تحلیل پایداری نهایی دیواره شمال باختری معدن چادرملو با استفاده از روشهای تجربی، تحلیلی و عددی

نوشته: آرش افشاریان* ، یاسر نعیمی و محمد عطایی*****

* شرکت مهندسی کانی‌کاوان شرق، تهران، ایران **گروه مکانیک سنگ دانشگاه تربیت مدرس؛ شرکت مهندسی کانی‌کاوان شرق

***دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

Overall Slope Stability Analysis of Chadormalu Iron Mine(North Western Wall) by using Empirical, Analytical & Numerical Methods

By: A. Afsharian* , Y. Naeimi & M. Ataei*****

*Kanikavan Shargh Co.,Tehran, Iran **Rock Mechanic Group, Tarbiat Modarres University; Kanikavan Shargh Co.,Tehran, Iran ***Shahroud University of Technology, Shahroud, Iran

تاریخ دریافت: ۱۳۸۵/۱۲/۰۲ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۶/۰۴/۳۰

چکیده

امروزه مبحث پایداری شیب یکی از پارامترهای اصلی و تعیین‌کننده در اقتصاد و ایمنی معادن روباز است. اختصاص یک شیب برای کل دیواره‌های معدن در بیشتر معادن درست نیست چرا که دیواره‌های معدن معمولاً از مصالح مختلف و با شرایط ساختاری متفاوتی تشکیل شده‌اند و بنابراین، باید طراحی شیب پس از تعیین پارامترهای ژئوتکنیکی، سنگ شناسی مختلف و مشخص‌شدن محدوده‌های ژئوتکنیکی گودال معدن (پیت) تعیین شود. در این پژوهش، با استفاده از روشهای MRMR، روش بیشاپ (نرم افزار SlopeW 2004) و روش عددی (نرم افزارFlac 4.0) و مقایسه نتایج آنها، شیبهای بهینه برای دیواره نهایی معدن به‌دست آمده است. بدین منظور با تهیه نقشه زمین‌شناسی و زمین‌ساخت معدن، حفر ۵ حلقه گمانه ژئوتکنیکی به طول ۱۰۴۹/۱۰ متر در اطراف گودال، برداشت مغزه‌های حاصل (ثبت حدود ۱۳۰۰۰۰ ویژگی)، تهیه نمودار ژئوتکنیکی گمانه‌ها، نمونه‌گیری از مغزه‌های به دست آمده و انجام آزمایشهای مکانیک سنگ بر روی نمونه‌ها و همچنین برداشتهای سطحی، گودال معدن چادرملو به پنج محدوده ژئوتکنیکی تقسیم شد که تفکیک ۵ محدوده ژئوتکنیکی در معدن بر اساس۱- سنگ شناسی و ساختار، ۲- جهت‌یابی دیواره‌های گودال و ۳- شرایط، کیفیت و امتیاز توده‌سنگ، صورت گرفته است.

در این مقاله، پایداری نهایی دیواره شمال‌باختری معدن (محدوده ۴ ژئوتکنیکی) مورد بررسی قرار خواهد گرفت. دلیل انتخاب محدوده ۴ ژئوتکنیکی، نهایی‌شدن بخش زیادی از این دیواره و حائز اهمیت‌بودن آن از لحاظ موقعیت و دسترسی از این دیواره به دامپها و محدوده‌های ۲ و ۳ است.

این محدوده از سنگهای متاسوماتیت، آلبیت متاسوماتیت و ماده معدنی تشکیل شده است. ساختار محدوده با گسلهای نازک پرشیب با جابه‌جایی زیاد که در برخی موارد سنگ‌آهک برشی دیده می‌شود، مشخص شده است. گفتنی است از ۵ حلقه گمانه ژئوتکنیکی، ۱ حلقه گمانه به ژرفای ۲۰۸ متر در این محدوده حفر شده است. برای این محدوده مقطع ژئوتکنیکی همراه با مقاطع زمین‌شناسی به روز شده تهیه شد. نتایج مدل‌سازی و مطالعات نشان داد که شیب نهایی این محدوده می‌تواند از ۵۲ درجه به ۶۰ درجه افزایش یابد.

کلید واژه‌ها: شیب نهایی، معدن چادرملو، محدوده ژئوتکنیکی، گمانه ژئوتکنیکی.

Abstract

Slope **s**tability studies is one of the most considerable parameter of safety and economical factors of open pits. Because the pit walls usually consist of different characteristics of lithology and structure, using only one slope for all walls is not

enough and reasonable.
So they need carefull geological and geotechnical studies to determine the geotechnical limits of the pit.
By using MRMR methods, SlopeW 2004 and FLAC 4.0 softwares and comparing the results,optimum slopes for North western wall of Chadormalu Iron mine have been calculated.
On the basis of all available data,the following geotechnical domains have been distinguished for North western wall of Chadormalu Iron mine:
• Lithology and Structure
• Pit Wall Orientation
• Rock Mass Rating and conditions
North western open pit wall is bounded by metasomatite, albite metasomatite, and ore. The structure of this domain is distinguished by steep normal faults with great displacement and brecciate limestone.The results of geotechnical boreholes, modeling and studies indicate that the overall slope of this domain could be increased from 52, to 60 degrees.

Keywords: Overall Slope, Chadormalu Iron mine, Geotechnical domain, Geotechnical borehole.

۱– مقدمه

امروزه بیشتر ذخایر معدنی به روش روباز استخراج می‌شوند و بحث پایداری شیب از عوامل بسیار مهم در اقتصاد و ایمنی معادن روباز است. کانسار سنگ‌آهن چادرملو در ۱۲۰ کیلومتری شمال‌خاور یزد و ۶۵ کیلومتری شمال‌خاور معدن سنگ‌آهن چغارت با مشخصات جغرافیایی ۳۲ درجه و ۱۷ دقیقه عرض شمالی و ۵۵ درجه و ۳۰ دقیقه طول خاوری قرار گرفته است. در سال ۸۴، از این معدن حدود ۷/۸ میلیون تن کانسنگ و ۱۵ میلیون تن سنگ باطله استخراج شده‌است. کانسار دارای بیش از ۲۰۰ میلیون تن ذخیره قابل استخراج و ۴۰۰ میلیون تن ذخیره اکتشاف شده است که ۳۵۰ میلیون تن آن در توده شـــمالی و ۵۰ میلیون تن آن در توده جنـــوبی است (ایتوک، ۱۳۷۰). گودال ۳۰ ساله معدن دارای ژرفای حداکثر ۲۲۵ متر تا تراز ۱۳۰۰ متری است که این طرح توسط شرکت آلمانی ا.ب.ا (E.B.E) با همکاری شرکت اتوگلد (Otto Gold) درسال ۱۹۹۰ آماده‌شده‌است. این طرح بر اساس اطلاعات حفاری (۱۹۷۴) و استفاده از یک مدل ساده طراحی، زاویه شیب پله‌ها را ۷۰ درجه و شیب کلی را ۵۴/۷ درجه پیشنهاد کرده است.(Gold,1990) اما این تحلیل خیلی خوش‌بینانه به نظر می‌رسد. زیرا چنین دیوار پرشیبی نمی‌تواند در انواع سنگها و مواد و مناطقی با تعداد زیادی گسل و زون برشی، پایدار بماند.

فاز۱ مطالعات پایداری در معدن چادرملو در سال ۱۳۸۱ توسط شرکت SRK انگلیس و شرکت مهندسی کانی‌کاوان‌شرق انجام گرفت. این مطالعات به‌دلیل شناخت مقدماتی مشخصات و شرایط زمین‌ساخت معدن، برنامه‌ریزی برای جمع‌آوری اطلاعات مورد نیاز و تکمیلی و تعیین مناطق با پتانسیل ریزش انجام گرفت. هدف این فاز از مطالعه، «برآورد مقدماتی زوایای شیب کلی دیواره‌های معدن» بوده است. این مطالعه از طریق ارزیابی ژئوتکنیکی مقدماتی با به‌کاربردن روشهای تجربی و تحلیلی که بر پایه اطلاعات موجود و اطلاعات جمع‌آوری‌شده از محل استوار بود، انجام گرفت. در این بخش از مطالعات، زاویه کلی دیواره‌ها برآورد و مطالعات ژئوتکنیکی برای فاز بعدی پیشنهاد شد. براساس مطالعات فاز ۱ شیب دیواره‌های نهایی خاوری ۳۰ درجه و دیواره‌های دیگر گودال ۵۵ درجه برآورد که با توجه به شیبهای موجود در معدن، بررسی دقیق‌تر و اجرای آن به فاز بعد موکول شد(کانی کاوان شرق،۱۳۸۱).

در این مقاله به نوع و نحوه جمع‌آوری اطلاعات و چگونگی ارزیابی آنها پرداخته شده است. دراین رابطه از بانک اطلاعاتی تهیه شده در نرم‌افزار Access و نرم‌افزار Roclab استفاده و اطلاعات به دست‌آمده با یکدیگر مقایسه شده‌اند و نتایج به صورت پارامترهای ژئوتکنیکی هر محدوده به دست آمده است در این مقاله تنها به بررسی محدوده ۴ ژئوتکنیکی (دیواره شمال‌باختری معدن) با شیب فعلی ۵۲ درجه خواهیم پرداخت. شرایط این محدوده توسط نرم‌افزارهای SlopeW 2004 و Flac 4.0 تحلیل و سپس با توجه به شرایط فعلی معدن از یک مدل‌سازی پیوسته برای رسیدن به شیب بهینه استفاده و با مقایسه نتایج حاصل از دو نرم‌افزار مذکور، شیب بهینه برای این محدوده پیشنهاد شده است.

۲– جمع‌آوری و ارزیابی اطلاعات لازم

به منظور تحلیل پایداری دیواره‌های معدن چادرملو، برداشتهای زمین‌شناسی و ساختاری، نمودارهای گمانه‌های ژئوتکنیکی، آزمایشهای مکانیک سنگ و مطالعه آبهای سطحی و زیرزمینی انجام شده است.

۲–۱– برداشتهای زمین‌شناسی و ساختاری

به منظور به‌روزآوری برآوردهای انجام‌شده از شرایط مقاومتی توده‌سنگ در

فاز ۱ تحلیل پایداری و تأیید پارامترهای مقاومتی توده‌سنگ به دست آمده از نمودار گمانه‌ها، برداشتهای زمین‌شناسی و ساختاری انجام شده‌است که نقشه زمین‌شناسی ساختاری معدن در ادامه آورده شده است. این کار با انتخاب نقاطی در اطراف دیواره گودال معدن، برداشت پنجره‌ای (Window Mapping) و بهره‌گیری از روشهای امتیاز توده‌سنگ (RMR) و امتیاز توده سنگ تعدیل یافته (MRMR) انجام شده است.

۲-۲-نمودارداری گمانه‌های ژئوتکنیکی و انجام آزمایشهای مکانیک سنگ

به منظور دستیابی به اطلاعات بیشتر از مقاطع بحرانی روی دیواره شمال باختری گودال ۳۰ ساله چادرملو، ۱ گمانه ژئوتکنیکی به ژرفای ۲۰۸ متر با شیب ۵۵ درجه حفر شد، که بازیابی مغزه بجز در محدوده‌هایی که به شدت گسلیده بودند، بسیار خوب بوده است.

در حین حفر این گمانه ژئوتکنیکی، اطلاعات مورد نیاز برداشت شده و نمودار ژئوتکنیکی گمانه تهیه و درحدود ۲۵۰۰ مشخصه ثبت شده است. سنگ‌شناسی، نوع بازشدگی، زاویه درزه، هوازدگی سطح درزه، شکل و ویژگی درزه‌ها، نوع پرکننده، ستبرای پرکننده، دگرسانی، بازیابی مغزه، شاخص کیفیت سنگ، چگالی درزه‌های بازشده، میانگین فاصله درزه‌های باز شده، تعداد دسته درزه‌ها، تعداد درزه‌های باز نشده، چگالی درزه‌های باز نشده، مقاومت سنگ و ... نمونه‌هایی از اطلاعات ثبت شده است. برای اینکه در زمان تحلیل داده‌ها بتوان دید بهتری از شرایط ژئوتکنیکی واقعی زمین داشت، در زمان خارج شدن مغزه از مغزه‌گیر با درج مشخصات لازم، از مغزه به دست آمده عکس گرفته شده است. به منظورکامل بودن آرشیو عکسها، پس از پایان حفر هر گمانه از جعبه مغزه‌ها به طور مجزا و با درج مشخصات لازم عکس گرفته شده است.

پس از بررسی مغزه‌های گمانه حفر شده، ۱۷ نمونه از مغزه‌های گمانه اخذ و آزمایشهای چگالی خشک و اشباع، جذب آب، تخلخل و آزمایش برزیلی انجام شده است.

اطلاعات و داده‌های حاصل از برداشتهای سطحی، گمانه‌ها و نتایج آزمایشگاهی به وسیله روشهای امتیاز توده‌سنگ (RMR) و امتیاز توده‌سنگ تعدیل یافته (MRMR) برای گودال ارزیابی شده است. خلاصه‌ای از شرایط و ویژگیهای توده سنگ بر اساس اطلاعات به دست آمده از نمودار گمانه‌ها شامل مقاومت توده‌سنگ، هوازدگی، مقاومت برجا و رده‌بندیهای توده‌سنگ RMR MRMR و GSI در جدول ۱ آورده شده است. سپس با استفاده از نرم‌افزار Roclab پارامترهای مقاومتی سنگهای مختلف محاسبه شده که نتایج آن نیز در جدول ۱ ارائه شده است.

۲-۳- آبهای سطحی و زیرزمینی

آب بارانی که به رخنمون گسل یا درزه‌های کششی نفوذ می‌کند، می‌تواند هنگام بارندگیهای شدید، سبب ریزش دیواره شود. شیبهای شمال‌باختر و جنوب‌خاور (جایی که گسلها و سامانه‌های درزه‌ای پرشیب به موازات شیب پله‌ها هستند) آسیب‌پذیر خواهند بود. این عوارض بسیار هوازده و معمولاً آینه گسل هستند و رطوبت از پایداری آنها به‌شدت می‌کاهد. بیشتر این عوارض شیب تندی دارند. بنابراین، ریزش دیواره ممکن است تنها پله‌های منفرد را تهدید کند. در عین حال بررسی بیشتر فشار آب منفذی توصیه می‌شود.

اطلاعات مربوط به آبهای زیرزمینی نیز بسیار محدود است. تنها گزارشهای موجود، مربوط به اتلاف آب حفاری از گمانه‌های ژئوتکنیک و گزارشهایی از حفاری چالهای انفجار اخیر است.

اگر تنها از آنفو به عنوان ماده‌منفجره استفاده شود، وجود آبهای زیرزمینی در چالهای انفجار مشکل‌زا خواهد بود. برای کمینه‌کردن اثر این مشکل بر روی آتشباری، ضروری است برنامه‌ای آزمایشی در مناطق دارای آب اجرا شده، سپس این راهبرد گسترش داده شود. این موضوع نیازمند آتشباری پیش‌شکافی است.

برای درک بهتر رژیم آبهای زیرزمینی، اثر معدنکاری بر روی آن و تأثیر آب، به پیزومترهای double standpipe در پشت پله‌های نهایی معدن، برای رفتارسنجی آتی شیب نیاز است.

۳- شیوه‌های شکست احتمالی

مدلهای ممکن، غالب و مهم شکست شیب در جدول ۲ آورده شده است. شکستهایی حائز اهمیت هستند که تأثیر زیادی بر روی شیب داشته و می‌توانند فرایند تولید را برهم بزنند. در نتیجه، ریزشهای کوچک مقیاس می‌تواند اتفاق افتد. مدلهای اصلی شکستهای احتمالی، شامل شکستهایی که توسط ساختار، کاهش ویژگیهای مواد و همچنین ریزشهای سطحی و کم‌ژرفا، که به دلیل زیانهای ناشی از آتشباری به وجود می‌آیند، کنترل می‌شوند. که این خود در نتیجه ترکها و شکافهای ناشی از آتشباری و یا بازشدگی درزه‌های سیمانی شده است و کیفیت توده‌سنگ را به‌مقدار زیادی کاهش می‌دهد.

شکست عمده و مهم در دوره تولید، شکست توده‌سنگ و یا شکست تحت کنترل ساختارهای مهم است که بر روی چند پله و در حالت بحرانی بر روی رمپ اثر می‌گذارد. این شکستها بسیار مهم بوده و ضروری است در تحلیل به آنها پرداخته شده و با درنظر گرفتن درجه ریسک قابل قبول، طراحی مناسبی برای آن درنظرگرفته شود. بنابراین تحلیلها باید بر روی تشخیص این دو مدل شکست متمرکز شود.

۴- شرایط دیواره شمال‌باختری معدن و پارامترهای ورودی برای طراحی مدل ژئوتکنیکی

به‌روزآوری اطلاعات، بویژه برداشتهای سطحی و حفاریها باعث گردید پارامترهای توده‌سنگ دقیق‌تر تعیین گردد. شرایط سطح گودال نشان می‌دهد که رفتار دیواره‌های آن بیشتر تحت تأثیر مقاومت توده‌سنگ و ساختارهای آن می‌باشد، بویژه در شرایطی که گسلها و درزه‌های کششی تقریباً موازی سطح پله است. محدوده ۴ ژئوتکنیکی (دیواره‌های شمال باختری) در شکل ۲ نشان داده شده است. این محدوده با سنگ‌شناسی متاسوماتیت، آلبیت متاسوماتیت و ماده معدنی محدود شده است. ساختار محدوده با گسلهای نازک پرشیب با جابه‌جایی زیاد، در برخی موارد سنگ‌آهک برشی، مشخص شده است.

احتمال وقوع زمین‌لرزه‌های بزرگ در محدوده زیاد است. Berberian(1976) میزان ریسک زمین‌لرزه و ساختار را به‌صورت دقیق محاسبه‌کرده‌است. از آنجاکه گسلهای اصلی معکوس بوده، تنش لرزه‌ای آن بالا است در نتیجه شدت و بزرگی زمین‌لرزه زیاد است، اگرچه دوره بازگشت آن طولانی می‌باشد.

روشها و نظریه‌های قطعی و احتمالاتی برای برآورد بیشینه شتاب افقی زمین برای دوره بازگشت ۲۰ و ۵۰ ساله مورد استفاده قرارگرفته‌است. در این روش، بیشینه شتاب افقی زمین با احتمال ۶۴ درصد برای عمر ۲۰ ساله معدن، ۰/۲۶٪g و برای عمر ۵۰ ساله معدن به ۰/۳۱٪g افزایش می‌یابد. از این نظریه در تحلیل ایستایی(استاتیک) پایداری شیب استفاده شده است.

با ترکیب اطلاعات گمانه‌ها، برداشتهای سطحی و داده‌های آزمایشگاهی، پارامترهای ورودی برای طراحی مدل ژئوتکنیکی محدوده ۴ تعیین شده است که مقادیر آنها در جدول ۳ درج شده است.

۵- تحلیل پایداری شیب فعلی معدن

۵-۱- روش تجربی

زاویه شیب تقریبی هر واحد سنگ‌شناختی با استفاده از مقادیر MRMR براساس ضریب ایمنی ۱/۳ محاسبه شده است. نتایج حاصل از روش تجربی راهنمای مناسبی برای زوایای شاخص شیب برای سنگهای مشخص است. با استفاده از نمودار ارائه شده توسط Douglas(2002) و با داشتن مقدار MRMR می‌توان یک برآورد سریع از زوایای شیب ممکن را در هر نوع سنگ و در ارتفاعات متغیر شیب که نمایانگر شیبهای کلی و پله‌ای است، انجام داد. در عمل شیبهای مرتفع‌تر به لحاظ سنگ‌شناسی پیچیده‌تر بوده و مخلوطی از سنگها با سطوح متفاوت‌تر را در بر می‌گیرد. در نتیجه این جدول را تنها به عنوان راهنمایی برای ارتفاعات پله‌های تک و دوپله می‌توان مورد استفاده قرار داد (جدول ۴).

۵-۲- روشهای تحلیلی و عددی

تحلیل پایداری شیبهای فعلی با استفاده از نرم‌افزارهای SlopeW از مجموعه Geoslope 2004 (روش تحلیلی) و Flac 4.0 از مجموعه Itasca (روش عددی) انجام شده است. محاسبات GeoSlope با استفاده از روش تعادل حدی و ضرایب ایمنی خروجی حاصل از روش تعادل گشتاوری Bishop اصلاح شده انجام شده‌است. تحلیل شیبها براساس ضریب ایمنی طراحی برابر با ۱/۳ انجام شده که با توجه به سطح اطمینان مورد نیاز برای پارامترهای خروجی، مناسب بودن برای گودال معادن بزرگ و با طول عمر نسبی بیشتر و با دقت داده‌های موجود، مناسب شمرده می‌شود.

ضریب ایمنی هر یک از مقاطع با استفاده از موقعیتهای شیب گودال فعلی در نرم‌افزارهای SlopeW و Flac و بیشترین جابه‌جایی در هر محدوده به کمک نرم‌افزار Flac تعیین شده است. خلاصه نتایج در جدول ۵ آورده شده است. همان طور که در این جدول مشخص است، این محدوده دارای ضریب ایمنی بیش از ۱/۳ بوده و امکان افزایش شیب را دارد.

مدلهای ساخته شده در نرم افزار Flac برای تحلیل پایداری و تعیین میزان جابه‌جایی در این محدوده در شکلهای ۳ و ۴ ارائه شده‌اند.

۶- زوایای شیب بهینه

زوایای شیب بهینه با استفاده از پارامترهای طراحی به دست آمده و مدل‌سازی پیوسته شیب در نرم‌افزار SlopeW ، براساس وضعیت شیب فعلی و تغییر زوایای شیب کلی در فواصل ۵ درجه تعیین شده‌اند. سپس مقطعی که در نرم‌افزار SlopeW به عنوان شیب بهینه شناخته شده در نرم‌افزارFLAC مدل شده و نتایج با هم مقایسه شده‌اند. مدلهای ساخته شده نهایی در نرم‌افزارهای SlopeW و Flac برای تعیین شیب بهینه و میزان جابه‌جایی در این محدوده در شکلهای ۵ تا ۷ آورده شده‌اند.

برای این محدوده ضریب ایمنی با تغییر ۵ درجه‌ای شیب محاسبه شده که نتایج این محاسبات در جدول ۶ ارائه شده است. با توجه به این جدول مشخص می‌شود اختلاف نتایج دو روش عددی و تحلیلی بسیار کم است که این اختلاف نیز ناشی از تفاوت منطق محاسباتی دو روش بوده و قابل پیش‌بینی است. همان طور که در جدول ۷ مشخص است، با افزایش شیب از ۵۲ درجه (شیب فعلی) به ۶۰ درجه در این محدوده میزان بیشینه از ۱/۷ سانتی‌متر به ۲/۶ سانتی‌متر افزایش یافت که این میزان جابه‌جایی در شیب مقدارقابل قبولی است.

۷- بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به پیچیدگی معدن چادرملو از نظر زمین‌شناسی و زمین‌ساختی و ژرف‌تر شدن گودال معدن، اهمیت پایداری دیواره‌ها و تعیین شیبهای نهایی بهینه مورد توجه قرار گرفت. با توجه به این که مطالعات انجام شده تاکنون تنها به کمک روشهای تجربی و بدون استفاده از روشهای تحلیلی و عددی و نرم‌افزارهای مربوطه انجام گرفته بود، برای تعیین شیبهای بهینه نیاز به انجام مطالعات دقیق‌تر و جمع‌آوری اطلاعات جامع و کامل و تحلیل وضعیت پایداری دیواره‌های نهایی با بهره‌گیری از نرم‌افزارهای تحلیلی و عددی بود. با این هدف، در فاز ۲ مطالعات پایداری دیواره‌های نهایی معدن چادرملو با تهیه نقشه زمین‌شناسی و زمین‌ساختی معدن، ترکیب اطلاعات به دست آمده از حفر ۱ حلقه گمانه ژئوتکنیکی در محدوده نهایی دیواره شمال‌باختری، برداشت مغزه‌های حاصله (ثبت حدود ۲۵۰۰ مشخصه)، تهیه نمودار ژئوتکنیکی گمانه، نمونه‌گیری از مغزه‌ها و انجام آزمایشهای مکانیک‌سنگ و همچنین برداشت سطحی از دیواره‌ها، مشخصات ژئوتکنیکی محدوده تعیین شد. سپس با به‌روزآوری مقاطع زمین‌شناسی روسها، مقطع مورد نیاز برای محدود مورد نظر طراحی شد و به کمک نرم‌افزارهای SlopeW و FLAC این مقطع در وضعیت فعلی تحلیل‌شده و با تغییر شیب در مقطع تا رسیدن به ضریب ایمنی ۱/۳ ، شیب بهینه دیواره نهایی این محدوده گودال تعیین شد. با توجه به مطالعات انجام گرفته، نتایج به دست آمده به شرح زیر است:

۱- در محدوده ۴ زاویه شیب بهینه برای تک پله‌ها ۷۵ درجه و شیب کلی ۶۰ درجه به دست آمد که با توجه به شیب فعلی که ۵۲ درجه بوده در این محدوده شیب‌نهایی دیواره‌ها ۸ درجه افزایش خواهد داشت. میزان جابه‌جایی در این محدوده در شیب ۶۰ درجه ۲/۶ سانتی‌متر به دست آمده است.

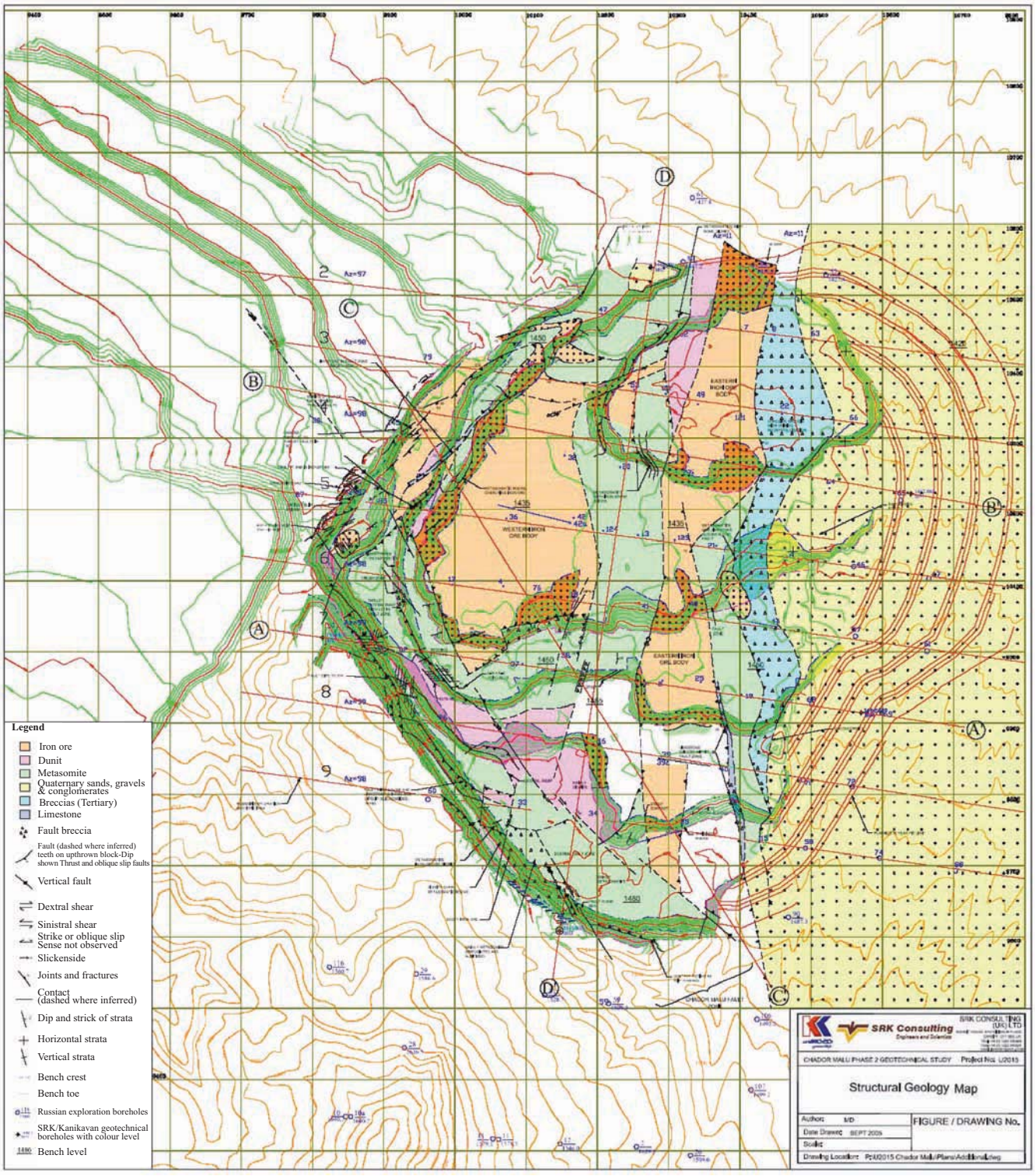
۲- انفجار، از عوامل بسیار مهم در پایداری دیواره‌های معادن است. روش آتشباری در چادرملو، مطالعه و بررسی شد. نتایج آتشباری با توجه به تخریب انجام گرفته در پشت جبهه‌کار، ضعیف تا بسیار ضعیف ارزیابی شد. سطح پله‌ها به صورت نامرتب و تخمینی ایجاد شده و عقب‌زدگی پس از آتشباری در پشت محدوده پیشنهادی بسیار رایج است. با توجه به کیفیت نامناسب انفجار در معدن چادرملو توصیه می‌شود الگوهای انفجاری، با بررسی و بازبینی دقیق، اصلاح شوند. درحال حاضر، برای ایجاد دیواره نهایی نیز از روشهای معمول انفجار استفاده می‌شود، درحالی‌که برای دیواره‌های نهایی باید از انفجار کنترل شده استفاده شود.

۳- بخش مهمی از عملیات استخراجی یک گودال معدن، پی‌بردن به ناپایداری آن و در صورت شناسایی ناپایداری، مدیریت ریسک مرتبط با ناپایداری شیب است. از آنجا که اساس ناپایداری و ریزش شیب، تغییر استحکام و ویژگیهای ساختاری توده سنگ است، لذا بخش اصلی یک روش مدیریت شیب ژئوتکنیکی، برنامه مداوم جمع‌آوری و اندازه‌گیری داده‌های ژئوتکنیکی است.

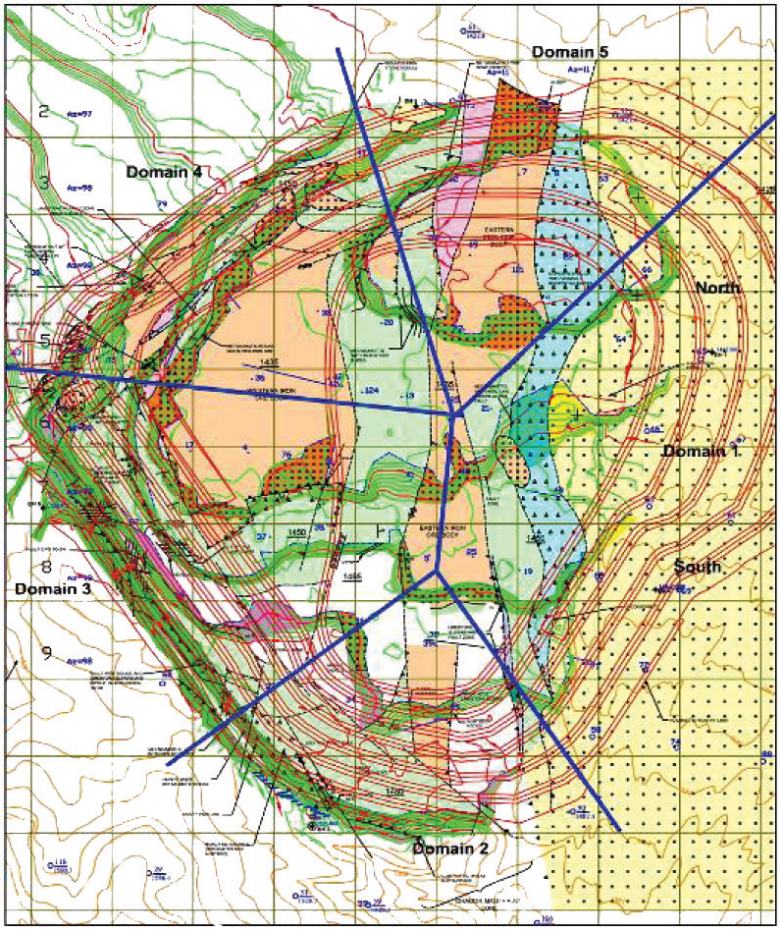
۴- در نتیجه رفتارنگاری پیوسته شیبها و در صورت لزوم ابزاربندی آن برای شناسایی علائم ناپایداری مورد نیاز است. بازرسی چشمی شیبها و همچنین نقشه‌برداری دیواره‌های گودال برای شناسایی ریزشهای احتمالی باید به طور مرتب انجام شود. توصیه می‌شود یک سامانه رفتارنگاری خودکار و یا با استفاده از نقشه‌برداری برای دیواره‌های معدن در نظر گرفته شده، دقت و درستی پارامترهای مورد استفاده بررسی شده و تحلیل برگشتی صورت پذیرد.

۸- سپاسگزاری

از اساتید ارجمند، جناب آقای دکتر کوروش شهریار، به پاس راهنماییهای ارزشمندشان و جناب آقای دکتر کامران گشتاسبی به پاس محبتهایشان، از مدیران و دوستان عزیز در شرکت کانی‌کاوان شرق بویژه آقای مهندس کامبیز معظمی مدیر عامل محترم آن شرکت، به خاطر حمایت و محبتهای بی‌دریغشان و تمام عزیزانی که به نحوی ما را در انجام این پروژه یاری کردند، تشکر و قدردانی نموده و برای ایشان آرزوی موفقیت و خوشبختی داریم.

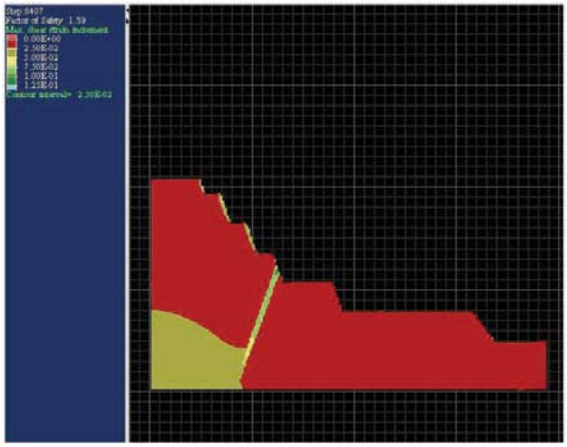


شکل ۱- نقشه زمین‌شناسی ساختاری معدن

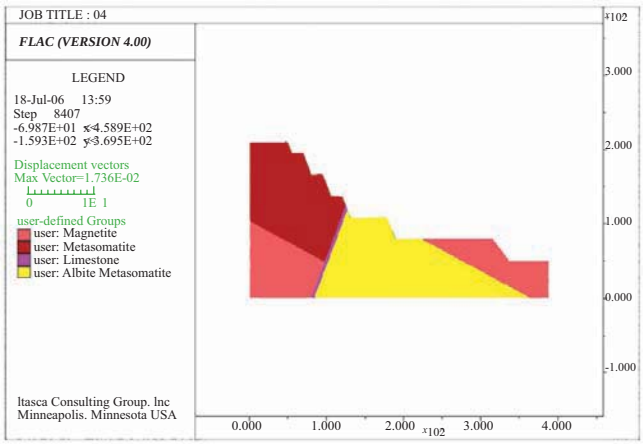


شکل ۲- محدوده‌های ژئوتکنیکی گودال معدن چادرملو

.محدوده ۴ ژئوتکنیکی(دیواره شمال باختری معدن) با متاسوماتیت، آلبیت متاسوماتیت و ماده معدنی محدود شده است



شکل ۳- ضریب ایمنی محدوده ۴ در
شرایط فعلی با استفاده از نرم‌افزار FLAC



شکل ۴- میزان جابه‌جایی بیشینه محدوده ۴
در شرایط فعلی با استفاده از نرم‌افزارFLAC

جدول ۱- ویژگیها و پارامترهای توده‌سنگ برای سنگهای مختلف موجود در دیواره شمال‌باختری معدن چادرملو

نوع سنگ	هوازدگی	RIS	RQD (%)	فاصله درزه ها (میلیمتر)	وضعیت درزه	GSI	RMR	MRMR	UCS (مگاپاسکال)	m	D	وزن مخصوص (کیلوپاسکال)	چسبندگی (مگاپاسکال)	زاویه اصطکاک داخلی(درجه)
آلبیت متاسوماتیت	CW	۱	۰	۱	۱۵	۱۷	۲۱	۱۳	۲	۲۴	۱	۲۶	۱۸	۹
	HW	۶	۳	۴	۱۷	۲۹	۳۲	۲۳	۵۴	۲۴	۱	۲۶	۱۲۹	۲۴
	MW	۶	۳	۶	۱۶	۳۱	۳۴	۲۶	۵۵	۲۴	۱	۲۶	۱۴۰	۳۶
	SW	۷	۱۱	۱۱	۱۴	۴۳	۴۷	۳۹	۸۵	۲۴	۱	۲۶	۲۵۵	۴۷
سنگ آهک	HW	۱	۲	۲	۸	۱۴	۱۳	۹	۳	۱۰	۱	۲۴	۱۰	۶
	MW	۷	۴	۶	۱۸	۳۵	۳۷	۲۸	۶۵	۱۰	۱	۲۴	۱۲۸	۳۳
	SW	۷	۱۰	۹	۱۴	۴۰	۴۰	۳۴	۶۵	۱۰	۱	۲۴	۱۵۶	۳۶
مگنتیت	CW	۰	۰	۰	۱۶	۱۶	۱۹۲	۱۱	۰	۳۲	۱	۳۷	۴۸	۱۶
	HW	۶	۴	۴	۱۲	۲۶	۱۰۳	۲۸	۵۰	۳۲	۱	۳۷	۲۹۴	۴۶
	MW	۱۴	۵	۷	۱۵	۴۱	۴۸	۳۹	۱۳۴	۳۲	۱	۳۷	۶۱۵	۵۹
	SW	۱۵	۸	۱۰	۱۶	۴۸	۵۵	۴۹	۱۴۳	۳۲	۱	۳۷	۷۷۸	۶۲
	UW	۱۵	۱۱	۱۵	۱۸	۵۸	۶۵	۵۹	۱۴۵	۳۲	۱	۳۷	۱۱۰۴	۶۴
متاسوماتیت	HW	۶	۱	۴	۱۸	۲۹	۳۲	۲۳	۵۶	۲۴	۱	۲۷	۱۳۴	۳۴
	MW	۸	۵	۷	۱۸	۳۹	۴۱	۳۱	۷۰	۲۴	۱	۲۷	۲۰۸	۴۳
	RS	۷	۱۱	۷	۱۶	۴۰	۳۵	۱۷	۶۵	۲۴	۱	۲۷	۲۱۳	۴۳
	SW	۱۰	۷	۸	۱۹	۴۵	۴۸	۴۱	۹۵	۲۴	۱	۲۷	۲۹۲	۴۹
	UW	۱۴	۱۱	۱۲	۱۹	۵۶	۶۰	۵۱	۱۳۲	۲۴	۱	۲۷	۵۵۴	۵۷
زون هوازده	CW	۰	۰	۱	۱۶	۱۷	۱۷	۱۱	۰	–	–	۲۲	۱۰۰	۳۶
	HW	۰	۰	۰	۲	۲	۲	۲	۰	–	–	۲۲	۱۰۰	۳۶
	RS	۰	۰	۲	۱۶	۱۸	۱۷	۸	۰	–	–	۲۲	۱۰۰	۳۶

جدول ۲- شیوه‌های ممکن، غالب و مهم شکست شیب

شرح	شیوه شکست اصلی	شیوه شکست وابسته	شیوه شکست فرعی
محدوده ۴	شکست توده سنگ و شکست ساختاری	شکست ساختاری و آتشباری ضعیف	شکست ساختاری ,آتشباری ضعیف و دگرسانی

جدول ۳- اطلاعات ورودی مدل‌سازی محدوده ۴ ژئوتکنیکی گودال معدن چادرملو

محدوده سنگ شناسی	m	D	وزن مخصوص (کیلو نیوتن بر متر مکعب)	UCS (مگاپاسکال)	انحراف از معیار UCS	GSI	انحراف از معیار GSI	چسبندگی (کیلوپاسکال)	زاویه اصطکاک داخلی(درجه)	مدول الاستیسیته (گیگا پاسکال)	ضریب پواسون
محدوده ٤											
زون هوازده	–	–	۲۲	–	–	–	–	۱۰۰	۳۶	۲	۰/۲۵
سنگ آهک	۱۰	۱	۲۴	۶۰	۲۷	۳۴	۷	۱۱۸	۳۲	۵۰	۰/۲۵
متاسوماتیت	۲۴	۱	۲۸	۹۵	۵۹	۳۸	۸	۲۳۷	۴۴	۶۲	۰/۲۶
آلبیت متاسوماتیت	۲۵	۱	۲۷	۷۲	۲۰	۴۳	۹	۲۵۱	۴۶	۲۹	۰/۲۵
مگنتیت	۳۲	۱	۳۷	۱۰۶	۵۸	۴۶	۱۲	۶۳۷	۵۹	۶۵	۰/۲۶

جدول ۴- محاسبه زوایای شیب پایدار برای سنگ‌شناسیهای مختلف موجود در دیواره شمال باختری معدن

سنگ شناسی	میانگین MRMR	شیب کلی		بله	
		ارتفاع شیب (متر)	زاویه شیب (درجه)	ارتفاع شیب (متر)	زاویه شیب (درجه)
زون هوازده	۸	۲۰۰	۳۸	۳۰	۴۴
سنگ آهک	۲۵	۲۰۰	۴۳	۳۰	۵۲
متاسوماتیت	۳۶	۲۰۰	۴۸	۳۰	۵۷
آلبیت متاسوماتیت	۲۴	۲۰۰	۴۳	۳۰	۵۲
مگنتیت	۴۶	۲۰۰	۵۲	۳۰	۶۲

جدول ۵- ضریب ایمنی شیب فعلی دیواره شمال باختری گودال

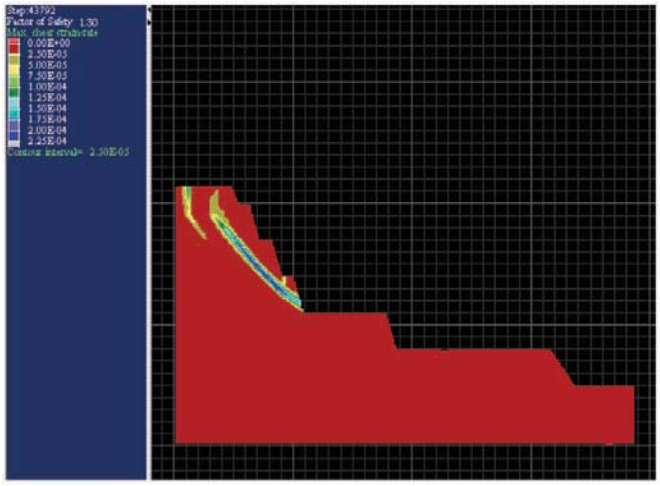
محدوده	ارتفاع شیب (متر)	زاویه شیب فعلی (درجه)	ضریب ایمنی SlopW	ضریب ایمنی FLAC	بیشترین جابه جایی (سانتی متر)
محدوده ۴	۱۶۵	۵۲	۱/۵۷۳	۱/۵۹	۱/۷

جدول ۶- زاویه شیب سراسری پیشنهادی برای دیواره شمال باختری معدن چادرملو

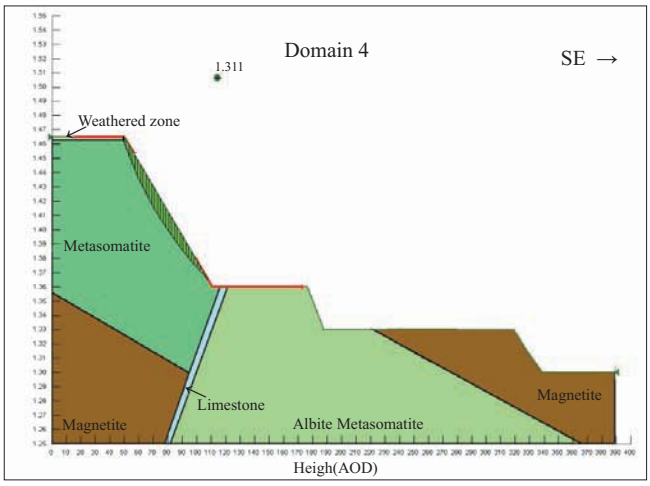
محدوده	نرم افزار	ضریب ایمنی شیب کلی		
		شیب ۵۰°	شیب ۵۵°	شیب ۶۰°
محدوده ۴	SlopeW	۱/۵۱۸	۱/۴۵	۱/۳۱۱
	Flac			۱/۷

جدول ۷- مقایسه جابه‌جایی بیشینه بین شرایط فعلی و شیب پیشنهادی در محدوده ۴

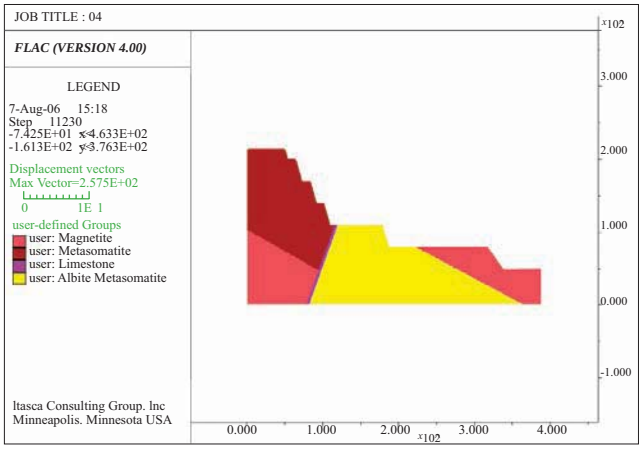
محدوده	ارتفاع شیب (متر)	شرایط فعلی			شرایط پیشنهادی		
		زاویه شیب (درجه)	میانگین ضریب ایمنی (FLAC & SlopW)	بیشینه جابه‌جایی (سانتی متر)	زاویه شیب (درجه)	میانگین ضریب ایمنی (FLAC & SlopW)	بیشینه جابه‌جایی (سانتی متر)
محدوده ۴	۱۶۵	۵۲	۱/۵۸	۱/۷	۶۰	۱/۳۱	۲/۶



شکل ۵- ضریب ایمنی محدوده ۴ در شیب ۶۰
درجه با استفاده از نرم‌افزار FLAC



شکل ۶- ضریب ایمنی محدوده ۴ در شیب ۶۰
درجه با استفاده از نرم‌افزار SlopeW



شکل ۷- میزان جابه‌جایی بیشینه محدوده ۴ در
شیب ۶۰ درجه با استفاده از نرم‌افزار FLAC

کتابنگاری

ایتوک ایران، ۱۳۷۰- شرکت مشاور مهندسی و تکنولوژی در صنایع و معادن، گزارش "اطلاعات عمومی و مطالعات اکتشافی و کانه‌آرایی معدن سنگ آهن چادرملو".

کانی کاوان‌شرق، ۱۳۸۱- شرکت مهندسی، گزارش مطالعات مقدماتی پایداری دیواره‌های معدن سنگ آهن چادرملو (فاز I).

References

Berberian, M., 1976- Contribution to the seismotectonics of Iran, Part II. Geological Survey of Iran, Rep. 39, 518 p.

Gold, O.,1990- Drainage system year 20 & 30, EBE Engineering services, Dwg.No. 1413-1045 & 1413-1046

Kurt John Douglas, 2002- The shear strength of rock masses"A thesis submitted for the degree of doctor of philosophy , the university of new south Wales Sydney Australia, pp 5.25- 5.35