



تحلیل عددی پایداری دیواره های معدن مس تخت گنبد سیرجان به کمک

روش المان مجزای دو بعدی

علی میردار منصور پناهی^{۱*}، مهناز حسنی^۲، مجید مقامی^۳،

و حسین اکبری جور^۴

۱- کارشناس ارشد مکانیک سنگ، شرکت سنگ آهن گل گهر

hoseyn53@yahoo.com

۲- کارشناس معدن

Mahnazhasani@yahoo.com

۳- کارشناس زمین شناسی، شرکت ملی صنایع مس ایران، معدن مس سرچشمه

۴- کارشناس ارشد مکانیک سنگ، شرکت سنگ آهن گل گهر

hoseyn53@yahoo.com

چکیده

پیشرفت عملیات استخراجی در عمق، تغییراتی را در میدان تنش بدنبال خواهد داشت. بررسی روند این تغییرات در مراحل مختلف معدنکاری با توجه به ناپایداری در بعضی از دیواره های معدن هر روز محسوس تر می گردد. با توجه به این که معدن مس تخت سیرجان در شرف شروع عملیات استخراجی است تحلیل پایداری دیواره های آن در طرح استخراجی پیشنهادی از مسائل حائز اهمیت است. در این تحقیق به منظور تحلیل پایداری دیواره های این معدن، با استفاده از نتایج مطالعات ژئوتکنیکی و با انجام مطالعات زمین شناسی و شناسایی سیستمهای ناپیوسته (تعیین وضعیت هندسی سیستم های ناپیوسته با نرم افزار DIPS)، با توجه به وضعیت محیط، با استفاده از روش عددی المان مجزا (با کمک نرم افزار UDEC) تحلیل پایداری در مقاطع تهیه شده از دیواره های معدن (حدود ۸ مقطع) انجام و وضعیت پایداری آن مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این تحقیق گویای آن است که بیشتر دیواره ها حالت پایداری داشته و میزان ناپایداری در آنها ناچیز است. در مقطعی هم که جابجایی در اثر وضعیت شیب و امتداد درزه ها نسبت به دیواره معدن بوجود آورده با تغییر در امتداد فعلی دیواره معدن، دیواره یا دیواره های مزبور پایدارتر خواهند بود.

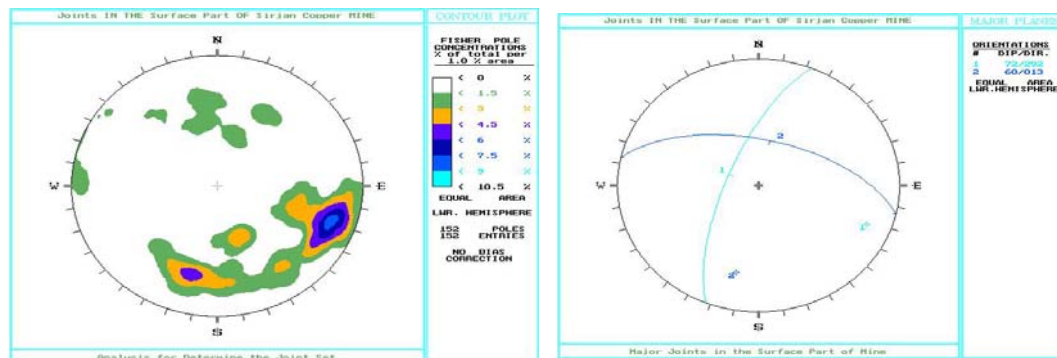
* کرمان سیرجان کیلومتر ۶۰ جاده سیرجان شیراز شرکت سنگ آهن گل گهر امور معدن



مقدمه

در روش المان مجزا ناپیوستگیها به عنوان شرایط مرزی بلوک عمل می کنند. در این تحقیق داده های مورد نیاز مربوط به ورودی نرم افزار DIPS پس از برداشت امتداد، شیب، فاصله داری و امتداد یافتگی ناپیوستگیها در تونل حفاری توجیه شده و سطح (لازم به ذکر است که داده های درزه ها بار دیگر به کمک نرم افزار DIPS مورد بررسی قرار گرفته و نتایجی مشابه گزارش ارائه شده قبلی بدست آمد)، مقادیر زاویه اصطکاک، چسبندگی، سختی برشی، سختی نرمال و زاویه اتساع ناپیوستگیهای محدود کننده به صورت حاد و مشابهت با محیط های دیگر در نظر گرفته شده و سرانجام روند آماده سازی و پردازش این داده ها به منظور استفاده در روش المان مجزا طی شده است.

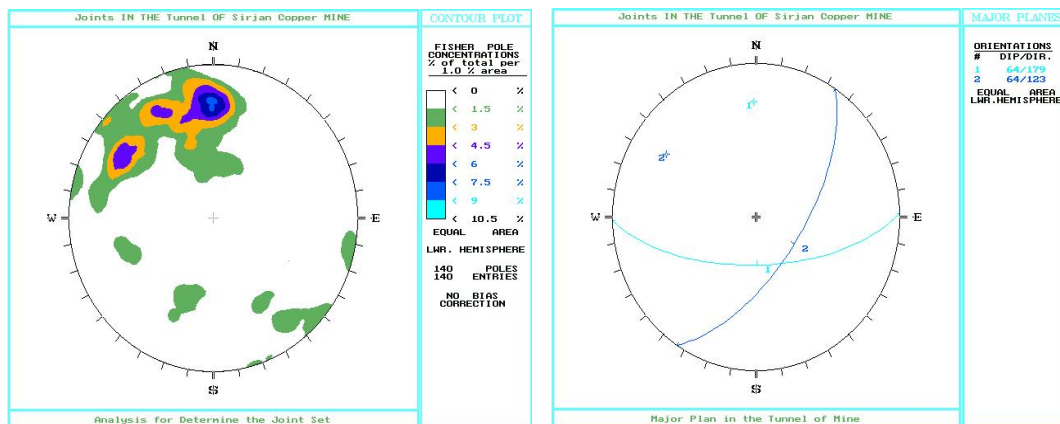
در این قسمت جهت تعیین مشخصات سیستم یا سیستم درزه های موجود در منطقه تعداد ۱۵۲ داده سطحی و ۱۴۰ داده برداشت شده در داخل تونل مورد تحلیل قرار گرفته و نتایج حاصل در شکل های زیر آمده است.



شکل ۱- خطوط تراز درزه ها در سطح و دسته درزه های انتخاب شده با بیشترین تمرکز در سطح

با توجه به نتایج بدست آمده سیستم درزه با مشخصات هندسی ۷۲/۲۹۲ در داده های مورد پردازش سطحی انتخاب گردید.

در تحلیل انجام شده روی داده های برداشتی از تونل نتایج به قرار زیر است :



شکل ۲- خطوط تراز درزه ها و دسته درزه های انتخاب شده با بیشترین تمرکز در تونل

در این قسمت نیز با توجه به نتایج بدست آمده دسته درزه با مشخصات هندسی ۶۴/۱۷۹ انتخاب گردید. در این قسمت با تعیین مشخصات هندسی درزه های موجود در منطقه نوبت به انجام تحلیل پایداری در دیواره های معدن می رسد که جهت انجام این تحلیل از نرم افزار UDEC(Universal Distinct Element Code) که یک نرم افزار قوی در انجام تحلیل های استاتیکی و دینامیکی است،(و بر اساس روش عددی المان مجزا بنا نهاده شده) استفاده شده است که جزئیات کار در ادامه آمده است.

تحلیل پایداری در دیواره های معدن مس تخت گنبد سیرجان

جهت انجام تحلیل پایداری معدن مس تخت گنبد سیرجان تعداد ۱۲ مقطع از دیواره های معدن تهیه و پس از مدلسازی شکل هندسی مقطع سیستم درزه و مشخصات دیگر مورد نیاز در مقاطع لحاظ گردید. البته شایان ذکر است که در ابتدای تحلیل مقطع بصورت کلی و بدون برداشتن قسمتی که در آینده برداشت خواهد شد، تنشهای اولیه موجود در منطقه را وارد نموده و سپس در مرحله قسمت استخراجی را برداشته و تحلیل ادامه یافته است.

بعد از این مرحله موقعیت تنشها در جهات مختلف محور طول و عرض توجیه و در نهایت در طی پله های زمانی مختلف میزان تغییرات مختلف بوجود آمده در جابجایی، تنشها، بازشدگی درزه ها، بردارهای جابجایی، نیروهای نامتعادل و غیره در شکل های حاصل از تحلیل با نرم افزار ارائه و مورد بررسی قرار گرفت. مراحل مذکور در صفحات بعدی به ترتیب آمده است.



پارامترهای مورد نیاز تحلیل

جهت تحلیل پایداری با استفاده از روش المان مجزا به یک سری مشخصات ذاتی توده سنگ و ناپیوستگیهای مربوط به آن، از قبیل وزن مخصوص، مدول حجمی، مدول الاستیسیته، مقاومت کششی، ضرایب سختی و نرمال، ضریب اصطکاک و چسبندگی نیاز دارد.

در نرم افزار UDEC جهت انجام تحلیل از معیارهای مختلفی با توجه به شرایط مسئله استفاده می شود. با توجه به کاربرد معیار موهر کلمب جهت بررسی مسائل مربوط به مکانیک سنگ و خاک (به عنوان مثال پایداری شیب و استخراجهای زیرزمینی) در محیط این نرم افزار، با بررسی شرایط منطقه مورد نظر، جهت انجام تحلیل از معیار موهر کلمب استفاده گردید [۱].

جهت بدست آوردن مدول الاستیسیته و برشی توده سنگ از فرمولهای زیر استفاده گردید [۲]:

$$G_m = \frac{S.Jks.G_r}{G_r + S.Jks} \quad (۴) \quad \text{و} \quad E_m = \frac{S.Jkn.E_r}{E_r + S.Jkn} \quad (۳)$$

تنشهای اولیه منطقه مورد تحلیل نیز با توجه به مقادیر وزن مخصوص، ضریب پواسون، شتاب جاذبه و ارتفاع پله ها در زمان برنامه نویسی هر مقطع در نظر گرفته شدند. جهت بدست آوردن مقادیر تنشها در جهت قائم و افقی از فرمولهای زیر استفاده گردید:

$$\sigma_h = \frac{\nu}{1-\nu} \times \sigma_v \quad (۵) \quad \text{و} \quad \sigma_v = \rho . g . h \quad (۴)$$

که در این فرمولها σ_v تنش در جهت قائم، ρ دانسیته (Kg/m^3)، g شتاب جاذبه (m/s^2)، h ارتفاع (m)، σ_h تنش افقی و ν ضریب پواسون می باشند.

در تعیین شرایط مرزی هر مقطع به گونه ای عمل شد که در جهت محور قائم مقدار بردار سرعت در جهت x (x.velocity) و در جهت محور افقی مقدار بردار سرعت در جهت y (y.velocity) برابر با صفر در نظر گرفته شد.

مقاطع مورد نظر به گونه ای در این قسمت از دیواره معدن تهیه شدند که تقریباً بحرانی ترین حالت را دارا باشند. قابل ذکر است که به عنوان مثال مقطع A به صورت AL یعنی مقطع سمت چپ و AR یعنی مقطع سمت راستی در نظر گرفته شده در دیواره معدن.



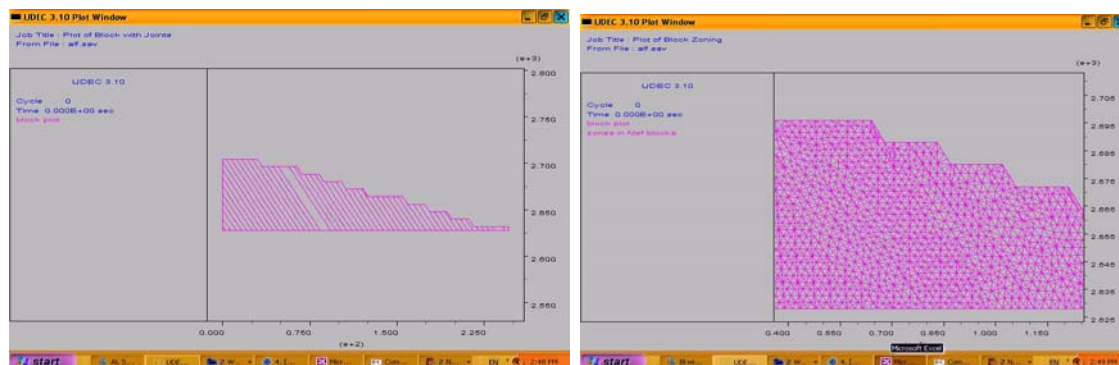
الف- تحلیل پایداری مقطع شماره ۱ (AR و AL)

این مقطع جزئیات آن در شکل ۳ نشان داده شده است. در این قسمت از تحلیل پس از پیمودن ۱۱۰۰۰ پله زمانی نیروهای نامتعادل^۱ به حد معین جهت تحلیل نهایی رسیدند. میزان حداکثر جابجایی در این مقطع و نمودارهای جابجایی در جهت محور X و Y پس از پیمودن تعداد پله زمانی مذکور به مقدار ثابتی رسیده که شکل‌های مورد نظر در ادامه آمده است.

جابجایی در جهت محور طول همانگونه که در شکل ۴ قابل مشاهده است در حال افزایش است. بازشدگی درزه‌ها در این مقطع در پله‌های اول، دوم و پنجم ظاهر شده که ناچیز بوده و قابل چشم پوشی است. در ضمن مقدار نهایی پارامترهای مختلف در شکل ۲۰ آمده است. در کل این مقطع حالت نسبتاً پایداری داشته است.

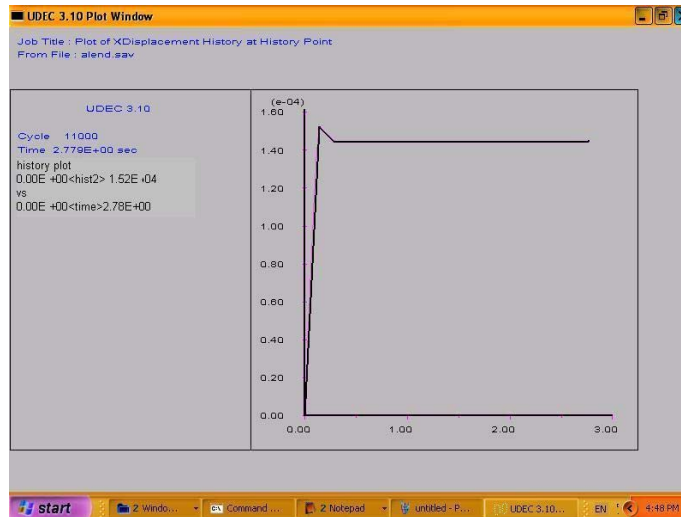
در مقطع AR تحلیل پس از پیمودن ۸۰۰۰ پله زمانی نیروهای نامتعادل به حد معین جهت تحلیل نهایی رسیدند. تعداد سیکل محاسبات باید تا جایی ادامه یابد که منحنی به یک حالت ثابتی (موازی محور طول‌ها) برسد. این حالت ثابت باید در منحنی تغییرات جابجایی نیز باشد. میزان ماگزیمم جابجایی در این مقطع و نمودارهای جابجایی در جهت محور X و Y پس از پیمودن تعداد پله زمانی مذکور به مقدار ثابتی رسیده که شکل‌های مورد نظر در ادامه آمده است.

نحوه تغییر در نیروهای نامتعادل در شکل ۵ قابل مشاهده است. بازشدگی درزه‌ها در این مقطع در پله دوم ظاهر شده که ناچیز بوده و قابل چشم پوشی است. در کل این مقطع نیز حالت نسبتاً پایداری داشته است.

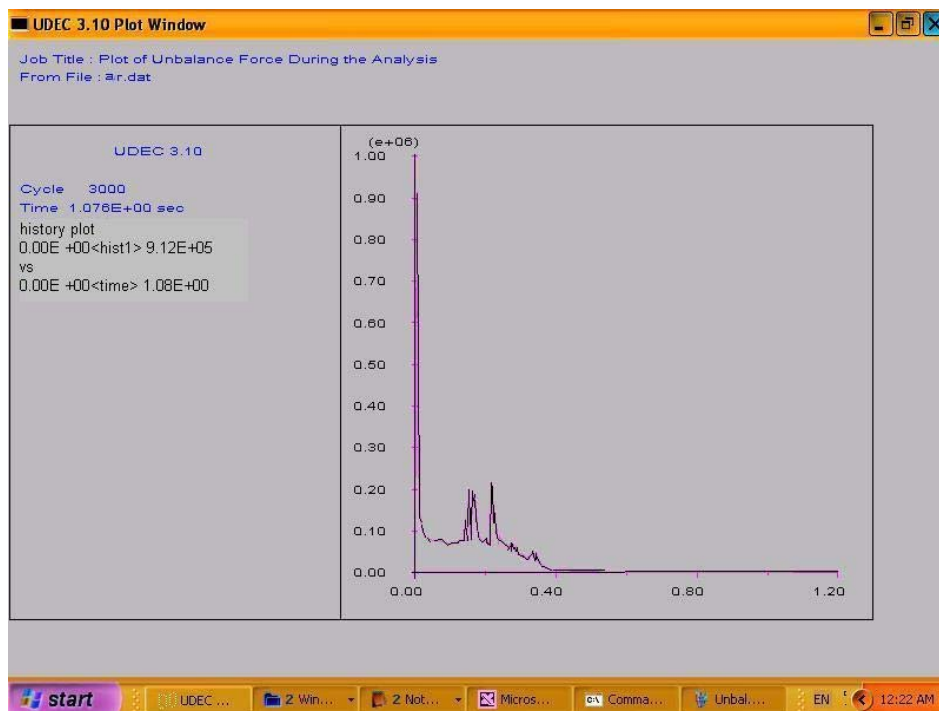


شکل ۳- وضعیت کلی محدوده دیواره معدن و المان بندی محیط در مقطع AL

1) Unbalance Forces



شکل ۴: منحنی جابجایی در امتداد محور طولها در پایان تحلیل (11000 Cycle)



شکل ۵: وضعیت نمودار نیروهای نامتعادل در طی مراحل تحلیل در مقطع AR

```

UDEC 3.10.81
udec>pl se
udec>pl dis
udec>pl sxx fi
udec>pl syy fi
udec>pl ap
udec>cy 1000

initial time step = 3.588E-04
beginning cycle - 4000 at 18-May-04 0:27:23.24

cycle   time      unbal. force  clock time
5000    1.794E+00    5.720E+01    0:27:44

current cycle count = 5000
current mech. time = 1.794E+00
clock date/time : 18-May-04 0:27:44.20
udec>pl his 1
udec>pl dis
udec>cy 3000

initial time step = 3.588E-04
beginning cycle - 5000 at 18-May-04 0:28:25.11

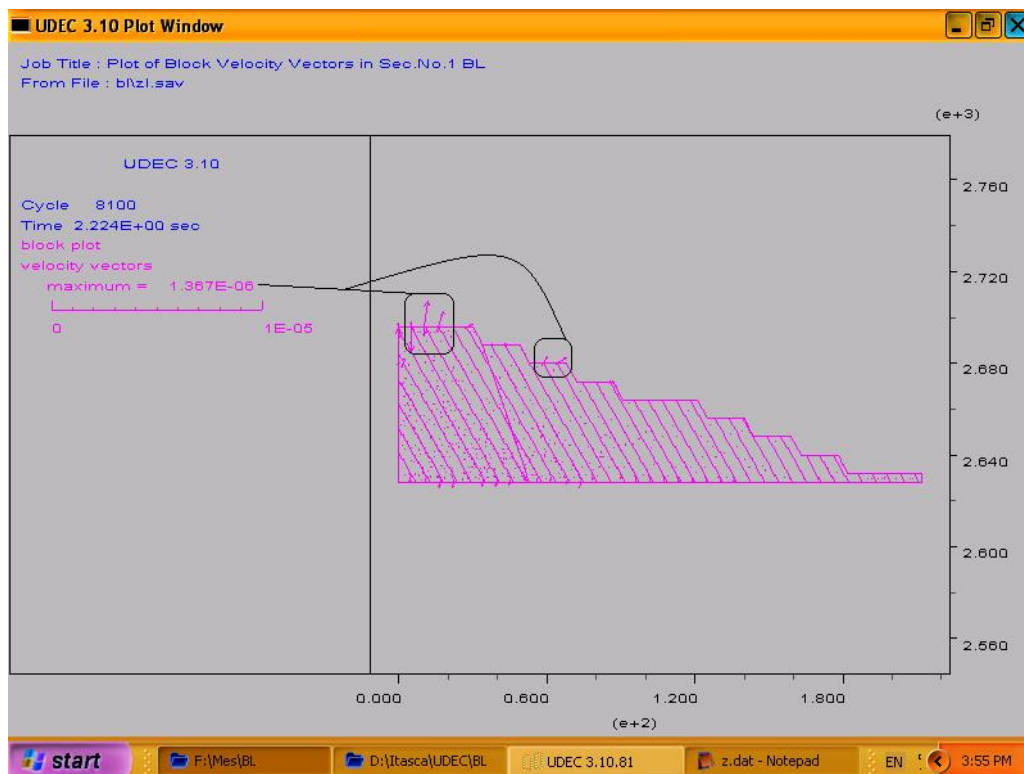
cycle   time      unbal. force  clock time
5050    1.812E+00    5.541E+01    0:28:26
    
```

Unbalance Force Changes During the Analysis

شکل ۶: میزان تغییرات نیروهای نامتعادل در طی مراحل تحلیل

الف - تحلیل پایداری مقطع شماره ۲ (BR و BL)

در این مقطع نقطه (۲۶۸۰ ، ۶۸) در هندسه پله به عنوان نقطه شاهد در نظر گرفته شده که در طی تحلیل میزان تغییرات در پارامترهای مختلف محیط در آن اندازه گیری و پلات آنها آمده است. در این قسمت از تحلیل پس از پیمودن ۸۱۰۰ پله زمانی نیروهای نامتعادل به حد معین جهت تحلیل نهایی رسیدند. میزان ماگزیمم جابجایی در این مقطع و نمودارهای جابجایی در جهت محور X و Y پس از پیمودن تعداد پله زمانی مذکور به مقدار ثابتی رسیده است. (مقدار اپتیمم داده ها در پایان تحلیل شکل ۸). در این مقطع بازشدگی درزه در کف پله اول و سوم، با مقدار بیشتر در پله اول، مشاهده می شود (شکل ۷). در مقطع AR تحلیل بعد از ۸۰۰۰ پله زمانی، به حالت تعادل رسیده و با توجه به مقدار اپتیمم پارامترها در پایان تحلیل، پله در پایان حالت پایداری از خود نشان داده است.



شکل ۷: وضعیت بردارهای سرعت در پایان تحلیل در مقطع BL



```

udec>pr max
no. cycles = 8000      mfree = 427549      mtop = 2000000
no. of blocks          90
no. of zones          5965
no. of grid-points    4929
no. rigid block corners 0

block area             min                max                average
block mass            1.919E+01       5.536E+02         3.130E+02
zone mass             4.701E+04       1.356E+06         7.670E+05
zone stress sx        2.520E+03       3.395E+04         1.157E+04
zone stress sxy      -1.927E+06       5.882E+05        -5.246E+05
zone stress sy       -1.995E+06       6.405E+05        9.448E+04
grid-point x-vel      -1.054E+07       1.025E+05        -1.152E+06
grid-point y-vel      7.877E-07        1.456E-08
grid-point fx         1.541E-06        1.640E-08
grid-point fy         5.611E+01        4.372E-01
grid-point x-dis     4.889E+01        3.572E-01
grid-point y-dis     6.390E-03        2.933E-03
area of failed zones 0.000E+00

contact shear dis    -3.481E-03       1.453E-04        3.499E-04
contact normal dis   -5.765E-04       4.274E-04        9.097E-05

no. contacts         total          3502
                    open            5
                    at slip        508
udec>
    
```

شکل ۸: مقدار ایتیمم پارامترهای مختلف در پایان تحلیل در مقطع BR

در مقطع CL رسیدن به حالت تعادل پس از پیمودن ۸۱۰۰ پله زمانی، نقطه شاهد (۲۶۸۰، ۶۸) بوده و پله ها در پایان حالت پایداری از خود نشان داده است. در مقطع CR نتایج کلی حاصل از تحلیل این مقطع در شکل های مختلف بعدی بیانگر این است که در این مقطع فقط میزان جابجایی حدود ۱۱ سانتی متر در جهت محور عرض ها مشاهده شد. این میزان جابجایی می تواند ناشی از وضعیت هندسی درزه ها نسبت به دیواره پله ها باشد (موازی آنهاست). جزئیات کامل در شکلها قابل برداشت است. قابل ذکر است که تحلیل بعد از طی ۵۰۰۰ پله زمانی به تعادل نهایی رسیده است.

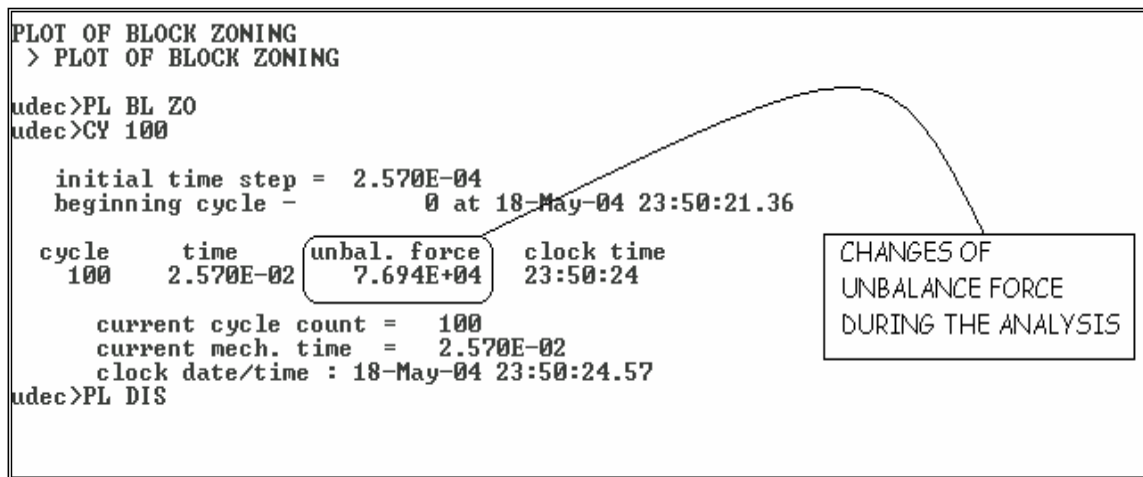
در مقاطع DL و DR رسیدن به حالت تعادل به ترتیب پس از پیمودن ۶۰۰۰ و ۵۰۰۰ پله زمانی و در مقطع بوده و پله ها در هر دو مقطع در پایان حالت پایداری از خود نشان داده اند. نقطه شاهد در مقطع AR (۲۷۲۰، ۱۰۴) بوده است.

در تحلیل پایداری مقطع شماره EL بلوک در پایان تحلیل حالت تقریباً پایداری داشته، نقطه شاهد (۲۶۸۸، ۸۱) و تعادل پس از طی ۴۰۰۰ پله زمانی بوده است.

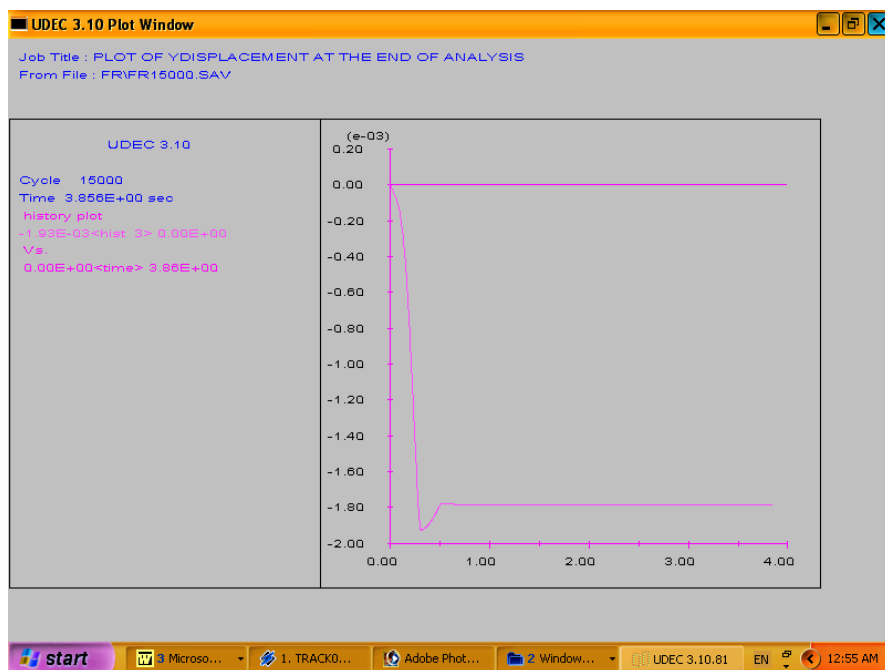


شکل ۹: وضعیت بردارهای جابجایی در پایان تحلیل (4000 Cycle)

در تحلیل پایداری در مقاطع ER و FR بلوک در پایان تحلیل حالت تقریباً ناپایداری در جهت محور عرض ها داشته است. این میزان برابر ۱۵/۷۷ سانتی متر بوده و نقطه شاهد (۲۷۲۸، ۱۲۱)، تعادل پس از طی ۸۰۰۰ پله زمانی و از سیکل ۲۰۰۰ بلوک میل به تعادل داشته که جهت اطمینان تا ۸۰۰۰ ادامه یافته است.

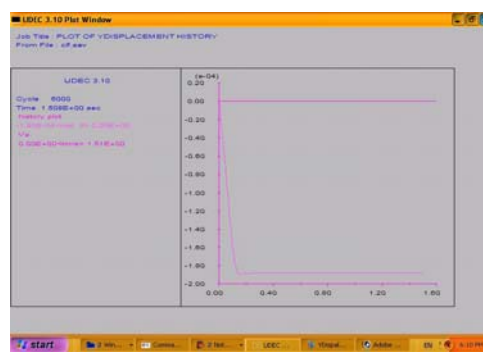
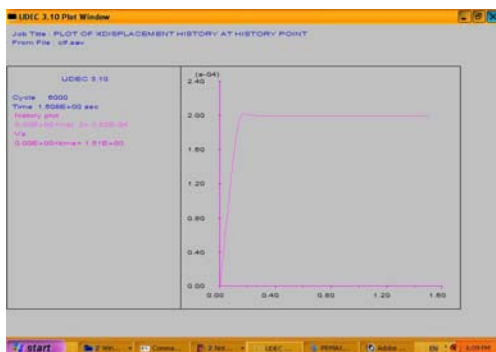


شکل ۱۰: تغییرات نیروهای نامتعادل در طی تحلیل



شکل ۱۱: منحنی جابجایی در امتداد محور عرض ها در پایان تحلیل در مقطع FR

در تحلیل پایداری در مقطع FL بلوک در پایان تحلیل حالت تقریباً پایداری داشته و تعادل پس از طی ۶۰۰۰ پله زمانی بوده است.



شکل ۱۲: منحنی جابجایی در امتداد محور طول و عرض در پایان تحلیل در مقطع FL

نتیجه گیری و بحث

- بلوک های مورد تحلیل در حالت کلی حالت تقریباً پایداری داشته اند که این پایداری در هر یک پس از طی پله های زمانی مختلف بدست آمده است.



- در هر مقطع نقطه ای به عنوان نقطه شاهد در نظر گرفته شده که میزان حداکثر تغییرات در پارامترهای مختلف در این نقاط در شکل های مختلف آمده است.
- میزان جابجایی در جهت محور طولها در اکثر مقاطع ناچیز بوده است.
- فقط در بعضی از بلوکها میزانی بازشدگی در درزه ها پیدا شده که این امر طبیعی بوده و هر پله که این تغییر را داشته اند در شکل های مربوطه بطور واضح نشان داده شده است.
- در مقاطع ER،CR و FR میزان جابجایی در جهت محور عرض ها بیشتر از بقیه بوده که این امر می تواند ناشی از وضعیت امتداد درزه ها و دیواره های مذکور نسبت بهم باشد. در صورتی که این میزان در مراحل اولیه برداشت ماده معدنی به مقداری بیشتر از مقدار مورد نظر برسد می توان جهت استخراج را سریعاً در امتداد مقاطع دیگر عوض نمود.
- قابل ذکر است که در شبیه سازی محیط معدنی نسبت به واقعیت نهایت سعی به عمل آمده و پارامترهای ذاتی توده سنگ و درزه ها به مقداری که حالت بحرانی تری داشته باشند در نظر گرفته شده اند.
- در پایان با توجه به اینکه این معدن از پتانسیل های معدنی خوب این استان و حتی کشور محسوب می شود و با توجه به میزان زیاد حجم هزینه هایی که تا کنون شده، پیشنهاد می شود تعدادی آزمایش مکانیک بر روی نمونه های مغزه بدست آمده انجام و در نهایت با کمک نرم افزار 3DEC که قابلیت شبیه سازی سه بعدی محیط را دارد تحلیل جامع تری انجام شود که این خود مستلزم هزینه ای است که مسلماً در برابر هزینه هایی که تا کنون شده کمتر است ولی نتایج آن چه بسا مفیدتر خواهد بود.

تقدیر و تشکر

لازم می دانم از مدیریت محترم و کارشناسان شرکت آراگون کرمان به خاطر در اختیار گذاشتن اطلاعات لازم و کلیه کسانی که اینجانب را در تهیه مقاله یاری کردند تشکر و قدر دانی نمایم.

منابع

- 1- Itasca Consulting Group Inc., 1993, "Manual of Universal Distinct Element Code (UDEC)", vol.1.
- 2- M.Souley, F.Homand. 1996."Stability of Jointed Rock Mass Evaluated by UDEC", with an Extended Saeb-Amadei Constitutive Law, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr. Vol. 33, No.3, pp.233-24.
- ۳- میردار منصور پناهی، علی. ۱۳۸۰، "پردازش اطلاعات ناپیوستگیها در تحلیل پایداری شیب در معدن مس سرچشمه"، اولین کنفرانس معادن روباز ایران، ص.ص. ۱۷۷-۱۸۲.

Surf and download all data from SID.ir: www.SID.ir

Translate via STRS.ir: www.STRS.ir

Follow our scientific posts via our Blog: www.sid.ir/blog

Use our educational service (Courses, Workshops, Videos and etc.) via Workshop: www.sid.ir/workshop