تحلیل پایداری شیب دیواره‌های معدن طلای زرشوران در طرح سال ششم بهره برداری

مصطفی قدیمی[۱]، صادق حصاری[۲]، مهرداد محمودی[۳]

[۱] دکتری مکانیک سنگ، شرکت تهیه و تولید مواد معدنی ایران؛ m_yamchi@yahoo.com
[۲]کارشناس ارشد مکانیک سنگ، کارشناس ژئوتکنیک شرکت معدن زمین؛ sadegh.hesari۹۰@gmail.com
[۳]کارشناس ارشد تونل و فضاهای زیرزمینی، کارشناس ژئوتکنیک شرکت معدن زمین؛ mehrdadmahmoodi@aut.ac.ir

چکیده: پایداری شیب یکی از پارامترهای اصلی و تعیین کننده در اقتصاد و ایمنی در معادن روباز است. مهمترین هدف طراحی ژئومکانیکی دیواره در معادن روباز، جلوگیری از ناپایداری و ریزش است. از عواقب ریزش در معادن روباز می‌توان به تلفات جانی، مالی و توقف تولید اشاره نمود. هدف از انجام این پژوهش بررسی پایداری شیب دیواره‌های معدن طلای زرشوران می‌باشد. تحلیل پایداری دیواره‌های این معدن با استفاده از مقاطع دو بعدی به روش تعادل حدی انجام شده است. بنابراین ابتدا چهار مقطع بحرانی در راستای بیشترین کشیدگی پیت بر روی پلان معدن انتخاب شده و سپس خصوصیات هندسی و ژئومکانیکی هر مقطع بررسی شده است. مدلسازی هندسه مقاطع انتخاب شده با کمک نرم‌افزار اسلاید برای حالت‌های خشک، حضور آب زیر زمینی و اعمال بار دینامیکی انجام شده است. نتایج بررسی‌ها نشان داد که طرح بهره برداری سال ششم معدن طلای زرشوران از لحاظ ریزش‌های بزرگ مقیاس در این مقاطع مشکلی ندارند.

واژه‌های کلیدی: پایداری شیب، زرشوران، تعادل حدی، ریزش

۱-مقدمه

ناپایداری شیب در معادن روباز یکی از مشکلات جدی به شمار می‌رود و همواره یکی از موارد خطر آفرین در معادن به حساب می‌آید، علاوه بر آن برنامه تولید معدن نیز دچار اختلال می‌شود. برای بالا بردن ایمنی در معادن روباز ضروری به نظر می‌رسد که رفتار و تغییر شکل‌های خطرناک شیب‌ها، تحت کنترل باشند. ارزیابی پایداری در شیب‌های سنگی نیازمند استفاده صحیح از داده‌های زمین شناسی، وضعیت آب‌های زیر زمینی، وضعیت آب و هوایی منطقه، مقاومت و شکل پذیری توده‌سنگ، لرزه خیزی منطقه و شرایط تنش‌های برجا است. لذا پارامترهای مختلفی در پایداری یک شیب تاثیر دارند[۵]. یکی از پارامترهای مهم در طراحی معادن روباز، زاویه کلی شیب دیواره معدن می‌باشد. در طراحی مقدماتی برای تعیین حد نهایی معدن، این زاویه به عنوان یکی از عوامل اصلی باید مشخص باشد. در صورتی که زاویه تعیین شده برای شیب دیواره مناسب نباشد، محدوده تعیین شده برای معدن از دقت کافی برخوردار نخواهد بود که این موضوع می‌تواند روند طراحی را تحت تاثیر قرار دهد. علاوه بر جنبه فوق، انتخاب شیب دیواره از لحاظ فنی و اقتصادی می‌تواند روی یک پروژه معدنی تاثیر گذار باشد. از لحاظ فنی چنانچه شیب دیواره بیش از حد مورد نیاز باشد، احتمال ناپایداری افزایش می‌یابد و از لحاظ اقتصادی چنانچه این شیب کمتر از حد بهینه باشد، نسبت باطله برداری بالا می‌رود[۶]. مهمترین هدف طراحی ژئومکانیکی دیواره در معادن روباز جلوگیری از ناپایداری است و هدف اصلی از تحلیل پایداری شیب‌ها، تخمین میزان فاکتور ایمنی است[۷]. هدف از انجام این پژوهش بررسی وضعیت پایداری دیواره‌های معدن طلای زرشوران در سال ششم بهره برداری می‌باشد. در ادامه پس از معرفی معدن طلای زرشوران و روش‌های تحلیل پایداری شیب، مقاطع بحرانی را توسط نرم افزار اسلاید بررسی خواهند شد و در آخر جمع بندی و پیشنهاداتی ارائه خواهد شد.

۲- معرفی معدن طلای زرشوران

معدن طلای زرشوران در جنوب‌شرق محدوده جغرافیایی استان آذربایجان‌غربی و به فاصله ۵ کیلومتری (فاصله هوایی) شمال تا شمال‌شرقی روستای زرشوران و ۲۵ کیلومتری (فاصله هوایی) و در شمال شهرستان تکاب واقع شده است. زمین‌شناسی محدوده مورد مطالعه از لایه‌های شیستی و آهکی و رسوبات دوران نئوژن به شکل طاقدیس خوابیده تشکیل شده است. جنس لایه زیرین از شیست و لایه میانی از جنس آهک و لایه‌رویی رسوبات دوران نئوژن می‌باشد. وجود سنگ بستر شیستی در سازند زیرین لایه‌ها و زون‌های مینرالیزه باعث نگرانی عمده در وضعیت

پایداری دیواره‌ها شده است. علاوه بر خصوصیات سنگ بستر شیستی، زاویه قرارگیری لایه‌های شیست نسبت به دیواره‌های معدن را می‌توان اظهار داشت که در بدترین حالت ممکن قرار گرفته است و این خود جای بسی تامل دارد[۳]. در شکل (۱) نمایی از معدن طلای زرشوران نمایش داده شده است.

شکل (۱): نمایی از معدن طلای زرشوران[۳].

۳- تحلیل پایداری شیب

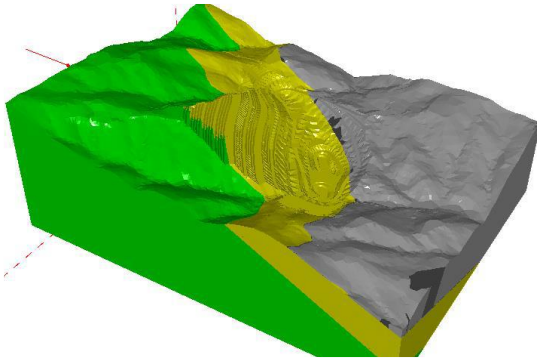
با توجه به افزایش تعداد و عمق دیواره‌های شیب‌دار، در سال‌های اخیر محققین مختلفی به ارزیابی پایداری شیب پرداخته اند و این امر سبب توسعه‌ی روش‌های جدید ارزیابی شیب، با در نظرگیری محدودیت‌های مهندسی شده است[۴]. روش‌های گوناگونی برای تحلیل پایداری شیب وجود دارد که انتخاب روش‌ها براساس دو پارامتر مهم موقعیت مکانی و نوع شکست محتمل در شیب صورت می‌گیرد. روش‌های تحلیل پایداری شیب شامل روش‌های تجربی، بررسی‌های سینماتیکی، روش‌های احتمالاتی، روش‌های تعادل حدی و روش‌های عددی است[۲]. در این پژوهش، تحلیل پایداری دیواره‌های معدن در مقاطع مختلف بصورت دو بعدی به روش تعادل حدی انجام خواهد شد. بنابراین ابتدا مقاطع بحرانی بر روی پلان معدن انتخاب شده و سپس خصوصیات هندسی و ژئومکانیکی هر مقطع بررسی می‌شود. هندسه محدوده مدل‌سازی انتخاب شده و هندسه مقاطع با کمک نرم‌افزار تعادل حدی اسلاید با فرض‌های بدون تاثیر آب یکبار برآورد ضریب اطمینان می‌شوند. سپس خط آب زیرزمینی افزوده شده و در مرحله آخر با احتساب یک شتاب افقی ۰/۰۵ شتاب ثقل برای مدل‌سازی زلزله‌های احتمالی تحلیل می‌شوند. در جدول (۱) معیارهای پیشنهادی رد و استاسی [۱] برای طراحی شیب‌های معدنی بر حسب مقیاس، پیامدهای ریزش و حداقل ضریب ایمنی نشان داده شده است.

جدول (۱): معیارهای پیشنهادی برای شیب‌های دیواره‌های معدن[۱].

مقیاس	حداقل ضریب ایمنی	احتمال شکست و ریزش (درصد)	عواقب	توضیحات
شکست در چند پله اتفاق می‌افتد	۱/۱۵-۱/۲	۲۵	زیاد	نیاز به اصلاح شیب دارد
	۱/۲	۲۰	متوسط	شیب بایستی پایش شود
	۱/۲-۱/۳	۱۰	کم	شیب پایدار است
شکست در سراسر دیواره اتفاق می‌افتد	۱/۲-۱/۳	۱۵-۲۰	زیاد	شیب بایستی پایش شود
	۱/۳	۱۰	متوسط	شیب بایستی پایش شود
	۱/۳-۱/۵	۵	کم	شیب پایدار است

۳-۱- خواص ژئومکانیکی سنگهای دیواره

همانگونه که در شکل (۲) مشاهده می‌شود، در طرح نهایی معدن یک لایه نازک از مواد زون مینرالیزه در ترازهای بالاتر از افق ۲۵۵۰ (رنگ زرد) بر روی سطح ضعیف بستر شیستی (سبز رنگ) باقی می‌ماند. زون گسله که در واقع محل برخورد بستر شیستی با سازند کمر بالای خود است به علت نفوذ پذیری کم لایه شیستی آن را به یک سطح ضعیف تبدیل کرده است. سازند قرار گرفته بر روی این سطح با حرکت خزشی روی سطح شیست، ترک خورده و درزه‌دار می‌شود. این پدیده باعث رخداد ریزش‌های کوچک ولی ادامه دار در این منطقه از معدن خواهد شد. ریزش‌ها و ترک‌های رخداده در ترازهای ۲۵۷۰ و ۲۶۴۰ که در همین منطقه اتفاق افتاده‌اند نیز مکانیزمی مشابه دارند[۳]. در جدول (۲) خصوصیات مقاومتی و فیزیکی سنگ‌های دربرگیرنده معدن ارائه شده است.



شکل (۲): وضعیت لایه‌ها در طرح نهایی معدن[۳].

جدول (۲): خصوصیات مقاومتی و فیزیکی سنگ‌های دربرگیرنده دیواره‌های مختلف معدن[۳]

نوع سنگ	وزن مخصوص (KN/m^3)	چسبندگی (KN/m^2)	زاویه اصطکاک داخلی (درجه)
شیست بستر با ضخامتی زیادتر از عمق‌های تحت تاثیر فعالیت معدن‌کاری	۲۶	۱۸۰	۳۰
زون مینزالیزه شامل آهک چالداغ و همچنین تمامی زون‌هایی که اثری از مینرالیزاسیون حتی با عیارهای کم دیده شده است	۲۴	۱۵۰	۲۸
واحد زرشوران شامل بیشتر سنگ‌هایی که به عنوان باطله زون مینرالیزه را پوشش داده‌اند	۲۴	۱۲۰	۲۷
زون گسله در فصل مشترک شیست بستر با زون مینرالیزه	۲۰	۵۰	۲۱

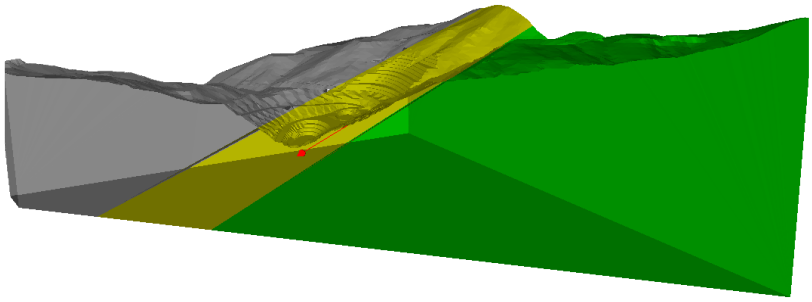
۳-۲- مقاطع انتخابی برای تحلیل

مقاطع بحرانی مطابق شکل (۳) برای تحلیل پایداری انتخاب شده‌اند. سعی شده است که این چهار مقطع در امتداد بیشترین شیب‌های معدن و همچنین در موقعیت‌هایی که بیشترین تغییرات در طرح سال ششم را دارند کشیده و انتخاب شوند. در ادامه مقطع B'-B به صورت جزئی‌تر مورد بررسی قرار خواهند گرفت و در مورد این مقطع بحث خواهد شد.

شکل (۳): مقاطع انتخاب شده جهت تحلیل پایداری.

۳-۲-۱- مقطع B′-B

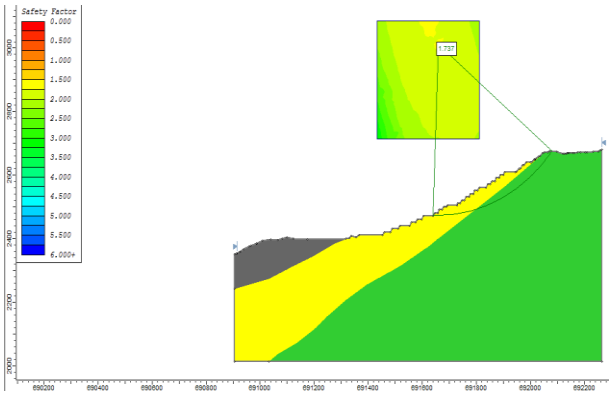
این مقطع با آزیموت N۵۶E در راستای شمال شرق به جنوب غرب کشیده شده است و در راستای بیشترین کشیدگی پیت معدن قرار گرفته است. شمال شرق این مقطع بر روی سنگ بستر شیست قرار گرفته است. شیب ظاهری شیست در این مقطع حدود ۳۳ درجه می‌باشد. بر روی بستر شیستی ابتدا لایه‌های مختلف زون مینرالیزه قرار گرفته و سپس لایه‌های سنگ باطله در جنوب غربی به صورت سنگ پوشش، روی زون مینرالیزه شده قرار می‌گیرند. نمای سه بعدی این مقطع در شکل (۴) نشان داده شده است.



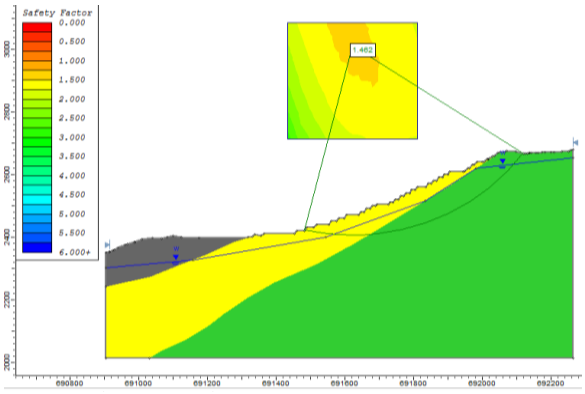
شکل (۴): نمای سه بعدی مقطع B-B′.

۳-۲-۲- محاسبه ضریب اطمینان

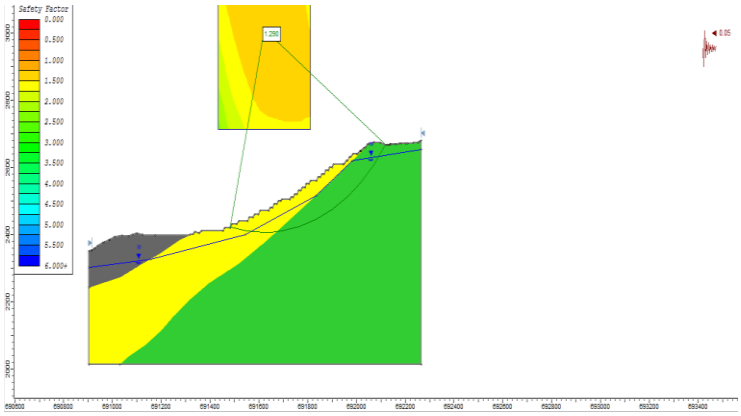
تحلیل تعادل حدی برای این مقاطع با استفاده از هندسه محدوده و خصوصیات مقاومتی و فیزیکی سنگ‌های دربرگیرنده دیواره‌های مختلف معدن مطابق جدول (۲) در نرم افزار اسلاید بارگذاری شده است و ضریب اطمینان‌های هر مقطع برای شرایط فصل خشک، آب زیر زمینی برای فصول بارندگی (سطح آب برابر سطح توپوگرافی) و با فرض شتاب افقی به مقدار ۰/۰۵ شتاب ثقل برآورد شده‌اند. ضرایب ایمنی محاسبه شده برای سه حالت عنوان شده در شکل‌های ۵، ۶ و ۷ نشان داده شده است. ضمن آن که تحلیل‌های دو بعدی کمی بدبینانه می‌باشند ولی دایره ضعیف‌ترین سطح تقریباً تمامی دیواره شمالی را در بر می‌گیرد احتمال چنین رخدادی حدود ۱۰ درصد برآورد تخمین زده می‌شود. لازم به ذکر است که برای حالت استاتیکی ضریب ایمنی ۱/۵ به عنوان مرز پایداری و احتمال ریزش انتخاب شده و همچنین ضریب ایمنی برای حالت شبه استاتیکی ۱/۳ در نظر گرفته شده است.



شکل (۵): ضریب ایمنی با فرض بدون اب زیر زمینی



شکل (۶): ضریب ایمنی با فرض حضور آب زیرزمینی



شکل (۷): ضریب ایمنی با اعمال زلزله

ضرایب ایمنی محاسبه شده برای مقاطع مختلف در جدول (۳) خلاصه شده است.

جدول (۳): ضرایب ایمنی بدست آمده برای مقاطع

شماره مقطع	A'-A	B'-B	C'-C	D'-D
ضریب اطمینان با فرض خشک	۱/۹۰	۱/۷۴	۲/۲۵	۲/۳۱
ضریب ایمنی با آب زیر زمینی	۱/۸۳	۱/۴۰	۲/۱۵	۲/۱۷
ضریب ایمنی با فرض زلزله	۱/۶	۱/۲۹	۱/۸۴	۱/۹۱
احتمال شکست و ریزش (براساس کمترین ضریب ایمنی و جدول معیارها)	کمتر از ۵	۱۰	کمتر از ۵	کمتر از ۵

۵- نتیجه گیری

براساس نتایج حاصله از مدلسازی دو بعدی انجام گرفته توسط نرم افزار اسلاید در خصوص طرح بهره برداری سال ششم معدن طلای زرشوران، نشان داد که شیب‌ها از لحاظ پایداری و احتمال ریزش‌های بزرگ مقیاس مشکلی وجود ندارد و شیب‌ها پایدار خواهند بود. با توجه به اینکه دیواره‌های مقاطع A′-A و B′-B در راستای بیشترین کشیدگی پیت معدن قرار گرفته‌اند و همچنین برای اعتبارسنجی تحلیل‌های صورت گرفته، نیاز است دیواره‌های این مقاطع هدف‌گذاری شده و جابجایی آن‌ها با استفاده از ابزار دقیق پایش شود. با توجه به هم راستایی سطح شیست با سطوح اکثر دیواره‌ها (در راستای شمال‌شرقی و جنوب‌غربی) مشکلات حرکت شیست‌ها در آینده بوجود خواهد آمد. آب‌های نفوذی در سازند آهکی در اعماق پایین‌تر که نفوذ پذیری آهک‌ها کم می‌شود تشکیل سفره آب دارای فشار را داده و سبب ناپایداری دیواره‌های معدن خواهند شد که خشک اندازی و حذف فشار منفذی از پشت دیواره‌ها ضروری خواهد بود.

مراجع

[۱] Read J., & Stacey P.; *Guidelines for open pit slope design*, ۱st Edition, CRC Press, ۲۰۰۹.

[۲] Hoek E. & Bray, J.; *Rock slope engineering*, ٤th ed., Institution Mining and Metallurgy, London, ۲۰۰۴.

[۳] **گزارش طرح استخراج سال ششم معدن طلای زرشوران**، شرکت گسترش معادن و صنایع معدنی طلایی زرشوران، اسفند ۱۳۹۸.

[۴]Z.G. Qian, A.J. Li, A.V. Lyamin, C.C. Wang, "*Parametric studies of disturbed rock slope stability based on finite element limit analysis methods*", Computers and Geotechnics, No.۸۱, pp.۱۵۵-۱۶۶, ۲۰۱۷.

[۵] یعقوبی، ابراهیم؛ شمس الدین سعید، مسعود؛ معارف وند، پرویز، تحلیل پایداری و ارزیابی ریزش سنگین مجدد در دیواره های معدن روباز انگوران، روشهای تحلیلی و عددی در مهندسی معدن؛ ۶ (۱۲)، ۳۳-۴۵، ۱۳۹۵.

[۶] منجزی، مسعود؛ رضا خواه، مجتبی، طراحی شیب پایدار دیواره های معدن مس سونگون، نشریه علمی- پژوهشی مهندسی معدن، دوره دوم شماره سوم، صفحه ۴۱ تا ۴۹، ۱۳۸۶.

[۷] Zarei, H., Moarefvand, P., "*Slope Stability Analysis of Miduk Copper Mine with the Proposed Slope of ۴۷degrees*", ۵th Conference of mining engineerning, Tehran, Iran, ۲۰۱۴.