاعات جغرافیایی، تحلیل سلسله مراتبی

ارجاع به این مقاله:

شمس‌الدینی‌فرد، ع.، فرامرزی، ل.، باقرپور، ر.، اسدی‌پور میبدی، م.، (1394)، مکان‌یابی محل نصب ابزاردقیق در دیواره غربی معدن مس سرچشمه با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی، روش‌های تحلیلی و عددی در مهندسی معدن، 5(10)، 27-40.

* عهده‌دار مکاتبات: lfaramarzi@cc.iut.ac.ir

Archive of SID

www.SID.ir

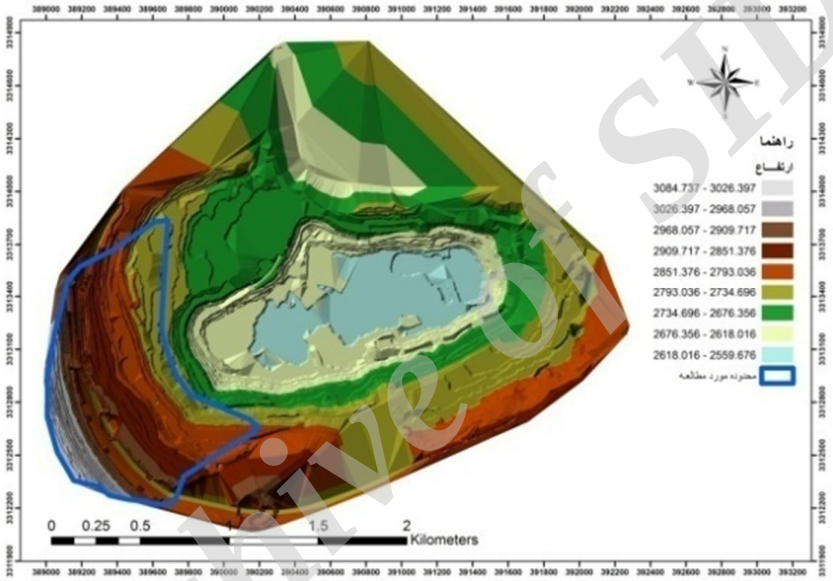
1- مقدمه

ناپایداری شیب در معادن روباز باعث آسیب به نیروی انسانی، تخریب تجهیزات و متوقف شدن عملیات معدنکاری می‌شود. تحقیقات انجام شده توسط آزمایشگاه تحقیقاتی *Spokane* از موسسه ملی ایمنی و بهداشت شغلی آمریکا (*NIOSH*[1]) نشان داده‌است که حوادث ناشی از ناپایداری شیب، یکی از دلایل عمده تلفات نیروی انسانی در عملیات معدنکاری در معادن رو باز در آمریکا است[1]. پایش رفتار شیب با استفاده از ابزار دقیق، راهی مطمئن برای جلوگیری از ناپایداری در دیواره‌های شیب‌دار است[2]. سوگاوارا و همکاران در سال 2003 کاربرد موفقیت‌آمیز تیلت (*Tilt*) و کشیدگی‌سنج (*Extensometer*) را در پایداری شیب معدن روباز شیریا (*Shiriya*) در ایالت هوکایدو ژاپن مورد بررسی قرار دادند[3]. شیمیزو و همکاران در سال 2009 با استفاده از سیستم مکان‌یاب جغرافیایی (*GPS*) به اندازه‌گیری جابجایی در توده سنگ پرداختند[4]. ناکاشیما و همکاران از سیستم مکان‌یاب جغرافیایی برای اندازه‌گیری تغییر شکل و کنترل پایداری سدهای سنگریزه‌ای استفاده کردند[5]. شیمیزو و همکاران در سال 2012 سیستم مکان‌یاب جغرافیایی را به عنوان ابزاری کاربردی برای اندازه‌گیری جابجایی توده‌سنگ و کنترل پایداری شیب در معادن روباز معرفی کردند[6]. انتخاب نوع ابزاردقیق و محل مناسب برای نصب آن تأثیر به سزایی بر کارآیی و هزینه تمام شده ابزار، پایداری شیب و عملیات معدنکاری دارد. بنابراین، مطالعات مکان‌یابی برای نصب ابزار دقیق به عنوان یکی از مراحل اساسی، باید مورد توجه قرار گیرد. در مطالعات مکان‌یابی، پس از تعیین اهداف عملیاتی و تعیین معیارهای مختلف زمین‌شناسی و اهمیت پروژه، مکان مناسب ارزیابی و برای هدف مورد نظر انتخاب می‌شود[7]. سیستم اطلاعات جغرافیایی ابزار مناسبی برای مکان‌یابی نصب ابزاردقیق است. دلیل این ادعا این است که در این روش تأثیر عوامل مختلف در نظر گرفته شده و مناسب‌ترین مکان با تلفیق و درنظر گرفتن عوامل مختلف انتخاب می‌شود. متیو و همکاران در سال 2001 با استفاده از *GIS* مناسب‌ترین مکان برای ساخت برج‌های مسکونی را پیشنهاد کردند[8]. تاوارس و همکاران در سال 2011 با استفاده از روش *AHP* در محیط *GIS* به مکان‌یابی محل مناسب برای دفن زباله‌های شهری در جزیره کاپه ورده[2] در شمال اقیانوس اطلس پرداختند[9]. یوگارجان و همکاران در تحقیقی در سال 2002 با استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی به مکان‌یابی ساختگاه سد پرداختند[10]. آنبالاگان در سال 1992 بیان کرد که نقشه منطقه‌بندی خطر زمین لغزش ابزار مهمی برای مهندسین طراح و زمین‌شناسان است. لذا می‌توان پهنه‌بندی خطر زمین لغزش را با در نظر گرفتن اهمیت پارامترها و عوامل موثری که پایداری را تحت تأثیر قرار می‌دهند، انجام داد[11]. موسوی و همکاران در سال 1388 تحلیل پایداری دیواره غربی معدن مس سرچشمه را با استفاده از روش تعادل حدی دوبُعدی و روش المان مجزای سه‌بُعدی مورد مطالعه قرار دادند. با توجه به مطالعات انجام شده توسط محققان مختلف، مشکل ناپایداری دیواره غربی همچنان وجود دارد[13]. در این تحقیق برای مکان یابی محل مناسب نصب ابزاردقیق در دیواره غربی معدن مس سرچشمه از سامانه اطلاعات جغرافیایی استفاده شد. با مطالعه و شناسایی شرایط زمین‌شناسی، وضعیت ساختاری، خواص توده‌سنگ و هیدروژئولوژی ناحیه مورد مطالعه و جمع‌آوری اطلاعات مذکور و تبدیل آنها به نقشه، محل مناسب برای نصب ابزار شناسایی شد. برای این منظور پارامترهای اساسی همچون سنگ‌شناسی، آلتراسیون، ارتفاع پیزومتری، گسل‌ها، وضعیت ناپیوستگی‌ها، فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها، شاخص مقاومت زمین‌شناسی، امتیاز توده‌سنگ، ضریب کیفیت سنگ، مقاومت فشاری تک محوره، ارتفاع، شیب و جهت شیب ارزیابی و تعیین شد و در سامانه اطلاعات جغرافیایی به نقشه تبدیل شدند. لایه اطلاعاتی مربوط به هر پارامتر بر اساس وزن هر پارامتر، در نرم‌افزار *ArcGIS9.3*، کلاسه‌بندی و وزن‌دهی شد و عملیات تلفیق داده ها با استفاده از روش تحلیل سلسله مراتبی انجام شد. در نهایت نقشه مناطق مطلوب برای انتخاب محل مناسب برای نصب ابزاردقیق در دیواره غربی معدن مس سرچشمه تهیه شد و با انجام عملیات کنترل صحرایی، چندین ناحیه جهت مطالعات تکمیلی در مناطق پیشنهادی مشخص گردید.

Archive of SID
www.SID.ir

2- محدوده مورد مطالعه

معدن مس سرچشمه با مختصات ″55°,52′,20 طول شرقی و ″29°,56′,40 عرض شمالی در فاصله 160 کیلومتری جنوب غربی کرمان و 65 کیلومتری جنوب‌غربی رفسنجان و 30 کیلومتری شمال پاریز در منطقه کوهستانی با ارتفاع متوسط 2620 متر از سطح دریا قرار دارد[12]. در معدن مس سرچشمه نیز که یکی از بزرگ‌ترین معادن مس پورفیری جهان است، لازم است از تکنیکهای مناسب تحلیل پایداری شیب استفاده شود. با توجه به پیچیدگی‌های هندسی دیواره غربی معدن که ارتفاع آن به بیشتر از 800 متر می‌رسد، در این شرایط، پیشنهاد می‌شود از ابزاردقیق برای کنترل پایداری استفاده شود. به منظور بررسی دقیق وضعیت ساختاری، مشخصات دیواره غربی مانند موقعیت جغرافیایی، تعیین محدوده های مجاور، ویژگی های محیطی منطقه مورد مطالعه شامل توپوگرافی، مورفولوژی، گسل ها و...، تعیین مرزها و کلیه عوامل حاکم بر مکان‌یابی جامع مشخص گردید. شکل 1 محدوده مورد مطالعه (دیواره غربی که با رنگ آبی مشخص شده است) در معدن سرچشمه را نشان می دهد.



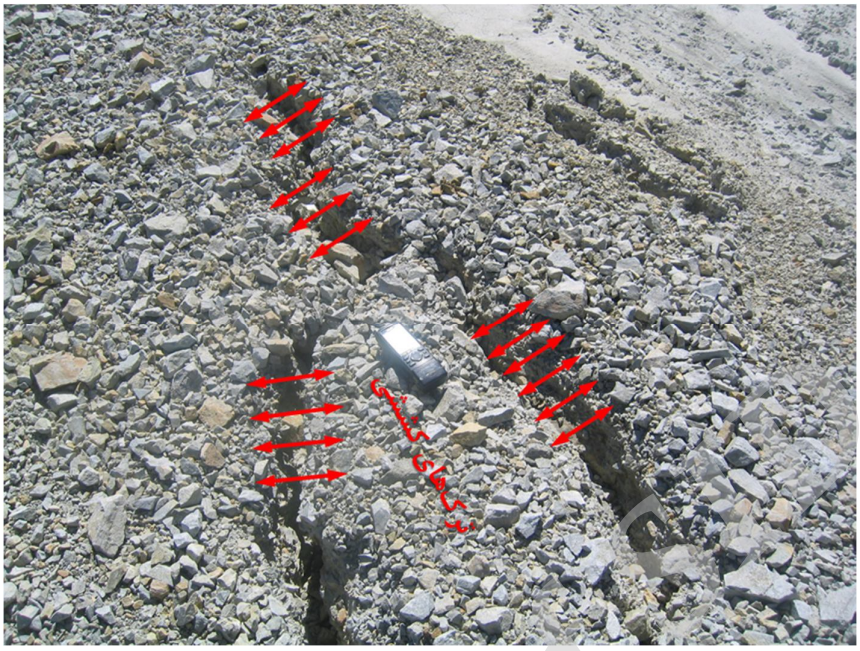
شکل1: محدوده مورد مطالعه در معدن مس سرچشمه

وجود ساختارهای متنوع ژئوتکنیکی در معدن مس سرچشمه، تشکیلات معدنی را از حالت یک توده متجانس خارج کرده و دشوار و پیچیده در تحلیل پایداری به وجود آورده است. بنابر این، شناخت این عوامل در قالب مطالعات ژئوتکنیکی اهمیت ویژه‌ای دارد. با استفاده از برداشت‌های صحرایی و بازدیدهای انجام شده، مشخص شد که از جمله مشکلات دیواره غربی، وجود ترک‌های کششی و فراهم شدن شرایط برای لغزش صفحه‌ای در پله‌های مختلف به خصوص افق 2550 است. شکل‌های شماره 2 و 3 وجود ترک‌های کششی و گسترش این ترک‌ها، برای فراهم آوردن شرایط لغزش و در نهایت شکل گرفتن لغزش صفحه‌ای را نشان می‌دهد.

در این تحقیق ابتدا بانک اطلاعات ژئوتکنیکی تهیه شده توسط گروه ژئوتکنیک معدن مورد بررسی قرار گرفت. نقشه‌های توپوگرافی، زمین‌شناسی، آلتراسیون، هیدروژئولوژی و نقشه‌های ژئومکانیکی حاصل از پارامترهای مختلف بر اساس سیستم مختصات محلی معدن تهیه شد. با استفاده از نرم افزار *AutoCAD* سیستم نقشه‌ها به سیستم مختصات جهانی مرکاتور(*UTM*) تبدیل شدند. سپس تراکم داده‌های ژئومکانیکی موجود بر روی دیواره غربی معدن مورد بررسی قرار گرفت، مشخص شد که داده‌ای موجود پوشش ضعیفی در دیواره غربی نشان می‌دهند. از این‌رو برداشت پارامترهای ژئومکانیکی مجدداً همراه با برداشت نقاط *GPS* در دیواره غربی معدن انجام

Archive of SID
www.SID.ir

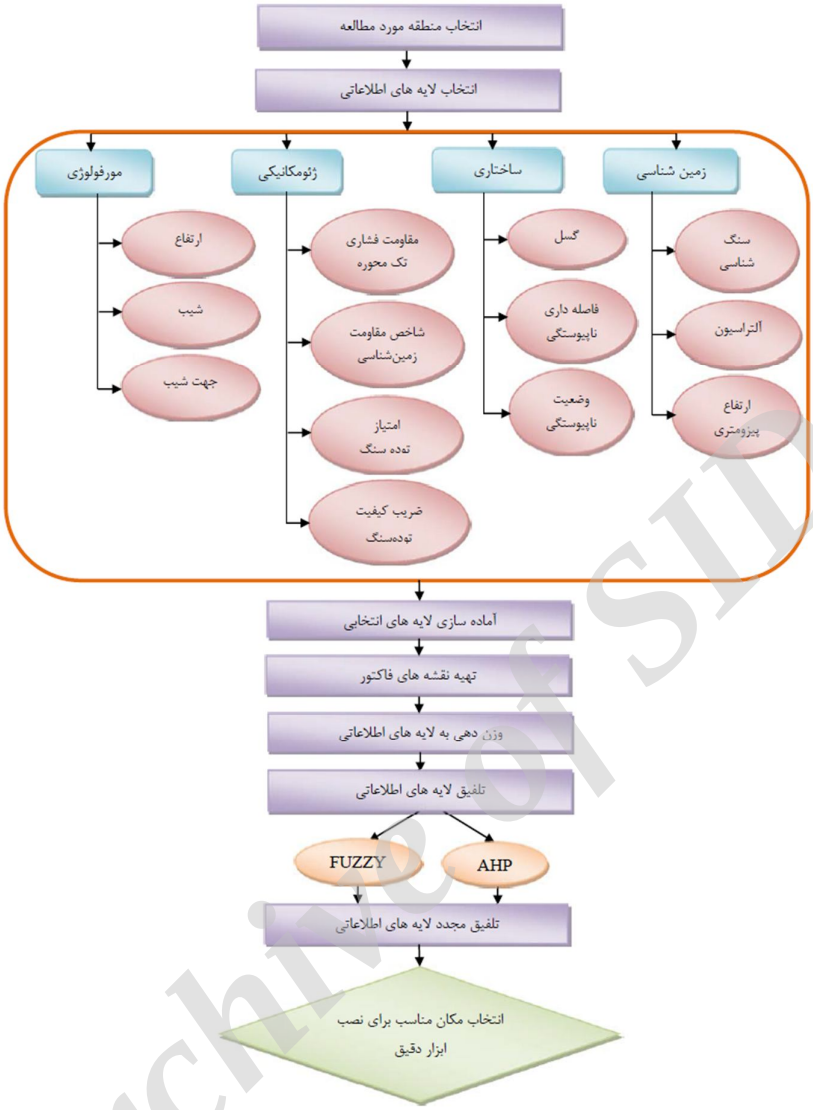
شد. نمودار مدل مکان‌یابی در این مطالعه در شکل 4 نمایش داده شده است.



شکل2: ترک‌های کششی در افق 2550 دیواره غربی

شکل3: لغزش صفحه‌ای در افق 2550 دیواره غربی

www.SID.ir



شکل4: مراحل انجام مکان‌یابی با استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی در معدن مس سرچشمه

3- مطالعه و آماده‌سازی مهم‌ترین پارامترهای زمین‌شناسی و ژئومکانیکی دیواره غربی

در این مرحله با استفاده از اطلاعات به دست آمده از مرحله شناخت، استفاده از تجربه کارشناسان و افراد متخصص و بررسی تجارب و تحقیقات انجام شده توسط دیگران در زمینه مکان یابی، عوامل موثر در مکان یابی فعالیت مورد نظر به همراه داده‌های مورد نیاز مربوط به این عوامل تعیین شد. همچنین تحلیل جامعی روی مجموعه پارامترها صورت گرفت، تأثیر هر یک از پارامترها روی دیگر پارامترها به طور همه جانبه مورد بررسی قرار گرفت. در ادامه نحوه آماده‌سازی داده ها برای ورود به مدل‌های *GIS* نیز به طور اجمالی بررسی شد. در این تحقیق پارامترهای تأثیرگذار بر اساس سازگاری و ناسازگاری این معیارها با هدف مورد نظر که مکان‌یابی محل نصب ابزار دقیق در دیواره غربی معدن مس سرچشمه بود تعیین شدند. این پارامترها در جدول 1 آورده شده‌اند. بررسی رفتار شیب با استفاده از رفتارنگاری، راهی مطمئن برای جلوگیری از ناپایداری احتمالی در دیواره شیب است. تعیین شیب پایدار و بهینه و تعیین مکان مناسب برای نصب ابزار دقیق مستلزم شناخت دقیق وضعیت زمین‌شناسی، اندیس‌های مقاومتی و پارامترهای ژئومکانیکی توده‌سنگ دیواره معدن

Archive of SID
www.SID.ir

است. شناخت این عوامل در قالب مطالعات ژئوتکنیکی اهمیت ویژه‌ای دارد. در این بخش، این عوامل به شرح زیر بررسی می‌شوند.

جدول1: مهم‌ترین پارامترهای زمین‌شناسی و ژئومکانیکی دیواره غربی معدن مس سرچشمه

پارامترها	سنگ‌شناسی	آلتراسیون	ارتفاع پیزومتری	گسل	فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها	ارتفاع
لایه اطلاعاتی	نقشه زمین‌شناسی بزرگ‌مقیاس معدن مس سرچشمه	نقشه دگرسانی بزرگ‌مقیاس معدن مس سرچشمه	نقشه خطوط هم پتانسیل سطح ایستابی معدن مس سرچشمه	نقشه ساختاری بزرگ‌مقیاس معدن مس سرچشمه	برداشت‌های صحرایی	نقشه توپوگرافی بزرگ-مقیاس معدن مس سرچشمه
ضوابط	روی مناطق دارای سنگ‌های ضعیف	روی مناطق با دگرسانی شدید	روی مناطق با نسبت سطح توپوگرافی به سطح آب زیرزمینی پایین	نزدیک به گسل‌ها	مناطق با امتیاز فاصله‌داری حداقل	ارتفاع پایین دست پیت

پارامترها	شیب	جهت شیب	شرایط سطح درزه	*RQD*	*RMR*	*GSI*	*UCS*
لایه اطلاعاتی	*DEM* منطقه	*DEM* منطقه	برداشت‌های صحرایی	برداشت‌های صحرایی	برداشت‌های صحرایی	برداشت‌های صحرایی	برداشت‌های صحرایی
ضوابط	شیب بیشتر	در جهت شیب ناپیوستگی‌ها باشد	مناطق با امتیاز شرایط سطح درزه حداقل	مناطق با امتیاز *RQD* حداقل	مناطق با *RMR* حداقل	مناطق با *GSI* حداقل	مناطق با امتیاز فشاری حداقل

3-1- مقاومت فشاری تک محوری

آزمایش تک محوری برای تعیین مقاومت فشاری ماده سنگ (*UCS*) طبق دستورالعمل انجمن بین‌المللی مکانیک‌سنگ معمولا بر روی نمونه‌های استوانه‌ای با نسبت ارتفاع به قطر برابر با 2 انجام می‌شود. اما در دیواره غربی معدن مس سرچشمه به دلیل آلتراسیون شدید سنگ‌های آندزیتی و دیگر سنگ‌های تشکیل دهنده دیواره، محدودیت تهیه نمونه سالم برای آزمایش تک‌محوره وجود داشت. از این رو با استفاده از چکش اشمیت و *GPS*، استحکام فشاری سطوح سنگی در نقاط مختلف دیواره برداشت گردید و با استفاده از روابط تجربی، مقاومت فشاری تک محوره ارزیابی شد. سپس به کمک *GIS* نقشه مقاومت فشاری تک‌محوره تعیین گردید.

3-2- شاخص مقاومت زمین‌شناسی

شاخص مقاومت زمین‌شناسی (*GSI*) در سال 1997 توسط هوک و براون برای طبقه‌بندی توده‌های سنگی معرفی شد[14]. این پارامتر از مشخصات ناپیوستگی‌ها به منظور تخمین مقاومت و تغییر شکل پذیری توده سنگ استفاده می‌کند. مقادیر *GSI* بر پایه توصیفات زمین شناسی توده سنگ بنا شده است. سیستم *GSI* بر روی دو فاکتور، ساختار و شرایط سطح بلوک تمرکز می‌کند. تعیین این پارامتر، مبتنی بر اطلاعات کیفی است و هنگام تعیین آن تا حدودی سلیقه شخصی نیز دخالت می‌کند. با توجه به موارد اشاره شده، در دیواره غربی معدن مس سرچشمه به دلیل کاهش شدید مقاومت در اثر آلتراسیون از شاخص مقاومت زمین‌شناسی که بیشتر بر اساس شرایط زمین‌شناسی است، استفاده شد.

3-3- ضریب کیفیت سنگ

Archive of SID

www.SID.ir

ضریب کیفیت سنگ(*RQD*) یک شاخص کمی برای ارزیابی کیفیت سنگ است که توسط دیر در سال 1964 ارائه شد[11]. *RQD* تنها یکی از پارامترهای موثر در تغییر شکل‌پذیری توده‌سنگ است، که به سادگی به دست می‌آید و جهت تخمین اولیه مدول توده سنگ مناسب است. نقشه این پارامتر بر اساس برداشت و تعیین فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها در طول پله‌های دیواره غربی تعیین شد.

3-4- امتیاز توده‌سنگ

امتیاز توده‌سنگ (*RMR*) توسط بینیاوسکی در سال 1973 ارائه شد که در بررسی رفتار توده‌سنگ مورد استفاده قرار می‌گیرد[11]. طبقه بندی ژئومکانیکی تلفیق ویژگی‌های توده‌سنگی شامل برداشت‌های صحرائی و آزمون‌های آزمایشگاهی را با هم در نظر می‌گیرد. مجموع اطلاعاتی که در این سیستم طبقه‌بندی در نظر گرفته می‌شود شامل شش پارامتر به شرح شاخص کیفیت توده‌سنگ *RQD*، فاصله ناپیوستگی‌ها، شرایط ناپیوستگی ها، شرایط آب، مقاومت تک‌محوری سنگ بکر *(UCS)* و موقعیت ناپیوستگی ها نسبت به سطح استخراج هست. نقشه امتیاز توده‌سنگ بر اساس برداشت‌های صحرایی در طول پله‌های دیواره غربی تعیین شد.

3-5- پارامترهای زمین‌شناسی و ساختاری

بررسی شرایط زمین‌شناسی معمولاً در مرحله اولیه طراحی انجام می شود. منطقه مورد مطالعه دارای ساختار زمین‌شناسی پچیده‌ای است. مهم‌ترین مواردی که در این راستا باید به آنها توجه شود عبارت از سنگ‌شناسی و منشأ آن، آلتراسیون، تعیین الگوی چین‌خوردگی، تعیین الگوی گسل‌ها و مناطق زلزله‌خیز، هوازدگی و بررسی امکان لغزش توده‌های خاکی و سنگی است. زیر معیارهای زمین شناسی و ساختاری مورد مطالعه در این تحقیق شامل موارد زیر است:

3-5-1- سنگ‌شناسی

سنگ شناسی می‌تواند یکی از عوامل مهم در ناپایداری شیب‌ها باشد. انواع سنگ‌های دربرگیرنده دیواره غربی معدن مس سرچشمه شامل آندزیت، گرانودیوریت و هورنبلند-دایک هستند. علاوه بر این، مواد واریزه‌ای و رسوبات نیز در منطقه مشاهده می‌شود.

3-5-2- آلتراسیون

در دیواره غربی معدن مس سرچشمه آلتراسیون تأثیر شدیدی بر مقاومت سنگ‌ها داشته است، به همین دلیل می‌توان گفت که آلتراسیون یکی از پارامترهای اصلی در تحلیل پایداری شیب است. نقشه آلتراسیون معدن با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی تهیه شد.

3-5-3- نسبت سطح توپوگرافی به سطح آب زیرزمینی

آب زیرزمینی یکی از عوامل مهم و تعیین‌کننده در ناپایداری شیب‌های سنگی وخاکی است. بعد از تهیه نقشه سطح آب زیرزمینی معدن با استفاده از داده‌های هیدروژئولوژی و نقشه توپوگرافی معدن و با استفاده از داده‌های نقشه‌برداری، نقشه نسبت سطح توپوگرافی به سطح آب زیرزمینی تعیین شد.

3-5-4- وضعیت ساختاری

در مکان‌یابی محل نصب ابزار دقیق باید به حریم گسل ها توجه کرد. گسل ها علاوه بر اینکه در پهنه گسلی موجب افزایش تراوایی سنگ بستر می‌شوند به علت ناپایداری‌هایی که ممکن است به وجود آورند، از مناطق حساس محسوب می شوند. تاثیر گسل بر روی مقادیر جابجایی در توده‌سنگ توسط ابزار قابل اندازه‌گیری است. نقشه ساختاری و زیر معیارهای مرتبط با آن شامل گسل، فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها و وضعیت ناپیوستگی‌ها با استفاده از داده‌های زمین‌شناسی و ژئوتکنیک معدن و برداشت‌های سطحی در طول پله‌های معدن تهیه شد.

3-5-5- پارامترهای مورفولوژی

تعیین توپوگرافی محل معدن به دلیل موثر بودن بر نوع عملیات معدنکاری، طراحی زهکش‌ها و نوع تجهیزات مورد نیاز در نصب ابزار دقیق مهم است. به کارگیری اطلاعات حاصل از نقشه‌های توپوگرافی و عکس‌های هوایی برای انتخاب محل مناسب نصب ابزار دقیق، به خصوص در مناطق کوهستانی لازم است. درتعیین مکان نصب ابزار دقیق معمولاً مناطق نزدیک به پاشنه شیب از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. جهت شیب ناپیوستگی‌ها نیز از عوامل مورد بررسی و تعیین کننده در تحلیل ناپایداری و محل نصب ابزاردقیق هست. از این رو زیر معیارهای گروه مورفولوژی شامل ارتفاع، شیب و جهت شیب خواهد بود.

Archive of SID

www.SID.ir

4- روش مورد استفاده و فرایند تحلیل

فرآیند تحلیل سلسله مراتبی (*AHP*)[3] یکی از معروف‌ترین فنون تصمیم‌گیری چند معیاره است که توسط توماس اِل ساعتی در دهه 1980 ابداع گردید. این روش هنگامی که عمل تصمیم‌گیری با چند گزینه و شاخص تصمیم‌گیری روبرو است، می‌تواند مفید باشد. شاخص‌ها می‌توانند کمی و یا کیفی باشند. اساس این روش بر فرایند مقایسه زوجی نهفته است. استفاده موفق از روش‌های کمی می‌تواند منجر به راه‌حل‌های دقیق، قابل اطمینان و اقتصادی با صرف زمان معقول شود. در این میان *AHP* پاسخی به نیاز بشر برای بررسی مسائل کیفی است که معیاری برای اندازه‌گیری ندارند و همواره در تصمیم‌گیری‌های ما همراه مسائل کمی ظاهر می‌شوند. این روش همچنین پیچیدگی‌های ناشی از تاثیر عوامل مختلف بر مسئله را با تمرکز مرحله به مرحله بر این عوامل و سپس ترکیب کردن نتایج این بررسی‌ها حل می‌کند. در واقع *AHP* یک مسئله چند بعدی را به یک مسئله یک بعدی تبدیل می‌کند و تصمیم‌گیری‌های پیچیده را قابل فهم و مقایسه می‌نماید. بنای فرآیند تحلیل سلسله مراتبی مقایسه‌های زوجی است. این روش این امکان را می‌دهد که مسایل کیفی را که واحدی برای اندازه‌گیری آنها وجود ندارد، مورد ارزیابی قرار گیرد و بتوان آنها را با مسائل کمی مقایسه و ترکیب نمود[15-17].

فرایند *AHP* شامل 4 گام زیر است[18]:

1- ساختن درخت سلسله مراتبی تصمیم‌گیری
2- مقایسه‌های زوجی
3- محاسبه وزن معیارها و ترکیب وزن‌ها
4- محاسبه نسبت سازگاری(*CR*)

فرایند تحلیل سلسله مراتبی، نیازمند شکستن مساله تصمیم با چندین شاخص به سلسله مراتبی از سطوح است. بدین منظور از درخت تصمیم استفاده می‌شود که از چهار سطح تشکیل شده است. سطح اول شامل هدف کلی از تصمیم‌گیری است. در سطح دوم معیارهای کلی قرار دارند که تصمیم‌گیری بر اساس آنها صورت می‌گیرد. در سطح سوم زیرمعیارها قرار می‌گیرند و در آخرین سطح نیز گزینه‌های تصمیم که در اینجا شاخص‌های مکان‌یابی محل نصب ابزاردقیق هستند، مطرح می‌شوند. درفرآیند تحلیل سلسله مراتبی جهت وزندهی معیارها و گزینه‌ها از روش مقایسه زوجی استفاده می‌شود. به این ترتیب که تصمیم گیرنده، معیارها و زیرمعیارهای هر معیار را فقط به صورت دو به دو مقایسه می‌کند و نیازی به وزن‌دهی همزمان تمام معیارها وجود ندارد. در این روش، وزن نسبی عناصر از طریق مقایسه زوجی هر سطح نسبت به عنصر مربوطه در سطح بالاتر تعیین می‌گردد. با محاسبه وزن عناصر هر سطح نسبت به سطح بالایی خود از طریق مقایسه زوجی و در نهایت تلفیق وزن‌های نسبی، وزن نهایی هر گزینه محاسبه می‌شود. پس از این که متغیرها دو به دو با هم مقایسه شدند، مرحله بعد استخراج وزن متغیرها است. در اینجا نیز ماتریسی تشکیل می‌شود و به صورت زوجی متغیرها در ماتریس ارزش‌دهی می‌شوند. پس از نرمال سازی اعداد، متوسط مربوط به ردیف‌های ماتریس، در واقع وزن متغیرها را نمایش می دهند که از فرمول زیر قابل محاسبه هستند.

$$W_i = \frac{\sum_{j=1}^{n} n_{i.j}}{n} \qquad (1)$$

سپس، وزن‌های بدست آمده در اعداد اولیه ماتریس ضرب می‌شوند که حاصل آن و میانگین‌گیری از این وزن‌ها مقدار λ به دست می‌آید. اگر مقدار λ به n نزدیک باشد، بیانگر پایایی[4] است. در روش ماتریس زوجی در واقع به نوعی مقدار ویژه[5] محاسبه می‌شود. در این روش علاوه بر محاسبه وزن متغیر، ضریب دیگری نیز به دست می‌آید که به عنوان شاخص سازگاری (*CI*)[6]، معرفی می‌شود. محاسبه *CI* نیز بر مبنای این واقعیت است که λ همیشه بزرگتر یا مساوی تعداد معیارهای تحت بررسی(n) است و $\lambda = n$ در صورتی است که ماتریس مقایسه دو تایی یک ماتریس کاملا سازگار باشد. بنابراین $\lambda - n$ می‌تواند ملاکی برای میزان توافق یا سازگاری در نظر گرفته شود که نرمال‌سازی آن از طریق رابطه زیر انجام می‌شود.

$$CI = \frac{\lambda - n}{n-1} \qquad (2)$$

عبارت *CI* که از آن به عنوان " شاخص سازگاری" نام برده می‌شود در واقع می‌تواند معیاری برای محاسبه میزان انحراف از سازگاری نسبی باشد. نسبت سازگاری[7] می‌تواند به صورت زیر به دست آید:

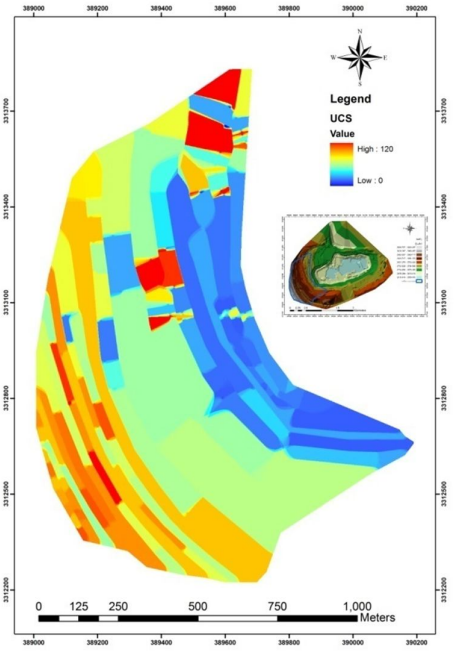
$$CR = \frac{CI}{RI} \qquad (3)$$

Archive of SID
www.SID.ir

اگر عدد حاصله کمتر یا مساوی *0.1* باشد ($CR \leq 0.1$)، قابل قبول بوده و نشان دهنده وضعیت خوب است[17].

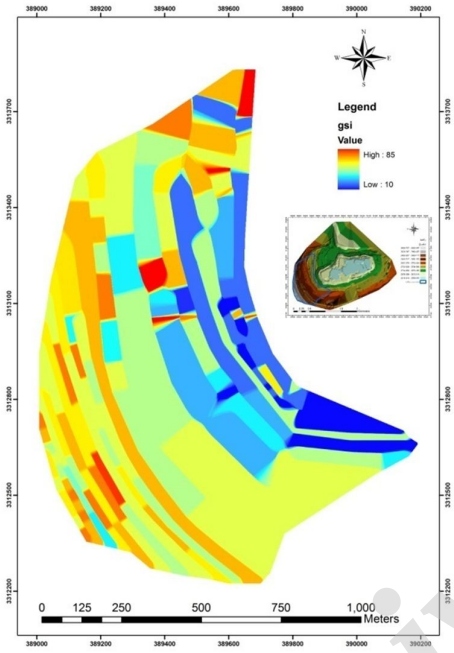
5- بحث و نتایج

با استفاده از برداشت‌های صحرایی و اطلاعات موجود در معدن، نقشه هر یک از پارامترها تهیه و رقومی‌سازی شد. سپس رده‌های پارامترهای مورد استفاده به تناسب اهمیت هر پارامتر در مکان‌یابی محل نصب ابزار دقیق در دیواره غربی معدن مس سرچشمه رتبه‌بندی و بدون بعد شدند. نقشه های تهیه شده برای مهم‌ترین پارامترهای زمین‌شناسی و ژئومکانیکی در شکل‌های 5 تا 13 آورده شده است. تاثیر هر پارامتر در انتخاب محل مناسب برای نصب ابزاردقیق بر اساس تغییرات رنگ بر روی نقشه‌ها مشخص شده است. شکل 5 در حقیقت نقشه مقاومت تک محوره است که با استفاده از داده‌های چکش اشمیت و تبدیل آنها به ترام تک محوره به دست آمده است و دارای مقدار عددی بین 0 تا 120 مگاپاسکال است. رنگ‌های آبی نشان دهنده مقاومت پایین و رنگ‌های قرمز معرف مقاومت بالا هستند. با توجه به هدف نصب ابزار دقیق، مناطق با مقاومت پایین دارای اهمیت بیشتر بوده و امتیاز بیشتر می‌گیرند که در نقشه فاکتور جهت تلفیق لایه‌ها باید در نظر گرفته شود.



شکل5: نقشه تغییرات مقاومت فشاری تک محوره سنگ

شکل‌های 6، 7 و 8 مربوط به سیستم‌های طبقه‌بندی *GSI*، *RQD* و *RMR* است. مقدار امتیاز مربوط به هر کدام از این پارامترها در کنار نقشه‌ها به صورت نوار رنگی نشان داده شده است. در این شکل‌ها نیز مناطق با مقادیر پایین‌تر این پارامترها برای نصب ابزار اهمیت بیشتری دارند که در نقشه فاکتور جهت تلفیق لایه‌ها باید در نظر گرفته شود.

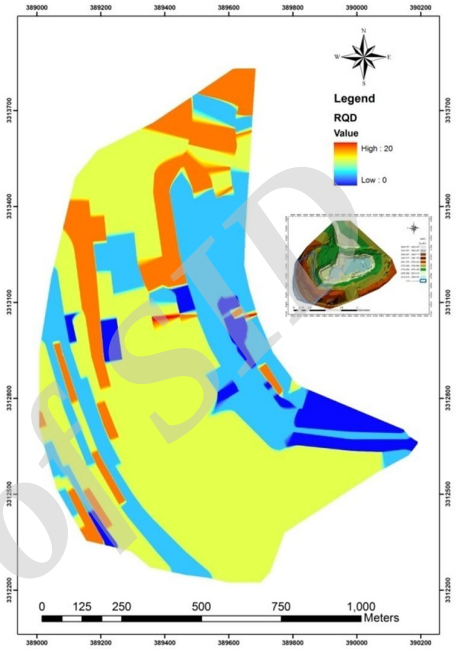


شکل6: نقشه تغییرات شاخص مقاومت زمین‌شناسی

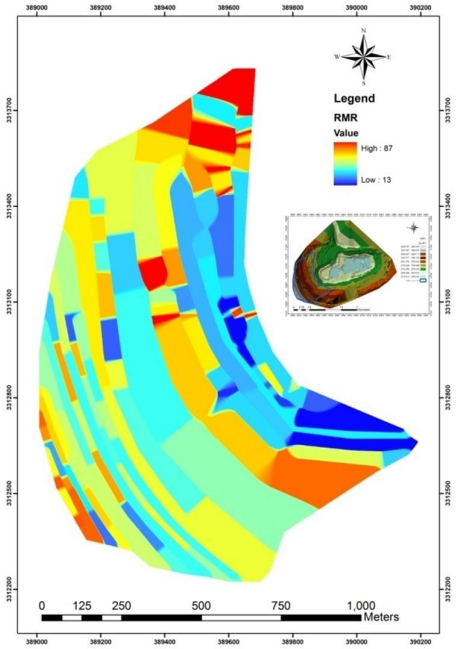
شکل 9 و 10 مربوط به نقشه زمین شناسی و آلتراسیون است. با توجه به جنس سنگ و آلتراسیون مقاومت سنگ‌ها نیز تغییر می‌کند و در این نقشه‌ها نیز مناطق ضعیف، دارای اهمیت بیشتری هستند. شکل 11 نقشه نسبت سطح توپوگرافی به سطح آب زیرزمینی است. این نقشه از تقسیم تراز سطح توپوگرافی کاواک بر سطح آب زیزمینی حاصل شده است. هر چه این نسبت کمتر باشد، یعنی سطح آب زیزمینی به سطح زمین نزدیک‌تر است. با توجه با کاهش تنش موثر فعال نمودن مکانیزم‌های لغزش در درزه‌ها جهت نصب ابزار دقیق امتیاز بیشتر می‌گیرد که در نقشه تلفیق لایه‌ها باید در نظر گرفته شود. شکل 12 در حقیقت نقشه بافر گذاری شده از نقشه گسل‌ها است، در این نقشه با توجه به منطقه تاثیر گسل با نزدیک شدن به آن خطر بیشتر می‌شود، در نتیجه با نزدیک شدن به گسل، امتیاز جهت نصب ابزار بیشتر می‌شود. شکل

Archive of SID
www.SID.ir

13 نقشه ارتفاع پله‌ها در معدن را نشان می‌دهد. در این نقشه پله‌ها با ارتفاع بیشتر برای لغزش مستعد ترند، لذا هر چه ارتفاع پله بیشتر باشد، امتیاز بیشتری جهت نصب ابزار دارد که در نقشه فاکتور جهت تلفیق لایه ها باید در نظر گرفته شود.

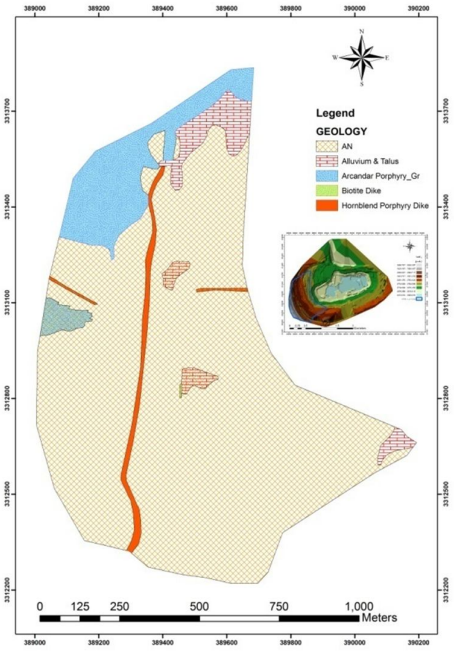


شکل7: نقشه تغییرات ضریب کیفیت سنگ

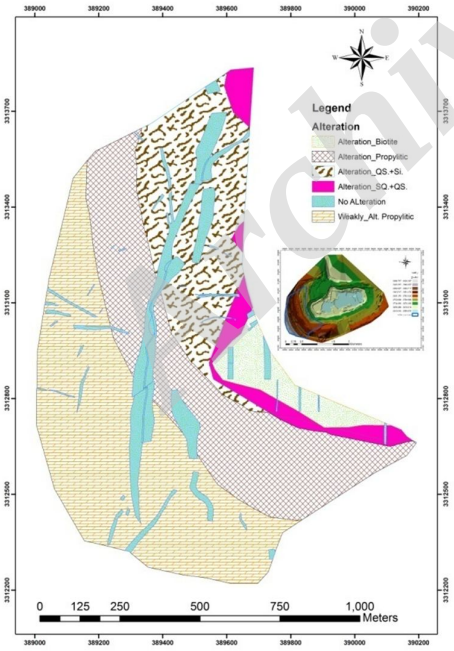


شکل8: نقشه امتیاز توده سنگ

مقایسه بین شکل‌های 5 تا 8 که معرف پارامترهای ژئومکانیکی هستند، نشان می‌دهد که سازگاری خوبی در معرفی مناطق ضعیف توسط این پارامترها وجود دارد.



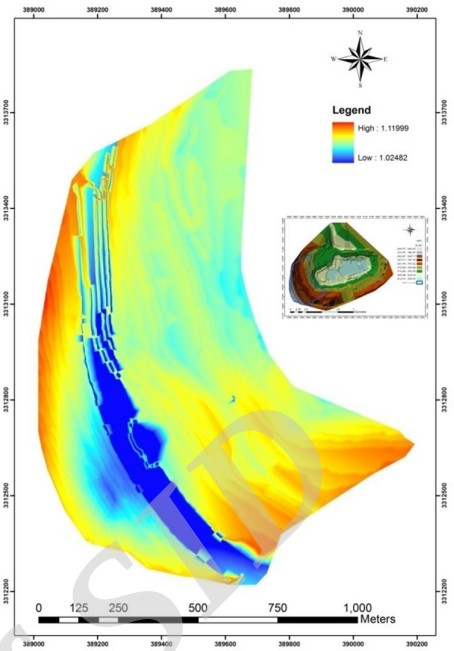
شکل9: نقشه زمین شناسی محدوده مورد مطالعه



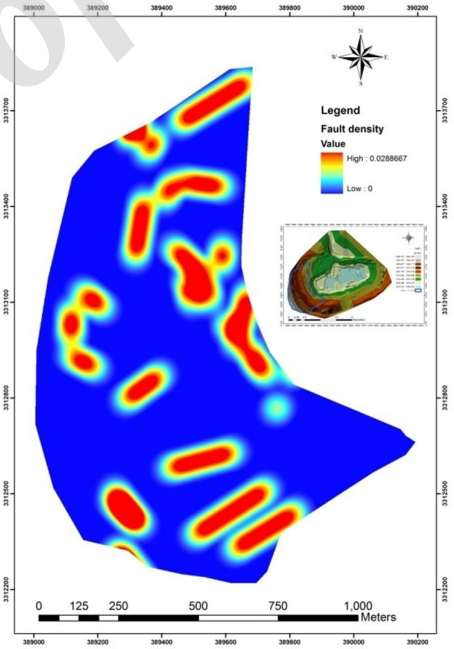
شکل 10: نقشه تغییرات آلتراسیون

Archive of SID

www.SID.ir

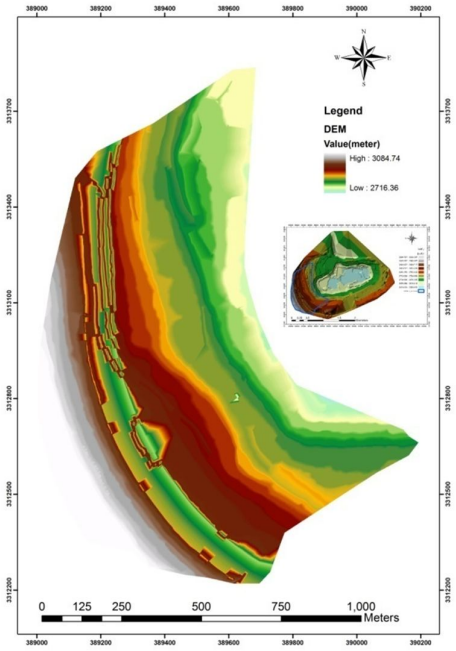


شکل 11: نقشه نسبت سطح توپوگرافی به سطح آب زیرزمینی



شکل12: نقشه تراکم گسل‌ها

البته باید گفت که تبدیل این پارامترها به نقشه، به عنوان یک ایده جدید در خصوص تهیه نقشه ژئومکانیکی منطقه مورد مطالعه کار بسیار پیچیده‌ای بود. با توجه به اینکه *RMR* و *GSI* شامل پارامترهای فاصله‌داری درزه است، این نکته مورد توجه قرار گرفته است. سیستم های *GSI* و *RMR* زیرگروه‌های توده‌سنگ است که خواص درزه ها را در بر می‌گیرد. با توجه به وجود گسل در منطقه، پارامترهای فاصله‌داری و جهت‌شیب و سطح ناپیوستگی‌ها مربوط به گسل‌ها بوده و در گروه ساختاری است.



شکل13: نقشه نقاط ارتفاعی

بعد از رتبه‌بندی پارامترهای مورد استفاده، ماتریس مقایسه زوجی برای معیارهای اصلی و زیرمعیارها بر اساس مشاهده، تجربه و استفاده از نظر متخصصین تشکیل شد. همزمان با وزن‌دهی به مجموعه‌ها، تجزیه و تحلیل ناسازگاری و قضاوت‌ها صورت گرفت و مشخص شد که نسبت توافق برای همه موارد زیر *0.1* بود، در نهایت وزن و اهمیت معیارها با استفاده از نرم‌افزار *Expert choice* تعیین گردید. ماتریس مقایسه زوجی به روش *AHP* برای معیارهای اصلی و زیرمعیارها در جداول 2 تا 5 آورده شده است. جدول 6 وزن‌های محاسبه شده با استفاده از روش ساعتی برای مهم‌ترین پارامترهای انتخاب شده را نشان می‌دهد.

پس از اعمال وزن‌های مربوطه، نقشه نهایی اولویت بندی محل‌های مناسب برای نصب ابزار دقیق با استفاده از روش *AHP* تهیه شد. ترکیب این لایه‌ها در این روش با استفاده از *RASTER CALCULATOR* در نرم افزار *ARCMAP* انجام شد.

Archive of SID
www.SID.ir

جدول2: ماتریس مقایسه زوجی به روش *AHP* برای معیارهای اصلی

معیارهای کلی مکان‌یابی محل نصب ابزار	زمین‌شناسی	ساختاری	ژئومکانیکی	مورفولوژی
زمین‌شناسی	1	3	1/5	5
ساختاری	1/3	1	1/7	3
ژئومکانیکی	5	7	1	9
مورفولوژی	1/5	1/3	1/9	1

جدول3: ماتریس مقایسه زوجی به روش *AHP* برای زیرمعیارهای گروه زمین‌شناسی

زیر معیارهای گروه زمین‌شناسی	سنگ‌شناسی	آلتراسیون	پیزومتری
سنگ شناسی	1	1/3	3
آلتراسیون	3	1	5
پیزومتری	1/3	1/5	1

جدول4: ماتریس مقایسه زوجی به روش *AHP* برای زیرمعیارهای گروه ساختاری

زیر معیارهای گروه ساختاری	گسل	وضعیت سطح گسل	فاصله‌داری گسل
گسل	1	7	5
J.C.	1/7	1	3
J.S.	1/5	1/3	1

جدول5: ماتریس مقایسه زوجی به روش *AHP* برای زیرمعیارهای گروه ژئومکانیکی

زیر معیارهای گروه ژئومکانیکی	*GSI*	*RMR*	*RQD*	*UCS*
GSI	1	3	9	7
RMR	1/3	1	7	5
RQD	1/9	1/7	1	1/3
UCS	1/7	1/5	3	1

جدول6: وزن‌های محاسبه شده با استفاده از روش ساعتی

پارامترها	سنگ شناسی	آلتراسیون	ارتفاع پیزومتری	گسل	فاصله‌داری ناپیوستگی‌ها	ارتفاع	شیب	جهت شیب	شرایط سطح درزه	*RQD*	*RMR*	*GSI*	*UCS*
وزن هر پارامتر	0/052	0/129	0/021	0/046	0/017	0/003	0/033	0/008	0/007	0/027	0/190	0/383	0/055

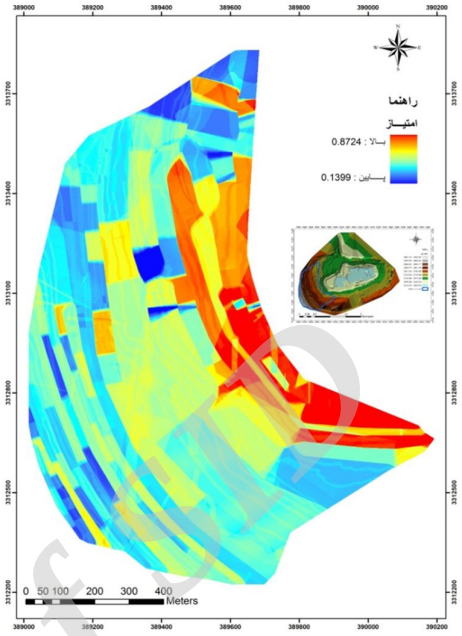
شکل14 مناطق مطلوب برای نصب ابزار دقیق به روش تحلیل سلسله مراتبی را نشان می‌دهد. در این نقشه مناطق با امتیاز بالا مناطق مطلوب برای نصب ابزار دقیق هستند. عمده مناطق مطلوب در نقشه در افق‌های پایین‌تر دیواره غربی پیشنهاد شده‌اند که با توجه به بررسی‌های انجام شده در منطقه مورد مطالعه می‌توان به صحت این نتایج پی برد. در افق‌های بالاتر نیز مناطق مستعدی مشخص شده است که دارای ریزش‌های موضعی در دیواره هستند.

6- نتیجه‌گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که انتخاب محل مناسب برای نصب ابزار دقیق نقش مهمی در مطالعه رفتار

Archive of SID
www.SID.ir

توده‌های سنگی و خاکی و شناسایی ناپایداری در معادن روباز دارد.



شکل14: مناطق مطلوب مشخص شده برای نصب ابزار دقیق به روش تحلیل سلسله مراتبی

در این تحقیق مشخص شد که مهمترین معیارهای تعیین کننده در انتخاب محل مناسب برای نصب ابزار شامل خواص ژئومکانیکی، پارامترهای زمین‌شناسی، وضعیت ساختاری و مورفولوژی منطقه مورد مطالعه است.

انتخاب معیارهای فوق تعداد لایه‌های اطلاعاتی تصمیم گیران را به سمت سامانه ای سوق می‌دهد که علاوه بر دقت بالا، از نظر سرعت‌عمل و سهولت انجام عملیات نیز در حد مطلوبی باشد. به علت قابلیت بالای سامانه اطلاعات جغرافیایی در مدیریت و تحلیل لایه‌ها، می‌توان از این سامانه برای مکان‌یابی محل نصب ابزار دقیق استفاده کرد.

بر اساس مقایسه زوجی پارامترها، مهم‌ترین عوامل، پارامتر های شاخص مقاومت زمین‌شناسی، امتیاز توده سنگ و آلتراسیون تشخیص داده شدند.

به منظور کنترل ناپایداری و مشاهده تاثیر حفاری بر جابجایی و تغییرشکل‌پذیری توده‌سنگ، عمده مناطق مطلوب جهت نصب ابزار دقیق در نقشه *AHP* در افق‌های پایین دیواره غربی پیشنهاد شده است.

مراجع

[1] Jami, M. and Girard, P.E; (2001); Assessing and monitoring open pit mine high walls. National Institute for Occupational Safety & Health, Spokane Research Laboratory, C.M.S.P.

[2] Read, J.and Stacey, P; (2009); Guidelines for open pit slope design. CSIRO Publishing.

[3] Sugawara, K., D. Fukahori, L. Faramarzi and N. Nakamura; (2003); High-resolution tilt monitoring for slope stability assessment in limestone quarry. Proc. of the 1st Kyoto Int. Sym. on Underground Environment (keynote lecture), 51-62, Japan.

[4] Shimizu, N; (2009); Displacement measurements using Global Positioning System for rock movements-Fundamentals, new developments and practical applications. Proc. Korea-Japan Joint Symposium on Rock Engineering, 17-43.

[5] Nakashima, S., Kawasaki, H., Kubota, S., Nakano, T. & N. Shimizu; (2012); Measurement of exterior deformation of an earth-filled dam using GPS displacement monitoring system. 12th ISRM International Congress on Rock Mechanics, Taylor & Francis, 1069-1072.

[6] N. Shimizu, T. Masunari, T. Iwasaki; (2012); GPS displacement monitoring system for the precise measuring of rock movements, 12th ISRM International Congress on Rock Mechanics, Taylor & Francis, 1117-1120.

[7] Dey, P. K., & Ramcharan, E. K; (2008); Analytic hierarchy process helps select site for limestone quarry expansion in Barbados. Journal of Environmental Management, 88(4), 1384-1395.

[8] Mathew, J.C.M; (2001); Suitable site identification for constructing high rise residential Building using GIS – A case study of Thiruvananthapuram city. GIS@Development, Centre for Spatial Data Management Systems. Noida.

[9] Tavares, G., Zsigraiová, Z., & Semiao, V; (2011); Multi-criteria GIS-based siting of an incineration plant for municipal solid waste. Waste management, 31(9), 1960-1972.

[10] Yogarajan N; (2002); Check dam site selection using GIS approach. Advance in Space Research. Vol. 13, 123-127.

[11] Anbalagan, R; (1997); Landslide hazard evaluation and zonation mapping in mountainous terrain. Engineering Geology vol. 32, 269- 277.

[12] Behkav Hamkar Co.; (2010) Sarcheshmeh final exploration report, National Iranian Copper Industries Co. Sarcheshmeh copper mine complex (in Persian).

Archive of SID
www.SID.ir

[13] Mousavi M., Yarahmadi A., Bakhshi H; (2009); 3D Numerical slope stability analysis of west wall of Sarcheshmeh mine utilizing a Distinct Element Method. Journal of the college of the engineering. Vol. 43 (3), 311-323 (in Persian).

[14] Hoek, E., Brown, E.T; (1997); Practical estimates of rock masses strength. Int. Jr. Rock Mech. and Min. Sci., Vol. 34, (8), 1165-1186.

[15] Boroushaki, S., Malczewski, J; (2008); Implementing an extension of the analytical hierarchy process using ordered weighted averaging operators with fuzzy quantifiers in ArcGIS. Computers & Geosciences 34, 399- 410.

[16] Linkov, I., Satterstrom, F.K., Steevens, J., Ferguson, E., Pleus, R.C; (2007); Multi- criteria decision analysis and environmental risk assessment for nanomaterials. Journal of Nanoparticle Research 9, 543-554.

[17] Saaty, T.L; (1980); The analytic hierarchy process: planning, priority setting, resource allocation. McGraw-Hill.

[18] Lee, A.H.I., Chen, W.C., Chang, C.J; (2008); A fuzzy AHP and BSC approach for evaluating performance of IT department in the manufacturing industry in Taiwan. Expert Systems with Application 34.

1- National Institute for Occupational Safety and Health
2- Cape Verde
3- Analytical Hierarchy Process
4- Consistency
5- Eigen Value
6- Consistency Index
7- Consistency Ratio

Archive of SID
www.SID.ir

Instrumentation Locating in the Western Wall of Sarcheshmeh Copper Mine Using GIS

A. Shamsadini Fard[1], L. Faramarzi[2*], R. Bagherpour[3], M. Asadipour Maybodi[4]
1- MSc. Student in Mining, Dept. of Mining, Isfahan University of Technology, Iran
2- Assistante Professor, Dept. of Mining, Isfahan University of Technology, Iran
3- Associate Professor, Dept. of Mining, Isfahan University of Technology, Iran
4- Sarcheshmeh Copper Mine Complex, Kerman, Iran

* Corresponding Author:lfaramarzi@cc.iut.ac.ir
(Received: April 2015, Accepted: March 2016)

Keywords
Instrumentation
Slope Stability
Locating
Geographic Information System (GIS)
Analytical Hierarchy Process (AHP).

English Extended Abstract

Summary

The instruments locating has influence on cost-utility and mining operations. Monitoring rock deformations is important in assessing the stability of rock structures. The instrumentation system enables high precision assessment of strains and displacements.

Nowadays, stability of slope in advanced countries is controled by high-resolution tools and methods for monitoring data evaluation assist in the continuous interpretation of the behavior of ground and support interaction. Instruments can provide early warning of impending failures, allowing time for safe evacuation of the area and time to implement remedial action. Safety monitoring requires quick retrieval, processing, and presentation of data, so that decisions can be made promptly.

Introduction

Sarcheshmeh copper mine with the area of about 3.6 square kilometers, now the stability of western wall is currently an important problem. From the reasons mentioned above, the authors proposed that monitoring is the best applicable method to monitor stability of western wall of Sarcheshmeh copper mine.

Monitor of the stability of western wall, can detect shear zones and help determine whether shear is planar or circular. It is possible to determine whether movement is constant, accelerating, or slowing.

Methodology and Approaches

For the stability control of western wall, according to the wall geometry, rock type, geology conditions and the strength properties of rock masses and discontinuities, installing the instruments is the most appropriate way to control stability of this slope. Such technologies improve our ability to solve many problems in geo-science and geo-engineering.

In this paper, In order to locate a suitable location for installing the instrument, the geographic information system (GIS) was used. For selection of the useful location for instrument, the geological conditions, the structural and hydrogeological properties of the rock masses are collected and then converted in to photo maps. Then, the analytical hierarchy process (AHP) and fuzzy logic methods were used. Important geological and geomechanical parameters such as lithology, alteration, piezometer level, faults, discontinuities condition, spacing, geological strength index, rock mass rating the quality of rock, uniaxial compressive strength, elevation, dip and dip direction of slope at different level of mine were evaluated and then the GIS photo maps of each parameter prepared.

Results and Conclusions

Each layer for every parameter was georeferenced. Using the rating considered for each parameter by AHP method the reclassification of layers by ArcGIS9.3 software was done. The data layers were integrated using fuzzy method. An appropriate photo map for installation of the instrument in west wall of mine was produced. Finally, after field survey, several areas were identified and proposed for further investigation.

Cite This Paper:

Shamsadini Fard, A., Faramarzi, L., Bagherpour, R., Asadipour Maybodi, M., (2015). "Instrumentation Locating in the Western Wall of Sarcheshmeh Copper Mine Using Gis" Journal of Analytical and Numerical Methods in Mining Engineering **5**(10): 27-40.

Archive of SID

www.SID.ir