

تحلیل پایداری زون شکست تکیه‌گاه جناح چپ سد مخزنی سیمره با استفاده از مدل سازی عددی

محمود یزدانی
ایران و دانشگاه تربیت مدرس
mahyaz@gmail.com

کاوه آهنگری
ایران و دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات نشانی
kaveh.ahangari@gmail.com

محمد مهدی علی محمد*
ایران و دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
mm.alimohammad@gmail.com

سعید آلودری
ایران و دانشگاه آزاد اسلامی واحد علوم و تحقیقات
Saeed_prsn@yahoo.com

عباس کمالی بندپی
ایران و دانشگاه تربیت مدرس
bbskml@yahoo.com

خلاصه مقاله

مهمترین مسائل موجود در پروژه‌های عمرانی به‌ویژه پروژه‌هایی نظیر احداث سدها، مطالعه و تامین پایداری شیب‌های سنگی مربوط به آنها است. هدف از تحلیل پایداری شیروانی‌ها یافتن ضریب اطمینان مناسب برای تامین پایداری و در عین حال اقتصادی آن می‌باشد. مناسب‌ترین روش در تحلیل چنین مسائلی، مدل‌سازی عددی این شیب‌ها و مقایسه نتایج حاصله با مقادیر اندازه‌گیری شده واقعی است. این تحقیق مربوط به زون شکست موجود در تکیه‌گاه جناح چپ سد سیمره است. این زون بر اثر وقوع زمین‌لغزشی اتفاق افتاده که در اثر آن یک ترک با بازشدگی حدود ۲۰ سانتی‌متر در ناپیوستگی تقریباً قائم به ارتفاع حدود ۲۵ متر به‌وجود آمده است. با ایجاد این بازشدگی و شروع حرکت توده، ترک‌های کششی متعددی که حدوداً موازی ترک فوق‌الذکر بوده در قسمت‌های پائینی به‌وجود آمده‌اند، لذا توده مزبور به تعداد زیادی قطعات مجزا از یکدیگر تبدیل شده است. در این تحقیق، تحلیل پایداری به‌روش عددی بر روی شیروانی مذکور با استفاده از نرم‌افزار UDEC، انجام شده است. با توجه به نتایج حاصل از تحلیل عددی، فاکتور ایمنی محاسبه شده بزرگتر از فاکتور ایمنی مجاز بوده، بنابراین شیروانی مورد مطالعه پایدار ارزیابی می‌شود.

ABSTRACT

The most important issue involved in construction projects, in particular dam construction, studying and supplying the stability of rock slopes related to them. Slopes stability analysis is aimed at finding safety factor appropriate for supplying the stability and at the same time its economic stability. The most important method in analyzing such issues is the numerical modeling of such slopes and comparing the gained results with the real measured values. This study is related to failure zone existing in the left flank abutment of Seymareh dam. This zone has occurred as a result of a landslide leading to a crack with an aperture of around 20 cm in the rather perpendicular discontinuity with height of around 25 meters. With the emergence of this aperture and with the beginning of mass movement, numerous tension cracks with rather parallel with the abovementioned crack has emerged. Hence, the above mentioned mass has been segregated to many separate pieces. In this study, the stability research in numerical method is conducted on the above mentioned slopes using software UDEC. Considering the situation of the environment with regard to discontinuities, stability analysis is done using software UDEC, the safety factor calculated exceeds the allowed safety factor, and therefore the slope studied is stable.

کلید واژه: تحلیل پایداری شیروانی؛ سد سیمره؛ مدلسازی عددی؛ اجزاء مجزا؛ UDEC؛ زون شکست

مقدمه

را به منظور محدود کردن تنش برشی که یک زون ممکن است تحمل کند را به کار می‌برد. بزرگترین مزیت روش‌های تحلیلی این است که می‌توان جواب دقیق مسئله را در حوزه تعریف مسئله به دست آورد و همچنین نمی‌توان از آن برای کنترل روش عددی استفاده کرد. روش‌های عددی را می‌توان در مورد هر پدیده فیزیکی که بتواند توسط یک معادله دیفرانسیل توجیه و بیان گردد به کار برد و سپس توسط روش‌های عددی به حل آن معادله پرداخت. روش‌های عددی مشتمل بر روش‌های زیر می‌باشد:

- روش تفاضل محدود^۶
- روش اجزا محدود^۷
- روش اجزا مرزی^۸
- روش اجزا مجزا^۹

روش اجزاء مجزا^{۱۰} که توسط کاندال^{۱۱} در سال ۱۹۷۱ پیشنهاد شد و در سال ۱۹۷۹ توسط کاندال و استرک^{۱۲} توسعه یافت، از جمله رایج‌ترین روش‌های مدل‌سازی عددی جهت تحلیل پایداری شیروانی‌ها می‌باشد. در این روش ناحیه تحت مطالعه به المان‌های مجزا با شکل‌های قراردادی تقسیم گردیده و اثر متقابل این المان‌ها هنگامی که نیروهای داخلی به تعادل برسند، نشان داده می‌شود. سیکل محاسبات به‌طور متناوب از حاصل جمع نیروهای فعال روی یک المان و از قانون نیرو-جابجایی در سراسر درزه‌ها و کاربرد قانون دوم نیوتن برای پیدا کردن تغییر مکان‌ها، سرعت‌ها و شتاب‌های المان انجام می‌گیرد. با استفاده از این روش، محیط به‌صورت ناپیوسته مدل شده و در نتیجه اثر عوارض ساختاری نظیر درزه‌های سنگی، لایه‌بندی، گسل‌ها و انواع ناپیوستگی‌ها قابل بررسی است.

دلایل مختلفی وجود دارد که چرا از مدل‌های عددی برای مطالعات تحلیل پایداری استفاده می‌شود.

۱. مدل‌های عددی می‌توانند بدون شبهه، غیر از پایگاه‌های داده‌ها در مقایسه با روش‌های عددی که شیوه شکست به‌طور واضح تعریف می‌شود، برون‌یابی شود.
۲. تحلیل عددی می‌تواند خصوصیات کلیدی زمین‌شناسی همانند گسل‌ها، و آب زیرزمینی مشروط به تقریب‌های واقع‌بینانه‌تری از رفتار شیروانی‌های حقیقی نسبت به مدل‌های تحلیلی به هم پیوند دهد. در مقایسه روش‌های تحلیل غیر عددی مانند تعادل تحلیلی، فیزیکی یا حدی ممکن است برای بسیاری از سایت‌ها و یا تمایل به ساده‌گرفتن شرایط که شاید منجر به راه حل‌های محافظه‌کارانه شوند، نامناسب باشد.
۳. تحلیل عددی می‌تواند به تشریح رفتار فیزیکی مشاهده شده کمک کند.
۴. تحلیل عددی می‌تواند چندین احتمال را از مدل‌های زمین‌شناسی، شیوه‌های شکست و گزینه‌های طراحی را ارزیابی کند

تحلیل پایداری شیروانی زون شکست موجود در تکیه‌گاه جناح چپ با استفاده از نرم‌افزار UDEC

نرم‌افزار UDEC یک برنامه دو بعدی است که براساس روش المان مجزا، برای مدل‌سازی محیط‌های ناپیوسته به کار می‌رود. این برنامه قادر است محیط‌های

تحلیل پایداری شیروانی‌های سنگی به دلیل انجام پروژه‌های معدنی و عمرانی به‌طور روزافزون در جهان اجرا می‌شود. این تحلیل‌ها به سوی ارزیابی ایمنی و طراحی اساسی شیروانی‌های حفاری شده (معدنکاری روباز، احداث جاده‌ها و غیره) و شرایط تعادل شیروانی‌های طبیعی هدایت می‌شوند. انتخاب تکنیک‌های تحلیلی، وابسته به شرایط حساسیت، پتانسیل نوع شکست، ملاحظه دقیق مقاومت‌های مختلف، محدودیت‌ها و نقاط ضعف ذاتی در هر روش می‌باشد. همان‌طور که مشخص است، یکی از اهداف اصلی در تحلیل پایداری شیروانی‌های طبیعی و مصنوعی، تعیین فاکتور ایمنی شیروانی‌ها می‌باشد. فاکتور ایمنی می‌تواند در صورتی که سطح بحرانی شکست شیروانی، به درستی شناسایی شود، با دقت قابل قبولی بدست بیاید. سطح بحرانی شکست شیروانی سطحی از شیروانی است که لغزش بر روی آن اتفاق می‌افتد و فاکتور ایمنی بسیار پائینی را دارا می‌باشد. ساختگاه سد سیمره در حدود ۴۰ کیلومتری شمال غربی شهرستان دره‌شهر و در ۱۰۶ کیلومتری جنوب شرقی شهرستان ایلام واقع است. مختصات جغرافیایی آن به طول شرقی ۴۷°۱۲' عرض شمالی ۳۳°۱۷' می‌باشد. ساختگاه نیروگاه نیز روبروی روستای تلخاب و به فاصله ۱/۵ کیلومتری از ساختگاه سد قرار دارد به زون شکست موجود در تکیه‌گاه جناح چپ سد مخزنی سیمره می‌باشد. این زون در مجاورت سازه آبگیر تونل آب‌بر نیروگاه قرار دارد که بر اثر وقوع زمین‌لغزش به‌وجود آمده است. ارتفاع این زون در حدود ۷۵ متر و دارای طولی مابین ۱۵۰ تا ۲۰۰ متر می‌باشد. شیب آن نیز ۴:۱ است. اهمیت پروژه مذکور بدلیل واقع شدن این زون در نزدیکی ورودی تونل آب‌بر نیروگاه و مشرف بودن به مخزن سد می‌باشد.

ویژگی‌های زمین‌شناسی ناحیه زمین‌لغزه و زون شکست

ناحیه زمین‌لغزه در منتهی الیه یال شمالی طاق‌دیس راوندی قرار گرفته که به دلیل مکانیزم عملکرد چرخشی آن، ناپیوستگی‌های متعدد کششی در لایه‌های بالائی طاق‌دیس با شیب تقریباً قائم و امتدادی به موازات محور اصلی طاق‌دیس که امتدادی غربی-شرقی می‌باشد ایجاد نموده است. واحدهای زمین‌شناسی تشکیل‌دهنده طاق‌دیس شامل آسماری بالائی، آسماری میانی و آسماری پائینی می‌باشد که از سنگ‌های آهکی با ضخامت لایه‌های متفاوت و بعضاً درجات مختلف مقاومت تشکیل شده‌اند. در این بین میان‌لایه‌های مارنی نیز وجود دارند. جنس لایه‌های تشکیل‌شده در زون شکست شامل آهک مارنی^۱، آهک^۲، مارن^۳ و آهک حفره‌دار^۴ بوده که پارامترهای مقاومتی مارلستون از قبیل چسبندگی، زاویه اصطکاک، مدول تغییر شکل‌پذیری و غیره بسیار پائین می‌باشد. لذا اهمیت موضوع مورد بحث، مشرف بودن به سازه آبگیر مخزن سد و تکیه‌گاه چپ و قرار گرفتن در منطقه زمین‌لغزه قدیمی می‌باشد.

تحلیل پایداری شیروانی‌های سنگی با استفاده از روش‌های عددی

روش‌های تحلیل عددی پیشرفت‌های تازه‌تری نسبت به روش‌های تعادل حدی داشته‌اند و هم اکنون به‌طور قاطع در معدن‌کاری روباز و واریزه‌ها (زمین‌لغزه‌ها)^۵، استفاده می‌شوند. مدل‌های عددی، برنامه‌های کامپیوتری هستند که به‌منظور بیان واکنش مکانیکی یک توده‌سنگ مشخص، برای مجموعه‌ای از شرایط ابتدایی همانند تنش‌های برجا، ترازهای آب و شرایط مرزی و تغییراتی شامل حفاری شیروانی، مطرح می‌شوند. مدل‌های عددی، توده‌سنگ را به زون تقسیم می‌کند. به هر زون، یک مدل مواد و خواص اختصاص داده می‌شود. مدل‌های مواد، روابط تنش و کرنش را به‌صورت ایده‌آل درمی‌آورد که چگونگی رفتارهای مواد را تشریح کند. ساده‌ترین مدل، یک مدل الاستیک خطی می‌باشد که خواص الاستیک مواد (مدول یانگ و ضریب پواسون) را استفاده می‌کند. مدل‌های الاستیک-پلاستیک پارامترهای متفاوتی

⁶ Finite Difference Method

⁷ Finite Element Method

⁸ Boundary Element Method

⁹ Discrete Element Method

¹⁰ Distinct Element Method

¹¹ Cundall

¹² Strack

¹ Marly Limestone

² Limestone

³ Marlstone

⁴ Vuggy Limestone

⁵ Landslide

نام سنگ	دانسیتته (t/m ³)	چسبندگی (MPa)	زاویه اصطکاک (°)	مدول تغییر شکل پذیری (GPa)	نسبت پوآسون
گروه اول	۲/۶۲	۱/۵	۴۵	۹	۰/۲۵
گروه دوم	۲/۶۵	۰/۲۵	۳۵	۵/۵	۰/۲۸
گروه سوم	۲/۶	۰/۰۷	۲۰	۲/۵	۰/۳۲

جدول ۱: پارامترهای ژئومکانیکی مصالح سنگی

سطح ناپیوستگی	سختی نرمال (Gpa)	سختی برشی (Gpa)	چسبندگی (Mpa)	زاویه اصطکاک (درجه)
گسل	۰/۷	۰/۰۷	۰/۰۶	۲۸/۵
لایه بندی	۲	۰/۵	۰/۱۴	۲۷
کنتاکت مارن با سنگ های پیرامون	۰/۷	۰/۰۷	۰/۰۷	۲۰
کنتاکت آهک مارنی با سنگ های پیرامون	۱/۳	۰/۳	۰/۱	۲۴

جدول ۲: پارامترهای ژئومکانیکی سطوح ناپیوستگی

روش تحلیل و نتایج حاصل از آن

به منظور تحلیل پایداری شیروانی مورد مطالعه، هندسه مدل توسط نرم افزار UDEC شبیه سازی شد. مدل فوق دارای ارتفاع حدود ۱۲۵ متر و گسترش طولی حدود ۲۴۵ متر می باشد. در راستای تحلیل پایداری با استفاده از نرم افزار فوق، مشخصات مواد تشکیل دهنده در مدل مطابق با جدول شماره ۱ اختصاص داده شد. همچنین با استفاده از جدول شماره ۲ خصوصیات ژئومکانیکی ناپیوستگی ها تعریف گردید. با توجه به ابعاد بلوک های تشکیل شده شیروانی، مش بندی بلوک ها با نسبت های مناسب و متفاوت انجام شد. در جهت جانی به مرزهای قائم مدل سرعت صفر اختصاص داده شد و مرز پایین مدل در جهت قائم نیز بسته شده است. در مدل سازی مذکور ثابت گرانش ۱۰ متر بر مجذور ثانیه در نظر گرفته شد. سپس مدل برای رسیدن به حالت تعادل با تعداد کافی مرحله زمانی تحت شرایط بارگذاری ثقلی اجرا گردید. بعد از به اتمام رسیدن حل مسئله از نتایج حاصل از تحلیل پلات گرفته شد و نتایج حاصل از تحلیل عددی با استفاده از نرم افزار UDEC در جدول شماره ۳ بیان شده است. شکل ۱ حداکثر جابجایی شیروانی، شکل ۲ میزان تنش عمودی وارد بر مدل، شکل ۳ حداکثر کرنش برشی، شکل ۴ حداکثر جابجایی برشی، شکل ۵ نیز هیستوگرام تعادل نیرو برای شیروانی مورد مطالعه را در حالت الاستیک نشان داده شده است.

ناپیوسته مانند توده سنگ های درزه دار را تحت شرایط بارگذاری دینامیکی و استاتیکی شبیه سازی و تحلیل کند. یک محیط ناپیوسته را می توان ترکیبی از بلوک های مجزا در نظر گرفت که ناپیوستگی ها به عنوان شرایط مرزی بین این بلوک ها عمل می کنند. رفتار بلوک ها را می توان به صورت صلب یا تغییر شکل پذیر در نظر گرفت. بلوک های تغییر شکل پذیر خود به مش هایی از المان های محدود تقسیم شده و هر المان بر اساس قانون تنش-کرنش، رفتار خطی یا غیر خطی دارد. این برنامه در ابتدا برای تحلیل پروژه های مهندسی سنگ طراحی شده است. کاربرد این برنامه از مطالعه گسیختگی های پیشرو^۱ در شیب های سنگی تا برآورد تاثیر درزه ها، گسل ها و سطوح لایه بندی روی حفاری های زیرزمینی و پی های سنگی را در بر می گیرد. لذا زمانی که ساختارهای زمین شناسی در محل طرح شناخته شده باشند، نرم افزار UDEC کارایی بهتری از خود نشان خواهد داد. مدل های مختلفی برای رفتار درزه ها در برنامه وجود دارد. مدل رفتاری اصلی، مدل لغزش کولمب است که سختی الاستیک، زاویه اصطکاک، مقاومت چسبندگی، مقاومت کششی و زاویه اتساع^۲ را به درزه نسبت می دهد. چهار مدل برای بلوک های شکل پذیر وجود دارد که از مواد تهی^۳ برای نمایش حفاری ها تا مدل های تسلیمی حجمی و برشی را شامل می شود. این برنامه قادر است حالت تنش صفحه ای را که در آن تنش های عمود بر صفحه مقطع عرضی برابر صفر هستند نیز مدل کند. نرم افزار UDEC قادر است جریان سیال را در ناپیوستگی ها یا بخش های حفاری شده، شبیه سازی کند. جریان سیال از نظر تئوری یک جریان ویسکوز در بین صفحات محصور است. نیروها و جابه جایی های سطوح درزه (سطوح تماس در فواصل تنش دار شده بلوک ها) نیز با توجه به یک سری محاسبات که نیروی جابه جایی بلوک ها تاثیر می گذارند، ایجاد می شوند.

مدل های رفتاری و مشخصات مصالح و ناپیوستگی های شیروانی

مورد مطالعه

در نرم افزار UDEC می توان چهار مدل رفتاری تماس نقطه ای الاستیک-پلاستیک، تماس ناحیه درزه الاستیک-پلاستیک، مدل تسلیم پیوسته و تماس ناحیه درزه را برای ناپیوستگی ها در نظر گرفت. مدل رفتاری در نظر گرفته شده برای ناپیوستگی ها در مدلسازی شیروانی زون شکست، مدل لغزش موهر-کولمب می باشد. همچنین مدل الاستیک-پلاستیک با معیار لغزش موهر-کولمب^۴ برای لایه های تشکیل دهنده شیروانی در نظر گرفته شده است. دلیل استفاده از این مدل رفتاری در تحلیل پایداری شیروانی مورد مطالعه این است که با توجه به جنس سنگ های موجود در منطقه و میزان مقاومت فشاری تک محوره این گونه سنگ ها و قرارگیری آنها جزو سنگ های نرم، بهترین و مناسب ترین مدل رفتاری، مدل موهر کولمب می باشد چرا که با توجه به ویژگی های این مدل، استفاده آن در محیط های خاکی که به شدت دارای درزه و شکاف است به جواب مناسب تری در تحلیل ها خواهیم رسید. با توجه به انواع سنگ های موجود در ساختگاه سد سیمره، زون شکست موجود در تکیه گاه جناح چپ و نیز ارتباط بین جنس سنگ و خصوصیات مکانیکی آنها، تحلیل آزمون های آزمایشگاهی مکانیک سنگ بایستی در گروه های مختلف انجام گیرد. دلیل این امر، این است که نتایج هر یک از آزمون ها برای انواع مختلف سنگ از پراکندگی قابل توجهی برخوردار است. از طرفی هم پوشانی موجود در نتایج آزمون های انواع مختلف سنگ باعث ایجاد عدم قطعیت قابل توجه در استفاده از تقسیم بندی فوق در تحلیل ها و کاربردهای بعدی این نتایج خواهد شد.

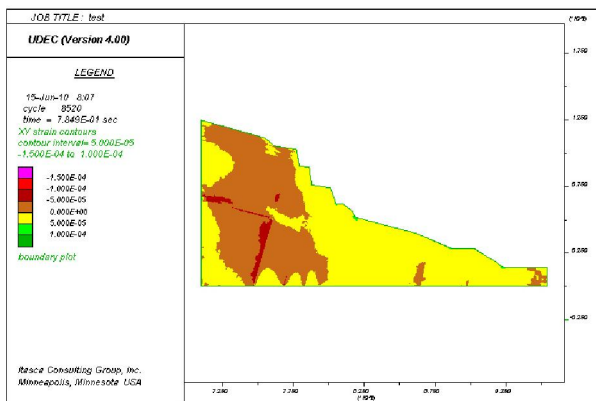
با توجه به توضیحات ارائه شده مبنی بر تقسیم بندی انواع سنگ های موجود در منطقه مورد مطالعه به سه گروه یک، دو و سه، جدول ۱ مقادیر نهایی پارامترهای ژئومکانیکی انواع مختلف مصالح سنگی شیروانی و جدول ۲ پارامترهای ژئومکانیکی سطوح ناپیوستگی را نشان می دهند.

¹ Progressive Failures

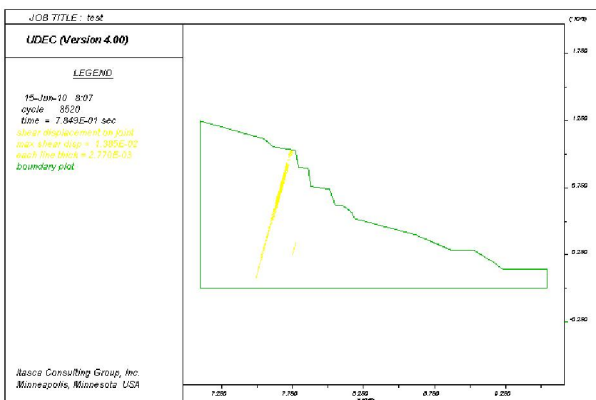
² Dilation Angle

³ Null

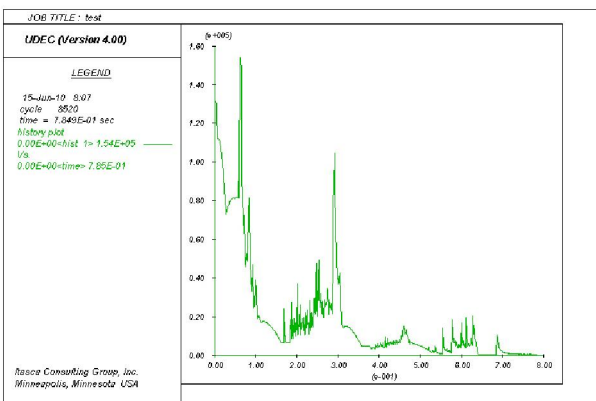
⁴ Mohr-Coulomb



شکل ۳- حداکثر کرنش برشی در حالت الاستیک



شکل ۴- حداکثر جابجایی برشی در حالت الاستیک

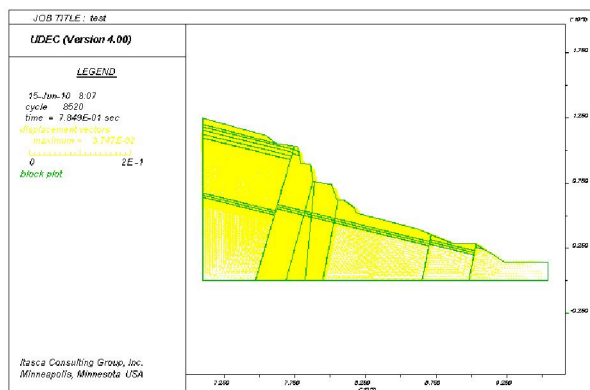


شکل ۵- هیستوگرام تعادل نیرو برای شیروانی در حالت الاستیک

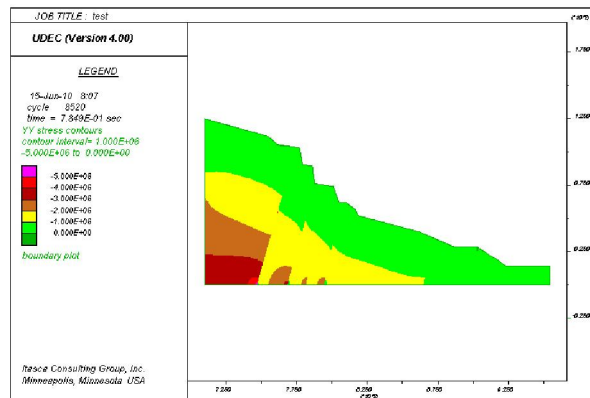
شکل ۶ حداکثر جابجایی شیروانی، شکل ۷ میزان تنش افقی وارد بر مدل، شکل ۸ حداکثر کرنش برشی، شکل ۹ حداکثر جابجایی برشی، شکل ۱۰ نیز هیستوگرام تعادل نیرو برای شیروانی مورد مطالعه را در حالت پلاستیک نشان داده شده است. لازم به یادآوری است که نتایج تمامی تحلیل‌های صورت گرفته در جدول شماره ۳ آمده است.

پارامترها	نتایج تحلیل در حالت الاستیک	نتایج تحلیل در حالت پلاستیک
حداکثر جابجایی کلی بلوک‌ها (سانتی‌متر)	۳/۷	۵/۶
حداکثر جابجایی قائم (سانتی‌متر)	۳/۵	۴
حداکثر جابجایی افقی (سانتی‌متر)	۱	۴/۵
تنش عمودی (مگاپاسکال)	صفر الی ۵	صفر الی ۶
تنش افقی (مگاپاسکال)	صفر الی ۲	صفر الی ۲
حداکثر کرنش برشی	۰/۰۰۰۱ الی ۰/۰۰۰۱۵	۰/۰۰۰۲ الی ۰/۰۰۰۴
حداکثر جابجایی برشی (سانتی‌متر)	۱/۴ روی پله دوم و سوم	۲/۳۱ روی پله اول و دوم
حداکثر بازشدگی (میلی‌متر)	۲/۲۷ روی پله اول	۱/۴۵ روی پله اول
فاکتور ایمنی	بزرگتر از ۲	بزرگتر از ۲

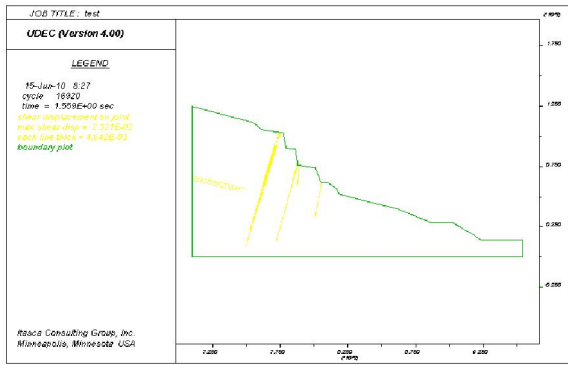
جدول ۳: خلاصه نتایج تحلیل عددی شیروانی مورد مطالعه در دو حالت الاستیک و پلاستیک



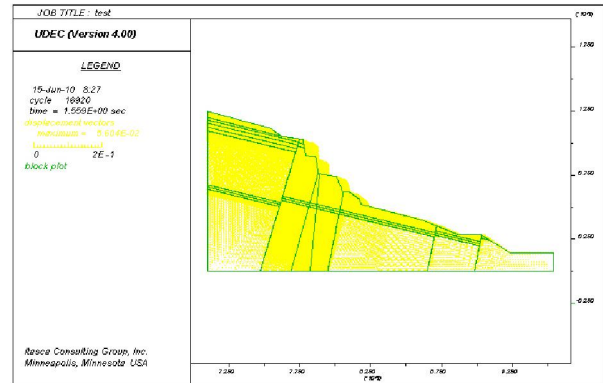
شکل ۱- حداکثر جابجایی شیروانی در حالت الاستیک



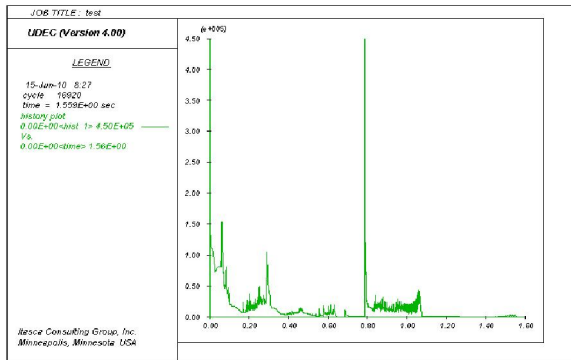
شکل ۲- تنش عمودی وارد بر مدل در حالت الاستیک



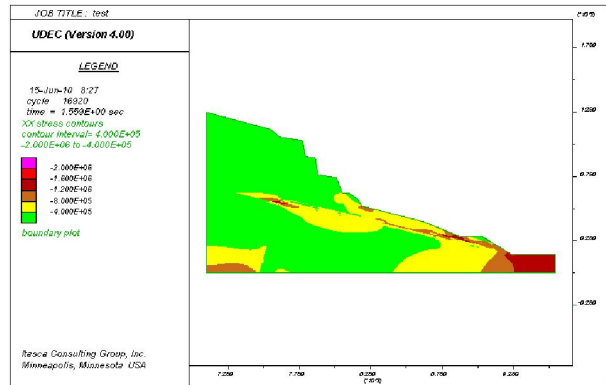
شکل ۹- حداکثر جابجایی برشی در حالت پلاستیک



شکل ۶- حداکثر جابجایی شیروانی در حالت پلاستیک



شکل ۱۰- هیستوگرام تعادل نیرو برای شیروانی در حالت پلاستیک

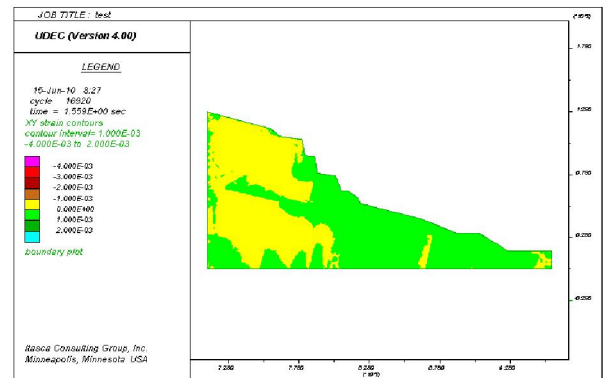


شکل ۷- تنش افقی وارد بر مدل در حالت پلاستیک

شرایط پایداری	ضریب جابه‌جایی پلاستیک به الاستیک*	حالت پلاستیک	حالت الاستیک	نوع جابه‌جایی‌ها
پایدار	۱/۴	۲/۳۸	۱/۷	قائم و نقطه اول (سانتی‌متر)
پایدار	۱/۰۷	۰/۸۹۷	۰/۸۴	قائم نقطه دوم (سانتی‌متر)
پایدار	۱/۰۸	۰/۰۳۲۳	۰/۰۳	قائم نقطه سوم (سانتی‌متر)
پایدار	۴/۸	۴/۲۵	۰/۸۸	افقی و نقطه اول (سانتی‌متر)
پایدار	۲/۸	۲/۶۹	۰/۹۴	افقی و نقطه دوم (سانتی‌متر)
پایدار	۱/۶۶	۰/۴۶۶	۰/۲۸	افقی و نقطه سوم (سانتی‌متر)

جدول ۴- نتایج جابجایی‌های بدست آمده در نقاط مشاهده‌ای

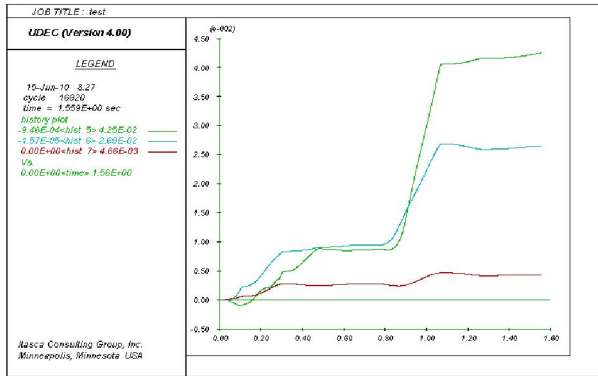
* اگر این ضریب بزرگ‌تر از ۱ باشد جابه‌جایی در حالت پلاستیک افزایشی و اگر این ضریب کوچک‌تر از ۱ باشد جابه‌جایی در حالت پلاستیک کاهش‌ی خواهد بود.



شکل ۸- حداکثر کرنش برشی در حالت پلاستیک

علاوه بر این در این تحقیق، بر روی مدل سه نقطه دلخواه به منظور بررسی وضعیت جابه‌جایی احتمالی آن نقاط در نظر گرفته شده است. این نقاط در روی پایه پله و نقاطی که گسل در حوالی در آن ناحیه وجود دارد، انتخاب شده است.

نتایج حاصل از میزان جابه‌جایی‌ها بر روی نقاط مشاهده‌ای در دو حالت الاستیک و پلاستیک در جدول شماره ۴ آمده است. همچنین در این جدول ضریب جابه‌جایی پلاستیک به الاستیک و همچنین با توجه به میزان جابه‌جایی حاصله نوع حالت پایدار و ناپایدار نقاط مشاهده‌ای ارائه شده است.



شکل ۱۴- حداکثر جابجایی‌های افقی در نقاط مشاهده‌ای در حالت الاستیک

نتیجه گیری

در این تحقیق تحلیل پایداری شیروانی زون شکست موجود در تکیه‌گاه سد سیمره با استفاده از روش عددی و با استفاده از نرم‌افزار UDEC صورت پذیرفته است. نتایج حاصل از تحلیل عددی نشان می‌دهد که شیروانی مذکور در دو حالت الاستیک و پلاستیک پایدار بوده است. در این تحقیق شیروانی مورد مطالعه از تعداد بیش از ۷۵۸۰۰ المان برخوردار بوده که از این تعداد المان، ۱۹۶۱ المان تحت کشش گسیخته خواهند شد. عمدتاً این گسیختگی‌ها به صورت ترک کششی در پله اول و دوم مشاهده می‌شود. لذا با توجه به نتایج فوق، لزوم تحلیل پایداری بلندمدت شیروانی مذکور پیشنهاد می‌گردد. در این تحلیل در شیروانی شکست برشی مشاهده نشده است. همچنین با توجه به تحلیل شیروانی فاکتور ایمنی در دو حالت الاستیک و پلاستیک بیش از ۲ می‌باشد.

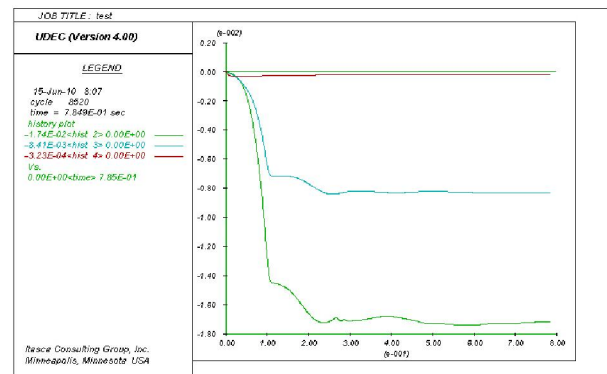
مراجع

- [1]. Eberhardt. E., 2003, 'Rock Slope Stability Analysis Utilization of Advanced Numerical Techniques', Earth And Ocean sciences at UBC- Vancouver, Canada. Pp 2-4.
- [2]. Kahatadeniya. K.S, Nanakorn. P, Neaupane. K.M., 2009, 'Determination of the Critical Failure Surface for Slope Stability Analysis Using ant colony Optimization', Engineering Geology, pp 133-141.
- [3]. Duncan C. Wyllie and Christopher W. Mah., 2004, 'Rock Slope Engineering Civil and mining', The Institute of Mining and Metallurgy, 4th Edition, pp 15-46.
- [4]. Itasca Consulting Group, Inc. 2004, 'UDEC, Universal Distinct Element Code' User's Manual, Version 4.0.

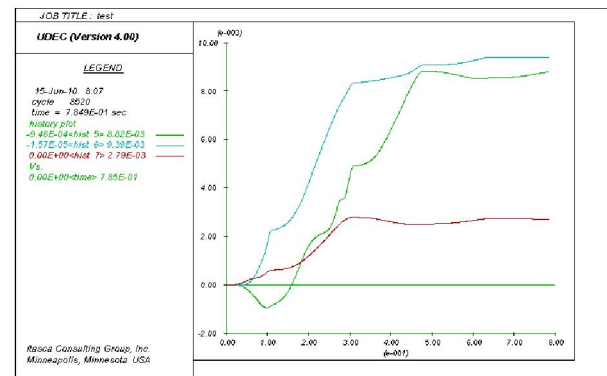
[۵]. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۱، "گزارش مطالعات مکانیک سنگ"، سد و نیروگاه سیمره (مطالعات مرحله دوم)، جلد ۴-۱.

[۶]. شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس، ۱۳۸۶، "گزارش تحلیل پایداری در بلوک‌های A و B واقع در تکیه‌گاه جناح چپ سد سیمره"، مطالعات مرحله سوم.

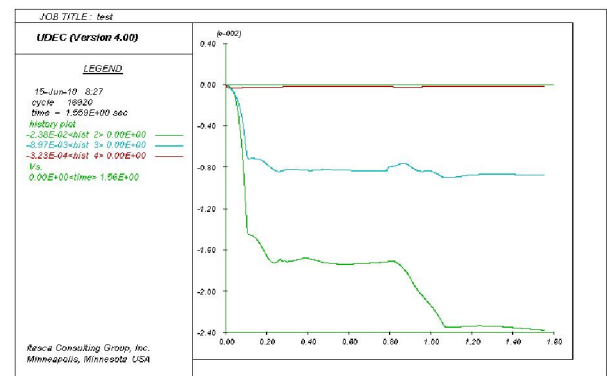
همچنین نمودارهای جابجایی قائم و افقی به دست آمده در نقاط مشاهده‌ای حاصل از تحلیل پایداری در شکل‌های ۱۱ الی ۱۴ در دو حالت الاستیک و پلاستیک آمده است.



شکل ۱۱- حداکثر جابجایی‌های قائم در نقاط مشاهده‌ای در حالت الاستیک



شکل ۱۲- حداکثر جابجایی‌های افقی در نقاط مشاهده‌ای در حالت الاستیک



شکل ۱۳- حداکثر جابجایی‌های افقی در نقاط مشاهده‌ای در حالت الاستیک