



دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک
گروه استخراج
پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

طراحی و تحلیل سیستم نگهداری تونل انتقال آب چشمه روزیه
سمنان

محقق:

محمد رضا بیطرفان

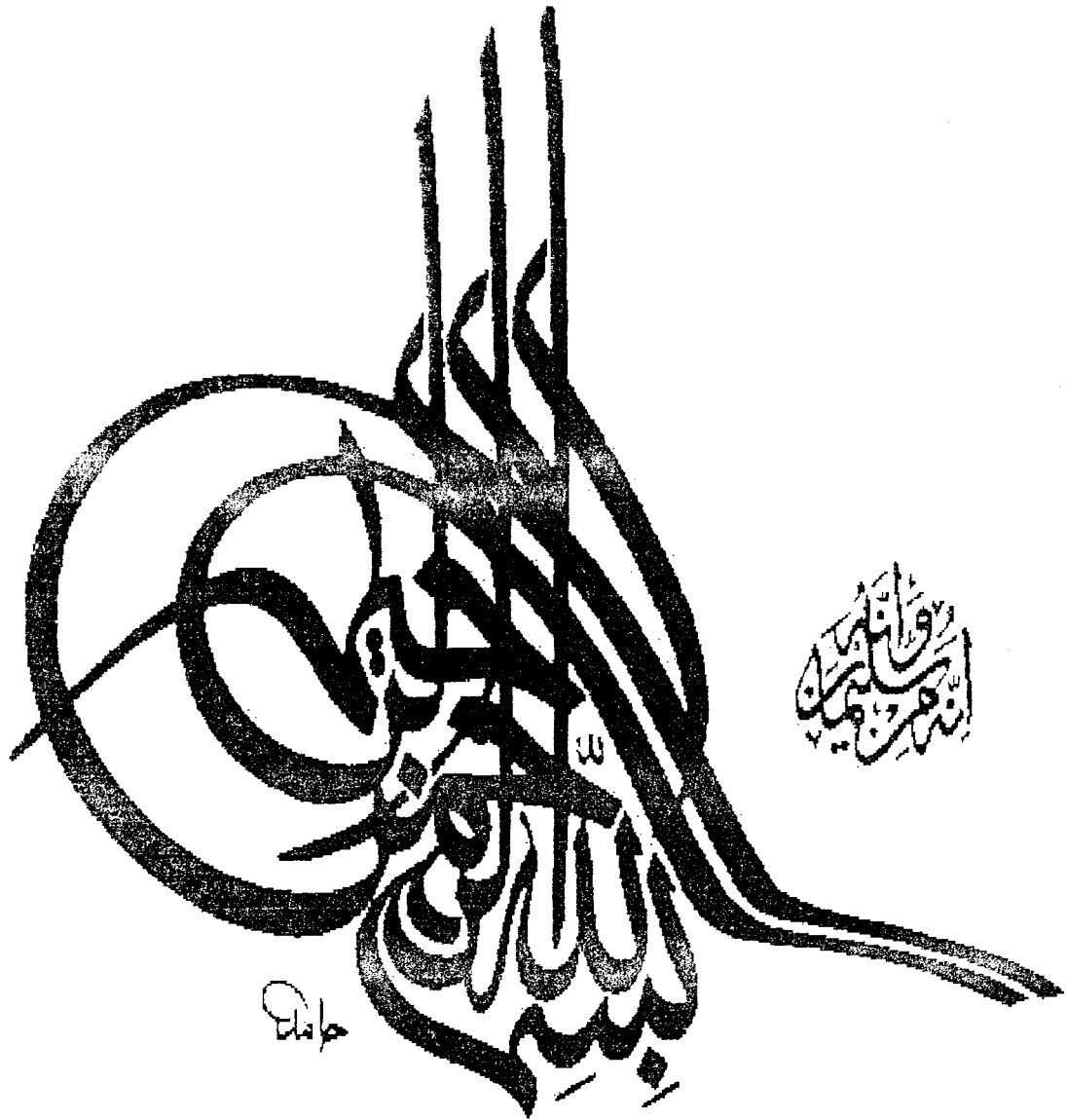
استاد راهنما:

دکتر حمید میر عابدینی

استاد مشاور:

مهندس سید محمد اسماعیل جلالی

زمستان ۱۳۸۲



پیوسته که امکان تشکیل درزه در آنها وجود ندارد، تحلیل عددی پیوسته با استفاده از از نرم افزار UDEC 1.83 و در سنگهای درزه دار که طبق نظریه دیر ناپیوسته قلمداد می شدند مدلسازی ناپیوسته صورت گرفته و در نتیجه برای مقاطع مختلف سیستم نگهداری مناسب پیشنهاد گردیده است.

تقدیم ہے :

تمامی اساتید، دانشجویان و فارغ التحصیلان دانشکده
مهندسی معدن و ژئوفیزیک دانشگاه صنعتی شاهرود

من له بشكر المظوق له بشكر الخالق

تقدیر و تشکر :

خدا را سپاس می گویم که توفیق ادامه تحصیل به اینجانب عطا فرمود و از او یاری می طلبم که لحظه ای از مسیر صداقت خارج نشوم .

وظیفه خود می دانم از استاد بزرگوار جناب آقای دکتر حمید میر عابدینی به پاس راهنماییهای ارزشمندشان و جناب آقای مهندس سید محمد اسماعیل جلالی استاد مشاور تشکر نمایم. همچنین لازم می دانم از زحمات و راهنماییهای جناب آقای دکتر سعید سعیدی ، جناب آقای مهندس شمسی، جناب آقای مهندس پژمان، جناب آقای مهندس اعتمادی، جناب آقای مهندس صلواتی پور و سایر عزیزانی که در سایت تونل، نهایت همکاری را با اینجانب داشته اند کمال تشکر داشته باشم.

در پایان از تمامی اساتید محترم دانشکده مهندسی معدن و ژئو فیزیک، جناب آقای دکتر کاکایی و جناب آقای دکتر ترابی تشکر و قدردانی می نمایم. امیدوارم بتوانم زحمات این بزرگواران را پاسخگو باشم.

فهرست مطالب

فهرست صفحه

فصل اول - مقدمه

- ۱-۱- مقدمه ۲
- ۲-۱- اهمیت طراحی سیستم نگهداری در سازه های زیر زمینی ۳
- ۳-۱- هدف از انجام پایان نامه ۵
- ۴-۱- سازماندهی پایان نامه ۵

فصل دوم - موارد کاربردی روشهای طراحی سیستم نگهداری

- ۱-۲- طراحی سیستم نگهداری ۸
- ۲-۲- روابط موجود بین سیستمهای نگهداری ۱۱
- ۳-۲- بحث و نتیجه گیری ۱۲

فصل سوم - روشهای طراحی سیستم نگهداری

- ۱-۳- مقدمه ۱۶
- ۲-۳- استفاده از طبقه بندی مهندسی سنگ ۱۶

۱۷.....	۱-۲-۳- شاخص کیفی تونل زنی در سنگ (Q)
۱۹.....	۲-۲-۳- طبقه بندی ژئومکانیکی (RMR)
۲۱.....	۲-۳-۳- روش JH
۲۳.....	۴-۲-۳- روش RMI
۲۵.....	۳-۳- طراحی سیستم نگهداری با استفاده از تحلیل بلوکی
۲۹.....	۴-۳- تحلیل سیستم نگهداری با استفاده از مدلسازی عددی
۳۰.....	۱-۴-۳- تشخیص نوع محیط
۳۰.....	۱-۱-۴-۳- بررسی ایزوتروپی و آنیزوتروپی توده های سنگی
۳۳.....	۲-۴-۳- انواع روشهای عددی
۳۳.....	۱-۲-۴-۳- روش المان محدود
۳۳.....	۲-۲-۴-۳- روش تفاضل محدود
۳۴.....	۳-۲-۴-۳- روش اجزا مجزا
۳۴.....	۱-۳-۲-۴-۳- نرم افزار UDEC

فصل چهارم- سیمای کلی پروژه تونل آبرسانی سمنان

۴۰.....	۱-۴- مقدمه
۴۳.....	۲-۴- مطالعات زمین شناسی
۴۳.....	۱-۲-۴- ویژگیهای زمین شناسی مهندسی محدوده تونل
۴۵.....	۲-۲-۴- زمین ساخت منطقه
۴۵.....	۳-۴- مطالعات زیر سطحی
۴۶.....	۴-۴- تفسیم بندی اجزا تونل
۴۷.....	۵-۴- مطالعات مکانیک سنگی
47.....	۶-۴- پردازش نتایج حاصل از مطالعات صحرایی

فصل پنجم- طراحی سیستم نگهداری تونل چشمه روزیه با استفاده از روشهای تجربی

۵۴	۱-۵-مقدمه
۵۴	۲-۵- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش Q
۵۴	۳-۵- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش RMR
۵۷	۴-۵- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش RMI
۵۸	۵-۵- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش JH
۵۸	۶-۵- طرح نگهداری بر اساس سیستمهای طبقه بندی
۵۸	۱-۶-۵- روش طبقه بندی مهندسی سنگ (Q)NGI
۶۰	۲-۶-۵- سیستم طبقه بندی RMR
۶۲	۳-۶-۵- روش RMI
۶۳	۴-۶-۵- روش JH
۶۶	۷-۵- محاسبه پارامترهای توده سنگ از روابط تجربی
۶۶	۱-۷-۵- مقادیر محاسبه شده براساس روش Q
۶۷	۲-۷-۵- تخمین بر اساس مقادیر RMR
۶۹	۸-۵- روابط بدست آمده بین سیستمهای طبقه بندی مختلف
۶۹	۱-۸-۵- رابطه بین RMR, Q
۷۰	۲-۸-۵- رابطه بدست آمده بین روش Q, JH

فصل ششم-تحلیل پایداری با استفاده از آنالیز گوه ای

۷۳	۱-۶- مقدمه
----	------------

فصل هشتم - نتیجه گیری و پیشنهادات

۱۳۰	۱-۸- نتیجه گیری
۱۳۳	۲-۸- پیشنهادات
۱۳۴	منابع
۱۳۶	ضمائم

فهرست اشکال و تصاویر

- شکل ۱-۲- نمایش روابط بین RMR و Q ۱۲
- شکل ۱-۳- نمودار تخمین نوع نگهدارنده براساس شاخص Q ۱۹
- شکل ۲-۳- نمودار طبقه بندی RMI ۲۵
- شکل ۳-۳- انواع گوه های ایجاد شده در تونل ۲۶
- شکل ۳-۴- دامنه ناپیوستگی بر اساس نظر دیر ۳۲
- شکل ۳-۵- مراحل مدلسازی روش اجزا مجزا ۳۵
- شکل ۳-۶- فلوچارت مدلسازی نرم افزار Udec ۳۶
- شکل ۴-۱- موقعیت تقریبی پروژه انتقال آب سمنان ۴۲
- شکل ۴-۲- نمایی از لایه بندی مسیر تونل ۴۳
- شکل ۴-۳- مقطع عرضی تونل ۴۳
- شکل ۴-۴- نمونه ای از نمایش صفحات اصلی درزه ها در منطقه ۴۹
- شکل ۵-۱- برآزش بین داده های RMR, Q ۷۰
- شکل ۵-۲- برآزش بین داده های JH, Q ۷۱
- شکل ۶-۱- موقعیت درزه ها و امتداد تونل در صفحه استریونت ۷۵
- شکل ۶-۲- داده های مربوط به سنگهای توف ۷۶
- شکل ۶-۳- گوه های ایجاد شده در توفها ۷۶
- شکل ۶-۴- سیستم نگهدارنده پیشنهادی در توفها ۷۷
- شکل ۶-۵- گوه های ایجاد شده در سینه کار، واقع در توفها ۷۷
- شکل ۶-۶- داده های مربوط به ناپیوستگی ها در شیلها ۷۸

- شکل ۶-۷- گوه های ایجاد شده در شیلها ۷۹
- شکل ۶-۸- سیستم نگهدارنده پیشنهادی در شیلها ۷۹
- شکل ۶-۹- گوه های ایجاد شده در انتهای سینه کار ۸۰
- شکل ۶-۱۰- داده های مربوط به ناپیوستگی ها در ماسه سنگهای قرمز ۸۱
- شکل ۶-۱۱- گوه های تشکیل شده در ماسه سنگهای قرمز ۸۲
- شکل ۶-۱۲- سیستم نگهداری برای مهار گوه ها در ماسه سنگهای قرمز ۸۲
- شکل ۶-۱۳- گوه های ایجاد شده در سینه کار ماسه سنگهای قرمز ۸۳
- شکل ۶-۱۴- اطلاعات موجود در ماسه سنگهای قرمز و سبز ۸۴
- شکل ۶-۱۵- گوه های تشکیل شده در ماسه سنگهای قرمز و سبز ۸۵
- شکل ۶-۱۶- سیستم نگهداری برای مهار گوه ها در ماسه سنگهای قرمز و سبز ۸۵
- شکل ۶-۱۷- گوه های موجود در سینه کار، واقع در ماسه سنگهای قرمز و سبز ۸۶
- شکل ۶-۱۸- اطلاعات استفاده شده برای ماسه سنگهای قرمز روشن ۸۷
- شکل ۶-۱۹- گوه های تشکیل شده در ماسه سنگهای قرمز روشن ۸۸
- شکل ۶-۲۰- سیستم نگهداری پیشنهادی برای مهار گوه ها در ماسه سنگهای قرمز روشن ۸۸
- شکل ۶-۲۱- گوه های ایجاد شده در سینه کار ماسه سنگهای قرمز روشن ۸۹
- شکل ۷-۱- دامنه نسبت شاخص ناپیوستگی در تونل ۹۳
- شکل ۷-۲- شکل بلوک در توده سنگهای مارنی ۹۷
- شکل ۷-۳- نمودار همگرایی در توده سنگهای مارنی ۹۸
- شکل ۷-۴- مقادیر ضریب ایمنی پس از حفر تونل در مارنها ۹۹
- شکل ۷-۵- ماکزیمم جابجایی پس از حفر تونل در مارنها ۹۹
- شکل ۷-۶- ماکزیمم نیروی محوری در شاتکریت ۱۰۰
- شکل ۷-۷- ماکزیمم لنگر خمشی در شاتکریت ۱۰۰

- شکل ۷-۲۹- ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت در شیل‌های مناسب ۱۱۵
- شکل ۷-۳۰- ماکزیمم نیروی محوری در بولت واقع در شیل‌ها ۱۱۶
- شکل ۷-۳۱- ماکزیمم نیروی برشی در بولت ۱۱۷
- شکل ۷-۳۲- نیروی محوری وارد بر شاتکریت ۱۱۸
- شکل ۷-۳۳- ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت ۱۱۹
- شکل ۷-۳۴- کنتور فاکتور ایمنی در ماسه سنگ‌های مناسب ۱۲۰
- شکل ۷-۳۵- ماکزیمم جابجایی در ماسه سنگ‌های مناسب ۱۲۰
- شکل ۷-۳۶- ماکزیمم نیروی محوری در بولت در ماسه سنگ‌های مناسب ۱۲۱
- شکل ۷-۳۷- ماکزیمم نیروی برشی در بولت در ماسه سنگ‌های مناسب ۱۲۱
- شکل ۷-۳۸- ماکزیمم نیروی محوری وارد بر شاتکریت ۱۲۲
- شکل ۷-۳۹- ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت ۱۲۳
- شکل ۷-۴۰- کنتور فاکتور ایمنی در ماسه سنگ‌های ضعیف ۱۲۴
- شکل ۷-۴۱- ماکزیمم جابجایی در ماسه سنگ‌های ضعیف ۱۲۴
- شکل ۷-۴۲- ماکزیمم نیروی محوری در بولت در ماسه سنگ‌های ضعیف ۱۲۵
- شکل ۷-۴۳- ماکزیمم نیروی برشی در بولت در ماسه سنگ‌های ضعیف ۱۲۵
- شکل ۷-۴۴- ماکزیمم نیروی محوری وارد بر شاتکریت ۱۲۶
- شکل ۷-۴۵- ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت ۱۲۷
- شکل ۷-۴۶- ماکزیمم جابجایی پس از بتن پاشی ۱۲۷

فهرست جداول

- جدول ۱-۲- خلاصه برخی از روشهای طراحی و موارد کاربرد آنها ۱۳
- جدول ۱-۳- رده بندی سیستم نگهداری بر اساس روش JH ۲۳
- جدول ۱-۴- دسته بندی مناطق مختلف تونل ۴۶
- جدول ۲-۴- مشخصات مکانیک سنگی سنگهای منطقه ۴۸
- جدول ۳-۴- مشخصات دسته درزه ها ۵۰
- جدول ۴-۴- پراکندگی ناپیوستگی ها ی موجود در منطقه ۵۱
- جدول ۱-۵- مقادیر بدست آمده برای مقاطع مختلف به روش Q ۵۵
- جدول ۲-۵- مقادیر طبقه بندی RMR برای مقاطع مختلف ۵۶
- جدول ۳-۵- طبقه بندی دسته های مختلف تونل با استفاده از روش RMI ۵۷
- جدول ۴-۵- مقادیر بدست آمده برای مقاطع مختلف به روش JH ۵۹
- جدول ۵-۵- طبقه بندی بر اساس روش Q ۶۰
- جدول ۶-۵- طراحی سیستم نگهداری به روش RMR ۶۱
- جدول ۷-۵- سیستم نگهداری بر اساس روش طبقه بندی RMI ۶۲
- جدول ۸-۵- طراحی سیستم نگهداری به روش JH ۶۳
- جدول ۹-۵- طراحی توسط تمامی روشهای تجربی ۶۴
- جدول ۱۰-۵- دهانه بدون نگهداری و فشار سقف ۶۶
- جدول ۱۱-۵- دهانه بدون نگهداری و فشار سقف ۶۸

- جدول ۶-۱- خلاصه طراحی بر اساس آنالیز بلوکی ۹۰
- جدول ۷-۱- مشخصات فاصله‌داری درزه‌ها در تونل چشمه روزیه ۹۳
- جدول ۷-۲- خصوصیات سنگ‌های مختلف موجود در تونل ۹۵
- جدول ۷-۳- مشخصات بولت دوغابی ۹۶
- جدول ۷-۴- مشخصات مکانیکی شاتکریت ۹۶
- جدول ۷-۵- پارامترهای کنتاکت سنگ و شاتکریت ۹۶
- جدول ۷-۶- مقادیر نیروی محوری و برشی در بولت ۱۰۸
- جدول ۷-۷- مقادیر لنگر خمشی و نیروی محوری و برشی شاتکریت با ضخامتهای متفاوت ۱۰۹
- جدول ۷-۸- مقادیر لنگر خمشی و نیروی محوری شاتکریت با ضخامتهای متفاوت ۱۱۴
- جدول ۷-۹- مقادیر لنگر خمشی و نیروی محوری و برشی شاتکریت با ضخامتهای متفاوت ۱۱۸
- جدول ۷-۱۰- مقادیر تنش ناشی از فشار و خمش بر شاتکریت با ضخامتهای متفاوت ۱۲۶

فصل اول

مقدمه و کلیات

۱-۱- کلیات

با توجه به گسترش روز افزون جمعیت و مشکلات ناشی از آن، مساله کمبود آب در سالهای آینده یکی از اصلی ترین مشکلات جامعه بشری خواهد بود و کشور ایران نیز از این مساله مستثنی نیست. از اینرو در کشور ما نیز حرکت های اساسی برای مهار آب های روان بوسیله احداث سدها و یا انتقال آب بوسیله کانالها و یا تونل آغاز گشته است. از آنجا که استان سمنان نیز در مسیر توسعه انسانی قرار دارد و منابع آبی موجود در شهر سمنان جوابگوی نیاز های توسعه ای آن نیست لذا انتقال آب شرب از چشمه روزبه واقع در ارتفاعات شهمیرزاد به شهر سمنان مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی های صورت گرفته توسط مشاور طرح (شرکت مهتاب قدس) مقرر شد که آب از طریق لوله و تونل انتقال یابد .

امروزه اهمیت تونل و تونلسازی بر کسی پوشیده نیست. نقش اساسی تونل در مهندسی راه، راه آهن و سازه های انتقال آب و سایر موارد باعث شده که تونلسازی یکی از رشته های مهم مهندسی محسوب گردد. در این میان مهمترین و اصلیتترین بخش در مهندسی تونل طراحی سیستم نگهداری آن می باشد. اصولا سیستم نگهداری بایستی طوری طراحی گردد که بتواند فاکتور ایمنی مورد نظر را تامین کند. سازه های زیر زمینی اصولا از نقطه نظر مهندسی ژئوتکنیک، بر اساس درجه پایداری یا ایمنی به چندین طبقه تقسیم بندی می گردند. بارتن^۱، لین^۲ و لوند^۳ طبقه بندی زیر را برای فضاهای زیرزمینی بر این مبنا پیشنهاد داده اند [۱].

الف : تونلهای موقت معدنی

ب: چاه های قائم

ج: تونلهای معدنی دائم، تونلهای آبرسانی به نیروگاههای برق آبی (به استثنای تونلهای تحت فشار).
د : فضاهای انباری ، تصفیه خانه های زیرزمینی، تونلهای راه، اتاقک ها و تونلهای دسترسی در نیروگاههای برق آبی و راه آهن اصلی .

ه : مغار های مربوط به نیروگاههای زیر زمینی، تونلهای مربوط به راههای اصلی و راه آهن اصلی، فضا های زیرزمینی دفاعی شهری، ورودی تونلها و تقاطع چند تونل.

^۱-Barton

^۲-Lein

^۳ - Lunde

و : نیروگاههای هسته‌ای، ایستگاههای راه آهن ، مراکز ورزشی و عمومی و کارخانجات زیرزمینی.

۱-۲- اهمیت طراحی سیستم نگهداری در سازه های زیر زمینی

سازه های زیرزمینی ساختمانهای فوق العاده پیچیده هستند و تنها ابزار نظری و تئوری که طراح در دسترس دارد و می تواند از آنها کمک بگیرد عبارتند از مدل‌های ساده شده و غیر کاملی از بعضی فرآیندها که در کنترل سازه های زیر زمینی دخالت دارند. این مدلها عموماً قادرند فقط در تحلیل اثر یک فرآیند خاص در یک زمان، مورد استفاده قرار گیرند. مثل تاثیر ناپیوستگی های ساختاری یا تاثیر تنش فرآینده سنگ بر سازه. از سوی دیگر بندرت امکانپذیر است به آسانی بتوان اندر کنش این فرآیندها را تعیین نمود و طراح با این نیاز روبرو است که برای حل مشکل طراحی تصمیم بگیرد و به جمع بندی برسد که در آن قضاوت مهندسی وی و تجربیات عملی او باید نقش مهمی ایفا نماید [۱].

هنگامیکه تونل یا فضا های زیر زمینی دیگر در زمین احداث می شود، تنشهای موجود در سنگ بر هم می خورد. محور اساسی در طراحی هر فضای زیر زمینی باید بر پایه مورد استفاده قرار دادن خود سنگ به عنوان مصالح اصلی آن سازه باشد. لذا در طی فرایند حفاری تا جایکه ممکن است، باید میزان شکستگی و سست شدگی و سنگ اطراف تونل به حداقل برسد تا نیاز به حایل بتنی یا فولادی کمتر شود عمدتاً سنگهای سخت در حالت بکر و قبل از قرار گیری در معرض تنشهای فشاری ، بمراتب قوی تر از بتن بوده و بسیاری از آنها بلحاظ مقاومت هم تراز فولاد قرار می گیرند . در نتیجه این اقتصادی نیست که مصالحی را مثل سنگ که ممکن است کاملاً و به اندازه کافی مقاوم باشد با مصالحی مثل بتن که معلوم نیست بهتر از سنگ باشد عوض نمود. وسعت و دامنه استفاده از خود سنگ به عنوان حفاظ و نگهدارنده ، بستگی به شرایط زمین شناسی دارد که در ساختگاه و محیط اطراف تونل حاکم است و بستگی به این دارد که طراح تا چه میزان نسبت به این شرایط حساس است و تا چه میزان می خواهد آنها را در طرح تاثیر داده و در نظر بگیرد. بنابر این تقسیم دقیق زمین شناسی منطقه حفاری از شروط ضروری برای طراحی منطقی است.

در صورت استفاده از سیستم نگهداری اگر سیستم نگهداری دارای قابلیت تحمل بار وارده از سوی سنگهای اطراف فضای زیر زمینی نباشد سنگهای اطراف فضای زیر زمینی به داخل تونل حرکت کرده و فضای زیر زمینی ریزش خواهد کرد. ریزش در این نوع فضا ها سبب بروز صدمات

مالی، توقف عملیات پیشروی و در برخی موارد تلفات جانی خواهد گردید. بر همین اساس طراحی سیستم نگهداری مناسب از جمله مهمترین مطالعات در سیکل عملیاتی حفر فضای زیر زمینی است. البته لازم به توضیح است در طراحی نباید بیش از حد محافظه کارانه عمل نمود زیرا در آن صورت هزینه های اضافی بر پروژه تحمیل شده که ممکن است توجیه ناپذیر باشد.

پس از آنکه منطقه مورد حفاری به چندین قسمت تقسیم شد و نوع سنگ و پارامترهای توده سنگ مورد بررسی قرار گرفت، برای شناخت توده سنگ در بر گیرنده نیاز به طبقه بندی مهندسی سنگ و بدست آوردن یک الگوی تجربی برای طراحی است. از طرف دیگر یک یا چند طرح طبقه بندی توده سنگ می تواند در کنترل پارامترهای کیفی و کمی توده سنگ کمک نماید. برای این منظور بکارگیری چندین روش طبقه بندی مهندسی سنگها یک تصویر کلی از ترکیب مشخصه های توده سنگ برای تخمین اولیه نگهداری مورد نیاز و نیز تخمین خواص مقاومتی و تغییر شکل توده سنگ نشان دهد [۱].

درک نحوه مقاومت سنگ در برابر تنشهای اعمالی بر اثر حفر سازه زیرزمینی نیاز به مدل‌های ریاضی و تحلیلی دارد زیرا روشهای تجربی به طور دقیق میزان مقاومت توده سنگ را نشان نمی دهد. استفاده از این روشها نیاز به شناخت صحیح توده سنگی دارد. در صورت وجود اطلاعات مورد نیاز برای تحلیل عددی، طراح قادر به شناخت رفتار سیستم نگهداری پس از نصب می باشد. نکته مهم دیگر در طراحی سیستم نگهداری برای سنگهای در بر گیرنده سازه زیر زمینی بررسی امکان تشکیل گوه در توده سنگهای درزه دار است. در مواردی که امکان تشکیل گوه وجود دارد می باید آنالیز گوه ای صورت گیرد تا سیستم نگهداری طراحی شده قابلیت کنترل گوه های تشکیل شده را داشته باشد. پس از کنترل گوه های ایجاد شده بایستی رفتار سیستم نگهداری پس از نصب مورد بررسی قرار گیرد برای این منظور می توان از روشهای عددی استفاده کرد. در بین روشهای عددی موجود، روشهای المان محدود و روش تفاضل محدود خاص محیط های پیوسته بوده و قادر به تحلیل محیط های درزه دار نمی باشند. روش المان مجزا قابلیت تحلیل محیط های درزه دار و ناپیوسته را دارا بوده و می توان توسط این روش به مدلسازی و تحلیل درزه ها و ناپیوستگی ها پرداخت.

۱-۳- هدف از انجام پایان نامه

پروژه تونل انتقال آب به شهر سمنان بصورت طرح و اجرا به مناقصه گذاشته شد. در فاز اول طراحی تونل انتقال آب به شهر سمنان، به علت کمبود اطلاعات زمین شناسی و عدم وجود گمانه های اکتشافی کافی در منطقه، طراحی و تحلیل کامل سیستم نگهداری برای تونل فوق انجام نشده است. این عوامل باعث شده تا هزینه های حفر و نگهداری تونل افزایش یافته و زمان انجام پروژه افزایش یابد. لذا اصلی ترین هدف در این پایان نامه طراحی سیستم نگهداری و تحلیل رفتار سیستم نگهدارنده سنگ و توده سنگ در برگزیده برای تونل مزبور است. در این پایان نامه سعی شده علاوه بر روشهای مرسوم از روشهای قابل کاربرد و جدید در طراحی سیستم نگهداری استفاده گردد. جهت انجام این مطالعات می بایست اطلاعات زمین شناسی کافی از محیط در برگزیده تونل جمع آوری می شد. لذا برای این منظور درزه نگاری برای سنگهای مختلف مسیر تونل صورت پذیرفته و پس از جمع آوری اطلاعات در برخی از موارد داده های حاصل از درزه نگاری مورد مطالعه آماری قرار گرفت. جهت انجام طراحی براساس نوع سنگ وساختار زمین شناسی، تونل مورد نظر به قسمتهای مختلف تقسیم شد. سپس با استفاده از روشهای طبقه بندی مهندسی سنگ گوناگون سیستم نگهداری تجربی طراحی و در محیطهای ناپیوسته مورد آنالیز بلوکی قرار گرفت. در نهایت از نرم افزار عددی UDEC 1.83 به علت قابلیت تحلیل عددی محیطهای پیوسته و ناپیوسته، جهت بررسی رفتار سنگهای درونگیر استفاده شد.

۱-۴- سازماندهی پایان نامه

در این پایان نامه پس از مقدمه و مروری بر کلیات طرح که در فصل اول آورده شده در فصل دوم مروری بر مطالعات انجام گرفته در این زمینه برای طراحی سیستم های نگهداری سازه های زیر زمینی در سنگ آورده شده است. در فصل سوم روشهای مرسوم برای طراحی ذکر گردیده است. در فصل چهارم مشخصات هندسی و خصوصیات ژئوتکنیکی منطقه شه میرزاد سمنان که تونل انتقال آب از آن منطقه عبور خواهد کرد، آورده شده و در ضمن پارامترهای اندازه گیری شده از منطقه نیز دسته بندی گردیده است. در فصل پنجم با استفاده از پارامترهای ژئوتکنیکی سنگهای در برگزیده تونل، طبقه بندی مهندسی سنگها با استفاده از روشهای مرسوم طبقه بندی

نظیر Q, RMR, JH, RMI صورت پذیرفته و سیستم نگهداری تجربی برای سنگهای منطقه پیشنهاد شده است. در فصل ششم به دلیل نوع محیط و تعدد دسته درزه ها در برخی مناطق، تحلیل بلوکی صورت پذیرفته است. این تحلیل با استفاده از نرم افزار UNWEDGE 2 انجام شده و سیستم نگهداری با استفاده از این روش نیز طراحی گردیده است. در فصل هفتم پس از تحلیل نتایج قسمتهای قبل و شناخت نوع محیط د برگیرنده تحلیل عددی برای مقاطع مختلف تونل انتقال آب سمنان با استفاده از نرم افزار UDEC 1.83 انجام شده و توسط این نرم افزار سیستم نگهداری مطمئن طراحی گردیده است. در انتها نتیجه گیری و پیشنهادات آورده شده است.

فصل دوم

مروری بر مطالعات گذشته

۲- موارد کاربردی روشهای طراحی سیستم نگهداری

۲-۱- طراحی و تحلیل سیستم نگهداری

در طراحی سیستم نگهداری برای فضاهای زیرزمینی از روشهای مختلفی می‌توان استفاده نمود. این روشها عبارتند از، روشهای تجربی همچون سیستم های طبقه بندی مهندسی از قبیل Q, RMR, RMI, JH روشهای آنالیز بلوکی روش منحنی واکنش زمین^۱ GRC و روشهای عددی.

در روشهای تجربی با استفاده از برخی پارامترهای زمین‌شناسی، زمین ساختی، آب زیرزمینی و برخی پارامترهای مکانیکی به طبقه بندی و طراحی سیستم نگهداری توده سنگ می‌پردازند. بر طبق نظر پروفیسور هوک تنگناهای آنالیزهای مکانیک سنگی پایگاه‌های اطلاعات زمین‌شناسی است که در آن نوع سنگ، ناپیوستگی‌ها و خواص مواد تشکیل دهنده تعریف می‌شود اگر اطلاعات زمین‌شناسی غلط باشد، آنالیزها نیز بی‌معنی و اشتباه خواهد بود [۲].

در صورت وجود اطلاعات مورد نیاز برای روشهای طبقه‌بندی مهندسی سنگ می‌توان به طراحی تجربی توده سنگ دربرگیرنده سازه زیرزمینی پرداخت. از آنجا که تونل‌زنی در سنگ‌های سخت و سنگ‌های نرم متفاوت است و حفاری در هر کدام از این دو نوع می‌تواند در عمق‌های زیاد و یا سطحی صورت پذیرد، روش طراحی نیز متفاوت خواهد بود اصولاً اگر حفاری در سنگ‌های سخت چه در اعماق و چه در عمق کم صورت گیرد روش RMI, Q, RMR برای طبقه بندی مناسب خواهد بود اما روش RMI, Q در مواقعی که محیط پرتنش بوده و تنشهای تکتونیک سبب بروز درزه و ناپیوستگی در سنگ شوند مناسب‌تر می‌باشند [۳]. در مواقعی که لایه بندی‌های متوالی در توده سنگ وجود دارد و ناپیوستگی‌های سنگ به صورت لایه‌های مجاور هم تشخیص داده می‌شود.

روش طبقه‌بندی مهندسی RMR برای طبقه‌بندی مهندسی سنگ و در نتیجه طراحی سیستم نگهداری به روش تجربی مناسب می‌باشد [۴]. روش Q به داده‌های دقیق و برداشت‌های زمین‌شناسی خاص آن روش نیاز دارد. از این روش در مواقعی که برداشت‌های زمین‌شناسی و آزمایش‌های مکانیکی سنگ دقیق در دسترس باشد می‌توان به خوبی استفاده نمود و سیستم نگهداری را طراحی نمود. از روش Q در طراحی سیستم نگهداری فضاهای زیرزمینی در اکثر مناطق

دنیا استفاده می گردد از جمله می توان به طراحی سیستم های نگهداری تونلهای شهری در نروژ توسط (V.kveldsvik & k.Kalsrud) و تونل هایی در کانادا توسط (N.Barton) اشاره کرد [۶۵].

روش JH از جمله روشهای تجربی برای طبقه بندی و طراحی سیستم نگهداری در سنگ است که در ژاپن بر اساس داده های موجود از تونلهای راه آن کشور امتیاز دهی شده است. این روش نیاز به داده های بسیار دقیق ندارد و توجه بسیار به نتایج مشاهدات سینه کار دارد و به آسانی طراح را قادر می سازد تا پس از حفر هر قسمت به طبقه بندی سنگ و ارائه طرح نگهداری بپردازد. از این روش تاکنون در طراحی سیستم نگهداری تونلهای راه در ژاپن توسط اداره بزرگراههای ژاپن توسط W.Akagi بسیار استفاده گردیده است [۷].

در اکثر روشهای تجربی مقاومت سنگ به عنوان یک پارامتر در نظر گرفته شده و امتیاز بندی می شود. در روش JH با توجه به نوع سنگ این پارامتر امتیاز دهی می گردد که دقت امتیاز دهی برای این پارامتر بالاتر از سایر روشهاست اما در روش RMI طبقه بندی بر اساس مقاومت سنگ صوت می گیرد (A.Palmstrom ۱۹۹۵). این روش نیز امروزه در محیطهای درزه دار دارای کاربرد بوده و به دلیل رابطه نزدیک با روش Q و سهولت در اندازه گیری برخی پارامترها در برخی از پروژه ها بکار گرفته شده است برای مثال می توان به طراحی سیستم نگهداری تلمبه خانه سد لار و برخی از تونلهای راه در ایران اشاره نمود [۸].

در تونلهایی که در سنگهای سخت و درزه دار (محیطهای ناپیوسته) حفر می گردند اگر ارتفاع روباره بسیار زیاد نباشد امکان تشکیل گوه ها با توجه به موقعیت درزه ها و امتداد سازه مورد نظر وجود خواهد داشت (Goodman & shi ۱۹۸۵) و (R. Windsor ۱۹۹۰) طبق نظریه گودمن وشی لغزش گوه ها از سقف یا لغزیدن آن ها از دیواره های حفاری عمومی ترین نوع ریزش است که در فضاهای زیرزمینی و توده سنگ های درزه دار کم عمق اتفاق می افتد. این گوه ها از برخورد عارضه های ساختاری مانند صفحات لایه بندی، درزه ها که توده سنگ را به قطعات مجزا ولی به هم قفل شده تقسیم می کند به وجود می آیند [۱۰ و ۹]. در این روش برای طراحی سیستم نگهداری هندسه بلوک نقش بسزایی داشته و سیستم نگهداری در صورتی که بتواند بلوک ریزشی را کنترل نماید، فضا پایدار تشخیص داده می شود [۱۰]. از این روش در طراحی سیستم نگهداری مغارها و تونلها در ایران و سایر کشورها استفاده گردیده است از جمله می توان به طراحی سیستم نگهداری مغار کارون III اشاره کرد.

روش منحنی واکنش زمین (GRC) در صورتی که محیط دارای پیوستگی باشد و مقطع تونل دایروی و نسبت تنش افقی به عمودی برابر یک باشد و فرض بر هیدرواستاتیک بودن محیط برای تحلیل سیستم نگهداری باشد کاربرد دارد. این روش برای ارائه یک تصور کلی از اندرکنش نگهدارنده با سنگ به شکلی که بتواند به سهولت قابل فهم باشد از یک مدل تحلیلی استفاده می کند. این مدل از یک تونل دایره ای شکل که در یک محیط پیوسته و هیدرواستاتیک قرار دارد تشکیل شده است. همچنین فرض بر آن است که توده سنگ دربرگیرنده دارای رفتار الاستیک - کاملاً پلاستیک است. طبق نظر دانکن^۱ و فوما^۲ چنین فرض می شود که شکست شامل لغزش در طول ناپیوستگی های متقاطع توده سنگ شدیداً درزه دار با تغییرات حجم پلاستیک صفر اتفاق می افتد [۹].

در تحلیل سیستم نگهداری به روش عددی، مهمترین عامل دقت پارامترهای ورودی می باشد. این روش ها برای تحلیل عددی مدل ساخته شده از فضای زیر زمینی استفاده می گردند و در صورتیکه داده ها از دقت کافی برخوردار نباشند مدل فیزیکی ساخته شده دارای خطای ذاتی است که در نهایت جواب پس از مدلسازی با خطا همراه خواهد بود. از جمله محاسن استفاده از روشهای عددی محاسبه تنشها، ممانها و جابجایی ها در سنگ در برگیرنده پس از حفر فضا و بعد از نصب سیستم نگهداری است. در محیطهای درزه دار در صورتی که عامل جدایش درزه ها تشخیص داده شوند می توان از نرم افزارهای عددی المان مجزا^۳ همچون UDEC , ۳DEC استفاده نمود. در استفاده از نرم افزار دو بعدی UDEC فرض بر آن است که امتداد تونل زیاد بوده و شرایط در دو طرف مقطع دو بعدی یکسان است. در صورتی که لایه بندی ها بسیار کوچک و نزدیک به هم باشند استفاده از این نرم افزار نامناسب بوده و لازم است از نرم افزار ۳DEC استفاده نمود. از این نرم افزار در طراحی و تحلیل سیستم های نگهداری در محیطهای درزه دار در ایران و سایر کشورها به کثرت استفاده شده است. از جمله می توان به طراحی سیستم نگهداری در تونل های راه ژاپن توسط

^۱ - Duncan

^۲-Fuma

^۳-Distinct element

S.G.ChenH.L.Ong اشاره نمود [۶]. همچون طراحی سیستم نگهداری تونل های حفر شده توسط TBM^۱ در انگلستان و Gjovik نروژ در سال ۱۹۹۳ توسط (N.Barton) اشاره کرد [۱۱].

۲-۲- روابط موجود بین سیستمهای نگهداری

امروزه تلاشهای گسترده ای از سوی دانشمندان علم مکانیک سنگ برای دستیابی به روابط جامع با تقریب قابل قبول برای محاسبه پارامتر های توده سنگ، تنشهای وارده بر سازه زیر زمینی با استفاده از روابط تجربی صورت گرفته است. از این موارد می توان به مطالعات گسترده هوک اشاره نمود. از آنجا که تاکنون سیستمهای طبقه بندی مختلفی با کاربرد های متفاوتی ارائه شده لذا در ابتدا می بایست روابط جامعی برای تبدیل روشهای مختلف طبقه بندی به یکدیگر محاسبه شود. بهترین روش برای این مطالعات استفاده از موارد مطالعاتی متنوع است که توسط چندین روش طبقه بندی شده اند. برازش منحنی بین روشهای طبقه بندی توده سنگ و بدست آوردن رابطه بین روشهای مختلف تا به حال توسط محققین مختلف در سراسر دنیا صورت گرفته که از آن جمله می توان به جمع آوری اطلاعات از ۱۱۷ مورد مطالعاتی توسط بنیاوسکی در سال ۱۹۸۹ که شامل ۶۸ مورد در اسکاندیناوی ، ۲۸ مورد در آفریقای جنوبی ، ۲۱ مورد از آمریکا است اشاره کرد. بنیاوسکی پس از برازش منحنی رابطه:

$$RMR = 9LnQ + 44 \quad (1-2)$$

را برای محاسبه هر یک از دو روش RMR و Q از دیگری مناسب دانست. این مطالعات در نیوزلند توسط (Preston & Rutledge) (۱۹۷۸) ادامه یافته و رابطه (۱-۲) بصورت رابطه ۲-۲ اصلاح گردید.

$$RMR = 5.9LnQ + 43 \quad (2-2)$$

(۱۹۸۴) Abad, (۱۹۸۱) Budavari & Cameron, (۱۹۸۰) Moreno روابط دیگری را بین این دو

روش پیشنهاد نموده اند که این روابط در ذیل آمده است [۱۲].

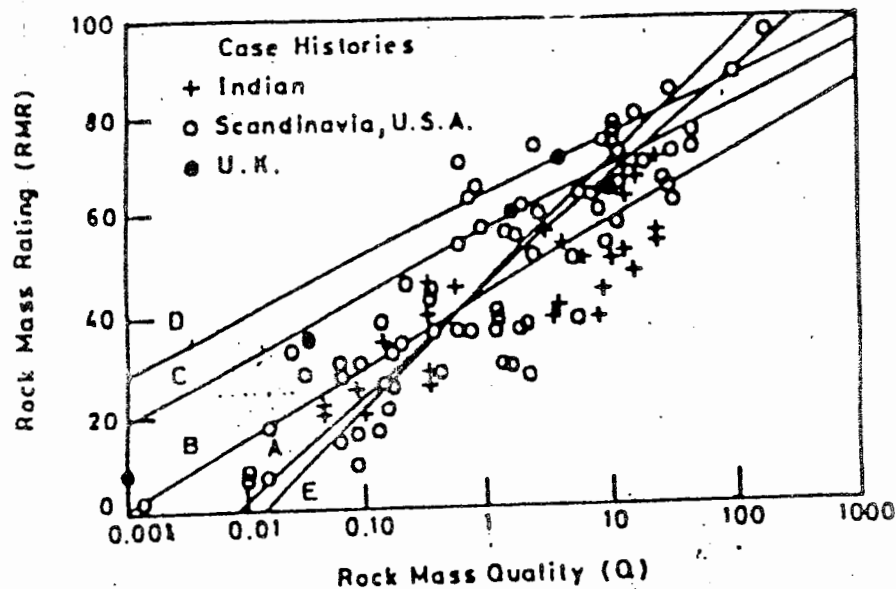
$$RMR = 5.4LnQ + 55.2 \quad (3-2)$$

^۱Tunnel Boaring Machine

$$RMR = 5LnQ + 60.8 \quad (۴-۲)$$

$$RMR = 10.5LnQ + 41.8 \quad (۵-۲)$$

نمایش نمودارهای حاصل از این روابط در شکل ۱-۲ آمده است.



شکل ۱-۲-نمایش روابط بین RMR و Q [۱۲]

۳-۲- بحث و نتیجه گیری

امروزه استفاده از فضاهای زیرزمینی در اکثر نقاط دنیا برای مقاصد مختلف رو به افزایش است. موارد مطالعاتی فراوان در سراسر دنیا می توان یافت که بنا به ضرورت از فضای زیر زمینی استفاده گردیده است. از جمله مهمترین مسائل در حفر این فضاها طراحی سیستم نگهداری سنگ در بر گیرنده است. تا به حال بنا به اهمیت مساله طراحی سیستم نگهداری در فضاهای زیر زمینی روشهای مختلفی پیشنهاد گردیده که هر یک از این روشها در موارد مختلف مورد استفاده واقع شده اند. نکته قابل توجه آنست که روشهای طراحی دارای محدودیت کاربرد در شرایط خاص آن روش می باشند. لذا شناخت دقیق هر روش و محیط در بر گیرنده سنگ می تواند طراح را در طراحی یاری نماید. بر همین اساس در این فصل خلاصه ای از روشهای مختلف طراحی سیستم نگهداری و شرایط کاربرد هر روش و برخی از موارد مطالعاتی کار شده توسط آن روش آورده شده است. این مطالب به صورت خلاصه در جدول ۱-۲ دسته بندی شده است.

جدول ۱-۲ - خلاصه برخی از روشهای طراحی و موارد کاربرد آنها

موارد استفاده شده	شرح روش	ارائه دهندگان و سال ارائه	روشهای طراحی سیستم نگهداری	روشهای طراحی
در اغلب پروژه های زیر زمینی در آمریکا، آفریقای جنوبی، نروژ، کانادا و اکثر نقاط دنیا از این روش استفاده می گردد.	این روش در محیطهای دارای آب، لایه های سست و نازک کاربرد دارد. پارامتر های مورد نیاز برای طبقه بندی به این روش را می توان نسبتا سریع و ارزان در سایت اندازه گیری نمود.	Bieniawski ۱۹۷۳	روش طبقه بندی مهندسی سنگ RMR	
این روش به دلیل قدمت تا کنون در اغلب پروژه های زیر زمینی استفاده شده است.	این روش برای سنگهای درزه دار و محیط های پر تنش بخصوص محیطهای دارای ناپیوستگی، مناسب است، این روش قادر به طبقه بندی سنگهای بسیار خرد شده نیز می باشد. از جمله معایب این روش عدم تخمین دقیق برخی از پارامتر ها از جمله SRF است.	Barton,Lein,Lunde ۱۹۷۴	روش طبقه بندی مهندسی سنگ Q	روشهای تجربی
این روش از سال ۱۹۹۵ تا به حال در نروژ و برخی از تونلهای راه در ایران استفاده گردیده است.	روش RMI خاص محیط های درزه دار است و نزدیکی این روش با روش Q بسیار می باشد. این روش تاکید بسیار بر مقاومت سنگ به عنوان یک پارامتر اساسی در طراحی دارد.	Palmstrom ۱۹۹۵	روش طبقه بندی مهندسی سنگ RMI	
از روش JH به دلیل تازه بودن فقط در طراحی سیستم نگهداری تونلهای راه در ژاپن استفاده شده است.	محاسبه پارامتر ها توسط این روش با دارا بودن پارامتر های شاخص توده سنگ نسبت به سایر روش ها آسانتر است.	Akagi & etall ۲۰۰۱	روش طبقه بندی مهندسی سنگ JH	
از این روش در تحلیل تونلهای انتقال آب که اکثرا دارای مقطع دایره ای و همچنین در تونلهای زیر دریایی ($k=1$) می توان استفاده نمود.	این روش جزء روشهای تحلیل سیستم نگهداری است و در مواردی که تونل دایره ای در محیط پیوسته و هیدرواستاتیک قرار داشته باشد کاربرد دارد	Hoek &Brown	روش تحلیلی منحنی واکنش زمین GRC	

ادامه جدول ۱-۲ - خلاصه برخی از روشهای طراحی و موارد کاربرد آنها

<p>در سنگهای سخت و پروژه های با عمق روباره کم همچون تونلهای درون شهری در صورت وجود ناپیوستگی می توان استفاده نمود</p>	<p>این روش خاص محیطهای ناپیوسته بوده و قابل کاربرد در سنگهای با حجم روباره کم و دارای ناپیوستگی . این روش بر اساس روش تعادل حدی به طراحی سیستم نگهداری می پردازد.</p>	<p>Goodman & Shi ۱۹۸۵</p>	<p>روش آنالیز بلوکی</p>
<p>استفاده از این روشها امروزه به دلیل افزایش سرعت رایانه ها در حل معادلات رو به افزایش است . برای مثال در اکثر پروژه های زیر زمینی همچون تونلها ومغارها از آنجا که می توان توسط این روشها مدلهای مختلف را مورد بررسی قرار داد استفاده می شوند. برای مثال می توان به بررسی وتحلیل سیستم نگهداری مغار های شهری در نروژ ، تحلیل سیستم نگهداری تونل مترو در کانادا توسط N.Barton و برخی از پروژه های زیر زمینی همچون تحلیل مغار مسجد سلیمان توسط این روشها اشاره کرد.</p>	<p>برای بررسی رفتار سنگ و سیستم نگهداری پس از حفر فضا و تحلیل اندر کنش سیستم نگهداری پس از نصب از نرم افزارهای مورد استفاده به این روش phases,phase۲ را می توان استفاده نمود.</p>	<p>R.Courant ۱۹۴۳</p>	<p>روش المان محدود</p>
<p>این روش از قدیمی ترین روشهای عددی محسوب شده که برای حل مسائل عددی در محیط های پیوسته بکار برده می شود. از نرم افزارهای مورد استفاده به این روش FLAC ۲D, ۳D را می توان نام برد</p>	<p>این روش از قدیمی ترین روشهای عددی محسوب شده که برای حل مسائل عددی در محیط های پیوسته بکار برده می شود. از نرم افزارهای مورد استفاده به این روش FLAC ۲D, ۳D را می توان نام برد</p>	<p>Wilkins ۱۹۶۴</p>	<p>روش تفاضل محدود</p>
<p>روش المان مجزا قابلیت بررسی رفتار محیطهای ناپیوسته را دارا می باشد. نرم افزار UDEC,۳DEC به این روش قادر به بررسی رفتار سنگ و سیستم نگهداری می باشند.</p>	<p>روش المان مجزا قابلیت بررسی رفتار محیطهای ناپیوسته را دارا می باشد. نرم افزار UDEC,۳DEC به این روش قادر به بررسی رفتار سنگ و سیستم نگهداری می باشند.</p>	<p>Cundall ۱۹۸۵</p>	<p>روش المان مجزا محیط ناپیوسته</p>

فصل سوم

روشهای طراحی سیستم نگهداری فضاهای زیر زمینی

۳- روشهای طراحی سیستم نگهداری در سازه های زیرزمینی

۳-۱- مقدمه

در طراحی سیستم نگهداری برای سازه های زیر زمینی چندین عامل اساسی بایستی مورد توجه قرار گیرد. از جمله مسایل مورد توجه در طراحی می توان به حجم روباره سنگی و نوع سنگ در بر گیرنده از لحاظ جنس و شرایط تکتونیکی اشاره نمود. در این قسمت روشهای مختلف در طراحی سیستم نگهداری آورده شده است.

۳-۲- استفاده از طبقه بندی مهندسی سنگ و طراحی سیستم نگهداری براساس آن

روشهای طراحی سیستم نگهداری به روش تجربی از سال ۱۹۴۶ توسط ترزاقی ابداع و تا به حال این روشها در حال تکامل بوده است. در روشهای تجربی با توجه به خصوصیات توده سنگی از روشهای مختلفی استفاده می گردد. هر یک از این سیستمها از پارامترهای متنوعی که مشخص کننده توده سنگ باشد در طراحی استفاده می کنند. ولی آنچه بایستی مورد توجه قرار گیرد آنست که کیفیت داده های برداشت شده بایستی با نیاز طراحی همخوانی داشته باشد. در همین رابطه بنیایوسکی (۱۹۸۴) اظهار داشت [۲]:

“بسیار با اهمیت است که کیفیت داده های ورودی با نیاز طراحی همخوانی داشته باشد و بسیار بدیهی است که اگر پارامتر ورودی نادرست باشد، جواب طراحی نیز اشتباه خواهد بود”

فرآیند طبقه بندی سنگ، طراح را قادر می سازد تا درک بهتری از تاثیر پارامترهای گوناگون زمین شناسی در رفتار کلی توده سنگ و مشخصات ذاتی توده سنگ کسب نماید که در نهایت به قضاوت مهندسی بهتر منجر خواهد گردید. یک طرح طبقه بندی همچنان می تواند به عنوان لیست کنترلی برای اطمینان از اینکه تمام اطلاعات مربوطه مورد رسیدگی قرار گرفته، استفاده گردد، از طرف دیگر یک یا چند طرح طبقه بندی توده سنگ می تواند برای بیان تصویری از ترکیب و مشخصه های توده سنگ، برای تخمین اولیه و نگهداری های مورد نیاز و نیز تخمین خواص مقاومتی و تغییر شکل توده سنگ بکار برده شود [۹].

در این قسمت روشهای مختلف در طراحی تجربی سیستم نگهداری آورده شده است.

۳-۲-۱- شاخص کیفی تونل زنی در سنگ (Q)

بارتون و همکارانش در انستیتو ژئوتکنیک نروژ در سال ۱۹۷۴ شاخص کیفی تونل زنی Q را برای تعیین مشخصه‌های توده سنگ و نگهدارنده مورد نیاز در تونلها پیشنهاد کردند.

مقدار عددی شاخص Q در یک مقیاس لگاریتمی از حداقل ۰/۰۰۱ تا حداکثر ۱۰۰۰ تغییر می‌کند و به وسیله رابطه زیر مشخص می‌شود [۹].

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \quad (1)$$

که در آن:

RQD = شاخص کیفیت سنگ

J_n : عدد مربوط به تعداد دسته درزه‌ها

J_r : عدد مربوط به زبری سطح درزه‌ها

J_a : عدد مربوط به هوازدگی و دگرسانی درزه‌ها

J_w : عدد مربوط به وضعیت آب زیرزمینی

SRF : ضریب کاهش تنش

می‌باشند. در توضیح معانی پارامترهای استفاده شده برای تعیین مقدار Q بارتون و همکارانش نظریات زیر را ارائه کرده اند.

نسبت $\frac{RQD}{J_n}$: بیانگر ساختار توده سنگ بوده و یک دید کلی از اندازه بلوکها و یا ذرات می‌دهد که

این نسبت بین ۲۰۰ تا ۰/۵ متغیر خواهد بود.

نسبت $\frac{J_r}{ja}$: بیانگر خصوصیات زبری و اصطکاکی دیواره‌های درزه یا مواد پرکننده است، به عبارتی

این نسبت بیانگر مقاومت برشی درونی بلوک است [۵].

این نسبت بر اساس درزه‌های زبر و دگرگون نشده که دیواره آنها در تماس مستقیم با یکدیگر هستند تعیین می‌گردد.

چنین سطوحی تا نقطه حداکثر مقاومت برشی بسته می‌مانند و پس از برش بر اثر حرکت برشی شدیداً اتساع پیدا می‌کنند. به همین دلیل اینگونه درزه‌ها برای پایداری تونل مساعدند. زمانیکه دیواره درزه‌ها با یکدیگر تماس ندارند، شرایط برای پایداری تونل فوق‌العاده نامساعد است [۹].

نسبت $\frac{J_w}{SRF}$: این ضریب به علت برآورد تنش زمین ضریب تجربی پیچیده‌ای است که بیانگر تنش

فعال (Active stress) را خواهد بود [۵].

سیستم NGI^2 بعلت در بر داشتن اطلاعات کافی برای ارزیابی صحیح و حقیقی فاکتورهایی که پایداری سازه زیرزمینی را تحت تاثیر قرار می‌دهند مورد توجه خاص می‌باشد.

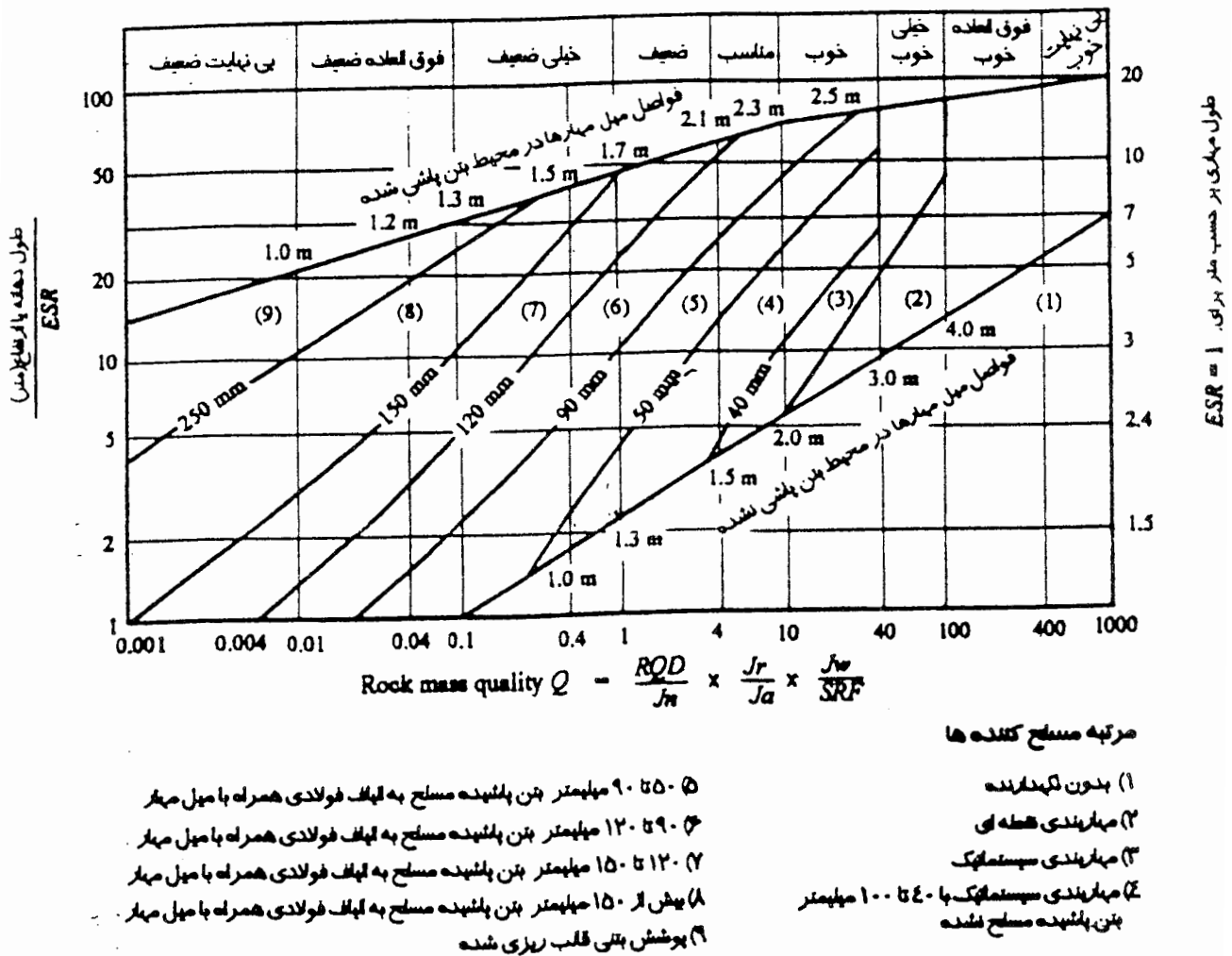
امروزه این سیستم طبقه‌بندی توده سنگ در اکثر پروژه‌های حفاریات زیرزمینی برای انتخاب سیستم نگهداری اولیه بخصوص در محیطهای ناپیوسته رایج است. این سیستم طبقه بندی قادر به انتخاب نوع نگهداری برای رده‌های سنگی مختلف و همچنین طراحی طول و میزان فشار وارد بر سقف، بر اساس مقدار بدست آمده از روش Q است. بارتن و همکارانش برای ارتباط مقدار شاخص Q با پایداری نگهدارنده مورد نیاز فضای زیر زمینی یک پارامتر اضافی D_e (بعد معادل فضای زیر زمینی) تعریف نمودند. این بعد از تقسیم دهانه یا قطر یا ارتفاع دیواره فضای زیر زمینی به مقداری که ضریب

اهمیت نگهدارنده (ESR) نامیده می شود بدست می آید [۹].

¹-Diletency

²-Norvegian Rock Mechanics Insitute

$$D_e = \frac{\text{wide of tunnel}}{ESR}$$



شکل ۳-۱- نمودار تخمین نوع نگهدارنده براساس شاخص Q [۹]

۳-۲-۲- طبقه بندی ژئومکانیکی (RMR)

در سال ۱۹۷۶، بنیایوسکی جزئیات طبقه بندی توده سنگ که طبقه بندی ژئومکانیکی یا سیستم امتیازبندی توده سنگ (RMR) را ارائه کرد. این سیستم بطور پیوسته و در طول سالها و در طول

سالها تصحیح گردیده است، بطوریکه در بیشتر موارد اجرایی (تونلها و معادن) مورد بررسی قرار گرفته‌اند.

آخرین تغییرات در مورد روش طبقه‌بندی ژئومکانیکی (RMR) در سال ۱۹۸۹ ارائه شده است. در طبقه‌بندی توده سنگ با سیستم (RMR) از شش پارامتر زیر استفاده می‌شود [۹].

۱- مقاومت فشاری تک محوری ماده سنگی

۲- شاخص کیفیت سنگ RQD

۳- فاصله ناپیوستگی‌ها

۴- شرایط ناپیوستگی‌ها

۵- شرایط آب زیرزمینی

۶- جهت ناپیوستگی‌ها

در بکارگیری این سیستم طبقه‌بندی، توده سنگ به تعدادی از نواحی ساختاری تقسیم شده و هر ناحیه به طور مستقل طبقه‌بندی می‌شود. مرزهای مناطق ساختاری معمولاً با رخساره‌های عمده مانند گسل یا با تغییر در نوع سنگ مشخص می‌شوند. تغییرات مهم فواصل یا مشخصه‌های ناپیوستگی یک نوع توده سنگ ممکن است در بعضی موارد باعث تقسیم توده سنگ به تعدادی از نواحی ساختاری بزرگ یا کوچک نشود. سیستم امتیازدهی RMR با دادن امتیازی به هر یک از پارامترهای فوق با توجه به جدولی که در ضمیمه شماره ۱ آمده است به طبقه‌بندی توده سنگ می‌پردازد. مجموع امتیازات ۶ پارامتر فوق یک مقدار RMR به هر رده سنگی می‌دهد که این مقدار بین صفر تا ۱۰۰ تغییر خواهد کرد.

طبقه‌بندی ژئومکانیکی (RMR) با همه مزایایی که دارد چندین عامل مهم را نادیده می‌گیرد این عوامل عبارتند از درجه زبری ناپیوستگی‌ها و سطح درزه‌ها و نقش مواد پرکننده درزه‌ها که در کیفیت توده سنگ و به خصوص در سنگها متورم شونده دارای اهمیت خاص است. زمانیکه درزه‌ها حاوی لایه ای نازک از کانیهای رسی و یا سایر مواد پرکننده باشد. مقاومت برشی به میزان

قابل توجهی کاهش خواهد یافت. با این حال، تماس دیواره‌های درزه که پس از جابجایی برشی کوچکی ایجاد می‌شود، ممکن است عامل مهمی در جلوگیری از ریزش کلی فضای زیرزمینی باشد. پس از محاسبه مقدار (RMR) برای هر رده سنگی می‌توان سیستم نگهداری اولیه را برای توده سنگ انتخاب نمود. در سال ۱۹۸۹ بنیادسکی یک جدول راهنمایی برای انتخاب نگهدارنده در تونلهای سنگی با توجه به RMR معلوم آنها ارائه کرد. این راهنما در جدول ضمیمه ۲ آمده است.

۳-۲-۳- روش JH

روش JH در سال ۲۰۰۱، توسط W.AKAGI و همکارانش ارائه گردید [۷]. در بین روشهای موجود، روش NATM^۱ یکی از روشهای تونل‌سازی بر مبنای مشاهدات صحرایی است، که بر همین اساس روش JH، نیز با استفاده از اطلاعات ثبت شده از سینه کار تونلها به طبقه بندی محیط درونگیر می‌پردازد. برای بدست آوردن امتیازها اطلاعات موجود از هر نوع سنگ، داده های مشاهده ای از سالهای ۱۹۶۶-۱۹۹۸ در بیش از ۵۳ تونل و ۹۶۹۰ مقطع در ژاپن مورد مطالعه قرار گرفته است. از آنجا که تقسیم بندی سنگها براساس نوع تشکیلات آنها امری معقول است در این روش نیز ابتدا نوع سنگ در بر گیرنده از میان ۴ گروه موجود که در این روش تشخیص داده شده انتخاب و بر آن اساس قادر است با در نظر گرفتن نوع سنگ، مقاومت تغییر شکل توده سنگ، سیستم نگهداری از قبیل بولت، شاتکریت و قاب فولادی را پیشنهاد کند. روش JH با استفاده از اطلاعات مشاهده شده، به کاربرد NATM در الگوهای استاندارد نگهداری تونل اشاره دارد. هدف Akagi و همکارانش از ایجاد الگوی نگهداری جدید بر مبنای روش JH، فقط ساخت تونل ایمن نبوده بلکه هدف از طرح این الگو، بدست آوردن الگوی نگهداری در ساخت تونلی ایمن که از نظر اقتصادی معقول نیز باشد است [۷].

بر همین اساس آنان سعی در تعیین طرح نگهداری (Support pattern) بر پایه معیارهای مشاهده‌ای در جبهه کار تونل دارند. در این روش نوع سیستم نگهداری بر اساس شرایط زمین‌شناسی محیط، به جای استفاده از الگوهای کم و بیش یکسان تعیین می‌شود [۷].

روش JH معیارهای مختلفی، از جمله نوع سنگ، شرایط درزه‌داری، فواصل درزه‌داری و .. را با امتیازهای متنوع برای هر نوع از گروههای سنگی برای طبقه‌بندی در نظر می‌گیرد. امتیازهای بدست آمده برای هر پارامتر با یکدیگر جمع شده و در نهایت امتیاز JH برای آن رده سنگی در نظر گرفته می‌شود که این امتیاز بین صفر تا ۱۰۰ متغیر خواهد بود.

نتایج مطالعات Akagi نشان می‌دهد در صورتیکه سینه کار تونل از جنسهای مختلفی از سنگ تشکیل شده باشند تمام قسمتها دارای ارزش برابر در طبقه‌بندی نیستند، موارد زیادی می‌توان یافت که متخصصین نیاز به آنالیز سینه‌کارهایی دارند که ۲ یا بیشتر از انواع سنگها در سینه کار^۱ دیده می‌شود و یا آنکه هوازدگی و آلتراسیون در قسمتهای مختلف سینه‌کار بصورت متفاوت یافت می‌شود. ایشان پیشنهاد کرد برای این منظور می‌توان سینه‌کار تونل را به قسمتهای مختلفی تقسیم نمود. نتایج این مطالعات تاکید بر اهمیت بیشتر قسمت تاج تونل نسبت به سایر قسمتهای تونل دارد. در صورتیکه سینه‌کار تونل به ۳ قسمت مختلف تقسیم شود، ارزش میانگین محاسبه خواهد شد.

$$[Rating]=\left[\frac{4}{\text{امتیاز سمت راست سینه کار} + 2 \times \text{امتیاز تاج تونل} + \text{امتیاز سمت چپ سینه کار}}\right] \quad (2)$$

در روش JH، پارامترهای مختلفی لحاظ شده‌اند، پارامترهای استفاده شده در این روش عبارتند از:

الف - مقاومت سنگ بکر

ب - میزان هوازدگی و آلتراسیون

ج - فاصله‌داری درزه‌ها

د - شرایط درزه‌ها

^۱-Face

هـ - جریان آب زیرزمینی

و - دگرسانی توسط آب

در این روش پس از تشخیص جنس سنگ مقدار پارامترهای زیر از جداول مربوطه که در ضمیمه ۳ موجود است بدست آورده و پس بر اساس مقدار JH محاسبه شده است. نوع سیستم نگهداری از جدول ۱-۳ انتخاب خواهد شد.

جدول ۱-۳- رده بندی سیستم نگهداری بر اساس روش JH [۷]

Length of Excavation	Rock Bolt		Thickness of Shotcrete	Steel Rib		Stiffness ratio by Hokuriku Method
	Length	Radial Spacing		Upper Section	Lower Section	
B-a	2.0m	3.0m	1.5m*	5cm	-	1.0
CI-a	1.5m	3.0m	1.5m	10cm	-	1.99
CII-a	1.2m	3.0m	1.5m	10cm	-	2.06
CII-b	1.2m	3.0m	1.5m	10cm	125H	2.57
DI-a	1.0m	3.0m	1.2m	15cm	125H	3.84
DI-b	1.0m	4.0m	1.2m	15cm	125H	3.92

*Upper section only

روش JH نیز به علت دربر داشتن بسیاری از پارامترهای موثر در پایداری سازه زیر زمینی مورد توجه قرار گرفته است [۷].

۳-۲-۴- روش RMI^۱

مواد ساختمانی اغلب در مهندسی عمران به وسیله خواص مقاومتی آنها طبقه بندی می شوند. در مهندسی سنگ طبقه بندی خاصی براساس مقاومتشان ذکر نگردیده است. لذا هوک (۱۹۸۰) نیتو (۱۹۸۳) بنیاوسکی (۱۹۸۴) طبقه بندی مقاومتی توده سنگ را لازم دانسته اند. روش RMI بر اساس مطالعات A.Palmstrom در خلال سالهای ۱۹۸۶-۱۹۹۵ بر روی موارد مطالعاتی پیشنهاد شده است. این روش بر مبنای انتخاب بهترین پارامترهای زمین شناسی تعریف شده استوار است. مهمترین ایده استفاده شده در طبقه بندی RMI، استفاده از پارامترهای ذاتی توده سنگ است. این طبقه بندی بر اصل کاهش مقاومت درونی توده سنگ بر اثر درزه های درونی آن استوار بوده و بصورت زیر تعریف می گردد [۱۳].

^۱ -Rock Mass Index

$$RMI = \sigma_C * J_P$$

اندیس J_P از فرمول زیر قابل محاسبه است.

$$J_P = 0.2 * \sqrt{J_C} * V_b^D$$

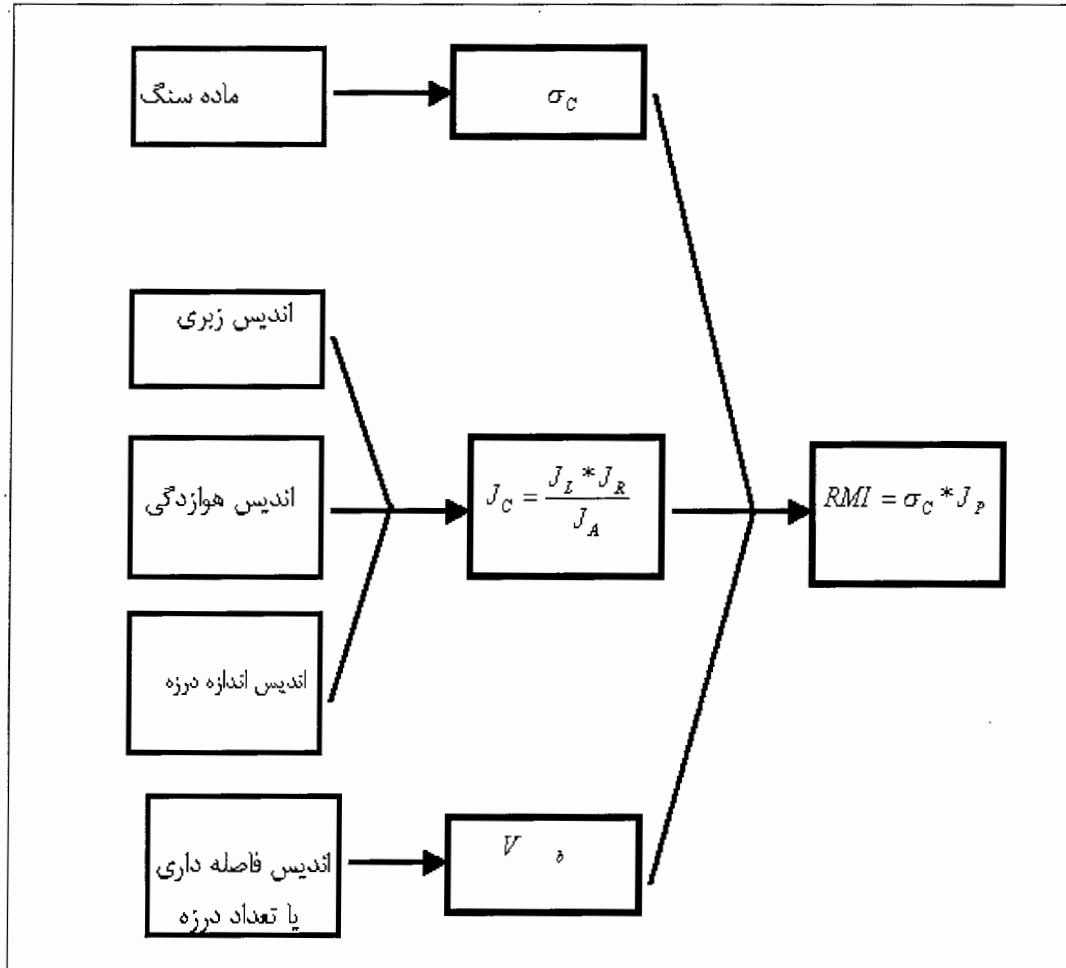
$$D = 0.37 J_C^{-0.2}$$

$$J_C = \frac{J_L * J_R}{J_A}$$

که در این فرمولها :

σ_C	مقاومت تک محوری
J_P	پارامتر درزه داری
J_C	فاکتور شرایط درزه
J_R	اندیس زبری درزه
J_A	اندیس هوازدگی
J_L	اندیس اندازه درزه
V_b	اندیس فاصله داری یا تعداد درزه

است . در شکل ۳-۲ نمودار طبقه بندی RMI آورده شده است. ارزش J_P برای سنگهای خرد شده نزدیک به صفر و برای ماده سنگ حدود یک خواهد بود . RMI برای مقایسه و مبادله اطلاعات بین مهندسين طراح بسیار مناسب است و می تواند برای برآورد های اجمالی و زمانیکه اطلاعات ما از شرایط زمین شناسی محدود است استفاده گردد. به عنوان مثال در مراحل اولیه طراحی و اجرای پروژه می تواند کاربرد داشته باشد. روش RMI اگر چه همانند روش Q برای توده سنگهای درزه دار کاربرد دارد اما از پارامتر هائی استفاده می کند که محاسبه آنها آسانتر از روش Q است. در این روش از آنجا که برخی از پارامتر ها بصورت تقریبی بیان می شوند همانند J_P یک خطای ذاتی وارد طبقه بندی می شود. برای طراحی سیستم نگهداری می توان از جدول مربوط به سیستم طبقه بندی Q برای طراحی سیستم نگهداری به روش RMI نیز استفاده نمود [۱۳ و ۲] .



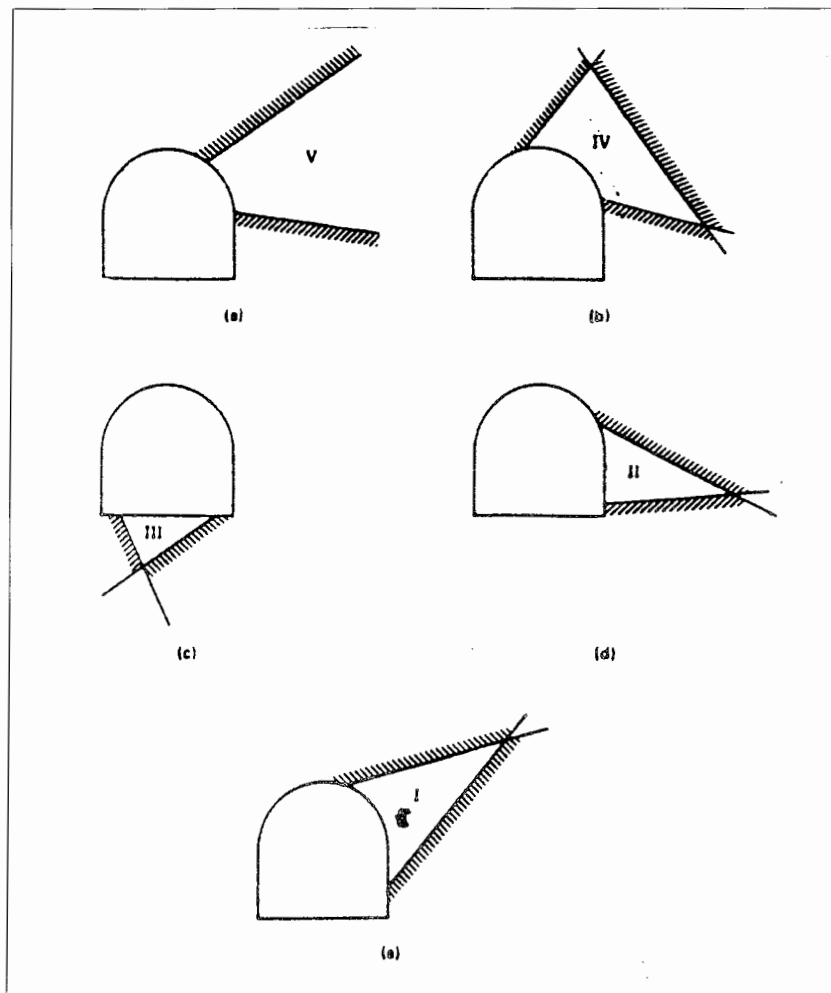
شکل ۳-۲- نمودار طبقه بندی RMI [۲۱۳]

۳-۳- طراحی سیستم نگهداری با استفاده از تحلیل بلوکی

لغزش گوه ها از سقف یا لعزیدن آنها از دیواره های حفاری عمومی ترین نوع ریزش است که در فضاهای زیر زمینی و توده سنگهای درزه دار با روباره کم اتفاق می افتد. این گوه ها از برخورد عارضه های ساختاری مانند صفحات لایه بندی ، درزه ها که توده سنگ را به قطعات مجزا ولی بهم قفل شده تقسیم می کند بوجود می آیند [۹].

یک گوه از فضای مشترک حاصل از تقاطع دسته خاصی از n نیم فضا بوجود می آید . اگر فقط جهت یافتگی این نیم فضا ها مورد توجه قرار گیرد، در این صورت 2^n فضای محصور و منحصر به فرد از تقاطع آنها ایجاد می شود. همه این تقاطع ها ، گوه های بحرانی بالقوه بوجود نمی آورند. گوه

های کلیدی برای پایداری فضاهاى استخراجى بصورت بالقوه بحرانی می باشد . این از آن جهت است که طبق تعریف بلوک کلیدی محدود به صفحات بوده و ضمن قابلیت جابجایی ، بالقوه ناپایدار است . این اصطلاحات برای ۵ نوع بلوک بکار گرفته شده است . این ۵ نوع در موارد a تا e شکل ۳-۳ آورده شده است . مورد a یک گوه نامحدود را نمایش می دهد که این گوه تا زمانیکه درون آن ترکی ایجاد نشود ، هیچ خطری برای فضای استخراجی ندارد [۱۴] .



شکل ۳-۳- انواع گوه های ایجاد شده در تونل [۱۴]

مورد b، یک گوه مخروطی محدود را نمایش می دهد که این گوه فاقد قابلیت جابجایی است . هر بلوک محدودی که به سطح فضای استخراجی برخورد نماید و این امر باعث افزایش تعداد کل سطح آن شود ، در نهایت شکل بلوک مذکور مخروطی شده و امکان جدا شدن آن از توده سنگ وجود نخواهد داشت . مورد c، یک گوه بالقوه پایدار را نمایش می دهد . این گوه در صورت عدم وجود

اصطکاک نیز پایدار خواهد بود. در مورد d، گوه ایجاد شده بالقوه ناپایدار است و تمایل به حرکت به سوی فضای خالی شده دارد. در مورد e، یک گوه کلیدی بالقوه ناپایدار مشاهده می گردد که نه تنها قابلیت جابجایی دارد بلکه به شکل خطر ناکی قرار گرفته و در صورت عدم کنترل آن، تمایل به حرکت به سمت فضای خالی را دارد. این نوع بلوک باید قبل از حفر که منجر به جدا شدن کامل آن می گردد، توسط سیستم نگهداری مهار گردد [۱۴].

در صورتی که این گوه های تشکیل شده مهار نشوند، پایداری سقف و دیواره های فضای حفاری شده ممکن است از بین برود. هر گوه که اجازه افتادن یا لغزیدن پیدا می کند باعث کاهش درگیری و بهم پیوستگی توده سنگ شده و این به نوبه خود به گوه های دیگر اجازه افتادن خواهد داد. این فرآیند شکست و ریزش تا زمانی ادامه خواهد داشت تا یک قوس طبیعی در سنگ بوجود آید و از گسترش شکافهای بیشتر در توده سنگ جلوگیری کند و یا اینکه فضای حفاری شده از مواد ریزشی پر شود. مراحلی که در ارتباط با این مساله بایستی بررسی شود عبارتند از:

- ۱- تعیین شیب و جهت شیب متوسط سری ناپیوستگی های مهم توده سنگ
- ۲- شناسایی امکان تشکیل گوه هایی که می توانند از سقف یا دیواره های فضای حفاری شده بلغزند یا بیافتند.
- ۳- محاسبه ضریب ایمنی گوه ها با توجه به نوع سقوط آنها
- ۴- محاسبه مقدار تسلیح مورد نیاز جهت افزایش ضریب ایمنی گوه های مستقل تا یک حد قابل قبول

اندازه، شکل و پتانسیل ریزشی گوه ها در توده سنگ در بر گیرنده یک فضای زیر زمینی به اندازه، شکل، جهت فضای زیر زمینی و همچنین به جهت سری ناپیوستگی های اصلی بستگی دارد. لذا در صورت مساعد بودن شرایط در سقف و دیواره ها گوه های ریزشی ایجا خواهد گردید که باعث ناپایداری فضا گشته و سیستم نگهداری لازم بایستی برای مهار گوه ها طراحی گردد. اندازه، شکل و پتانسیل ریزشی گوه ها در توده سنگ در بر گیرنده یک فضای زیر زمینی

به اندازه، شکل، جهت فضای زیر زمینی و همچنین به جهت سری نا پیوستگی های اصلی بستگی دارد. بررسی این موارد را می توان با استفاده از نرم افزار UNWEDGE انجام داد. این نرم افزار با استفاده از تعادل حدی گوه های ریزشی را تشخیص می دهد. UNWEDGE با توجه به اندازه بلوک از دو سیستم نگهداری بولت و شاتکریت به پایدار سازی بلوکها می پردازد. ورودیهای مورد نیاز برای تحلیل گوه های توسط نرم افزار UNWEDGE عبارتند از [۱۵] :

۱- مشخصات حفاری

۱-۱- جهت حفاری

۱-۲- شیب حفاری

۱-۳- شکل هندسی مقطع حفاری

۲- مشخصات ناپیوستگی ها

۲-۱- شیب ناپیوستگی ها

۲-۲- جهت شیب ناپیوستگی ها

۲-۳- زاویه شکست

۲-۴- چسبندگی

۳- مشخصات فشار آب جریان یافته در ناپیوستگی ها

از این نرم افزار (UNWEDGE) در موقعیت هایی می توان استفاده کرد که تنش های بر جا کم بوده و بتوان از تاثیر آن، بدون بوجود آوردن کوچکترین اشتباهی صرف نظر کرد ، این شرایط در توده سنگهای سختی که شکست گوه ای غالب ترین نوع ریزش می باشد صدق میکند. در مواقعی که تنش برجا در توده سنگهای بلوکی زیاد باشد ، ممکن است ضرایب ایمنی که توسط نرم افزار UNWEDGE پیش بینی شده صحیح نباشد . در مورد گوه های بلند و نازک ، علیرغم اینکه ضریب ایمنی محاسبه شده خیلی کوچک است اما تنش برجا به نگهداری گوه ها در محلشان کمک می کنند . از طرف دیگر برای گوه های تخت که در اعماق

کم قرار دارند تنش های برجای زیاد باعث بیرون راندن آنها می شود با وجود اینکه ضریب ایمنی محاسبه شده ممکن است خیلی زیاد باشد [۹].

۳-۴- تحلیل سیستم نگهداری با استفاده از مدل سازی عددی

در روشهای تحلیل عددی، مدل سازه موردنظر و فضای اطراف آن به اجزای کوچکی تقسیم می شوند که هر جزء یک المان نامیده شده و هر المان به وسیله یک سری نقاط که در اطراف آن فضا وجود دارد مرزبندی می گردد. ارتباط المان ها با یکدیگر از طریق همین نقاط یا گره ها برقرار می شود. خواص مکانیکی المان ها و خصوصیات هندسی آنها به وسیله یک سری معادلات مبنا تعریف شده و نظر به اینکه تعداد معادلات در این روش بسیار زیاد است نرم افزار کامپیوتری برای هر روش وجود دارد. از آنجا که توده سنگ به دلیل شرایط زمین شناسی ممکن است حالات مختلفی از پیوسته یا ناپیوسته بودن را دارا باشند لذا برای هر یک از حالات روشهای عددی خاص را باید بکار برد [۱۶].

روشهای عددی را در حالت کلی به دو دسته روشهای ناحیه ای و مرزی می توان تقسیم نمود. در روشهای مرزی، مرز حفاری به اجزا کوچک تقسیم شده و درون توده سنگ از لحاظ ریاضی یک محیط پیوسته نامحدود در نظر گرفته می شود. در روشهای ناحیه ای درون توده سنگ به اجزای کوچک ساده هندسی تقسیم شده و فرض می شود هر کدام دارای خواصی باشند. در مورد روشهای ناحیه ای، مرزهای خارجی مدل باید به قدر کافی از محدوده فضای زیرزمینی دور در نظر گرفته شوند تا خطاهایی که از اندرکنش بین این مرزهای خارجی و حفاریها حاصل می شوند به حداقل قابل قبول تقلیل پیدا کند. از طرف دیگر چون در روشهای مرزی توده سنگ به عنوان یک محیط پیوسته نامحدود فرض می شود، شرایط مناطق با فاصله زیاد از مرز حفاری فقط لازم است به عنوان تنشهای عمل کننده بر کل توده سنگ در نظر گرفته شوند و نیاز به مشخص کردن مرزهای خارجی نیست. نقطه قوت روشهای مرزی، ساده سازی آن با ارائه توده سنگ به عنوان یک محیط پیوسته و گسترش نامحدود است [۹].

قبل از انتخاب روش مدلسازی مناسب برای مسائل مختلف، لازم است مولفه های اصلی هر روش به خوبی درک و نیز محیط توده سنگی تشخیص داده شود تا روش عددی خاص منطقه و توده سنگ بکار گرفته شود. به این منظور ابتدا انواع محیط توده سنگ دربرگیرنده آورده شده است.

۳-۴-۱- تشخیص نوع محیط

تشخیص نوع محیط سنگی یکی از مهمترین مراحل در طراحی سازه های زیرزمینی به روش تجربی و نیز تحلیل پایداری به روش عددی است زیرا تشخیص نوع محیط از نظر پیوسته و یا ناپیوسته بودن تعیین کننده روش مورد استفاده در آنالیزها و تحلیل هاست.

شناخت محیط دربرگیرنده سازه زیرزمینی رابطه بسیار نزدیک با سه عامل اساسی زیر دارد.

۱- درزه داری و یا ناپیوستگی های موجود در منطقه

۲- بعد فضای زیرزمینی

۳- جنس سنگ دربرگیرنده

شناخت محیط توده سنگ در بر گیرنده هنگام استفاده از روشهای عددی در تحلیل پایداری بیشتر اهمیت پیدا می کند، زیرا در روشهای عددی برای هر یک از محیطهای پیوسته و ناپیوسته روشهای مختلفی بکار گرفته می شود و برای هر کدام از این روشها نرم افزارهای مختلفی ارائه شده که لازمه استفاده از آنها شناخت محیط دربرگیرنده توده سنگ است [۲].

۳-۴-۱-۱- بررسی ایزوتروپی و آنیزوتروپی توده های سنگی

طبق نظر دیر^۱ در سال ۱۹۶۹ اصولاً زمانیکه نمونه ای از توده سنگ دارای مقداری از درزه در واحد حجم آن دارا باشد، آن توده آنیزوتروپ شناخته می شود و به عنوان توده ناپیوسته بایستی بررسی گردد اما اگر بعد نمونه بسیار بزرگتر از یک قطعه آزمایشگاهی باشد، تاثیر هر جزء (در اینجا درزه در نظر گرفته شود) بایستی بصورت پیوسته بررسی شود.

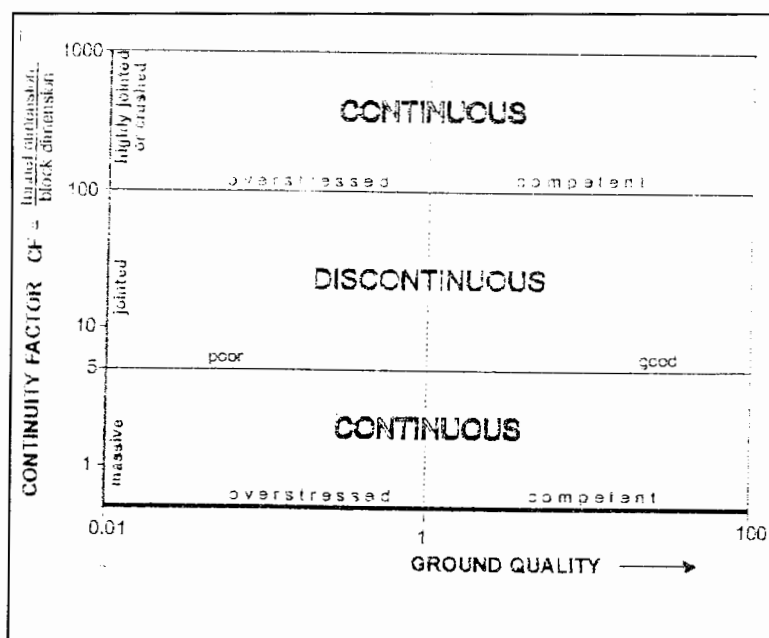
^۱Deere

این موضوع زمانی صحت خواهد داشت که هیچکدام از ناپیوستگی ها یا دسته درزه ها، ضعیف تر از بقیه درزه های درون حجم سنگ تحت بررسی نباشد اما اگر یک ناپیوستگی بسیار ضعیف تر از بقیه باشد، برای مثال در داخل قسمتی از توده سنگ درزه دار، گسل عمل کرده باشد، توده سنگ را می توان پیوسته در نظر گرفت و گسل موجود را می توان به عنوان یک ناپیوستگی جداگانه بررسی نمود. اما مشکل اصلی برآورد حجمی از سنگ است که بتوان آنرا پیوسته یا ناپیوسته در نظر گرفت. این حجم بسته به دامنه درزه داری و بلوکه شدن توده سنگ و اندازه قطعات سازنده نمونه دارد. در این مورد نظریات مختلفی ارائه شده که در ذیل برخی از آنها آورده شده است [۲]:

۱- جان^۱ در سال ۱۹۶۵ پیشنهاد نمود که: اگر واحدهای تشکیل شده در توده سنگ حداقل ۱۰ برابر واحد نمونه باشد (بعد حفاری) می توان آنرا پیوسته درزه دار در نظر گرفت. روشن است که این موضوع بستگی بسیار زیاد به تغییرات فاصله داری درزه ها و ناپیوستگی ها و ابعاد واحد در ماده دارد برای یک واحد $1 m^3$ از نمونه بایستی $10m^3$ از توده سنگ بررسی شود.

۲- دیر^۲ در سال ۱۹۶۹ نیز پایداری فضاهای زیرزمینی را در محیطهای پیوسته بسته به مقاومت ذرات و خواص تغییرشکل پذیری حجم مواد دانست. او همچنین پایداری فضاها در محیطهای ناپیوسته را اساساً وابسته به فاکتور فاصله داری ناپیوستگی برشمرد. ایشان در ادامه ابعاد فضای زیرزمینی را عامل مهم در تشخیص ایزوتروپ یا آنیزوتروپ بودن محیط دانست و اظهار داشت: «زمانیکه نسبت فاصله داری درزه به قطر تونل تقریباً بین $\frac{1}{5}$ تا $\frac{1}{100}$ است بایستی محیط را ناپیوسته و زمانیکه در خارج از این رنج قرار دارد، بایستی محیط را پیوسته در نظر گرفت اگرچه ممکن است ناهمگن باشد. نمودار شکل ۳-۴ دامنه ناپیوستگی را نشان می دهد [۲].

^۱ - John
2-DEERE



شکل ۳-۴ دامنه ناپیوستگی بر اساس نظر دیر [۲]

دیگر نویسندگان نیز آزمایشهای مکانیک سنگی در قطعات بزرگتر را لازم دانسته اند. برای مثال Mutschler در سال ۱۹۹۳ محیطی که دارای $5 \times 5 \times 5 = 125$ واحد بلوک باشد را پیوسته فرض کرد. ولی نکته مهم آن است که در یک مورد خاص، نوع محیط می تواند تئوری مورد استفاده در تحلیل را تعیین نماید. در این رابطه توضیح این نکته ضروری به نظر می رسد که در مدلسازی پروژه های مهندسی در یک توده سنگ درزه دار در نزدیکی دهانه تونل رفتار ممکن است آنیزوتروپ و در دورتر از دهانه تونل ممکن است رفتار ایزوتروپ باشد (زیرا اساساً حجم بزرگتری در نظر گرفته می شود) [۲].

پس از آنکه درزه داری محیط مورد مطالعه قرار گرفته و مشخص گردید که محیط دارای ناپیوستگی است بایست از نرم افزارهایی استفاده نمود که قابلیت مدل نمودن درزه ها و سایر ناپیوستگی های موجود در محیط را دارا باشند. از جمله این نرم افزارها می توان به نرم افزار UDEC اشاره نمود این نرم افزار قابلیت مدلسازی درزه های موجود در محیط را داشته و می توان از آن در شرایطی که محیط ناپیوسته است استفاده کرد.

۳-۴-۲- انواع روشهای عددی

۳-۴-۲-۱- روش المان محدود^۱

روش المان محدود، شرایط چند نقطه درون سنگ (نقاط گره ای) را به موقعیت درون ناحیه بسته ای که توسط این نقاط تشکیل شده (المان) مرتبط می سازد. روش المان محدود برای حل مواردی که با مواد دارای خواص ناهمگن و غیر خطی سر و کار دارند مناسب است، چونکه هر المان رفتار موادی را که شامل می شود، مدل می کند. به این دلیل المان محدود برای مدل کردن مرزهای نامحدود مانند مسایلی که در حفاری فضاهای زیر زمینی اتفاق می افتد مناسب نمی باشد. به محض آنکه مدل به اجزایی تقسیم گردید، خواص مواد تعیین شده و بار گذاریها اعمال می شود. برای توزیع مجدد هر گونه بار گذاریهای نامتعادل به روشهای بخصوصی نیاز است تا بتوان راه حلی برای حالت تعادل جدید تعیین کرد. راه حلهای موجود را می توان به دو دسته ضمنی و ساده تقسیم کرد. روشهای ضمنی مجموعه سیستمهای معادلات خطی است که با استفاده از روشهای کاهش ماتریس استاندارد حل می گردند. هر گونه رفتار غیر خطی مواد را می توان با تصحیح ضرایب سختی (روش سکانت) و یا تطبیق کردن متغیرهای اولیه طبیعی تصحیح نمود. این تغییرات در یک روش تکراری ایجاد می شوند. به این صورت که معادلات اساسی و تعادل حالت بارهای داده شده را برآورد می کند [۹].

۳-۴-۲-۲- روش تفاضل محدود^۲

روش تفاضل محدود شاید یکی از قدیمی ترین روشهای عددی باشد که برای حل یکسری معادلات دیفرانسیل که مقادیر اولیه و شرایط مرزی آنها مشخص باشد، استفاده شده است. در روش تفاضل محدود هر مشتقی که در دسته معادلات حاکم وجود دارد توسط یک عبارت جبری (مثلاً بر حسب تنشها و جابجاییها) که بر اساس متغیرهای مساله است بصورت عبارت جبری بوده که این عبارت جبری بر حسب مقادیر متغیرها در یکسری نقاط مجزا (نقاط گره ای) و در نقاط دیگر تعریف نشده است. در برنامه های المان محدود، اغلب ماتریس المانهای مختلف را در یک ماتریس سختی کل ترکیب می کنند در حالیکه در روش تفاضل محدود این عمل صورت نمی گیرد، زیرا

تولید مجدد معادلات تفاضل محدود مفید تر و کاراتر است. اصولاً تصور بر اینست که روش تفاضل محدود به شبکه های منظمی محدود می شود در حالیکه این تصور نادرست است. ویلکینز در سال ۱۹۶۴ روشی را برای بدست آوردن معادلات تفاضل محدود برای المانهایی با شکل دلخواه ارائه کرده است. از این روش در نرم افزار FLAC استفاده شده است [۱۷].

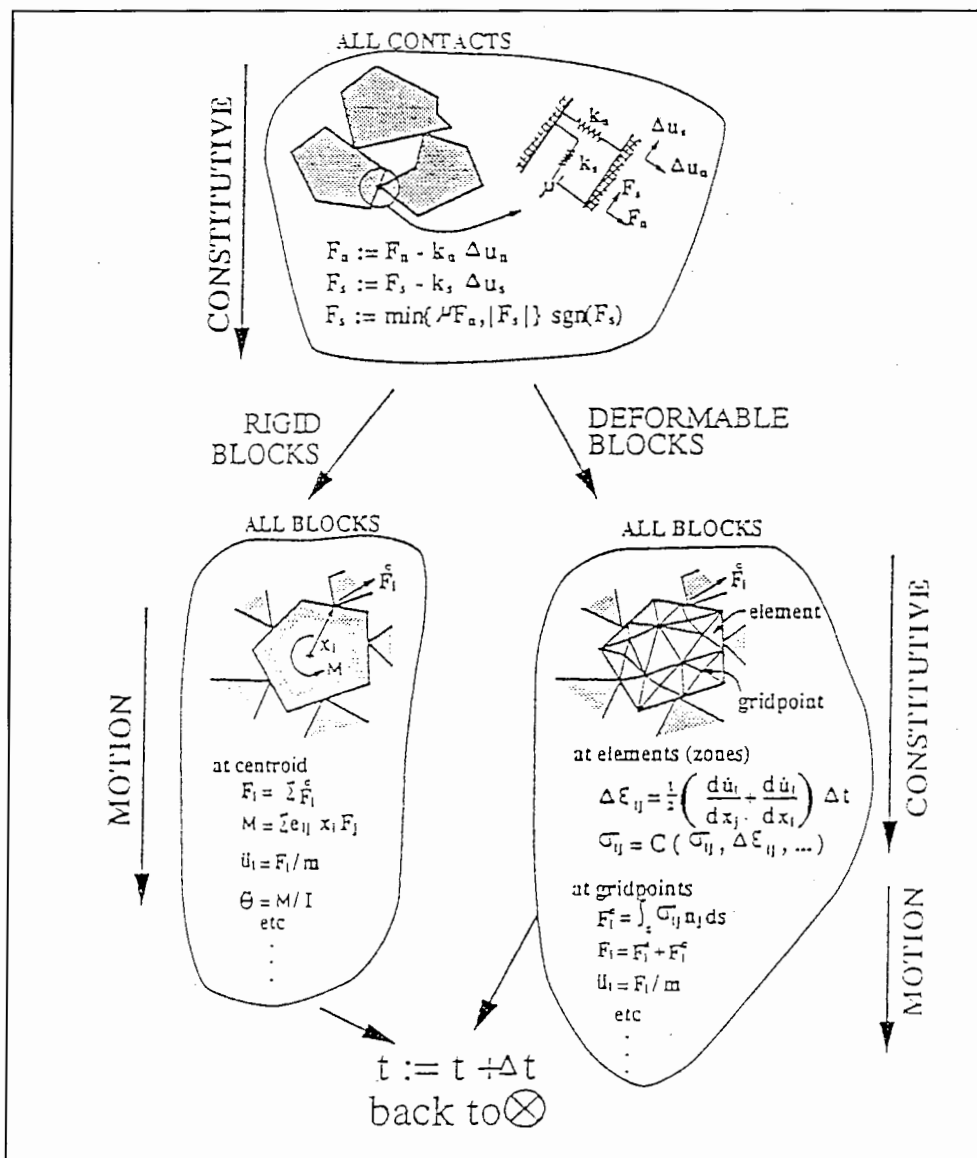
۳-۴-۲-۳- روش اجزا مجزا^۱

روش اجزا مجزا برای اولین بار در سال ۱۹۷۱ توسط Candall برای مدلسازی عددی محیطهای ناپیوسته بکار برده شده این روش که جزو روشهای ناحیه ای محسوب می گردد قادر به مدلسازی محیط های توده ای سخت و پردرزه است به همین دلیل تعیین وضعیت درزه ها بسیار حساس و خطا آفرین است. در این روش توده سنگ به عنوان مجموعه ای از بلوک های مجزا در نظر گرفته می شود که در لبه ها و گوشه ها بر یکدیگر تاثیر می گذارند [۱۸].

این بلوکها از درزه ها و ناپیوستگیهای موجود در بلوک ساخته شده اند و درزه ها در آن به عنوان سطح میان اجزا مجزا در نظر گرفته می شوند. بلوک ها را می توان صلب^۱ و یا تغییرشکل پذیر در نظر گرفت. اساس روش اجزا مجزا بر مبنای قوانین نیرو - جابجایی است. زمانیکه محیط سنگی تحت بارگذاری داخلی و یا خارجی قرار می گیرد باعث ایجاد جابجایی در بلوک ها شده و با گذشت زمان تغییرات نیرو در سطوح همجوار شروع می شود و معادلات تعادل دینامیکی برای هر المان به صورت تکراری حل می شود تا اینکه قوانین حاکم بر سطح و شرایط مرزی برآورده شود. این عمل یک فرایند دینامیکی است که سرعت آن بستگی به خواص فیزیکی سیستم مجزا دارد فاصله زمانی انتخاب شده در این روش، به صورتی است که شتاب انتقال صفر گردد در شکل ۳-۵ اساس روش المان مجزا آورده شده است. این روش جدای فوایدی که دارد بسیار زمان بر است و به اطلاعات بسیار دقیق در مورد شرایط ناپیوستگی ها نیازمند است [۱۱].

۳-۴-۲-۱- نرم افزار UDEC

از میان نرم افزارهای موجود در تحلیل و طراحی فضا های زیرزمینی نرم افزار UDEC دارای قابلیت بیشتری در مدلسازی ناپیوستگی های توده سنگ است. بدین لحاظ در مقایسه با سایر



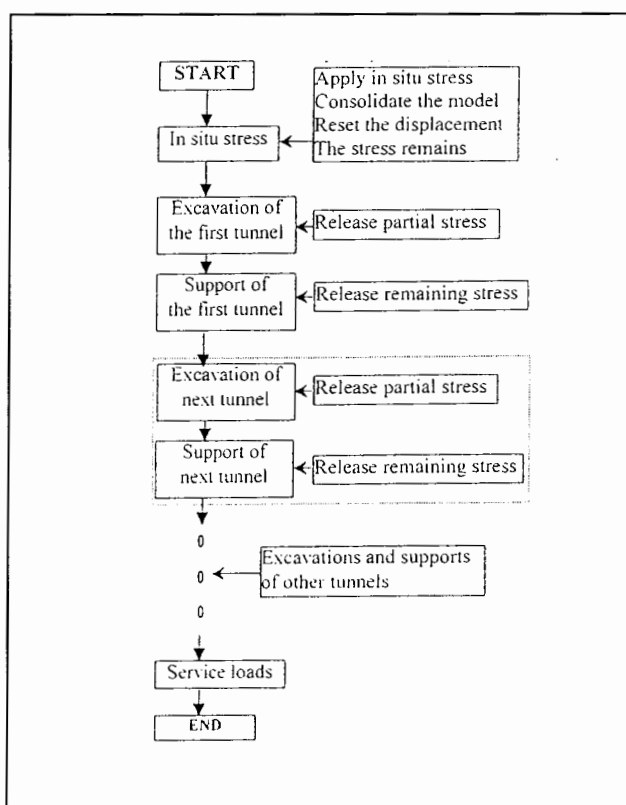
شکل ۳-۵- مراحل مدلسازی روش اجزا مجزا [۱۱]

نرم افزارهای موجود ، مدلسازی مسائل مرتبط با سنگ در این نرم افزار انطباق بیشتری با شرایط طبیعی دارد [۱۸].

نرم افزار Udec برنامه دو بعدی المان مجزا، برای تحلیل عددی رفتار توده سنگهای درزه دار است.. در نرم افزار Udec احجام مابین ناپیوستگی ها به صورت بلوک های صلب یا تغییر شکل پذیر مدل شده که در آن بلوک های صلب در محیط های کم تنش و مکان هایی که سنگ بکر دارای مقاومت بالا بوده و یا مدل تغییر شکل پذیری کم باشد بکار برده می شوند [۱۹].

این نرم‌افزار قادر است حفاریهای چندتایی را نیز مدل نموده و در مدلسازی هر مرحله بایستی مقدار عددی نیروی نامتعادل کننده^۱ به صفر نزدیک گردد. در غیر این صورت مقداری خطا وارد محاسبات مرحله مزبور خواهد شد. در این نرم‌افزار زمانیکه نیروی نامتعادل کننده ضریبی از 10^{-4} (خیلی کوچک) بوده و نمودار آن به سمت افق میل کند مدل را می‌توان کاملاً همگرا فرض کرد و یا اینکه چندین نقطه از فضا را مشخص نموده زمانیکه نمودار Historical آنها به سمت افق میل کند می‌توان مدل را همگرا فرض کرد [۸].

نرم‌افزار Udec قادر است چندین حفاری را به صورت همزمان مدل نموده که مراحل مدلسازی توسط این نرم‌افزار در فلوجارت شکل ۳-۶ آمده است [۶].



شکل ۳-۶ - فلوجارت مدلسازی نرم‌افزار Udec [۶]

مراحل انجام مدلسازی با این نرم‌افزار را می‌توان به شرح زیر دانست:

۱- انتخاب محدوده مناسبی از توده‌سنگ اطراف فضای زیرزمینی

^۱ - Unbalance Force

در مدل‌های محاسباتی مدل‌های پیوسته معمول است که اندازه مدل حداقل ۵ برابر بعد فضای زیرزمینی باشد تا به دقت مورد نظر برسیم، اما در مدل‌سازی توسط UDEC اندازه مدل هرچه بزرگتر باشد تعداد بیشتری از درزه‌ها را دربر گرفته و نتیجتاً زمان زیادی در اجرا صرف خواهد کرد و در نهایت مدل‌سازی با ابعاد خیلی بزرگ سخت و یا غیرممکن است [۶].

۲- مدل کردن ناپیوستگی‌ها از قبیل درزه‌ها و سطوح جدایش

درزه‌ها در پایداری تونل‌ها تاثیر داشته و بایستی در مدل‌های محاسباتی وارد شوند توده‌سنگی اغلب شامل چندین دسته درزه بوده و ممکن است دارای درزه‌های اتفاقی نیز باشند. این نرم‌افزار قادر است همراه سایر مشخصات درزه‌ها، مشخصات آماری آنها را نیز دریافت و در رسم درزه‌ها آنها را اعمال نماید [۶].

۳- انتخاب مدل رفتاری برای سنگ بکر و ناپیوستگی‌ها و نسبت دادن مشخصات مورد نیاز به سنگ بکر و ناپیوستگی‌ها در مدل‌سازی توسط نرم‌افزار UDEC، چندین معیار شکست از جمله هوک، براون، موهر کلمب، برای محیط‌های الاستیک و پلاستیک وجود دارد که بسته به نوع سنگ استفاده خواهند شد [۶].

۴- اعمال شرایط مرزی

۵- ایجاد تعادل اولیه و تنش برجا به وسیله اجرای برنامه به تعداد مشخص.

۶- صفر کردن جابجایی‌ها و حفر تونل

۷- اجرای دوباره برنامه و بررسی مقادیر نیروی نامتعادل کننده و جابجایی نقاط مدل

۸- اجرای برنامه برای رسیدن به تعادل پس از نصب سیستم نگهداری.

قابلیت‌های ویژه نرم‌افزار UDEC عبارتند از:

۱- اعمال ساختارهای مختلف ناپیوستگی‌ها

۲- نسبت دادن مدل‌های رفتاری مختلف سنگ بکر به بلوک‌های مجزا و همچنین قابلیت تحلیل مسائل در محدوده رفتاری الاستیک و پلاستیک.

۳- اعمال شرایط اولیه و مرزی متنوع و پیچیده در تحلیل استاتیکی و دینامیکی

۴- قابلیت پیدا نمودن اشتباهات و خطاهای دستوری در زمان مدل‌سازی

- ۵- در نظر گرفتن مواد مختلف با خواص مختلف در مدلسازی
- ۶- مدل کردن جریان گرمایی زودگذر و تنش‌های القایی و حرارتی ناشی از آن
- ۷- مدل کردن سیالات و جریان عبوری از ناپیوستگی‌ها
- ۸- دارا بودن مطلق اجزا ساختاری به منظور شبیه‌سازی نگهداری پوشش فضاهای زیرزمینی
- ۹- سهولت تهیه فایل ورودی نرم افزار با استفاده از یک ویرایشگر متنی [۱۶۶].

فصل چهارم

مشخصات زمین شناسی منطقه

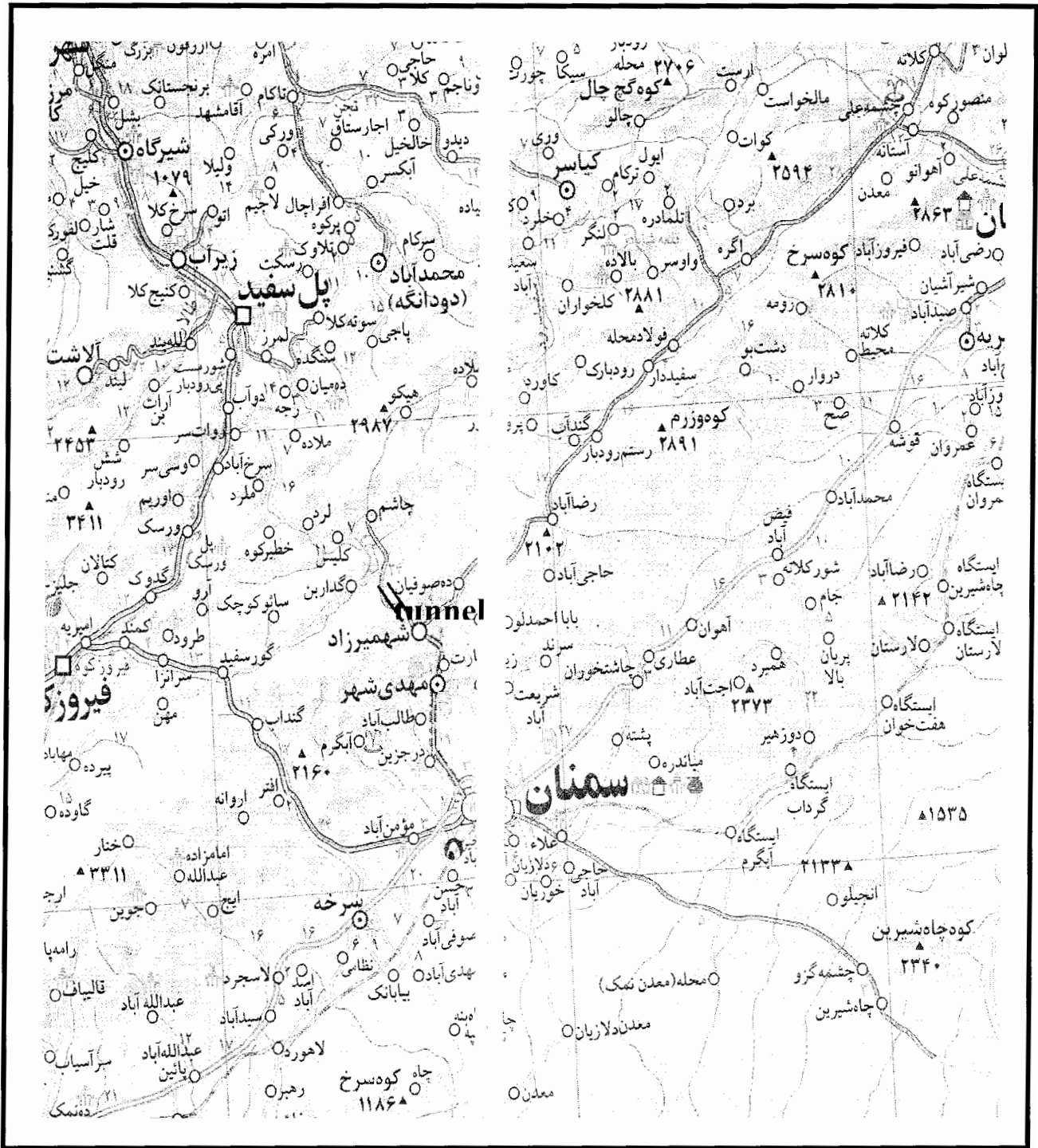
۴- سیمای کلی پروژه تونل آبرسانی سمنان

۴-۱- مقدمه

طرح آبرسانی سمنان به منظور تامین بخشی از نیازهای آبی شهر سمنان در حال اجرا می‌باشد. هدف از این طرح انتقال ۶۵۰ لیتر در ثانیه آب چشمه روزیه و از طریق گردنه ارم، مزرعه سولا، روستای آشوران، گردنه بشم، شهمیرزاد، کمربندی مهدیشهر به مخازن موجود شهر سمنان می‌باشد. موقعیت تقریبی این پروژه بر روی نقشه شکل ۴-۱ آورده شده است. مطابق طراحی‌های انجام شده، سیستم انتقال آب توسط خط لوله خواهد بود که در محل گذر از گردنه بشم، خط لوله از داخل تونلی به طول تقریبی ۳۲۰۰ متر خواهد گذشت. آب مورد نیاز طرح با احداث آبگیر و سازه‌های جانبی در مجاورت چشمه روزیه واقع در ۴۶ کیلومتری شمال شهر سمنان و در نزدیکی روستای چاشم، تامین خواهد شد. این آب با دبی ۶۵۰ لیتر در ثانیه از طریق ۱۶ کیلومتر لوله فولادی با قطر ۸۰۰ میلیمتر، از پای چشمه توسط سه واحد تلمبه‌خانه، ۴ واحد مخزن مکش به حجم ۲۰۰۰ متر مکعب و یک واحد مخزن ذخیره ۷۰۰۰ متر مکعبی تا ورودی تونل انتقال آب در پای گردنه بشم و به ارتفاع ۵۴۰ متر پمپاژ می‌شود. از این محل، آب به صورت ثقلی انتقال خواهد یافت [۲۰].

تونل انتقال آب به شهر سمنان به منظور هدایت آب از چشمه روزیه که به فاصله ۱۶/۷ کیلومتری از دهانه ورودی تونل در زیر کوه بشم قرار دارد طراحی شده است. طول این تونل ۳۳۰۰ متر و امتداد آن N۲۰W می‌باشد. به جهت عبور این تونل از ارتفاعات بشم روبراه تونل به حدود ۱۰ الی ۶۱۰ متر متغیر است طی پیمایش‌های صورت گرفته مشخص گردید که این تونل از داخل تشکیلاتی با خصوصیات متفاوت عبور می‌کند. امتداد لایه بندی زاویه ۸۰ درجه با امتداد تونل می‌سازد و شیب لایه‌ها نیز به حدود ۸۰ درجه میرسد. نمایی از لایه بندی مسیر تونل در شکل ۴-۲ آمده است. شکل مقطع تونل به صورت نعل اسبی و ابعاد نهایی آن ۳/۴×۳/۴ در قسمت خروجی و ۴×۴ متر در قسمت ورودی است. در این پروژه با توجه به تفاوت شرایط زمین‌شناسی و مشخصات مکانیکی سنگ موجود در ورودی و خروجی تونل، جهت حفاری تونل از دو روش انفجار در قسمت خروجی و حفاری نیمه مکانیزه در قسمت ورودی استفاده می‌شود.

شکل ۳-۴ مقطع عرضی تونل را در قسمت های ورودی و خروجی نشان می دهد [۲۰].



شکل ۴-۱- موقعیت تقریبی پروژه انتقال آب سمنان [۲۰]

۴-۲- مطالعات زمین‌شناسی

۴-۲-۱- ویژگیهای زمین‌شناسی مهندسی محدوده تونل

از دیدگاه زمین‌شناسی محل حفر این تونل در زون البرز واقع شده و با توجه به شرایط توپوگرافی منطقه، تونل فقط کوه بشم را قطع می‌کند و دارای روند تقریبی شرقی - غربی است. منطقه در مجموع به صورت یک محدوده گسلی و رورانده است که تاثیر عوامل تکتونیکی در ناحیه مورد مطالعه، باعث گردیده که در منطقه بشم سازندهای پرکامبرین (باروت) و دوران اول (زایگون - لالون) در مجاورت سازندهای دوران سوم (ائوسن، معادل سازند کرج) قرار گیرند (شکل ۴-۲ و شکل موجود در ضمیمه ۴). در طول مسیر تونل از قسمت ورودی به سمت خروجی تونل به ترتیب سازندهای زیر قرار دارند که به طور مختصر مشخصات هر یک به شرح زیر می‌باشد:

- آبرفتهای عهد حاضر (QT):

در دهانه ورودی تونل محدوده‌ای از آبرفتهای جوان، مواد واریزه‌ای و مخروط‌افکنه‌ای قرار گرفته‌اند که تقریباً حدود ۱۴۷ متر از طول تونل را به صورت پرتال ورودی تشکیل می‌دهند که شامل مصالح درشت دانه به همراه مقادیری رس و ماسه بوده و از نظر مقاومت در محدوده مصالح متراکم تا نیمه متراکم قرار می‌گیرد [۲۰].

- سازند توفی - مارنی ائوسن (Em):

از ورودی تونل تا حدود کیلومتر ۹۳۰+، تونل در سنگهای توفی - مارنی ائوسن با میان لایه‌های آهکی خاکستری با نفوذپذیری کم و مقاومت متوسط قرار گرفته است. با توجه به تورم‌پذیری مارن‌ها، لازم است نگهداری مطمئن طراحی گردد [۲۰].

- سازند باروت:

این سازند در قسمت‌های میانی تونل رخنمون دارد و توسط گسل بشم در مجاورت سازند توفی - مارنی ائوسن قرار گرفته و به ترتیب در طول تونل دارای واحدهای ذیل می‌باشد [۲۰]:

واحد سیلت استونی (ssh):

از حدود کیلومتر ۰+۹۳۰ الی ۱+۹۵۰ تونل شامل تناوبی از سیلت استون‌های سبز رنگ به همراه لایه‌های شیل می‌باشد. این واحد پس از راندگی بشم مستقیماً در مجاورت لایه‌های توفی - مارنی ائوسن قرار می‌گیرند.

واحد آهکی ضخیم لایه (I):

بخش میانی سازند باروت در امتداد مسیر تونل بین کیلومتر ۱+۹۵۰ الی ۲+۱۵۰ شامل این واحد می‌باشد. این آهک‌های سیاه‌رنگ ضخیم بسیار سخت بوده و دارای تعدادی زیادی دایک‌های دیابازی است، که در این لایه نفوذ کرده‌اند و به این دلیل سنگ‌های اطراف دایکها خورد شده هستند.

واحد آهکی نازک لایه (Pcbt):

در قسمتهای انتهایی سازند باروت از کیلومتر ۲+۱۵۰ الی ۲+۳۵۰ تونل شامل آهک‌های نازک تا متوسط لایه به رنگ سیاه تا خاکستری می‌باشد. با توجه به نفوذپذیری بالای این لایه در اثر درز و شکافها و حفرات موجود در آن و همچنین وجود چندین چشمه در امتداد آن، این بخش احتمالاً از لایه‌های آبدار منطقه می‌باشد. که می‌تواند سبب بروز مشکلاتی در حین اجرای تونل گردد.

- سازند زایگون (Pcz):

از حدود کیلومتر ۲+۳۵۰ الی ۲+۷۵۰ امتداد تونل در این سازند واقع شده و شامل شیلها و شیل‌های ماسه‌ای قرمز رنگ با نفوذپذیری کم و مقاومت متوسط تا کم می‌باشد.

- سازند لالون (C۱):

از حدود کیلومتر ۲+۷۵۰ تا انتهای تونل شامل ماسه‌سنگ‌های قرمز آרקوزی سازند لالون می‌باشد. قسمتهای انتهایی این سازند شامل شیل‌های رنگی و ماسه سنگ کوارتزیتی معروف به تاپ کوارتزیت می‌باشد. این لایه دارای نفوذپذیری و مقاومت متوسط است. از نظر لایه‌بندی به طور کلی واحدهای سنگی این سازندها دارای امتداد شرق، شمالشرق - غرب، جنوب غرب و با شیب عمومی حدود ۷۰

تا ۸۰ درجه در قسمت خروجی و حدود ۵۰ درجه در قسمت ورودی تونل و به سمت جنوب، جنوب شرق می‌باشند.

۴-۲-۲- زمین ساخت منطقه

از محدوده مورد اجرای تونل چندین گسل با پتانسیل لرزه‌زایی بالا عبور می‌کند که از آن جمله گسل بشم با طولی حدود ۹۰ تا ۱۳۰ کیلومتر و پتانسیل لرزش با بزرگی بیشتر از ۷ درجه (در مقیاس امواج سطحی) که تونل آبرسانی را در حدود کیلومتر ۰+۹۳۰ قطع می‌کند. گسل شاهرود که با طول تقریبی ۱۷۰ کیلومتر تقریباً از ۲ کیلومتری تونل عبور می‌کند و دارای پتانسیل لرزش بیشتر از گسل بشم می‌باشد [۲۰].

قابل ذکر است که سازندهای پرکامبرین و دوران اول منطقه (سازندهای باروت، زایگون، لالون) توسط گسل بشم که بصورت تراست عمل کرده، بر روی رسوبات دوران سوم (ائوسن) رانده شده و در طول تونل این سازندها در مجاورت هم قرار گرفته‌اند.

بررسی امکان فعال شدن گسلها و تاریخچه لرزه‌زایی منطقه نشان می‌دهد که در قرن گذشته و همچنین طی قرون جاری، محل زلزله‌هایی با قدرت متوسط تا مخرب بوده است. با در نظر گرفتن اطلاعات مربوط به گسلها و زمین‌ساخت منطقه و با توجه به گسله‌های موجود، توان ایجاد زلزله‌های ویرانگری نظیر زلزله سال ۱۳۶۹ رودبار - منجیل وجود خواهد داشت [۲۰].

۴-۳- مطالعات زیر سطحی

جهت بررسی ویژگی‌های ژئومکانیکی تونل انتقال آب سمنان، تعداد چهار گمانه به ترتیب از سمت ورودی به خروجی تونل به اعماق ۳۵، ۷۱، ۶۰ و ۳۰ متر توسط مشاور ژئوتکنیک حفر گردید. این حفاریها به همراه مغزه‌گیری، آزمایشهای نفوذپذیری در داخل توده سنگ (لوژن) را نیز دربرگرفته است [۲۰].

با توجه به کوهستانی بودن منطقه، ارتفاع زیاد سرباره تونل، عدم وجود راه دسترسی به قسمتهای مختلف در طول تونل و با در نظر گرفتن محدودیت‌های مالی و بخصوص محدودیت زمانی کارفرما جهت تصویب طرح، این مطالعات بطور بسیار محدود در ابتدا و قسمتهای انتهایی تونل انجام گردید و حتی امکان حفاری تا عمق قرارگیری مقطع تونل نیز میسر نشده است.

با در نظر گرفتن نواقص و محدودیتهای موجود در این مطالعات مقرر شد مطالعات تکمیلی اعم از حفاریها و آزمایشهای آزمایشگاهی توسط پیمانکار در حین اجرا انجام گردیده و همزمان در مقاطع مختلف تونل، پارامترهای ژئومکانیکی تعیین و جهت طراحی تونل مورد استفاده قرار گیرد [۲۰].

۴-۴- تقسیم بندی اجزا تونل

اولین گام برای سهولت در امر طراحی سیستم نگهداری، دسته بندی مناطق مختلف تونل است. بر اساس نقشه ای که از سنگهای محل عبور تونل توسط مهندسين مشاور تهیه شده است (شکل ۴-۲) لایه بندیهای مناطق مختلفی که تونل از آنها عبور می کند مشخص گردیده است. این مقطع بر اساس نوع سنگ و ترکیب لایه بندیها به مناطق مختلفی تقسیم گشته است. دسته بندی مناطق مختلف محل عبور تونل انتقال آب چشمه روزیه بر اساس ساختار زمین شناسی و ترکیب لایه بندیها صورت گرفته است. در جدول ۴-۱ مشخصات هر قسمت آورده شده است.

جدول ۴-۱- دسته بندی مناطق مختلف تونل

گروه بندی	موقعیت (هکتومتر)	نوع سنگ
دسته اول	۰+۴۴۰ - ۰+۱۴۰	سنگهای مارنی
دسته دوم	۰+۴۴۰ - ۱+۰۰۰	توف
دسته سوم	۱+۵۰۰ - ۱+۰۰۰	لایه های متناوب آهک ماسه ای و توف به همراه سیلت استون
دسته چهارم	۱+۵۰۰ - ۲+۰۴۰	لایه های آهکی
دسته پنجم	۲+۰۴۰ - ۲+۴۵۰	لایه های سست شیلش با میان لایه های آهکی
دسته ششم	۲+۴۵۰ - ۲+۸۶۰	شیلها ی سست و مناسب
دسته هفتم	۲+۸۶۰ - ۳+۳۵۰	ماسه سنگها

۴-۵- مطالعات مکانیک سنگی

مطالعات مکانیک سنگی در تونل چشمه روزیه سمنان، شامل برخی آزمایشات مکانیک سنگی ماده سنگ بوده که از آن جمله می‌توان به آزمایشهای مقاومت تک محوری و کششی برزیلی برای سنگهای حفر شده تونل اشاره کرد. آزمایشات مقاومت تک محوری به منظور دستیابی به خصوصیات مکانیکی نمونه های سنگ در حالت های اشباع و با رطوبت طبیعی انجام گرفته است. در پی انجام این آزمایشات مدول تغییر شکل پذیری E و ضریب پواسون برای سنگها محاسبه شده است. آزمایش کششی برزیلی نیز به منظور ارزیابی مقاومت کششی غیر مستقیم نمونه های سنگ انجام شده است. به همراه این آزمایشات یکسری آزمایشات فیزیکی برای تعیین وزن مخصوص خشک ظاهری و اشباع با سطح خشک انجام شده، که تمامی این مطالعات برای سنگهای منطقه در جدول ۴-۲ آمده است. از اطلاعات این جدول فقط در مدلسازی عددی مارنهای از γ_{sat} استفاده گردیده زیرا مارنهای دارای قابلیت جذب آب را دارند.

۴-۶- پردازش نتایج حاصل از مطالعات صحرایی

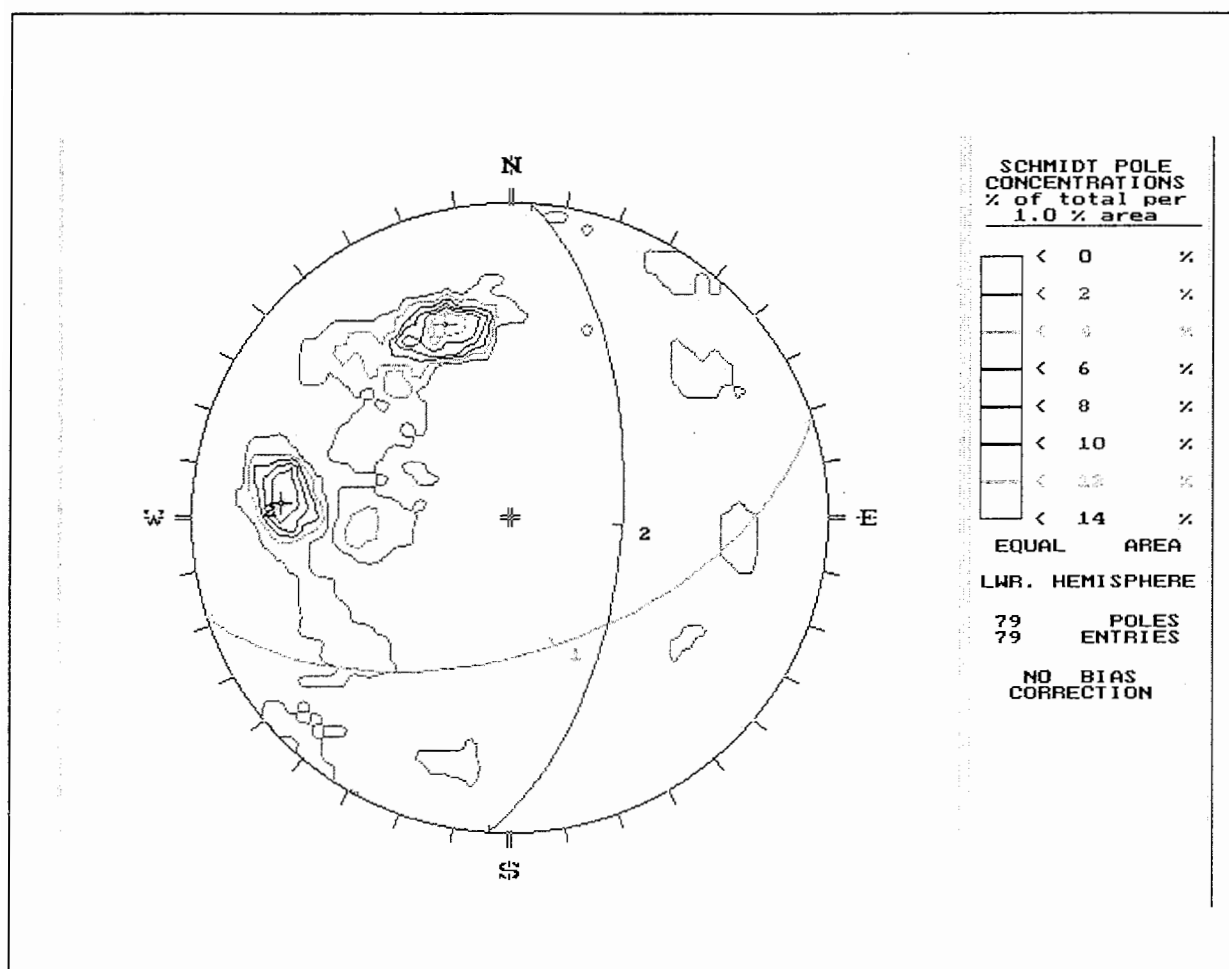
الف - تعیین دسته درزه های اصلی منطقه

بدلیل کمبود اطلاعات کامل زمین شناسی در برخی از نقاط تونل و نیاز به جمع آوری اطلاعات در مکانهایی که هنوز تونل در آنجا حفر نشده عملیات برداشت ناپیوستگی ها در این مناطق، از داخل تونل و نیز از سطح توپوگرافی انجام گرفت. در این برداشت ها عملیات صحرایی به روش خط برداشت صورت پذیرفته و اطلاعات حاصل از این برداشت ها پس از دسته بندی به صورت فایل قابل استفاده نرم افزار DIPS آماده شده و پردازش گردیده است. این نرم افزار، جهت نمایش و تحلیل اطلاعات ساختاری زمین شناسی و یا تصاویر استریو گرافیک استفاده میگردد. این برنامه مقدار شیب، جهت شیب، فاصله داری ناپیوستگی ها... را به عنوان ورودی پذیرفته و آنها را بصورت خطوط همتراز نمایش می دهد. درزه های برداشت شده از منطقه نیز پس از برداشت مورد تحلیل قرار گرفته و دسته درزه های موجود توسط نرم افزار DIPS، مشخص شده

جدول ۲-۴- مشخصات مکانیک سنگی سنگهای منطقه [20]

نوع سنگ	$\gamma_d \left(\frac{KN}{m^3} \right)$	$\gamma_{sat} \left(\frac{KN}{m^3} \right)$	V	$\sigma_c (MPa)$	$\sigma_t (MPa)$
ماسه سنگ قرمز	25	25.7	0.26	81	-
ماسه سنگ قرمز و سبز	28.2	-	0.25	82	4.4
ماسه سنگ قرمز روشن	25	26.3	0.22	100	6.5
سیلت استون	26	27	0.26	47	3.2
شیل ضعیف	24	25	0.25	35	2
شیل مناسب	26.5	27	0.25	47	3.2
آهک	25.5	26	0.19	115	5
مارن	25.3	26	0.26	31	1.32
توف	25	-	0.35	61	4.4

است. در شکل ۴-۴ تصویری از صفحات درزه ها در سنگهای لالون نمایش داده شده است. در این شکل همانطور که مشاهده میگردد ۲ دسته درزه قابل تشخیص است. این درزه ها برای سازندهای مختلف مورد بررسی قرار گرفته و نتایج حاصل از این مطالعات در جدول ۳-۴ آورده شده است.



شکل ۴-۴- نمونه ای از نمایش صفحات اصلی درزه ها در منطقه

مطالعات آماری: از آنجا که هدف از مطالعات آماری یافتن دسته درزه های اصلی در سازند ها و یا سنگیهای در برگیرنده تونل بوده و این سیستم درزه ها در روش عددی نیز استفاده خواهد شد، لذا به میزان تغییرات آماری آنها نیاز است. بدین منظور این درزه ها بصورت آماری مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته تا بتوان درزه های اصلی در هر سازند را تشخیص داد. لذا برای این منظور از نرم افزار Excel استفاده شده تا انحراف از معیار دسته درزه هایی که به عنوان درزه های اصلی بر اساس بیشترین تمرکز قطب آنها تشخیص داده شده نیز مشخص گردد. نتایج حاصل از این

مطالعات نشانگر آنست که هر سازند شامل چندین دسته درزه اصلی است که مشخصات این دسته درزه ها در جدول ۴-۴ آمده است .

جدول ۴-۳ مشخصات دسته درزه ها

نوع سنگ	تعداد دسته درزه	Dip /dip direction
ماسه سنگ قرمز	۳	۸۴/۱۶۹ ۶۹/۲۶۴ ۶۸/۳۳۰
ماسه سنگ قرمز و سبز	۲	۷۴/۱۴۸ ۵۹/۰۶۶
ماسه سنگ قرمز روشن	۲	۷۹/۱۵۰ ۴۰/۰۷۷
لایه های نازک مجاور به همراه سیلت استون	۴	۱۲/۰۵۳ ۸۳/۳۲۴ ۶۵/۰۴۵ ۶۴/۲۶۶
شیل	۲	۷۹/۱۵۰ ۴۰/۷۷
آهک	۲	۷۰/۲۶۰ ۵۰/۳۱۵
مارن	۲	۳۸/۲۱۱ ۴۷/۰۰۹
توف	۲	۵۳/۱۶۱ ۶۱/۰۹۳

ب- تعیین نوع ناپیوستگی های غالب

اطلاعات جمع شده از مطالعات صحرایی نشان دهنده آنست که در این منطقه علاوه بر درزه های موجود در سنگ چندین نوع ناپیوستگی دیگر مشاهده میگردد. از آنجمله می توان به عملکرد گسلهای مختلف در سنگهای محیط دربرگیرنده تونل که باعث تشکیل زونهای خرد شده گشته است اشاره کرد. از دیگر ناپیوستگی های موجود در منطقه می توان به دایکهای نفوذی در برخی از سنگها اشاره کرد. مهمترین نوع ناپیوستگی در این منطقه را علاوه بر دسته درزه های موجود، لایه

بندی های متوالی و تقریباً عمودی در مسیر تونل می توان دانست که این لایه بندی ها در مسیر تونل دارای تنوع بسیار هستند [۲۰]

جدول ۴-۴- پراکندگی ناپیوستگی های موجود در منطقه

انحراف معیار	Dip /dip direction	تعداد دسته درزه	نوع سنگ
۹.۵	۸۵/۱۶۹	۲	ماسه سنگ قرمز
۱۷	۷۸/۲۵۰		
۱۸.۵	۴۳/۵۲	۲	لایه های تازک به همراه سیلت استونل
۲۰	۸۳/۳۲۳		
۱۷	۷۹/۱۵۰	۲	شیل
۱۱	۴۰/۷۷		
۹	۷۰/۲۶۰	۲	آهک
۱۲	۵۰/۳۱۵		
۱۰	۳۸/۲۱۱	۲	مارن
۱۰	۴۷/۹		
۸	۵۳/۱۶۱	۲	توف
۱۰	۶۱/۹۳		

ج- تعیین نوع گسترش ناپیوستگی ها

گسترش سطح یک ناپیوستگی نشانه تداوم آن در توده سنگ است. با توجه به نتایج حاصل از پردازش اختلالات ناپیوستگی های منطقه اکثر این ناپیوستگی ها دارای گسترش زیاد بوده و با توجه به اینکه گسترش ناپیوستگی ها تاثیر زیادی بر روی مقاومت برشی آنها، نحوه خرد شدن سنگ در اثر آتشیاری و قابلیت ریزش سقف دارد تعیین و شناسایی این پارامتر از اهمیت بسزایی برخوردار است.

د- تعیین مقدار بازشدگی ناپیوستگی ها و نوع مواد پر کننده

یکی از مهمترین خصوصیات ناپیوستگی ها، میزان بازشدگی دیواره آنهاست. اهمیت این پارامتر در آنست که هر چه این مقدار بیشتر باشد اثر زبری و مقاومت دیواره ناپیوستگی ها در مقاومت برشی

آنها کمتر شده و مقاومت مواد پرکننده آنها که معمولا دارای مقاومت کمتری هستند غالب خواهد شد. این پارامتر در طبقه بندی مهندسی توده سنگ موثر است. در مورد مقدار بازشدگی درزه ها بایستی به این موضوع اشاره نمود که اصولا این میزان برابر ضخامت مواد پرکننده درون آنست. (البته بجز درزه های خرد شده که پرکننده ندارند). اگر درزه هایی که ضخامت مواد پرکننده بیش از ارتفاع متوسط زبریشان است تحت برش قرار گیرند، فقط مقاومت مواد پرکننده آنها در مقاومت برشی تاثیر دارد و زبری و استحکام دیواره ها تاثیری در این مقاومت نخواهد داشت، لذا مقاومت پرکننده ها دارای اهمیت فراوانی است. در قسمت ورودی تونل چشمه روزیه، در مارنهای و برشها درزه ها اغلب از مواد کلسیتی پر شده و ضخامت این مواد به حدود ۱ میلیمتر میرسد. در این قسمت بر روی سطوح درزه ها آثار خش گسله ها به خوبی مشهود است. در قسمت خروجی تونل در سنگهای لالون و زاگون مواد پرکننده از نوع اکسید آهن و دولومیت بوده و البته در برخی از موارد رس نیز مشاهده میگردد و ضخامت این مواد در حدود ۱ میلیمتر می باشد.

ه- فاصله داری ناپیوستگی ها

از دیگر پارامترهای موثر در مطالعات صحرایی و برداشتهای زمین شناسی که در تحلیل ناپیوستگی ها بایستی مورد توجه قرار گیرد میزان فاصله داری آنهاست. این پارامتر اصولا از روی خط برداشت قابل تشخیص بوده لذا در این مطالعات میزان فاصله داری ناپیوستگی ها از روی خط برداشت واقع در روی دیواره تونل محاسبه شده که برای سازند های مختلف متفاوت می باشد.

فصل پنجم

**طراحی سیستم نگهداری تونل انتقال آب سمنان با استفاده
از روشهای تجربی**

۵- طراحی سیستم نگهداری تونل چشمه روزیه با استفاده از روشهای تجربی

۵-۱- مقدمه

در این قسمت طبقه بندی توده سنگ در بر گیرنده به همراه طراحی سیستم نگهداری برای قسمت‌های مختلف تونل به روش تجربی صورت گرفته است. همچنین سعی شده تا با استفاده از داده های بدست آمده از روشهای طبقه بندی مهندسی سنگ روابط تجربی مناسب بین روشهای مختلف طبقه بندی برقرار گردد. لذا پس از طبقه بندی مناطق مختلف تونل و طراحی سیستم نگهداری برای آن مناطق، پارامتر های مشخص کننده توده سنگ از روابط موجود محاسبه شده سپس از داده های حاصل از طبقه بندی مهندسی سنگ در بر گیرنده برای بدست آوردن روابطی بین دو روش RMR, JH با سیستم طبقه بندی Q استفاده گردیده است.

۵-۲- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش Q

روش Q به دلیل نوع پارامتر هایی که در نظر می گیرد، قادر است توده سنگهای درزه دار حتی بسیار درزه دار و محیطهای پر تنش را طبقه بندی نماید و در نهایت سیستم نگهداری را برای حفاریات درون این نوع سنگها پیشنهاد نماید. در تونل چشمه روزیه توده سنگهای مسیر عبور تونل، در تمامی مقاطع بجز در دسته بندیهای سوم و پنجم که دارای لایه بندی های سست نازک در مجاورت هم است قابل استفاده است. از این روش در طبقه بندی مهندسی مارن‌ها، توفها، توده سنگهای آهکی، شیلها و ماسه سنگها استفاده شده که نتایج حاصل در جدول ۵-۱ آمده است.

۵-۳- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش RMR

همانطور که در مقطع زمین شناسی مشخص شده است در تقسیم بندی مناطق مختلف تونل، در دسته های سوم و پنجم لایه های نازک با خواص مقاومتی متفاوت در کنار هم قرار گرفته اند و می توانند باعث ناپایداری تونل گردند. از آنجا که به دلیل فاصله کم لایه ها از هم ناپیوستگی غالب لایه بندی ها هستند لذا روشهای RMI, JH, Q برای طراحی تجربی این مناطق مناسب نبوده و لازم است در این مقاطع روش RMR استفاده گردد. در سایر دسته ها نیز به دلیل دارا بودن شرایط استفاده از این روش، از روش RMR استفاده شده که نتایج حاصل در جدول ۵-۲ آمده است.

جدول ۱-۵- مقادیر بدست آمده برای مقاطع مختلف به روش Q

گروه بندی	نوع سنگ	RQD	J_n	J_r	J_a	J_w	SRF	Q
دسته بندی اول	مارن	۸۲	۴	۳	۲	۰.۶۶	۵	۴
	دسته بندی دوم	توف	۶۳	۴	۳	۳	۰.۶۶	۱.۴
دسته بندی چهارم	آهک	۸۰	۴	۳	۱.۵	۰.۶۶	۱	۲۷
دسته بندی ششم	شیل ضعیف	۴۰	۹	۱	۱	۰.۵	۲.۵	۱.۳۳
	شیل مناسب	۶۰	۹	۱	۱	۱	۲.۵	۶.۳
دسته بندی هفتم	ماسه سنگ قرمز روشن	۶۳	۶	۳	۲	۱	۲.۵	۴.۱
	ماسه سنگ قرمز	۴۶	۹	۴	۲	۱	۲.۵	۲.۷
	ماسه سنگ قرمز و سبز	۶۰	۶	۴	۳	۰.۵	۲.۵	

جدول ۵-۲- مقادیر طبقه بندی RMR برای مقاطع مختلف

گروه بندی	نوع سنگ	مقاومت سنگ	RQD	فاصله ناپیوستگی ها	طول ناپیوستگی ها	شکاف	زبری	بر شدگی	هوازگی	آب زیر زمینی	تعدیل	RMR
دسته اول	مارن	۴	۱۷	۱۰	۴	۵	۵	۴	۳	۱۰	-۵	۵۸
	توف	۷	۱۳	۱۰	۴	۵	۵	۴	۳	۱۰	-۵	۵۶
	لایه بندی	۷	۸	۱۵	۱	۴	۱	۱	۳	۱	-۲	۳۹
دسته دوم	آهک	۱۲	۱۳	۱۰	۴	۴	۵	۴	۵	۱۰	-۵	۶۲
	لایه بندی	۷	۳	۱۵	۴	۳	۱	۱	۲	۰	-۲	۳۶
دسته ششم	شیل ضعیف	۴	۴	۱۰	۶	۵	۵	۲	۲	۴	-۲	۴۱
	شیل مناسب	۴	۱۳	۱۰	۴	۵	۳	۲	۵	۴	-۲	۴۸
	ماسه سنگ	۷	۸	۱۰	۴	۵	۵	۴	۳	۱۰	-۵	۵۱
دسته هفتم	ماسه سنگ قرمز	۷	۸	۱۰	۶	۵	۵	۴	۳	۱۰	۰	۵۳
	ماسه سنگ سبز	۷	۱۳	۱۰	۴	۵	۵	۴	۳	۷	-۵	۵۲
	ماسه سنگ قرمز روشن	۱۲	۱۳	۱۰	۴	۵	۵	۴	۳	۱۰	-۵	۶۱

۴-۵- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش RMI

RMI روش طبقه بندی توده سنگ بر اساس پارامتر مقاومت سنگ است. این روش با دارا بودن پارامترهای درزه داری و لحاظ نمودن پارامترهای مقاومتی سعی در توسعه روش Q دارد. از روش RMI در مواقعی که تغییرات در مقاومت توده سنگ زیاد باشد و درزه داری سنگ را ناپیوسته نموده است می توان استفاده نمود. روش RMI اهمیت ویژه ای علاوه بر مقاومت سنگ به درزه داری و اندازه درزه ها در سنگ دارد. لذا به دلایل ذکر شده در طبقه بندی مقاطع مختلف به دلایل اختلاف در مقاومت سنگ که در مارنرها در حدود ۳۵ مگا پاسکال و در آهک به حدود ۱۳۰ مگا پاسکال می رسد قابل استفاده است. در دسته بندی های سوم (لایه های نازک آهک ماسه ای و توف) و دسته پنجم (لایه های نازک آهک و شیل) نمی توان از این روش استفاده نمود. نتایج حاصل از طبقه بندی سایر مقاطع در جدول ۳-۵ آورده شده است.

جدول ۳-۵- طبقه بندی دسته های مختلف تونل با استفاده از روش RMI

گروه بندی	سنگ	J_L	J_R	J_A	σ_C	J_P	RMI
دسته اول	مارن	۱	۳	۲	۳۱	۰/۰۷	۲/۱۷
دسته دوم	توف	۱	۳	۳	۶۱	۰/۰۱۴	۰/۸۵۴
دسته چهارم	آهک	۲	۳	۱/۵	۱۰۵	۰/۲۲	۲۳/۱
دسته ششم	شیل مناسب	۲	۴	۴	۴۰	۰/۰۷	۲/۸
	شیل ضعیف	۲	۲	۴	۴۰	۰/۰۲۳	۰/۹۲
دسته هفتم	ماسه سنگ قرمز	۲	۴	۲	۸۱	۰/۰۸	۶/۴۸
	ماسه سنگ سبز	۲	۴	۳	۸۲	۰/۰۵	۴/۱
	ماسه سنگ قرمز روشن	۲	۳	۲	۱۳۲	۰/۰۸	۱۰/۶

۵-۵- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش JH

روش JH بر اساس نوع سنگ و پارامتر های درزه داری قادر به طبقه بندی و پیشنهاد سیستم نگهداری برای سنگهای در بر گیرنده است. روش JH شامل پارامتر هایی است که می تواند سنگهای درزه دار و سنگهای داری مقاومت پایین را نیز طبقه بندی نماید. اندازه گیری پارامتر ها در این روش ساده بوده و می توان طبقه بندی را بلافاصله پس از حفر انجام داد. از مزایای دیگر این روش بایستی به لحاظ نمودن امتیاز پارامتر ها بر اساس نوع سنگ اشاره نمود زیرا سنگهایی همچون شیل و آهک در صورت دارا بودن شرایط درزه داری یکسان رفتار متفاوتی در برابر آب و آلتراسیون نشان می دهند لذا اگر امتیاز دهی برای این پارامتر ها بر اساس نوع سنگ انجام گیرد دقت در انتخاب سیستم نگهداری را بالا خواهد برد. از معایب این روش آنست که بدلیل امتیاز دهی مجزا برای هر سنگ قادر به طبقه بندی دقیق لایه های سست در مجاور هم که دارای جنس متفاوت هستند نمی باشد. در طبقه بندی تونل چشمه روزیه در دسته بندی های سوم (لایه های نازک آهک ماسه ای و توف) و دسته پنجم (لایه های نازک آهک و شیل) نمی توان از این روش استفاده نمود. نتایج حاصل از طبقه بندی به روش JH برای سایر مقاطع در جدول ۵-۴ آورده شده است.

۵-۶- طرح نگهداری بر اساس سیستم های طبقه بندی

۶-۱- روش طبقه بندی مهندسی سنگ (Q)NGI

بر اساس طبقه بندی صورت گرفته در مقاطع مختلف تونل ، در قسمت ورودی تونل در سازند ائوسن کمترین مقدار Q برابر ۱،۴ مربوط به سنگهای توفی بوده که این سنگ با توجه به بعد معادل تونل در رده خیلی ضعیف قرار گرفته که در نهایت این روش سیستم نگهداری ترکیبی شامل بولت های ۲ متری با فواصل ۲/۵×۲/۵ متری به همراه ۴۰-۵۰ mm شاتکریت پیشنهاد می کند در سازند لالون کمترین مقدار Q برابر ۲/۷ بوده که مربوط به ماسه سنگهای قرمز و سبز است. روش Q این سازند را بدون سیستم نگهداری پایدار می داند. در سازند زایگون شامل شیلهای قرمز رنگ کمترین مقدار Q محاسبه شده برابر ۰/۳۳ بوده که سنگ را در رده خیلی ضعیف قرار

جدول ۲-۵- مقادیر بدست آمده برای مقاطع مختلف به روش III

گروه بندی	نوع سنگ	مقاومت سنگ	هوازدگی و آلتراسون	جدایش و پرکننده درزه	RQD	آب زیر زمینی	دگرسانی	III
دسته بندی اول	مارن	۱۹	۱۵	۱۲	۲۰	۳	۲	۶۲
	تو،	۲۵	۷	۱۳	۱۵	۳	۲	۵۵
دسته بندی چهارم	آهک	۳۲	۱۷	۱۴	۱۴	۲	۲	۷۸
	شیل ضعیف	۱۹	۹	۱۴	۱۰	۲	۲	۳۸
دسته بندی هفتم	شیل مناسب	۲۵	۱۵	۱۵	۲۰	۲	۲	۵۶
	ماسه سنگ فرمروشن	۳۱	۱۵	۱۳	۱۵	۲	۲	۷۰
	ماسه سنگ قرمز	۲۵	۱۵	۱۵	۱۰	۲	۱	۶۲
	ماسه سنگ قرمز و سبز	۲۵	۱۵	۷	۱۵	۳	۳	۵۶

می دهد. این روش سیستم نگهداری ترکیبی شامل بولت های ۲ متری با فواصل ۲/۵×۲/۵ متر به همراه شاتکریت با ضخامت ۵۰-۹۰ mm را پیشنهاد می دهد. برطبقه بندی به روش Q برای

قسمتهای مختلف سنگ دربرگیرنده تونل انجام شده که این مقادیر به همراه سیستم نگهداری پیشنهادی در جدول ۵-۵ آمده است.

جدول ۵-۵- طبقه بندی بر اساس روش Q

سنگ	Q	سیستم نگهداری
مارن	۴	کلاس سنگ: مناسب بدون سیستم نگهداری
توف	۱/۴	کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۲/۵ متری ، شاتکریت به ضخامت ۴-۵ سانتیمتر
آهک	۲۷	کلاس سنگ: خوب بدون سیستم نگهداری
ماسه سنگ قرمز	۴/۱	کلاس سنگ: بدون سیستم نگهداری
ماسه سنگ قرمز و سبز	۲/۷	کلاس سنگ: ضعیف بدون سیستم نگهداری
ماسه سنگ قرمز روشن	۶/۳	کلاس سنگ: مناسب بدون سیستم نگهداری
شیل ضعیف	۱/۳۳	کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۱/۵ متری ، شاتکریت به ضخامت ۹-۵ سانتیمتر
شیل مناسب	۱/۳۳	کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۲/۵ متری ، شاتکریت به ضخامت ۴-۵ سانتیمتر

۶-۵-۲- سیستم طبقه بندی RMR

مقدار RMR نیز برای سازند های مختلف توده سنگی در بر گیرنده تونل محاسبه شده است. در سازند توفی مارنی ائوسن مقادیر RMR بین ۵۶-۵۸ بوده که این روش سیستم نگهداری ترکیبی شامل بولت ۴ متری با فواصل ۲×۲ متر را به همراه ۱۰۰ تا ۵۰ میلیمتر شاتکریت را پیشنهاد می کنند. در دسته سوم و پنجم که پس از طبقه بندی در یک کلاس قرار گرفته اند سیستم نگهداری شامل بولت ۴ متری با فاصله داری ۱/۵×۱/۵ در سقف و شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر بهمراه قابهای فولادی با فاصله ۱/۵ متری پیشنهاد می گردد. در قسمت خروجی تونل نیز مقدار RMR بین ۶۰-۴۰ متغیر بوده که برای این سازند نیز سیستم نگهداری ترکیبی شامل

بولت ۴ متری به همراه شاتکریت به ضخامت ۵۰ میلیمتر پیشنهاد می شود. مقادیر محاسبه شده به تفکیک برای هر نوع سنگ در جدول ۵-۶ آمده است.

جدول ۵-۶ طراحی سیستم نگهداری به روش RMR

سیستم نگهداری	RMR	سنگ	دسته بندی
بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر	۵۸	مارن	دسته اول
بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر	۵۶	توف	دسته دوم
قاب با فاصله ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر با بولت ۴ متری با فاصله ۱/۵×۱/۵ در سقف	۴۰	لایه های آهک و توف	دسته سوم
بولت ۳ متری با فواصل ۲/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر	۶۲	آهک	دسته چهارم
قاب با فاصله ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر با بولت ۴ متری با فاصله ۱/۵×۱/۵ در سقف	۳۶	لایه های آهک و شیل	دسته پنجم
بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر	۴۱	شیل ضعیف	دسته ششم
بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر	۴۸	شیل مناسب	
بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر	۵۳	ماسه سنگ قرمز	دسته هفتم
بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر	۵۲	ماسه سنگ قرمز و سبز	
بولت ۳ متری با فواصل ۲/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر	۶۱	ماسه سنگ قرمزروشن	

۶-۵-۳- روش RMI

روش طبقه بندی RMI به دلیل مشابهت زیادی که به روش Q دارد، میتوان برای طراحی سیستم نگهداری از جدول روش Q استفاده نمود. بدین صورت که توجه به فرمول $Q = 0.01J_p$ طبقه بندی صورت گرفته را به روش Q تعمیم داده و سیستم نگهداری را طراحی نمود. در جدول ۵-۷ مقادیر RMI بدست آمده از روش RMI برای مقاطع مختلف تونل، در قسمت ورودی تونل در سازه ائوسن این مقدار برای سنگهای مارن ۲/۱۷ بوده که این سنگ با توجه به بعد معادل تونل در رده ضعیف قرار گرفته که در نهایت این روش این قسمت را بدون نگهداری پایدار می داند. همچنین در توفها مقدار RMI برابر ۰/۸۵ است که سیستم نگهداری ترکیبی شامل بولت های ۲ متری با فواصل ۲/۵×۲/۵ به همراه ۱۰۰-۴۰ میلیمتر شاتکریت پیشنهاد می گردد. در آهکها مقدار RMI برابر ۲۳ محاسبه شده است. این روش تونل را در سنگهای آهکی و نیز دسته ششم و هفتم بدون نیاز به سیستم نگهدارنده پایدار می داند، مقادیر RMI به همراه سیستم نگهداری پیشنهادی در جدول ۵-۷ آمده است .

جدول ۵-۷ سیستم نگهداری بر اساس روش طبقه بندی RMI

نوع سنگ	RMI	سیستم نگهداری
مارن	۲/۱۷	کلاس سنگ: مناسب بدون سیستم نگهداری
توف	۰/۸۵۴	کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۲/۵ متری ، شاتکریت به ضخامت ۴-۵ سانتیمتر
آهک	۲۳/۱	کلاس سنگ: خوب بدون سیستم نگهداری
ماسه سنگ قرمز	۶/۴۸	کلاس سنگ: ضعیف بدون سیستم نگهداری
ماسه سنگ قرمز و سبز	۴/۱	کلاس سنگ: ضعیف بدون سیستم نگهداری
ماسه سنگ قرمز روشن	۱۰/۶	کلاس سنگ: مناسب بدون سیستم نگهداری
شیل ضعیف	۰/۹۲	کلاس سنگ: ضعیف بدون سیستم نگهداری
شیل مناسب	۲/۸	کلاس سنگ: خوب بدون سیستم نگهداری

۶-۵-۴-روش JH

از آنجا که روش JH نیز به روش تجربی قادر به طراحی سیستم نگهداری است، مقادیر JH برای سازندهای مختلف اندازه گیری شده و بر اساس جدول پیشنهادی روش JH برای سازند توفی مارنی ائوسن در دسته های اول و دوم که در کلاس نگهداری CI_a قرار گرفته، سیستم نگهداری ترکیبی شامل بولت ۳ متری با فواصل ۱،۵×۱،۵ متر به همراه شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر پیشنهاد می گردد. این روش برای سازند لالون در خروجی تونل کلاس نگهداری CII_a در نظر گرفته و سیستم نگهداری ترکیبی شامل بولت ۳ متری با فواصل ۱،۵×۱،۵ متر همراه شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر پیشنهاد می کند. همچنین روش JH برای سازند زایگون کلاس CII_b و سیستم نگهداری ترکیبی شامل بولت ۳ متری به همراه شاتکریت به ضخامت ۱۰۰ میلیمتر و قاب فولادی 125H را پیشنهاد می کند. مقادیر محاسبه شده برای هر نوع سنگ در جدول ۵-۸ آمده است. در جدول ۵-۹ طراحی توسط تمامی روشهای تجربی آورده شده است.

جدول ۵-۸ طراحی سیستم نگهداری به روش JH

نوع سنگ	JH	سیستم نگهداری
مارن	۶۲	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر
توف	۵۵	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر
آهک	۷۸	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر
شیل ضعیف	۳۸	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر و قاب فولادی 125H
شیل مناسب	۵۶	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر
ماسه سنگ قرمز	۶۲	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر
ماسه سنگ قرمز و سبز	۵۶	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر
ماسه سنگ قرمز روشن	۷۰	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر

جدول ۹-۵ - سیستم نگهداری پیشنهادی توسط روشهای تجربی

	RMR	سیستم نگهداری	Q	سیستم نگهداری	JH	سیستم نگهداری
ماسه سنگ قرمز	۵۳	بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر	۴،۱	ضعیف بدون سیستم نگهداری	۶۲	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر
ماسه سنگ قرمز و سبز	۵۲	بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر	۲،۷	ضعیف بدون سیستم نگهداری	۵۶	بولت ۲ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر
ماسه سنگ قرمز روشن	۶۱	بولت ۳ متری با فواصل ۲/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر	۶،۳	مناسب بدون سیستم نگهداری	۷۰	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر
لايه های متناوب	۴۰-۳۶	قاب فولادی با فاصله داری ۱/۵ متر به همراه شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر	—	—	—	—
مارن	۵۸	بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر	۴	مناسب بدون سیستم نگهداری	۶۲	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر

ادامه جدول ۵-۹ - سیستم نگهداری پیشنهادی توسط روشهای تجربی

توف	۵۶	بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر	۱،۴	کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۲/۵ متری ، شاکریت به ضخامت ۴-۵ سانتیمتر	۵۵	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر
شیل ضعیف	۴۱	بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاکریت به ضخامت ۱۰-۵ سانتیمتر	۰،۳۳	کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۱/۵ متری ، شاکریت به ضخامت ۴-۹ سانتیمتر	۳۸	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر و قاب فولادی ۱۲۵
شیل مناسب	۴۸	بولت ۴ متری با فواصل ۲ متری شاکریت به ضخامت ۱۰-۱۵ سانتیمتر	۱،۳۳	کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۲/۵ متری ، شاکریت به ضخامت ۴-۵ سانتیمتر	۵۶	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر
آهک	۶۲	بولت ۳ متری با فواصل ۲/۵ متری شاکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر	۲۷	کلاس سنگ: خوب بدون سیستم نگهداری	۷۸	بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر

۵-۷- محاسبه پارامترهای توده سنگ از روابط تجربی طبقه بندی مهندسی سنگها

۵-۷-۱- مقادیر محاسبه شده براساس روش Q

با توجه به مقادیر Q می توان فشار وارد بر سیستم نگهداری را تخمین زد. در این روابط بارتن و همکارانش در سال ۱۹۸۰ روابط مفیدی برای طول بولت، حداکثر دهانه فعال بدون نگهداری و فشارهای نگهدارنده سقف تهیه کردند. طبق نظریات بارتن طول بولت (L) می تواند از دهانه فضای زیرزمینی B و ضریب اهمیت نگهدارنده ESR تخمین زده شود. [۸].

$$L = \frac{2 + 0.15B}{ESR} \quad (1)$$

حداکثر دهانه بدون نگهداری را می توان از رابطه زیر تخمین زد.

$$\text{حداکثر دهانه بدون نگهداری} = 2ESR * Q^{0.4}$$

بر اساس تجزیه و تحلیل موارد ثبت شده، گرمستاد و بارتن در سال ۱۹۹۳ پیشنهاد کردند که ارتباط بین مقدار Q و فشار نگهدارنده سقف P_{roof} را می توان از رابطه زیر تخمین زد.

$$P_{roof} = \frac{2\sqrt{j_n Q}^{-\frac{1}{3}}}{3J_r} \quad (2)$$

این مقادیر بر اساس فرمولهای ۱ تا ۳ برای سنگهای مختلف محاسبه گردیده و نتایج در

جدول ۵-۱۰ آمده است.

جدول ۵-۱۰- دهانه بدون نگهداری و فشار سقف

سنگ	Q	L	J_n	j_r	دهانه بدون نگهداری	P_{roof} (MPa)
ماسه سنگ قرمز	۴.۱	۱.۶	۹	۴	۵.۶	۰.۶۵
ماسه سنگ قرمز و سبز	۲.۷	۱.۶	۶	۴	۴.۷	۰.۸۱
ماسه سنگ قرمز روشن	۶.۳	۱.۶	۶	۳	۷	۰.۲۶
مارن	۴	۱.۶	۴	۳	۶	۰.۳۳
توف	۱.۴	۱.۶	۴	۳	۳.۷	۰.۹۵
شیل ضعیف	۰.۳	۱.۶	۹	۱	۱	۲.۹۷
شیل مناسب	۱.۳۳	۱.۶	۹	۱	۲	۱.۸۲
آهک	۲.۷	۱.۶	۴	۳	۶.۴	۰.۱۵

۵-۲- تخمین بر اساس مقادیر RMR

امروزه روابط تجربی خوبی بین مقدار (RMR) توده سنگی و سایر پارامترهای آن ذکر شده است. برای محاسبه این روابط نیاز به اندیس مقاومت زمین شناسی بوده که این اندیس GSI^1 نامیده می شود. GSI از RMR_{89} بنیادسکی محاسبه می گردد که مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید [۸].

$$GSI = RMR_{89} - 5 \quad (3)$$

که در آن RMR_{89} مقدار RMR برای توده سنگها بر مبنای شرایط زیر است.

۱- شرایط آب زیرزمینی کاملاً خشک در نظر گرفته شود.

۲- جهت ناپیوستگیها در ارتباط با جهت حفر تونل کاملاً مساعد فرض شود.

از طریق اندیس GSI روابط تجربی خوبی بین پارامترهای توده سنگی و RMR بدست می آید که از آن جمله می توان به روابط موجود بین این اندیس و پارامترهای توده سنگ معیار هوک - براون اشاره کرد. $\frac{mr}{m}$ و S_r (پارامترهای هوک، براون توده سنگ شکسته شده) از فرمولهای زیر قابل محاسبه است.

$$\frac{m_r}{m} = \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right) \quad (4)$$

$$S_r = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right) \quad (5)$$

پس از محاسبه GSI مقادیر $\frac{mr}{m}$ ، S_r (پارامترهای هوک، براون توده سنگ شکسته شده) از روابط (۲) و (۳) محاسبه در جدول ۵-۱۱ جایگذاری شده است.

RMR همچنین به علت دربرداشتن بسیاری از پارامترهای موثر در پایداری سازه زیر مورد توجه قرار گرفته است، که از آن جمله می توان به فرمول سرامیم و پریوا که بر اساس تجزیه و تحلیل حاصل از تعدادی از کارهای انجام شده در پی سدها صورت گرفته اشاره کرد. این رابطه قادر به یافتن مقدار تقریبی مدول تغییر شکل پذیری برجا E_m (GPa) از RMR است [۸].

$$E_m = 10^{\left(\frac{RMR-10}{40}\right)} \quad (6)$$

بر اساس RMR محاسبه شده همچنین می توان فشار وارد بر نگهدارنده را پیش بینی نمود این رابطه از طریق فرمول زیر قابل محاسبه است. [۸]

$$P_{RMR} = \left(\frac{100 - RMR}{100}\right) \cdot B \cdot \gamma \quad (7)$$

در این رابطه :

B: عرض تونل

γ : وزن حجمی سنگ است .

مقادیر محاسبه شده در هر مقطع در جدول ۵-۱۱ آمده است .

جدول ۵-۱۱ دهانه بدون نگهداری و فشار سقف

نوع سنگ	RMR	GSI	RMR_{89}	$\frac{m_r}{m}$	S_r	P_{roof} (MPa)	E_m (GPa)
ماسه سنگ قرمز	۵۳	۵۳	۵۸	۰.۱۸	۰.۰۰۵	۰.۰۴۹	۱۱.۹
ماسه سنگ قرمز و سبز	۵۲	۶۰	۶۵	۰.۲۴	۰.۰۱۲	۰.۰۵	۱۱.۲۲
ماسه سنگ قرمز روشن	۶۱	۶۶	۷۱	۰.۳	۰.۰۲۳	۰.۰۴	۱۸.۸
لایه های متناوب	۳۹	۵۱	۵۵	۰.۲۱	۰.۰۰۷	۰.۰۵۸	۷.۱
مارن	۵۸	۶۳	۶۸	۰.۲۷	۰.۰۱۶	۰.۰۴۴	۱۳.۸
توف	۵۶	۶۱	۶۶	۰.۲۵	۰.۰۱۳	۰.۰۴۵	۱۴.۲
شیل ضعیف	۴۱	۴۷	۵۲	۰.۱۵	۰.۰۰۰۳	۰.۰۵۲	۶
شیل مناسب	۴۸	۵۴	۵۹	۰.۲	۰.۰۰۶	۰.۰۴۶	۹
آهک	۶۲	۶۷	۷۲	۰.۳۱	۰.۰۲۶	۰.۰۳۹	۲۰

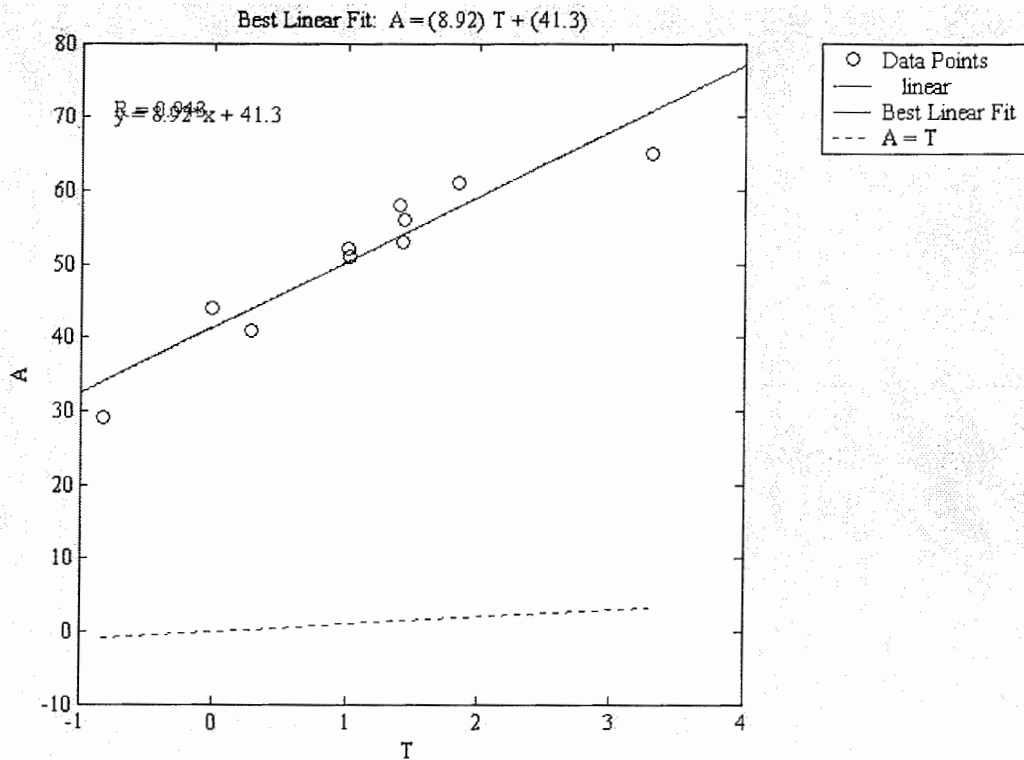
۵-۸- روابط بدست آمده بین سیستمهای طبقه‌بندی مختلف

سنگهای متنوع از سازندهای گوناگون در تونل چشمه روزیه سمنان توسط روشهای مختلف طبقه‌بندی مهندسی سنگها همچون RMI, RMR, Q, JH طبقه‌بندی شده و سیستم‌های نگهداری پیشنهادی توسط هر روش ذکر گردیده است. در این بخش نتایج آنالیزهای مختلف در هر روش با یکدیگر مقایسه خواهد شد. هدف از انجام این مطالعات و مقایسه‌ها بدست آوردن روابط تجربی بین روشهای موجود است. بر همین اساس با استفاده از داده‌های حاصل از طبقه‌بندی دو روش RMR, JH با روش Q مورد مقایسه قرار گرفته که در نهایت با استفاده از برازش منحنی بر داده‌های موجود روابط تجربی بدست آمده است.

۵-۸-۱- رابطه بین RMR, Q

در تونل چشمه روزیه سمنان برای مقاطع مختلفی مورد بررسی قرار گرفته تا نتایج حاصل با رابطه $RMR = 9LnQ + 44$ بنیابوسی مورد مقایسه قرار گیرد. بر داده‌های حاصل از طبقه‌بندی به دو روش RMR, Q با استفاده از نرم افزار ریاضی $Matlab 6$ نمودار برازش شده که در شکل ۵-۱ نتیجه این برازش آورده شده است. همانطور که مشاهده می‌گردد، ضریب همبستگی (R) برابر 0.943 بوده و رابطه (۸) بین مقادیر Q و RMR برقرار می‌باشد.

$$RMR = 8.92LnQ + 41.3 \quad (۸)$$



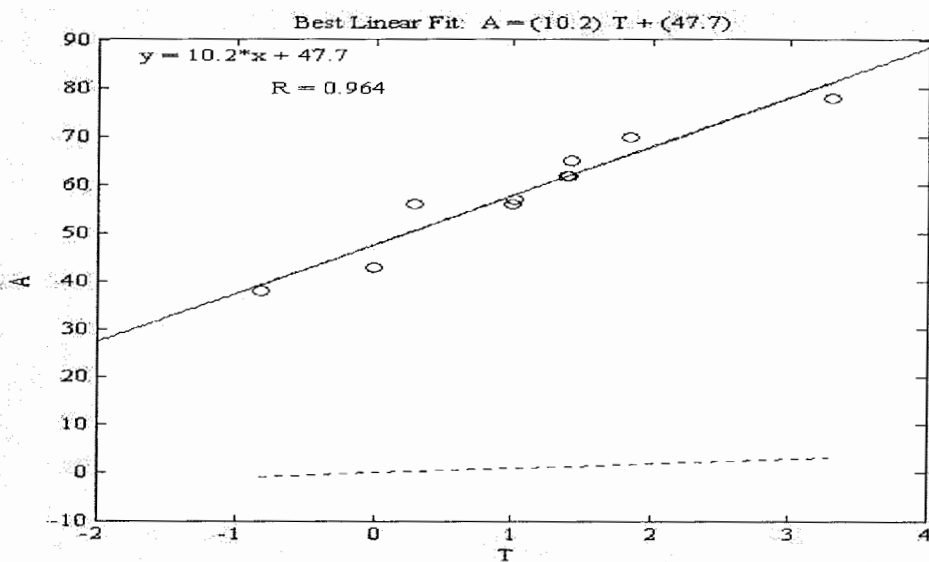
شکل ۵-۱ برآزش بین داده های RMR, Q

۸-۵-۲- رابطه بدست آمده بین روش JH, Q

روش JH برای اولین بار در ژاپن بکار برده شد. به دلیل بدیع بودن روش مطالعات گسترده ای بر روی این روش صورت نگرفته است. مطالعاتی که قادر به پیوند این روش با سایر سیستمهای طبقه بندی بوده یا بتوان از طریق این روش به محاسبه پارامترهای توده سنگ پرداخت. در صورتیکه تعداد مواردی که در آنها طراحی و آنالیز به روش JH صورت گرفته به حد قابل قبول برسد می توان به نتایج خوبی دست یافت. از آنجا که این دو روش با هم در موارد مشابه استفاده نگردیده بود لذا برای اولین بار در این تحقیق سعی شد در دسته بندیهای مختلف نتایج طبقه بندیهای دو روش Q, JH با هم مقایسه شده تا بتواند مورد استفاده مطالعات تکمیلی در آینده قرار گیرد. برای این منظور از نرم افزار Matlab ۶ به دلیل توانایی های خوب این نرم افزار در محاسبات ریاضی استفاده شده و برآزش مناسب بین دو سری داده صورت گرفته است. نتایج برآزش بصورت رابطه (۹) است.

$$JH = 10.2 \ln Q + 47.7 \quad (9)$$

نمودار حاصل از داده‌های این مقاطع در شکل ۲-۵ آمده است.



شکل ۲-۵- برآزش بین داده های JH,Q

فصل ششم

**طراحی سیستم نگهداری تونل انتقال آب سمنان با استفاده
از تحلیل گوه ای**

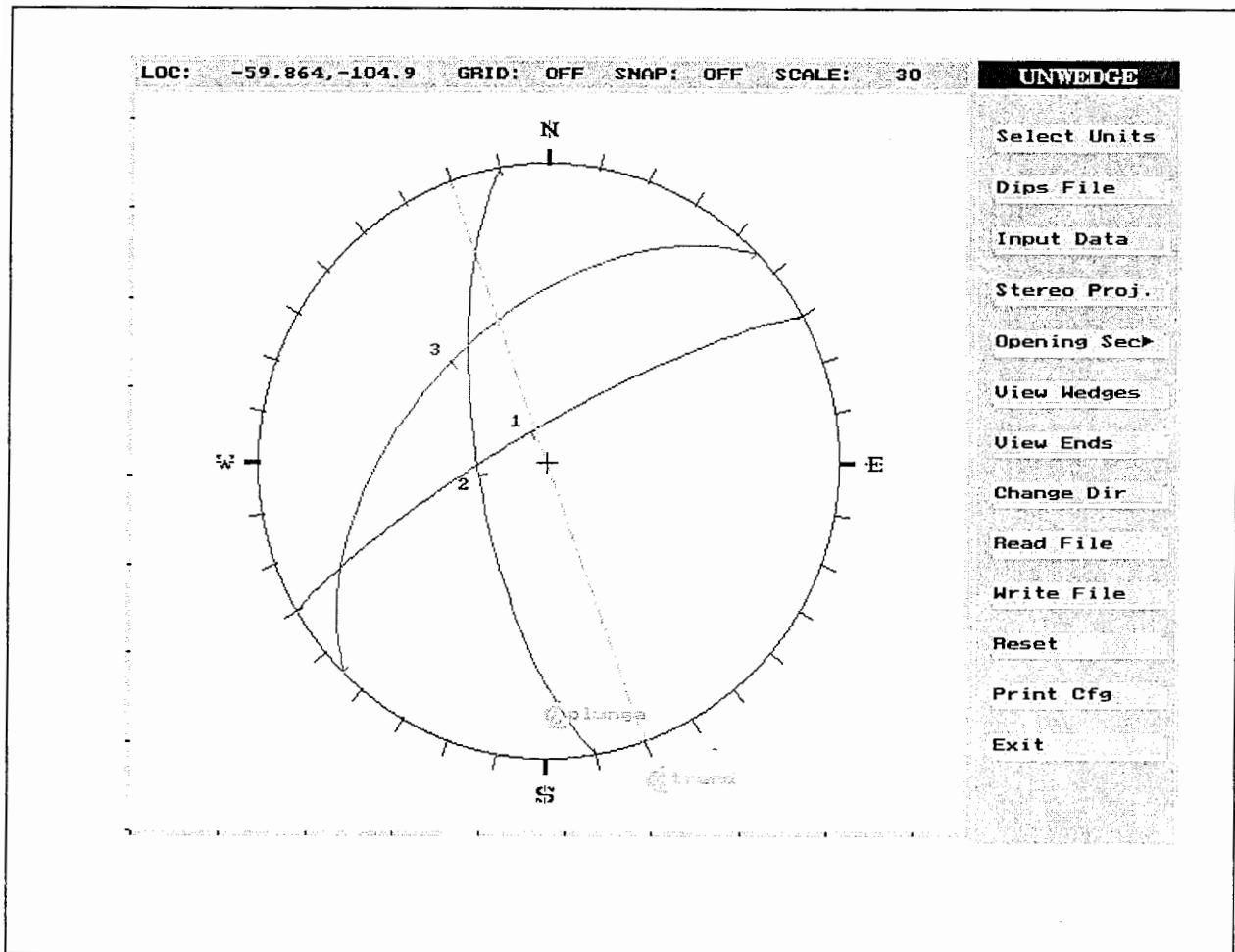
۶- تحلیل پایداری با استفاده از آنالیز گوه ای

۶-۱- مقدمه

از آنجا که تونل انتقال آب چشمه روزیه از کوه بشم عبور خواهد کرد، دامنه روباره سنگ پوشاننده متغیر می باشد. مقاومت سنگ در بر گیرنده نیز بین $135-30$ MPa متغیر بوده که بنا به دلایل فوق فقط در برخی از مناطق از تئوری بلوکی برای آنالیز گوه ای تونل می توان استفاده نمود. با توجه به دسته بندی تونل در دسته اول که شامل سنگ مارن است به دلیل پایین بودن مقاومت و خاصیت شبه پلاستیکی مارن امکان درزه داری در این سنگها پایین بوده و در نتیجه امکان تشکیل گوه نیز وجود نخواهد داشت. در دسته سوم و پنجم که لایه بندیهای نازک باخواص گوناگون در مجاورت هم قرار گرفته اند امکان تشکیل گوه ضعیف بوده و سطح تماس لایه بندیها به عنوان ناپیوستگی مطرح خواهد بود. در دسته چهارم که شامل سنگهای آهکی می باشد ارتفاع روباره به حدود 620 متر می رسد و کمترین ارتفاع روباره در این سنگها 450 متر است که به دلیل عمق زیاد، حجم روباره و تنشهای حاصل از آن گوه های تشکیل شده ریزشی نخواهند بود. براین اساس در این دسته از سنگها نیز از تئوری بلوکی استفاده نشده است. در سایر دسته بندیها به دلیل امکان تشکیل گوه ریزشی از تئوری بلوک استفاده گردیده است. برای تشخیص و تحلیل بلوکهای ایجاد شده در قسمتهای مختلف تونل از نرم افزار UNWEDGE استفاده شده که این نرم افزار با استفاده از روش تعادل حدی قادر به محاسبه فاکتور ایمنی برای گوه ها است. در این نرم افزار در مواقعی که تنش برجا در توده سنگهای بلوکی زیاد باشد، ممکن است ضرایب ایمنی که توسط نرم افزار پیش بینی شده صحیح نباشد. در مورد گوه های بلند و نازک، علیرغم اینکه ضریب ایمنی محاسبه شده خیلی کوچک است اما تنش برجا به نگهداری گوه ها در محلشان کمک می کنند. از طرف دیگر برای گوه های تخت که در اعماق کم قرار دارند تنش های برجای زیاد باعث بیرون راندن آنها می شود با وجود اینکه ضریب ایمنی محاسبه شده ممکن است خیلی زیاد باشد [۹،۱۵].

۲-۶- تحلیل بلوکی تونل چشمه روزیه

برای تحلیل بلوکی تونل چشمه روزیه ابتدا دسته درزه های اصلی در هر منطقه مشخص گردید و سپس اطلاعات مورد لزوم به نرم افزار UNWEDGE داده شد. در هر دسته از سنگها آنالیز بلوکی انجام گشت و سیستم نگهداری لازم جهت رسیدن به فاکتور ایمنی مورد نظر، طراحی گردیده است. همچنین از آنجا که نرم افزار UNWEDGE قابلیت دریافت بیش از سه دسته ناپیوستگی را ندارد، لذا در مقاطعی که در توده سنگ در برگیرنده بیش از سه دسته ناپیوستگی وجود دارد، برای هر سه دسته آنالیز بلوکی انجام شده و در نهایت طراحی برای بزرگترین و بحرانی ترین گوه صورت گرفته است. لازم به توضیح است که برای اینگونه موارد، که بیش از دو دسته درزه به همراه لایه بندی وجود دارد و تحلیل گوه ای توسط نرم افزار UNWEDGE برای آن مقاطع غیر ممکن بوده، تحلیل‌های آماری بر روی درزه برای تشخیص دسته درزه های غالب، صورت گرفته است. نتایج این آنالیزها نشان دهنده آنست که گوه های ایجاد شده توسط درزه های اصلی بحرانی تر است. به همین دلیل در هر مقطع ابتدا دسته درزه های اصلی تشخیص داده شده و به همراه سایر مشخصات تونل وارد نرم افزار می گردد. در شکل ۶-۱ موقعیت درزه ها و امتداد تونل در صفحه استریونت نمایش داده شده است. نرم افزار UNWEDGE گوه های ایجاد شده را مشخص کرده و با استفاده از تئوری بلوکی ضریب ایمنی بلوکها در شرایط اعمال شده مشخص گردیده است. پس از تشخیص بلوکهای ریزشی می توان با استفاده از دو نوع نگهدارنده بولت و شاتکریت، سیستم نگهداری تونل را طراحی نموده و با استفاده از هر یک از این دو نوع نگهدارنده و یا سیستم ترکیبی شامل هر دو نوع نگهدارنده (بولت و شاتکریت) به فاکتور ایمنی مورد نظر رسید. از آنجا که این نرم افزار قادر به تشخیص موقعیت بلوکهای ریزشی نیست، هر چه فاصله مقاطع از یکدیگر کمتر باشد، تشخیص محل بلوک ریزشی در عمل آسان تر خواهد بود. بر همین اساس در صورت امکان مقاطع مختلف از سنگ تحت بررسی قرار می گیرد.



شکل ۶-۱- موقعیت درزه ها و امتداد تونل در صفحه استریونت

۶-۲-۱- طراحی سیستم نگهداری در توفها به روش آنالیز بلوکی

توفها در سازند ائوسن واقع شده و برداشتهای انجام شده نشان دهنده دو دسته درزه اصلی در این نوع سنگ است. با توجه به دسته درزه های ایجاد شده در توفها با شیب و جهت شیب مشخص که در شکل ۶-۲ آورده شده است، تعداد گوه های ایجاد شده در اطراف تونل ۳ عدد بوده که از این ۳ گوه تشکیل شده، فقط گوه شماره یک طبق شکل ۶-۳ با ضریب ایمنی آن $0/23$ ریزشی می باشد. برای نگهداری این گوه می توان از بولت های ۳ متری با فواصل $2/5$ متری استفاده کرد و فاکتور ایمنی آنرا مطابق آنچه که در شکل ۶-۴ نشان داده شده است به مقدار $8/5$ رسانید. گوه ایجاد شده در سینه کار تونل توسط این دسته درزه ها در شکل ۶-۵ آمده است.

LOC: 11.082,12.638 GRID: OFF SNAP: OFF SCALE: 1
UNWEDGE 2.21

INPUT DATA

JOB TITLE	bresh		
	Trend	Plunge	
OPENING SECTION	160	0.0015	
	Dip	Dip Dir	Spacing (m)
JOINT SET			
joint set 1	80	340	2
joint set 2	53	153	0.7
joint set 3	57	78	0.5
ROCK UNIT WEIGHT	2.6	tonnes/m ³	
	c (kN/m ²)	φ (°)	
STRENGTH			
joint set 1	30	30	
joint set 2	0	30	
joint set 3	0	30	
WATER PRESSURE	0	tonnes/m ²	

Save [ALT-S]
Abort [ALT-A]

Select Units

Dips File

Input Data

Stereo Proj.

Opening Sec▶

View Wedges

View Ends

Change Dir

Read File

Write File

Reset

Print Cfg

Exit

شکل ۶-۲- داده های مربوط به سنگهای توف

bresh
SELECT WEDGE

Wedge # 1
17 Tonnes
Slides on J3
57/078
S.F.=0.37

Wedge # 2
0.0 Tonnes
Wedge falls
S.F.=0.00

Wedge # 3
0.0 Tonnes
Wedge falls
S.F.=0.00

Wedge # 4
6.0 Tonnes
Wedge stable
S.F.= +INF

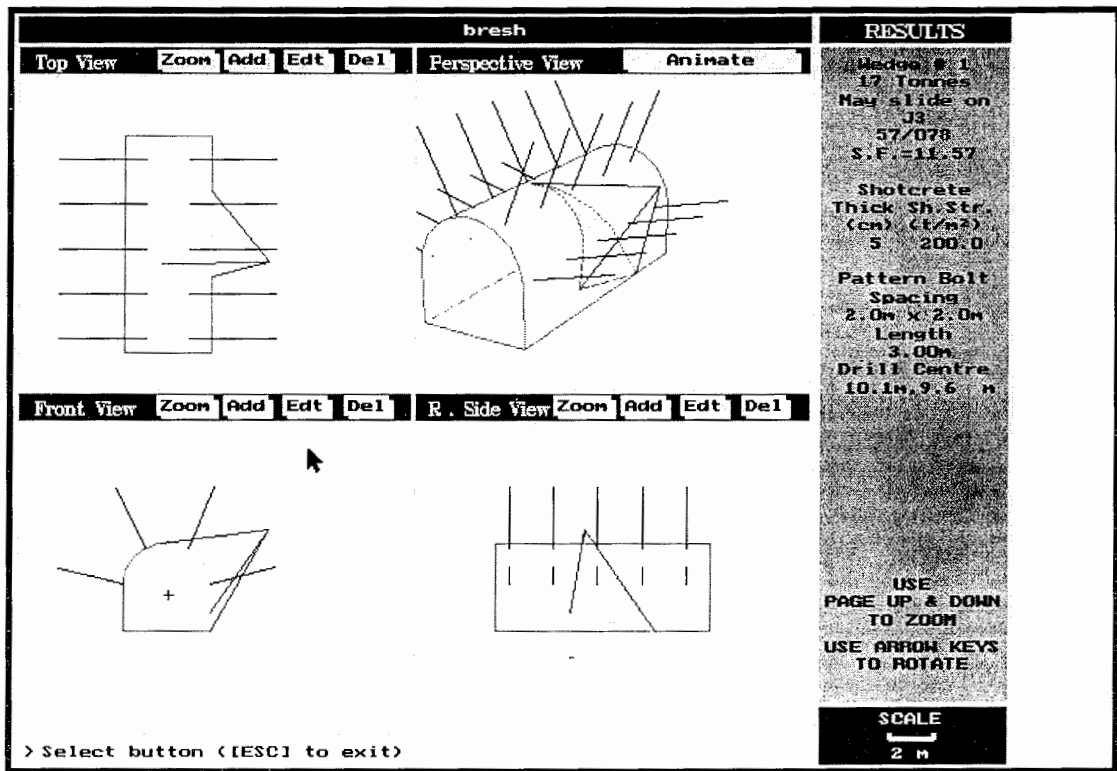
Wedge # 5
NO WEDGE FORMED

Wedge # 6
NO WEDGE FORMED

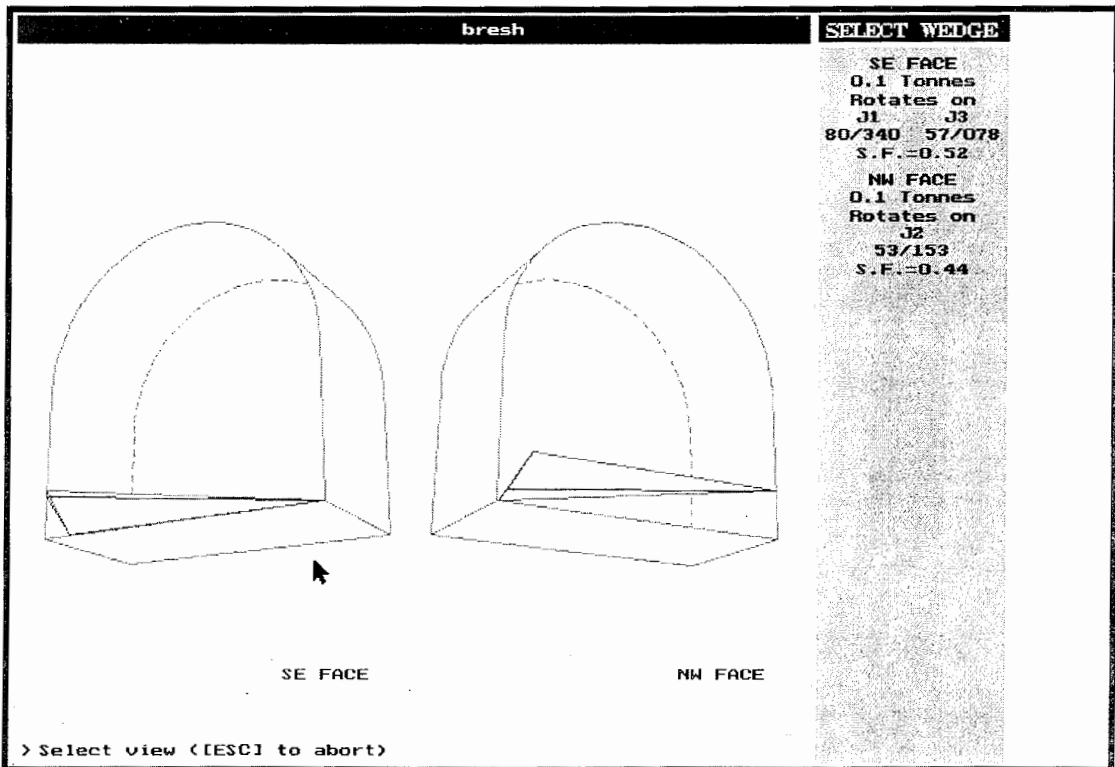
NO WEDGE FORMED
NO WEDGE FORMED

> Select view (IESC1 to abort)

شکل ۶-۳- گوه های ایجاد شده در توفها



شکل ۶-۴- سیستم نگهدارنده پیشنهادی در توفها



شکل ۶-۵- گوه های ایجاد شده در سینه کار، واقع در توفها

۶-۲-۲- طراحی سیستم نگهداری در شیلها به روش آنالیز بلوکی

از آنجا که در شیلها نیز عمق قرار گیری بسیار زیاد نبوده و ناپیوستگی های سنگ شامل لایه بندی و درزه هاست، لذا امکان تشکیل گوه در این سنگها وجود داشته و می توان از آنالیز گوه ای برای تحلیل استفاده نمود. در این سنگها با توجه به اطلاعات آمده در شکل ۶-۶ یک گوه ریزشی تشکیل گشته (شکل ۶-۷) که دارای ضریب ایمنی ۱/۲۵ است. جهت کنترل این گوه ریزشی می توان از سیستم نگهداری بولت به همراه شاتکریت استفاده نمود که سیستم نگهداری شامل بولت های ۱/۵ متری و با فواصل ۲ متری می تواند باعث پایداری این گوه شود. (شکل ۶-۸)

LOC: 9.7468,10.271 GRID: OFF SNAP: OFF SCALE: 1 UNWEDGE 2.21

INPUT DATA

JOB TITLE : RED SHAIL

OPENING SECTION : Trend 340 Plunge 0.0035

JOINT SET

	Dip	Dip Dir	Spacing (m)
joint set 1	80	330	0.3
joint set 2	67	49	0.5
joint set 3	84	141	2

ROCK UNIT WEIGHT : 2.5 tonnes/m3

STRENGTH

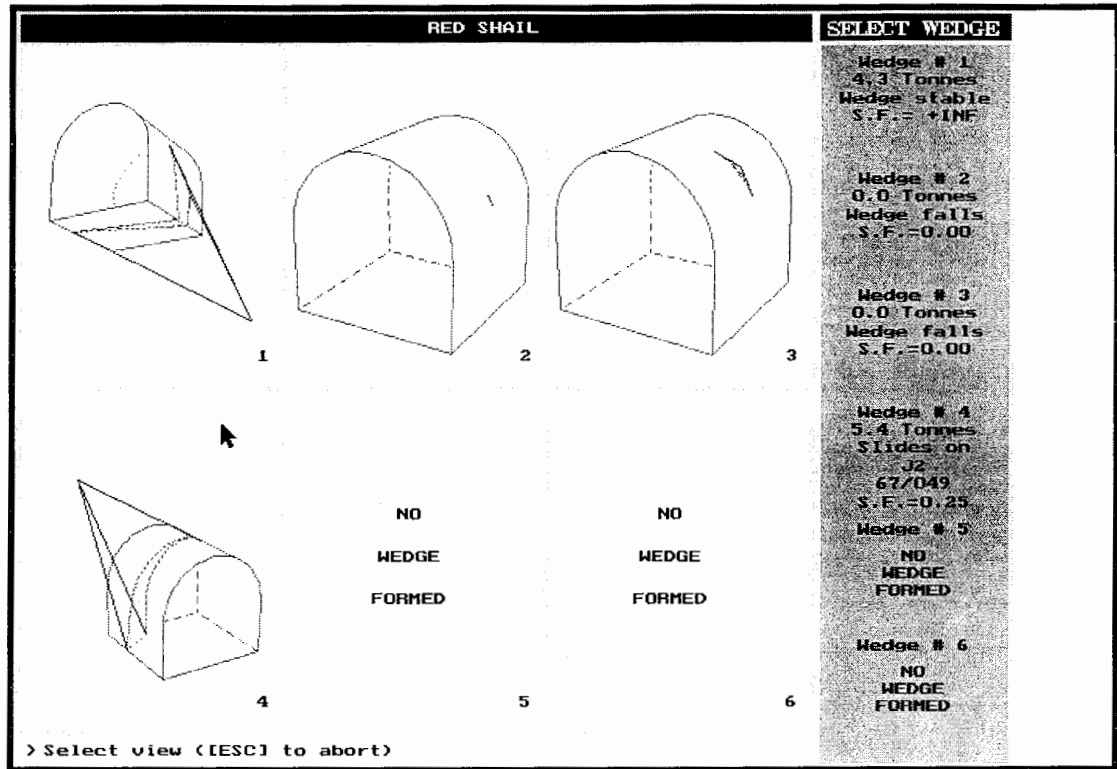
	c (t/m ²)	φ (°)
joint set 1	0	30
joint set 2	0	30
joint set 3	0	30

WATER PRESSURE : 0 tonnes/m²

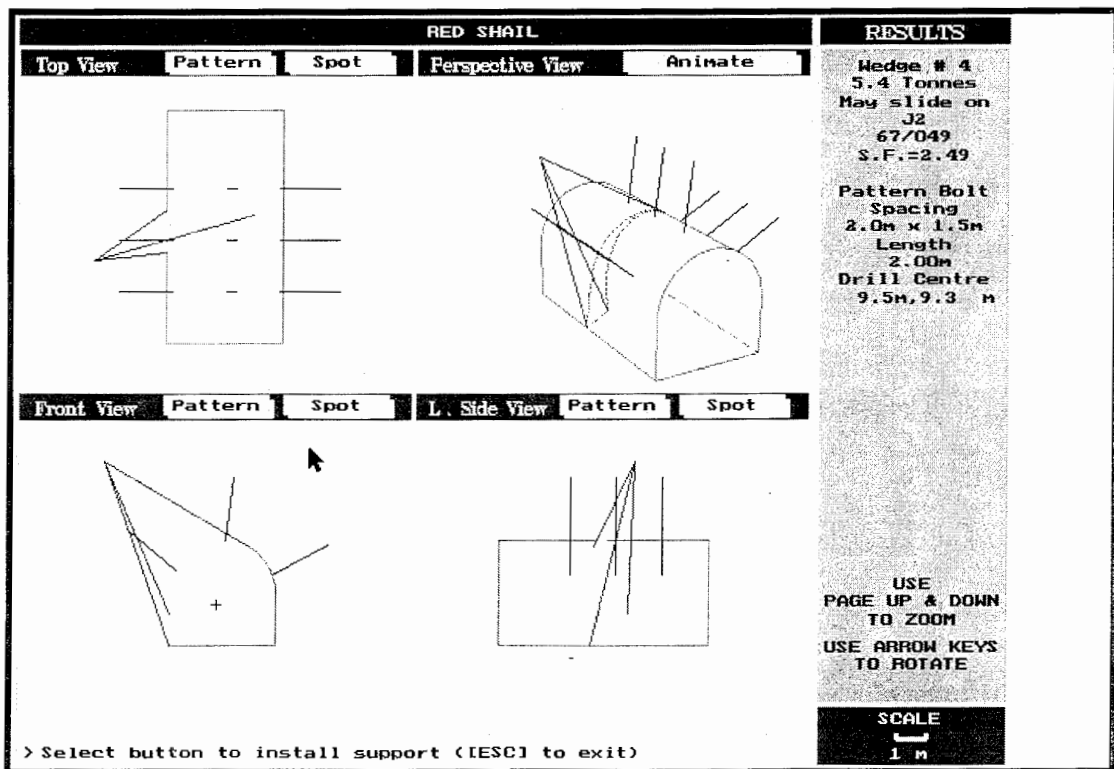
Save [ALT-S] Abort [ALT-A]

Select Units
Dips File
Input Data
Stereo Proj.
Opening Sect
View Wedges
View Ends
Change Dir
Read File
Write File
Reset
Print Cfg
Exit

شکل ۶-۶- داده های مربوط به ناپیوستگی ها در شیلها

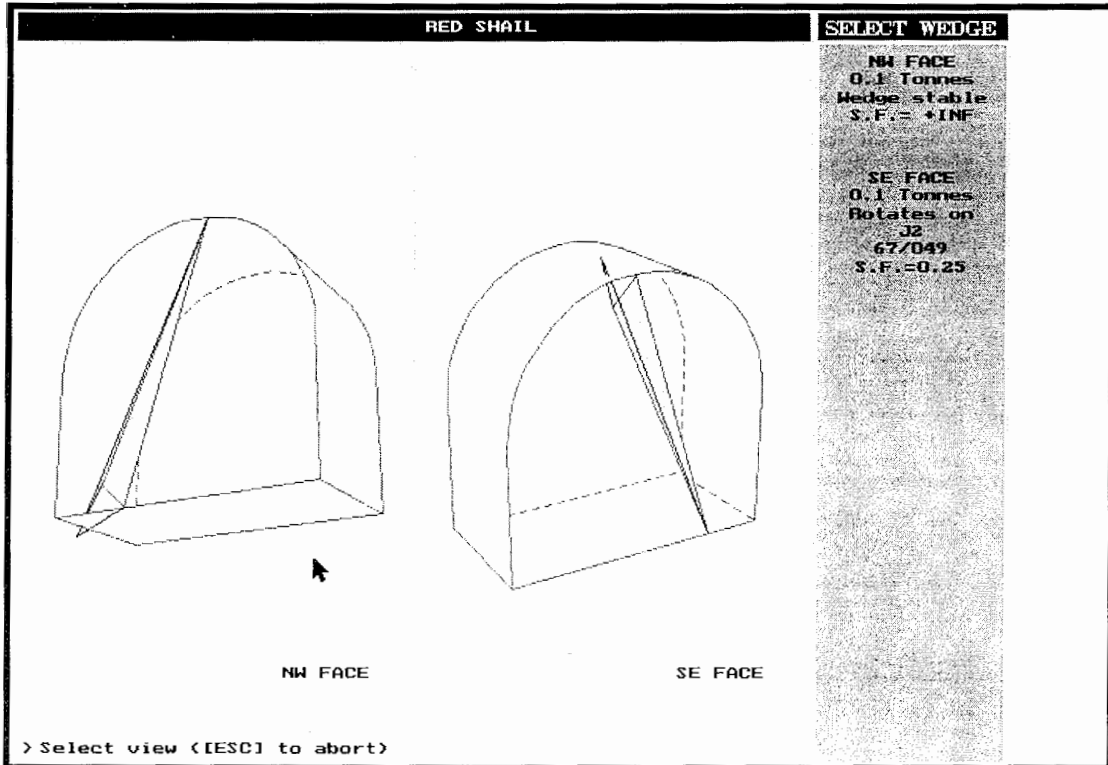


شکل ۶-۷- گوه های ایجاد شده در شیلها



شکل ۶-۸- سیستم نگهدارنده پیشنهادی در شیلها

با توجه به موقعیت دسته درزه ها و لایه بندیها در سینه کار تونل نیز گوه ای ایجاد شده که مشخصات گوه تشکیل شده در سینه کار در شکل ۶-۹ نشان داده شده است.



شکل ۶-۹- گوه های ایجاد شده در انتهای سینه کار

۶-۲-۲- طراحی سیستم نگهداری در ماسه سنگها به روش آنالیز بلوکی

در سازند لالون تونل فوق در چهار مقطع که در کوارتزیت، ماسه سنگهای قرمز، ماسه سنگهای قرمز روشن زده شده مورد بررسی قرار گرفته است. در کوارتزیت‌های خروجی گوه ای تشکیل نشده و ضریب ایمنی بسیار بالا می باشد. در ماسه سنگهای قرمز خروجی با توجه به اطلاعات شکل ۶-۱۰ تعداد گوه های ایجاد شده ۲ عدد بوده که یکی از آنها گوه ریزشی می باشد که در شکل ۶-۱۱ آورده شده است. ضریب ایمنی این گوه قبل از نصب سیستم نگهداری ۰/۲۲ است که با نصب سیستم نگهداری بولت به طول ۳ متر و فواصل ۲/۵ متر به همراه شاتکریت به ضخامت ۴ سانتیمتر ضریب ایمنی به مقدار ۲/۵ میرسد (شکل ۶-۱۲). توسط دسته درزه های موجود و لایه بندی در سینه کار تونل گوه ای ایجاد نشده است. (شکل ۶-۱۳)

LOC: 9.2228,10.346 GRID: OFF SNAP: OFF SCALE: 1 UNWEDGE 2.21

INPUT DATA

JOB TITLE : red sandstone

OPENING SECTION	Trend	Plunge
:	340	0.0035

JOINT SET	Dip	Dip Dir	Spacing (m)
joint set 1	84	330	2
joint set 2	84	169	0.5
joint set 3	69	264	0.3

ROCK UNIT WEIGHT : 2.6 tonnes/m³

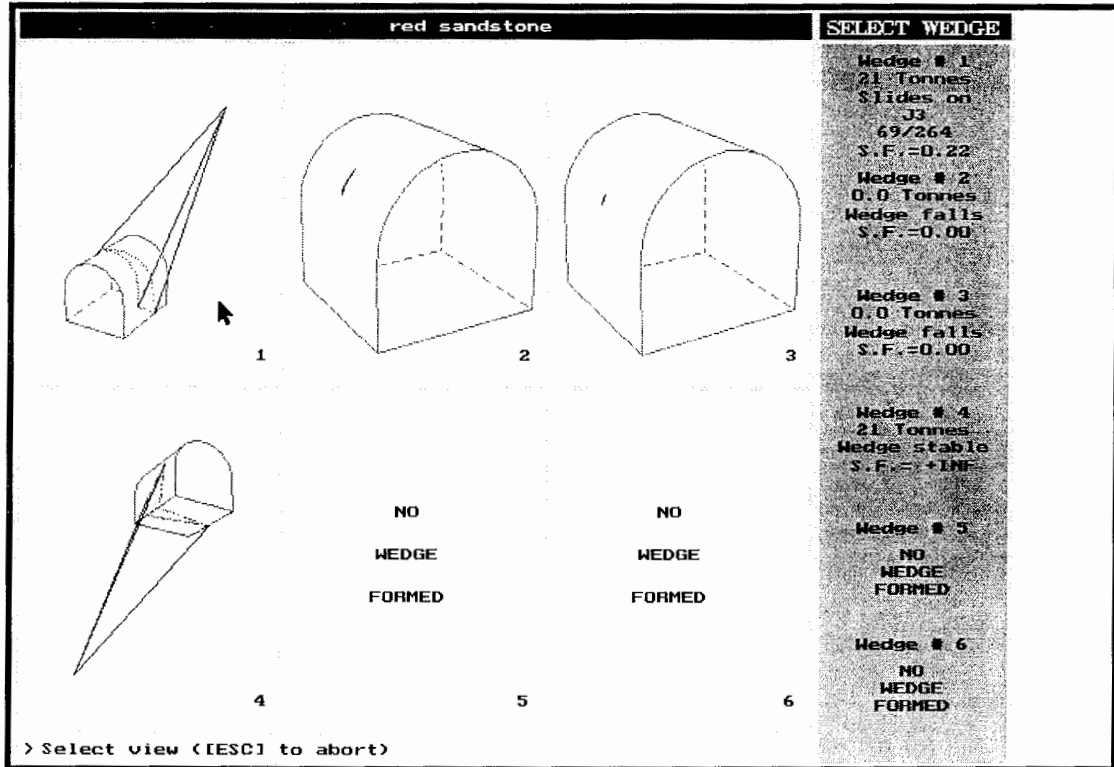
STRENGTH	c (t/m ²)	φ (°)
joint set 1	0	30
joint set 2	0	30
joint set 3	0	30

WATER PRESSURE : 0 tonnes/m²

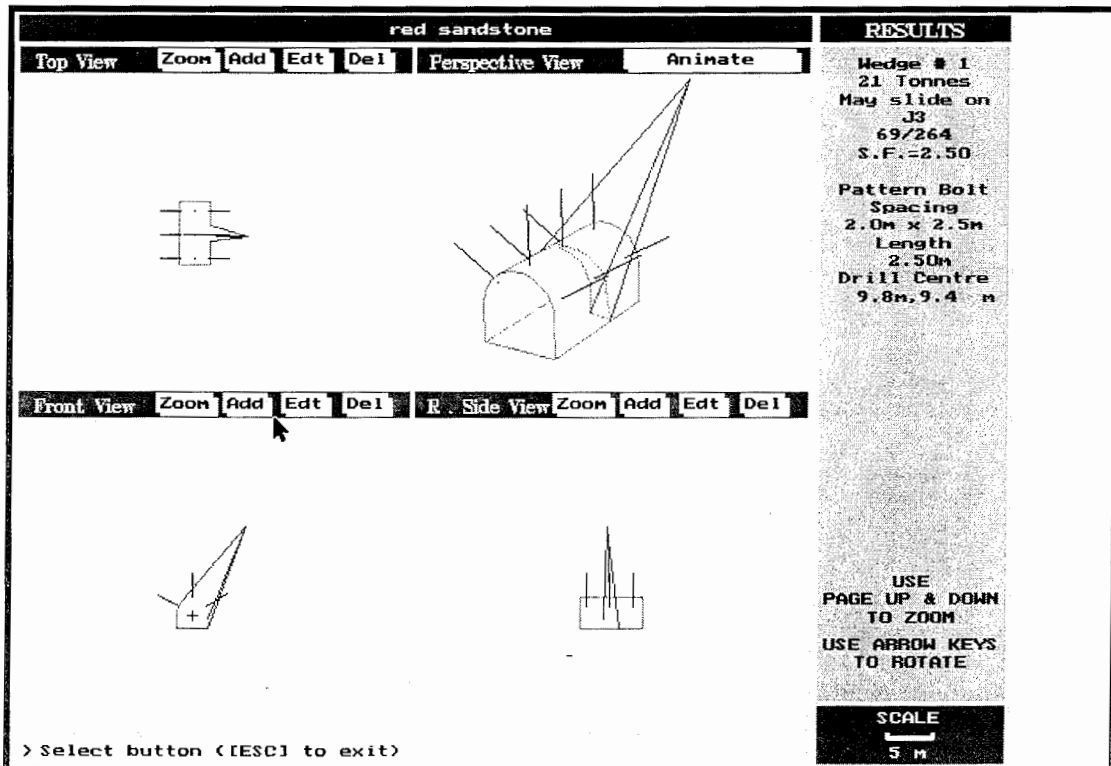
Save [ALT-S] Abort [ALT-A]

Select Units
Dips File
Input Data
Stereo Proj.
Opening Sect
View Hedges
View Ends
Change Dir
Read File
Write File
Reset
Print Cfg
Exit

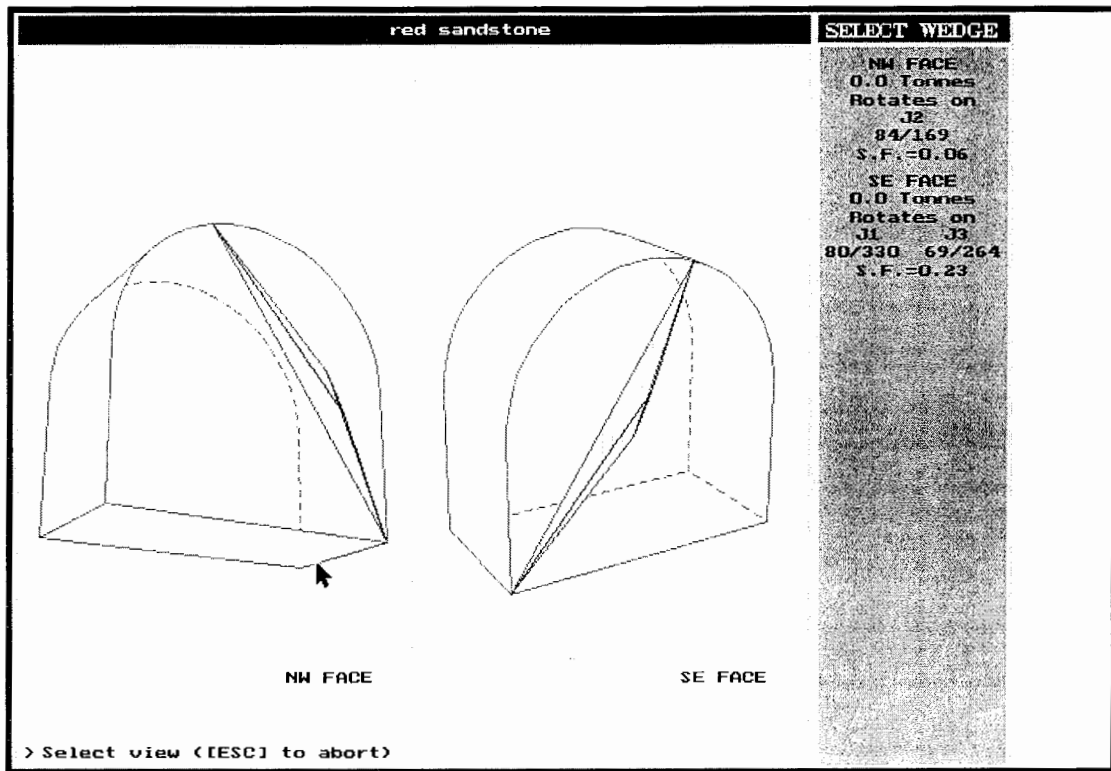
شکل ۶-۱۰- داده های مربوط به ناپیوستگی ها در ماسه سنگهای قرمز



شکل ۶-۱۱- گوه های تشکیل شده در ماسه سنگهای قرمز



شکل ۶-۱۲ سیستم نگهداری برای مهار گوه ها در ماسه سنگهای قرمز



شکل ۶-۱۳- گوه های ایجاد شده در سینه کار ماسه سنگهای قرمز

در ماسه سنگهای قرمز و سبز دو دسته درزه عمده وجود داشته که با احتساب لایه بندی ۳ دسته ناپیوستگی خواهیم داشت. با توجه به اطلاعات شکل ۶-۱۴، ۲ گوه در سقف و کف ایجاد شده که گوه شماره ۱ دارای فاکتور ایمنی بسیار بالا بوده و گوه شماره ۴ دارای فاکتور ایمنی بسیار پایین است تعداد گوه های ریزشی ایجاد شده یک عدد با ضریب ایمنی ۰،۱۷ می باشد (شکل ۶-۱۵). این گوه نیاز به نگهدارنده داشته که سیستم نگهداری طراحی شده در این مقطع برای جلوگیری از ریزش گوه مذکور بولت ۳ متری با فواصل ۲،۵ متر است و شاکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر می باشد (شکل ۶-۱۶). گوه ایجاد شده در سینه کار تونل توسط این دسته درزه ها در شکل ۶-۱۷ آمده است.

LOC: 16.072,8.6614 GRID: OFF SNAP: OFF SCALE: 1 UNWEDGE 2.21

INPUT DATA

JOB TITLE : red & green sandstone

OPENING SECTION	Trend	Plunge
	340	0.0035

JOINT SET	Dip	Dip Dir	Spacing (m)
joint set 1	80	330	2
joint set 2	74	48	0.5
joint set 3	59	66	0.3

ROCK UNIT WEIGHT : 2.6 tonnes/m³

STRENGTH	c (t/m ²)	φ (°)
joint set 1	0	30
joint set 2	0	30
joint set 3	0	30

WATER PRESSURE : 0 tonnes/m²

Save [ALT-S] Abort [ALT-A]

- Select Units
- Dips File
- Input Data
- Stereo Proj.
- Opening Sec
- View Wedges
- View Ends
- Change Dir
- Read File
- Write File
- Reset
- Print Cfg
- Exit

شکل ۶-۱۴ اطلاعات موجود در ماسه سنگهای قرمز و سبز

red & green sandstone

SELECT WEDGE

Wedge # 1
118 Tonnes
Wedge stable
S.F.= +INF

Wedge # 2
0.0 Tonnes
Rotates on
J1
80/330
S.F.=0.10

Wedge # 3
0.0 Tonnes
Wedge falls
S.F.=0.00

Wedge # 4
88 Tonnes
Slides on
J2
74/048
S.F.=0.17

Wedge # 5
NO
WEDGE
FORMED

Wedge # 6
NO
WEDGE
FORMED

> Select view (IESC) to abort)

شکل ۶-۱۵- گوه های تشکیل شده در ماسه سنگهای قرمز و سبز

red & green sandstone

Top View Pattern Spot Perspective View Animate

Front View Pattern Spot L. Side View Pattern Spot

RESULTS

Wedge # 4
88 Tonnes
May slide on
J2
74/048
S.F.=2.45

Shotcrete
Thick Sh.Str.
(cm) (t/m²)
5 200.0

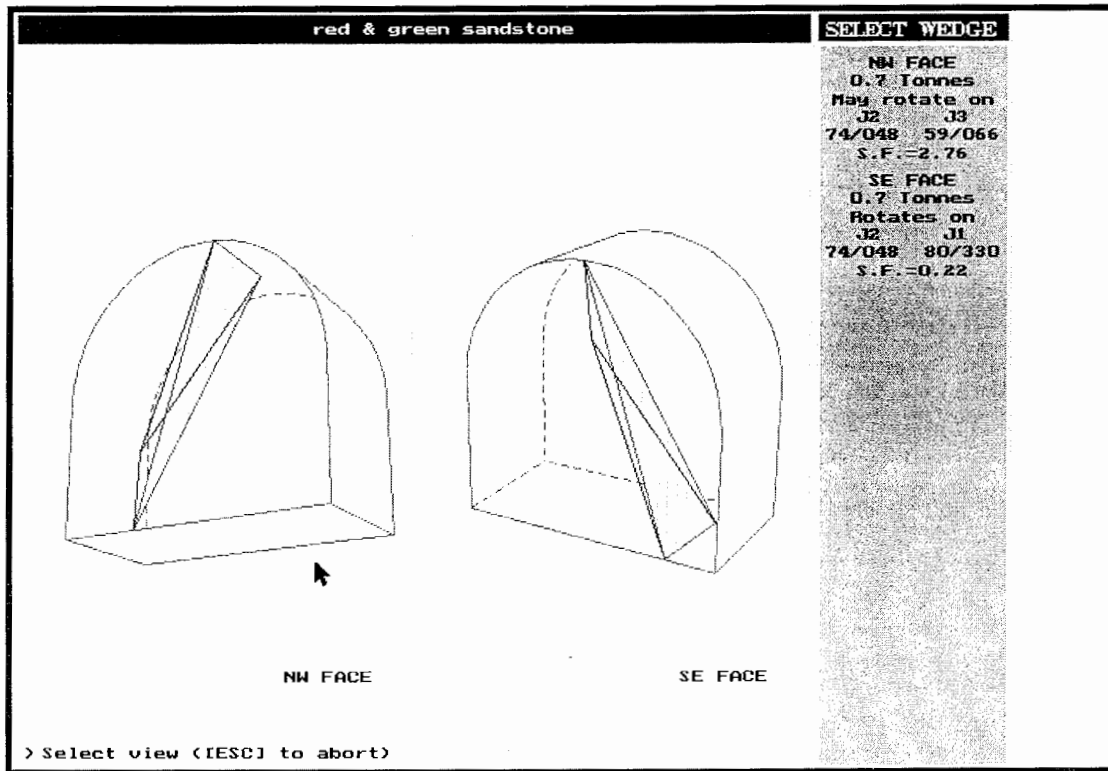
Pattern Bolt
Spacing
2.5m x 2.5m
Length
3.00m
Drill Centre
9.6m, 9.5 m

USE
PAGE UP & DOWN
TO ZOOM
USE ARROW KEYS
TO ROTATE

SCALE
2 m

> Select button to install support (IESC) to exit)

شکل ۶-۱۶- سیستم نگهداری برای مهار گوه ها در ماسه سنگهای قرمز و سبز



شکل ۶-۱۷- گوه های موجود در سینه کار، واقع در ماسه سنگهای قرمز و سبز

در ماسه سنگهای قرمز روشن نیز به دلیل عمق کم و وجود ناپیوستگی ها و لایه بندی امکان تشکیل گوه وجود دارد که بر طبق اطلاعات موجود در شکل ۶-۱۸ در این قسمت پس از آنالیز بلوکی صورت گرفته توسط نرم افزار Unwedge همانطور که در شکل ۶-۱۹ مشاهده می گردد ۲ گوه تشکیل می گردد. گوه اول دارای فاکتور ایمنی بسیار بالا و گوه دوم دارای فاکتور ایمنی ۰/۱۱ می باشد. جهت کنترل گوه های ایجاد شده نیاز به نصب سیستم نگهدارنده است که برای این منظور از سیستم نگهداری ترکیبی شامل بولت ۳ متری با فاصله داری ۲/۵ استفاده شده تا فاکتور ایمنی به میزان ۸/۶ برسد. (شکل ۶-۲۰)

LOC: 7.3329,10.739 GRID: OFF SNAP: OFF SCALE: 1 UNWEDGE 2.21

INPUT DATA

JOB TITLE : light red sandstone

Trend Plunge
 OPENING SECTION : 340 0.0035

JOINT SET	Dip	Dip Dir	Spacing
			(m)
joint set 1	80	330	2
joint set 2	79	50	0.5
joint set 3	40	77	0.3

ROCK UNIT WEIGHT : 2.6 tonnes/m3

STRENGTH	c (t/m ²)	φ (°)
	joint set 1	0
joint set 2	0	30
joint set 3	0	30

WATER PRESSURE : 0 tonnes/m²

Save [ALT-S] Abort [ALT-A]

Select Units
 Dips File
 Input Data
 Stereo Proj.
 Opening Sect
 View Wedges
 View Ends
 Change Dir
 Read File
 Write File
 Reset
 Print Cfg
 Exit

شکل ۶-۱۸ اطلاعات استفاده شده برای ماسه سنگهای قرمز روشن

red & green sandstone

SELECT WEDGE

Wedge # 1
40 Tonnes
Wedge stable
S.F. = +INF

Wedge # 2
0.0 Tonnes
Rotates on
J1
80/330
S.F. = 0.10

Wedge # 3
0.0 Tonnes
Wedge falls
S.F. = 0.00

Wedge # 4
22 Tonnes
Rotates on
J2
79/050
S.F. = 0.11

Wedge # 5
NO
WEDGE
FORMED

Wedge # 6
NO
WEDGE
FORMED

NO WEDGE FORMED NO WEDGE FORMED

WEDGE FORMED WEDGE FORMED

NO WEDGE FORMED

NO WEDGE FORMED

> Select view (ESC) to abort)

شکل ۶-۱۹- گوه های تشکیل شده در ماسه سنگهای قرمز روشن

light red sandstone

Top View Zoon Add Edt Del Perspective View Animate

Front View Zoon Add Edt Del L. Side View Zoon Add Edt Del

RESULTS

Wedge # 4
22 Tonnes
May rotate on
J2
79/050
S.F. = 8.64

Shotcrete
Thick Sh. Str.
(cm) (t/m²)
5 200.0

Pattern Bolt
Spacing
2.5m x 2.5m
Length
3.00m
Drill Centre
9.7m, 9.0 m

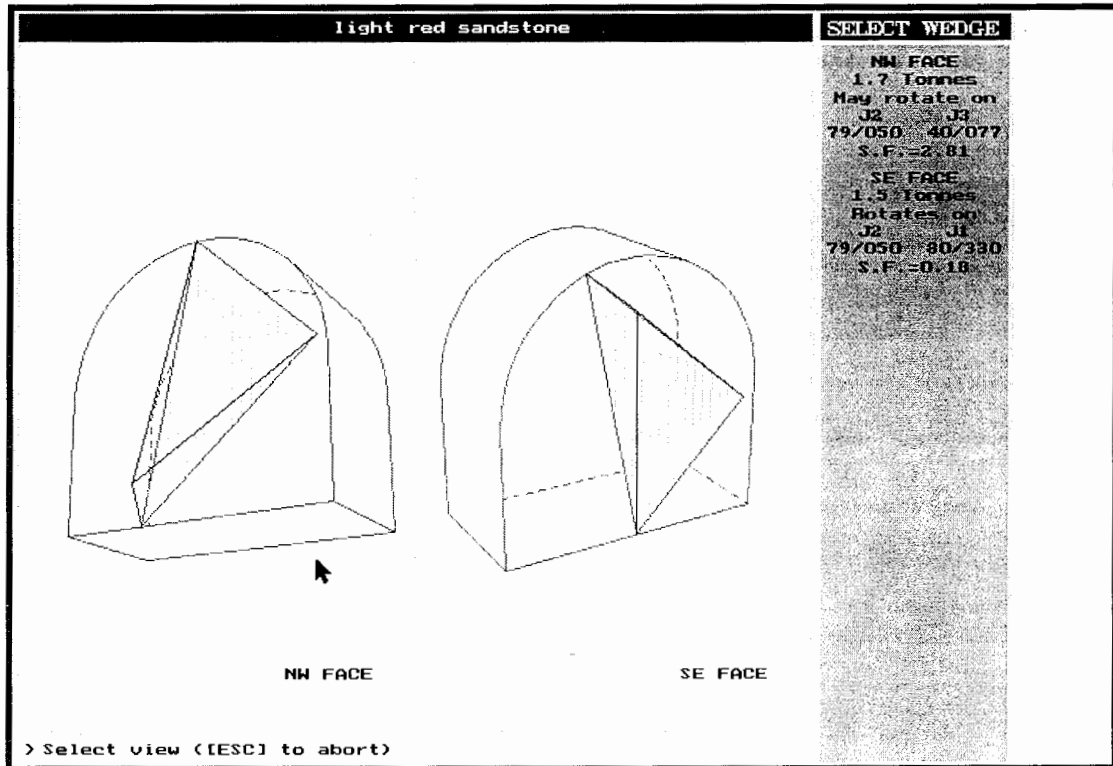
USE
PAGE UP & DOWN
TO ZOOM
USE ARROW KEYS
TO ROTATE

SCALE
2 m

> Select button (ESC) to exit)

شکل ۶-۲۰- سیستم نگهداری پیشنهادی برای مهار گوه ها در ماسه سنگهای قرمز روشن

توسط درزه های موجود در این قسمت از تونل و جهت داری لایه بندی ها در سینه کار نیز گوه ایجتد شده که وضعیت این گوه ها در شکل ۶-۲۱ آورده شده است.



شکل ۶-۲۱- گوه های ایجاد شده در سینه کار ماسه سنگهای قرمز روشن

۶-۳- بحث و نتیجه گیری

همانطور که در فصل سوم اشاره شد در صورتیکه تونل در عمق زیاد نبوده و سنگ درزه دار باشد، امکان تشکیل گوه وجود خواهد داشت. در تونل چشمه روزیه در مناطقی از تونل که از داخل سنگهای توفی، شیلها و ماسه سنگها عبور می کند امکان تشکیل گوه وجود خواهد داشت که در این مناطق آنالیز گوه ای صورت گرفته و نتیجه در جدول ۶-۱ آورده شده است.

جدول ۶-۱ - خلاصه طراحی بر اساس آنالیز بلوکی

نوع سنگ	تعداد گوه	تعداد گوه ریزشی	ضریب ایمنی قبل ازنگهداری	درزه های تشکیل دهنده بلوک	ضریب ایمنی بعد ازنگهداری	وزن بلوک ایجاد شده	نگهداری
ماسه سنگ قرمز	۲	۱	۰،۲۲	۸۰/۳۳۰ ۶۹/۲۶۴ ۸۴/۱۶۹	۲،۵	۲۱	$L_{bolt} = ۲،۵m$ $S_{bolt} = ۲m$
ماسه سنگ قرمز و سبز	۲	۱	۰،۱۷	۸۰/۳۳۰ ۷۴/۴۸ ۵۹/۶۶	۲،۴۵	۲۲	$L_{bolt} = ۲m$ $S_{bolt} = ۲،۵m$ $Sh = ۵cm$
ماسه سنگ قرمز روشن	۲	۱	۰،۱	۸۳/۳۳۰ ۷۹/۵۰ ۴۰/۱۷۷	۸،۶۴	۲۲	$L_{bolt} = ۲m$ $S_{bolt} = ۲،۵m$ $Sh = ۵cm$
شیل قرمز	۲	۱	۰،۲۵	۸۰/۳۳۰ ۶۷/۴۹ ۸۴/۱۴۱	۲،۵	۲۱	$L_{bolt} = ۲m$ $S_{bolt} = ۲*۱،۵m$
توف	۲	۱	۰،۳۲	۸۰/۳۳۰ ۵۳/۱۵۳ ۵۷/۸۷	۱۱،۵۷	۱۷	$L_{bolt} = ۲m$ $S_{bolt} = ۲m$ $Sh = ۵cm$

فصل هفتم

**طراحی سیستم نگهداری تونل انتقال آب سمنان با استفاده
از تحلیل عددی**

۷- مدل‌سازی عددی

۷-۱- مقدمه

پس از طراحی صورت گرفته به روش تجربی، نیاز به تحلیل نتایج حاصل از این طراحی‌ها می‌باشد. در مدل‌سازی عددی مقاطع مختلف تونل چشمه روزیه سمنان از آنجا که در دسته اول توده سنگ مارنی دچار ناپیوستگی نمی‌گردد، این سنگ بصورت پیوسته مدل شده و در دسته دوم که سنگهای توفی قرار دارند مدل بصورت ناپیوسته است. در دسته‌های سوم و پنجم که لایه‌های متناوب در کنار هم قرار دارند مدل‌سازی عددی می‌بایست با نرم افزار سه بعدی صورت گیرد که به دلیل عدم دسترسی به این نرم افزارها مدل‌سازی عددی در این مقاطع صورت نگرفته است. در دسته چهارم شامل سنگهای آهکی مدل بصورت ناپیوسته ساخته شده و تا سطح زمین آورده شده است. در ماسه سنگها و شیلها مدل شامل ناپیوستگی‌ها بوده و بصورت ناپیوسته مدل گردیده است.

۷-۲- تشخیص نوع محیط، توده سنگ دربرگیرنده تونل

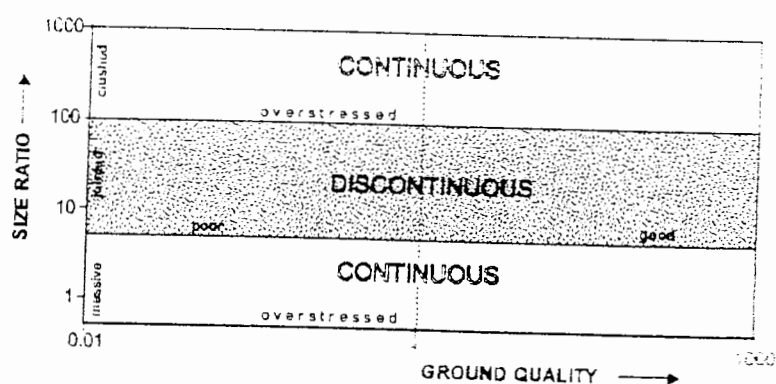
مشاهدات و پیمایشهای زمین‌شناسی صورت گرفته از توده سنگ دربرگیرنده، چه در سطح و چه در سینه کارهای حفاری شده اطلاعات بسیار خوبی از فاصله داری درزه‌ها فراهم نمود. این اطلاعات در مورد تونل چشمه روزیه جمع آوری شد تا بتوان به وسیله آن و نیز با توجه به ابعاد تونل مورد نظر محیط دربرگیرنده از جهت پیوسته و یا ناپیوسته بودن تشخیص داده شود. از میان نظرات گفته شده برای تشخیص محیط، نظریه دیر همخوانی بیشتری با پیمایشهای سطحی داشته و از جهت رابطه داشتن آن با ابعاد حفاری معقول تر و منطقی تر بنظر می‌رسد، لذا از این رابطه برای تشخیص محیط توده سنگ دربرگیرنده استفاده شده است.

در این رابطه اگر عرض حفاری ۱۷ فرض شود و فاصله داری متوسط درزه‌ها S_e فرض گردد. اگر نسبت $\frac{W}{S_e}$ بین ۵ تا ۱۰۰ در نظر گرفته شود محیط ناپیوسته و در غیر اینصورت پیوسته در نظر گرفته خواهد شد. مشخصات فاصله‌داری درزه‌ها در تونل چشمه روزیه شرح جدول ۵-۱ آمده است.

جدول ۱-۷ مشخصات فاصله‌داری درزه‌ها در تونل چشمه روریه

نوع سازند	S_c (cm)	$\frac{w}{S_c}$
آتوسن	۴۰-۷۰	۱۰-۶
باروت	۴۰-۸۰	۱۰-۵
زایگون	۴۰	۱۰
لالون	۸۰-۵۰	۵-۸

رنج داده‌های مشاهده شده در جدول، در شکل ۱-۷ آمده است.



شکل ۱-۷- دامنه نسبت شاخص ناپیوستگی در تونل

همانطور که در جدول ۱-۷ و شکل ۱-۷ مشاهده می‌گردد تمامی مقادیر $\frac{W}{S_c}$ در رنج محیط ناپیوسته قرار دارد در نهایت می‌توان محیط دربرگیرنده را طبق نظریه دیر محیطی ناپیوسته در نظر گرفت. اما توده سنگهای مارنی براساس شرایط کانی شناسی دارای خصوصیات شبه پلاستیک می‌باشند. این نوع سنگها بر اساس همین خصوصیات شبه پلاستیکی، اگر چه دارای درزه بوده، ولی آزاد سازی تنش ناشی از حفر فضا در سنگ می‌تواند باعث تغییر شکل پلاستیک شده و درزه‌ها موجود در سنگها بسته گردند. لذا می‌توان این سنگها با وجود درزه‌های موجود بصورت پیوسته مدل کرد.

۳-۷- مدل‌سازی عددی تونل چشمه روزیه

برای مدل‌سازی عددی، مقاطع مختلفی از تونل با توجه به نوع تنوع سنگی موجود در مقطع و حداکثر ارتفاع روباره انتخاب شده است که این مقاطع به دو قسمت تفکیک گردیده‌اند. دسته اول شامل سنگ‌های ورودی تونل از سازند ائوسن شامل توده سنگ‌های مارنی بوده که بنا به خصوصیات آنها از جمله همگنی و مقاومت بسیار پایین و عدم تاثیر ناپیوستگی‌ها در آنها که به این سنگ‌ها خاصیت شبه پلاستیکی می‌دهد به صورت پیوسته مدل شده‌اند. دسته دوم شامل ماسه سنگ‌های خروجی تونل شیلها و آهک‌های سازند باروت و توفهای ورودی تونل است که به علت درزه داری به صورت ناپیوسته مدل گردیده‌اند.

۳-۷-۱- اطلاعات ورودی

از آنجا که برای مدل‌سازی عددی تونل از نرم افزار Udec استفاده گردیده است، داده‌های ورودی به صورت فایل متنی با پسوند DAT آماده شده که نمونه‌ای از آنها در پیوست ۵ آورده شده است. برای مدل‌سازی ماسه سنگ‌ها، شیلها، آهک‌ها، مدل مورد استفاده تا سطح ساخته شده و خاصیت درزه داری آنها پس از برداشت‌های زمین‌شناسی محاسبه و در مدل استفاده گردیده است. از جمله اطلاعات مورد نیاز در مدل‌سازی درزه‌های موجود در توده سنگ سختی نرمال درزه‌ها (jkn) و سختی برشی درزه (jks) است که برای بدست آوردن مقادیر jkn, jks درزه‌های موجود، از رابطه (۱) استفاده گردیده است [۱۱].

$$jkn = \frac{E_r \cdot E_m}{S_c (E_r + E_m)} \quad jks = 0.1 Jk_n \quad (1)$$

در این رابطه:

jkn = سختی نرمال درزه

jks = سختی برشی درزه

E_r = مدول تغییرشکل پذیری سنگ

E_m = مدول تغییر شکل پذیری توده‌سنگ

فاصله‌داری درزه‌ها = S_c

است. سایر داده‌های موردنیاز برای مدلسازی پارامترهای سنگ مورد نظر در مقطع بوده که از جمله پارامترهای سنگی می‌توان به مدول یانگ، ارتفاع روباره، ضریب پواسون، زاویه شکست، چسبندگی ماده سنگ اشاره کرد. خصوصیات سنگ‌های مختلف موجود در تونل در جدول ۷-۲ آورده شده است.

جدول ۷-۲- خصوصیات سنگ‌های مختلف موجود در تونل

سنگ	E_m (GPa)	E_r (GPa)	φ (°)	روباره (متر)
ماسه سنگ متوسط	۱۶/۵	۱۸	۵۵	۱۸۰
ماسه سنگ ضعیف	۷/۸۵	۹/۷۵	۴۸	۲۰۰
شیل متوسط	۵/۷	۷/۶	۴۰	۲۵۰
شیل ضعیف	۳	۴/۸	۴۳	۱۰۰
آهک	۱۱	۱۸	۵۱	۶۲۰
توف	۹/۵	۱۳/۵	۴۹	۱۸۰
مارل استون	۷/۶	۱۲	۴۵	۲۰۰

۷-۴- تحلیل عددی

در مدلسازی مقاطع موجود در سنگ‌های مارنی با توجه به ابعاد تونل که ۴ متر می‌باشد بلوک 30×30 انتخاب شده است. حداکثر روباره در مارن‌ها ۹۰ متر بوده و مازاد روباره به صورت تنش عمودی در بالای مدل عددی وارد شده است. بطور کلی در چنین سنگپایی (مارن‌ها) بدلیل عدم چسبندگی بین شاتکریت و سنگ، شاتکریت نقش نگهداری غیر فعال^۱ دارد [۱۹].

تنش‌های اولیه در مدل به صورت ثقلی با نسبت تنش افقی به قائم $\frac{1}{3}$ در نظر گرفته شده است. در توف‌ها، ماسه سنگ‌ها شیل‌ها و آهک‌ها مدل‌ها طوری ساخته شده که تا سطح زمین رسیده و ارتفاع مدل به اندازه ضخامت روباره می‌باشد. در این مدل‌ها کلیه دسته درزه‌ها و ناپیوستگی‌ها آورده شده است.

^۱ passive

پس از حفر تونل در سنگ ضریب ایمنی توده سنگ اطراف تونل محاسبه شده و مقدار جابجایی‌ها اندازه‌گیری می‌شود. و در صورت نیاز در این قسمت مقاطع مختلف به صورت مجزا تحلیل شده و جهت نگهداری توده‌سنگ از شاتکریت و بولت‌های دوغابی استفاده گردیده است. مشخصات بولت‌های دوغابی و شاتکریت در جدول ۷-۳ و ۷-۴ آورده شده است. یکی از ویژگی‌های شاخص نرم افزار UDEC در مدل‌سازی شاتکریت این است که امکان اعمال شرایط مختلف بین سنگ و شاتکریت پیش بینی شده است. این مقادیر در جدول ۷-۵ آورده شده است [۱۹].

جدول ۷-۳ - مشخصات بولت دوغابی [۲]

دانسیته فولاد kg/m^3	سطح مقطع فولاد (cm^2)	مدول یانگ $E (GPa)$	بار نهایی تسلیم فولاد (KN)	مقاومت برشی دوغاب (kN/m)
۷۸۵۰	۴/۹۱	۲۰۰	۱۸۰	۴۰

جدول ۷-۴ - مشخصات مکانیکی شاتکریت [۲]

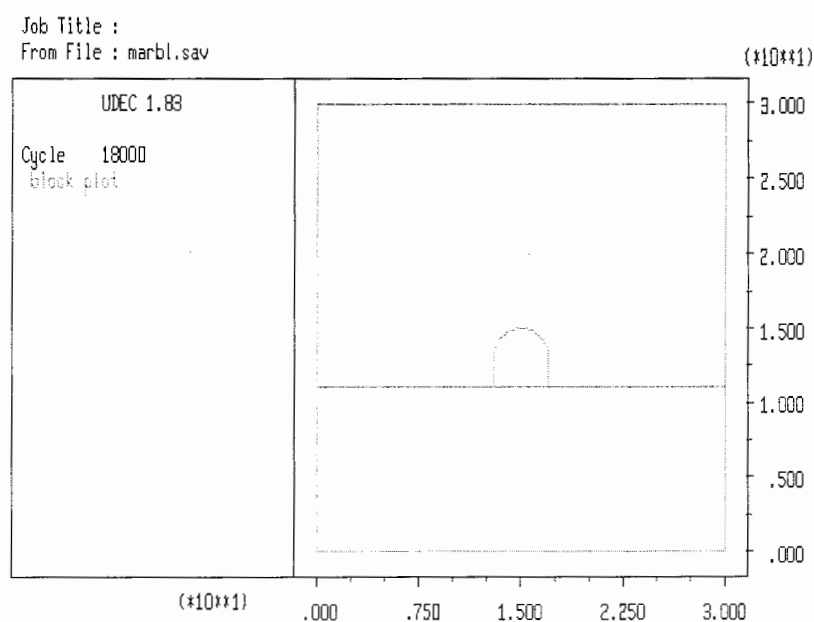
دانسیته kg/m^3	مدول حجمی (GPa)	مدول برشی (GPa)	تنش برشی مجاز (MPa)
۲۳۰۰	۱۱/۱۱	۸/۳۳	۴

جدول ۷-۵ - پارامترهای کنتاکت سنگ و شاتکریت [۲]

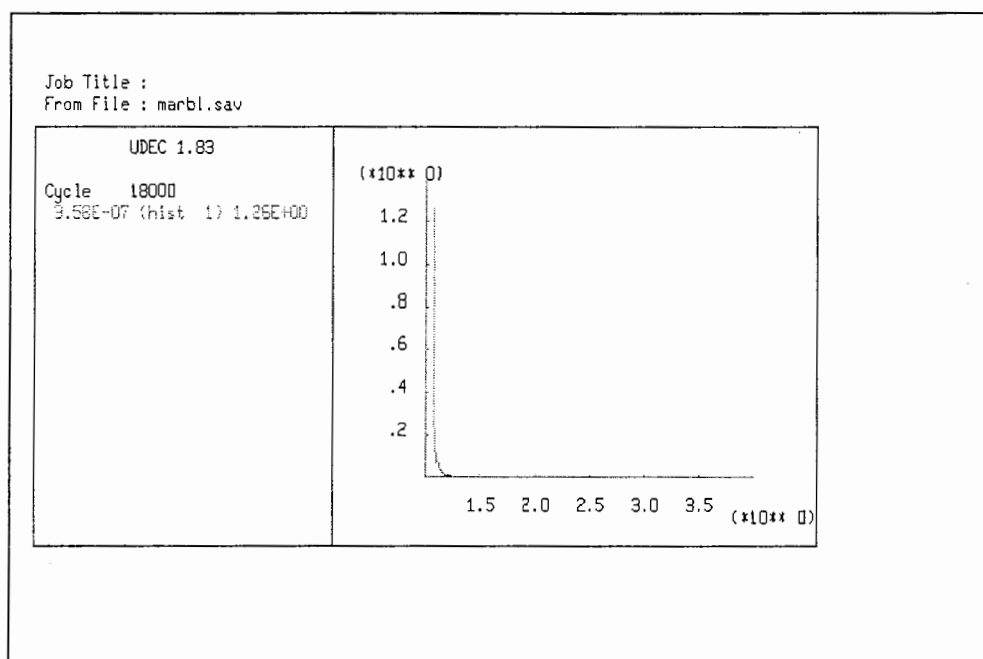
چسبندگی	زاویه اصطکاک	KS $\left(\frac{MN}{m}\right)$ (سختی برشی)	KN $\left(\frac{MN}{m}\right)$ (سختی نرمال)
۰	۲۴/۶	۱۰۰	۸۴۰

۷-۴-۱- مارن‌های ورودی

مدل ساخته شده برای مقطع عبور کرده از مارن‌ها توسط نرم افزار UDEC بلوکی به ابعاد 30×30 بوده که تونل با مقطع نعل اسبی به ارتفاع و عرض ۴ متر در آن حفر شده است. در شکل ۷-۲ بلوک مورد نظر آمده است. بر طبق مراحل مدل‌سازی ذکر شده شرایط مرزی اعمال گردیده و مدل موردنظر از دو طرف در جهت X, Y بسته شده و سپس مازاد روباره به صورت تنش ثقلی اعمال شد. نسبت $k = \frac{1}{3}$ در نظر گرفته شده و پس از اعمال شرایط مرزی و حفر تونل، جابجایی‌ها صفر گردیده و تکرار تا رسیدن به مدل حالت همگرایی ادامه یافته که نمودار همگرایی در شکل ۷-۳ آمده است.



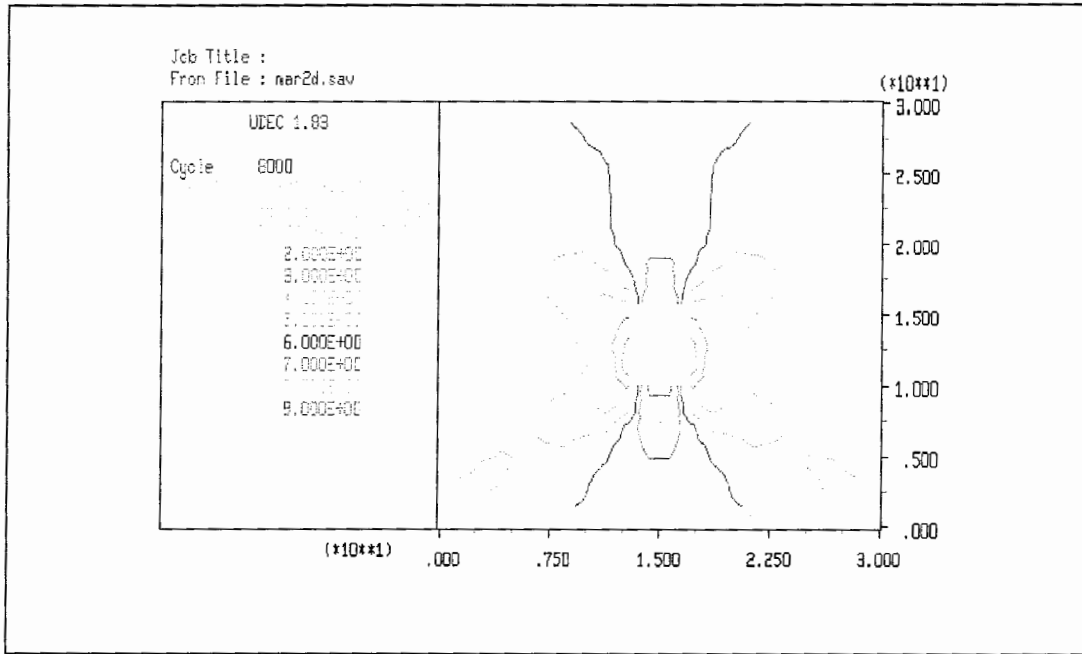
شکل ۷-۲- شکل بلوک در توده سنگهای مارنی



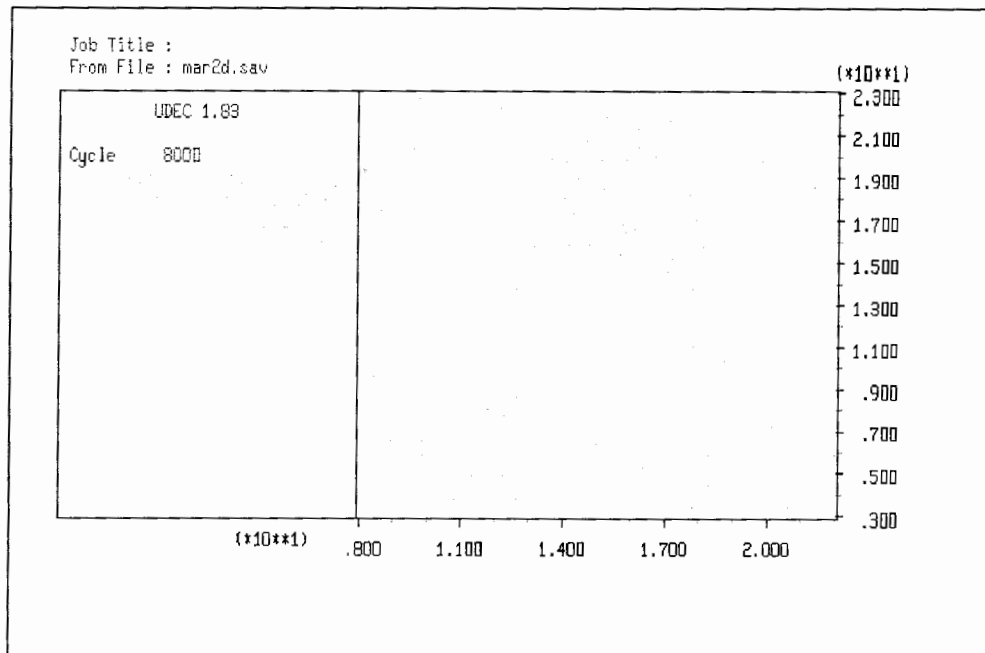
شکل ۷-۳- نمودار همگرایی در توده سنگهای مارنی

پس از حفر تونل ضریب ایمنی برای توده سنگ اطراف تونل رسم گردیده که مقادیر ضریب ایمنی در اطراف تونل کمتر از ۲ بوده که این مقادیر در شکل ۷-۴ مشاهده میگردد.

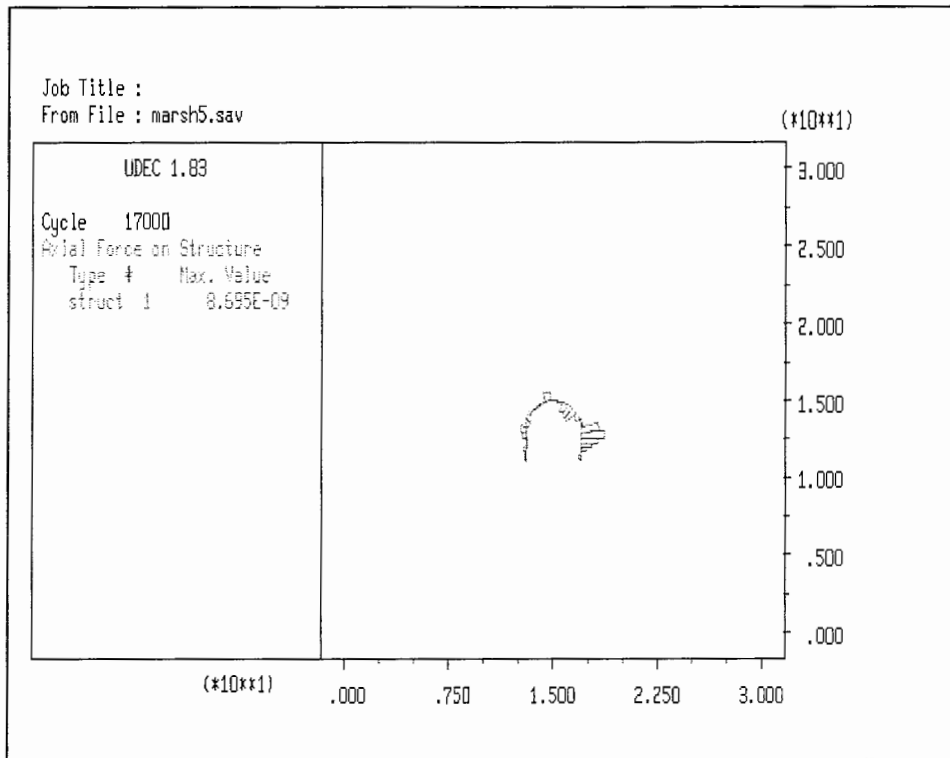
نمودار ماکزیمم جابجایی تونل رسم گردیده که برابر $1/7$ میلیمتر می باشد (شکل ۷-۵). از آنجا که میزان جابجایی در دیواره و سقف تونل کم بوده و ضریب ایمنی بین ۲-۱ می باشد، برای بالا بردن فاکتور ایمنی از سیستم نگهداری استفاده شده است. برای این منظور شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر مدل گردیده که نیروی محوری ولنگر خمشی وارده بر شاتکریت بترتیب در شکلهای ۷-۶ و ۷-۷ آمده است. ماکزیمم نیروی محوری در شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر برابر $10^6 * 8$ کیلو نیوتن و ماکزیمم ولنگر خمشی بر پوسته شاتکریت برابر $10^6 * 2.5$ کیلو نیوتن می باشد. ضریب ایمنی در کشش و خمش برای شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر بسیار بالا خواهد بود. از آنجا که مارنها خاصیت تورم پذیری بالایی در اثر جذب آب دارند، استفاده از بولت برای حفظ شاتکریت اجتناب ناپذیر است. بر همین اساس بولت های ۳ متری با فاصله داری $2/5 \times 2/5$ متر مدل گردید.



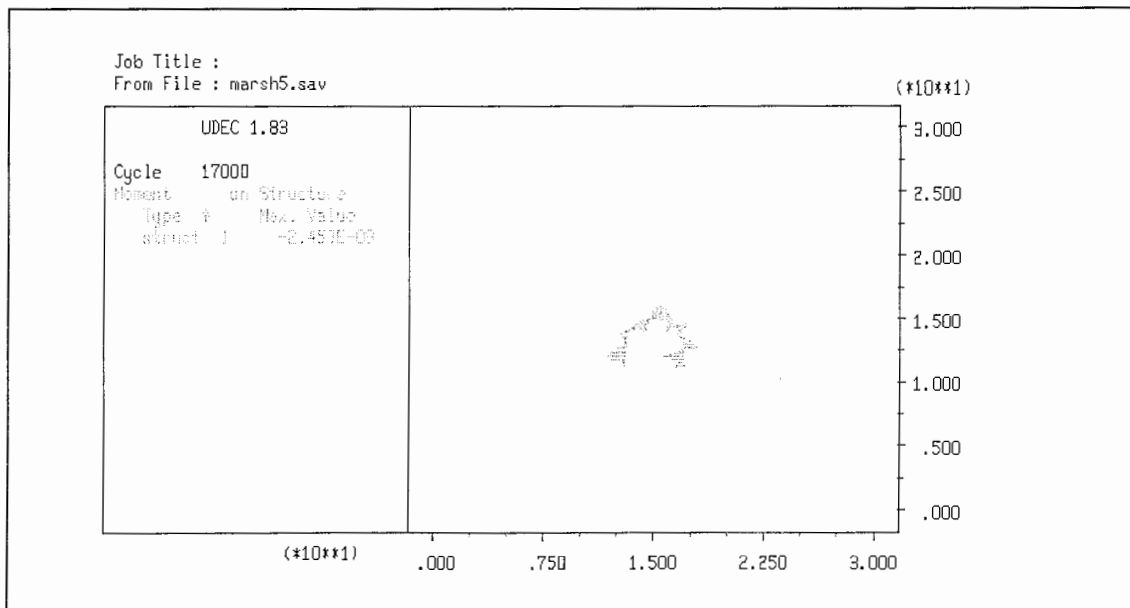
شکل ۷-۴- مقادیر ضریب ایمنی پس از حفر تونل درمانها



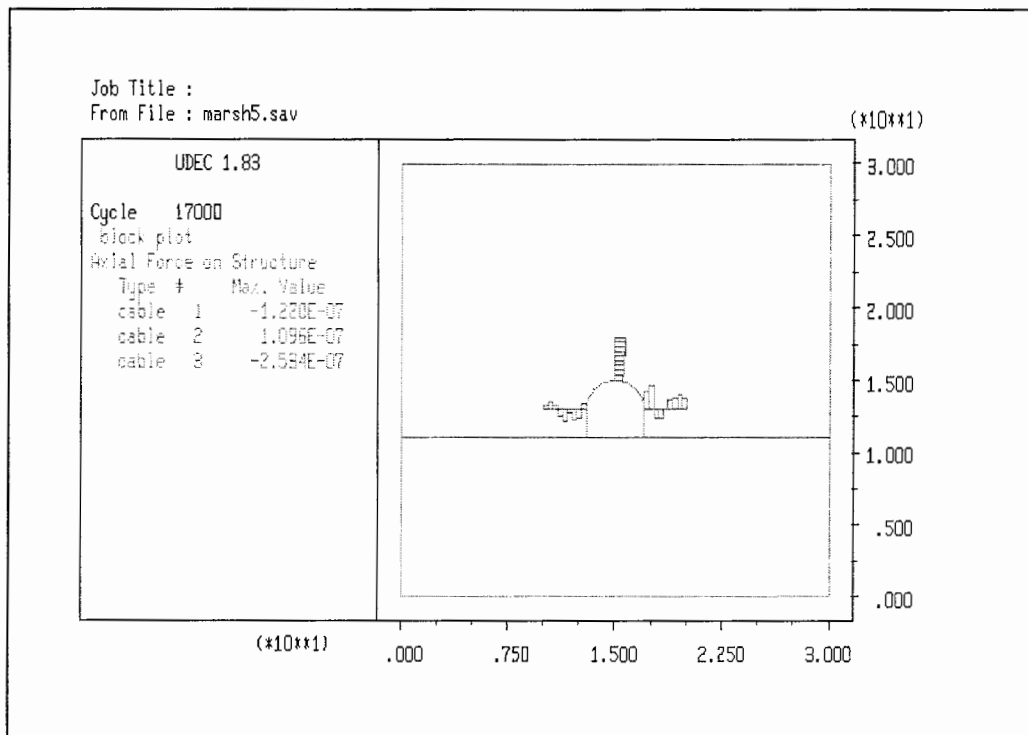
شکل ۷-۵- ماکزیمم جابجایی پس از حفر تونل درمانها



شکل ۷-۶- ماکزیمم نیروی محوری در شاتکریت

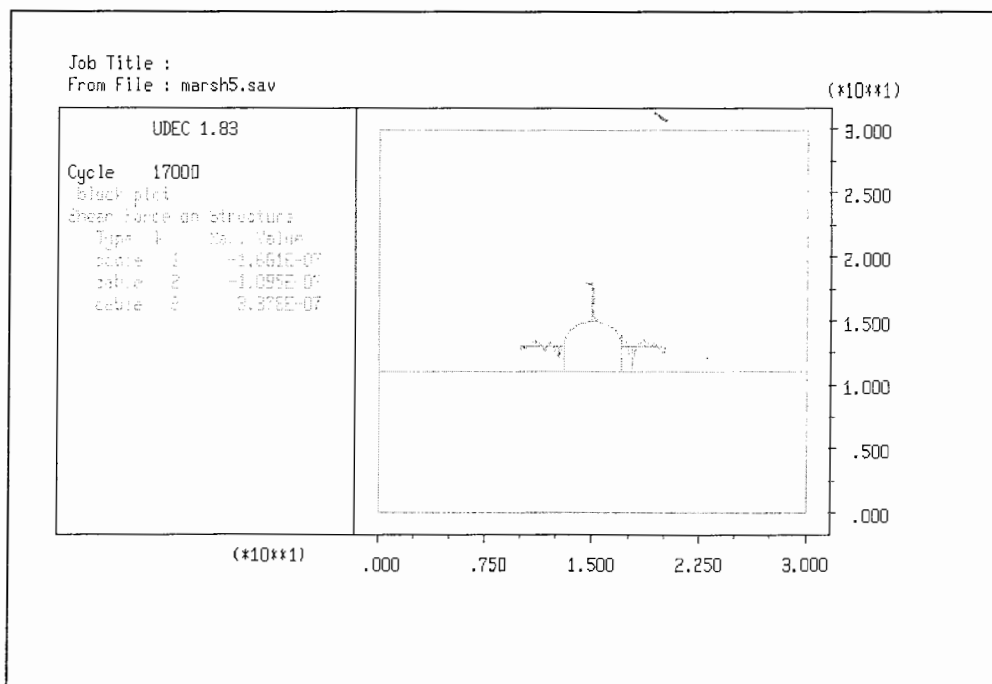


شکل ۷-۷- ماکزیمم لنگر خمشی در شاتکریت



شکل ۷-۸- ماکزیمم نیروی محوری در بولت

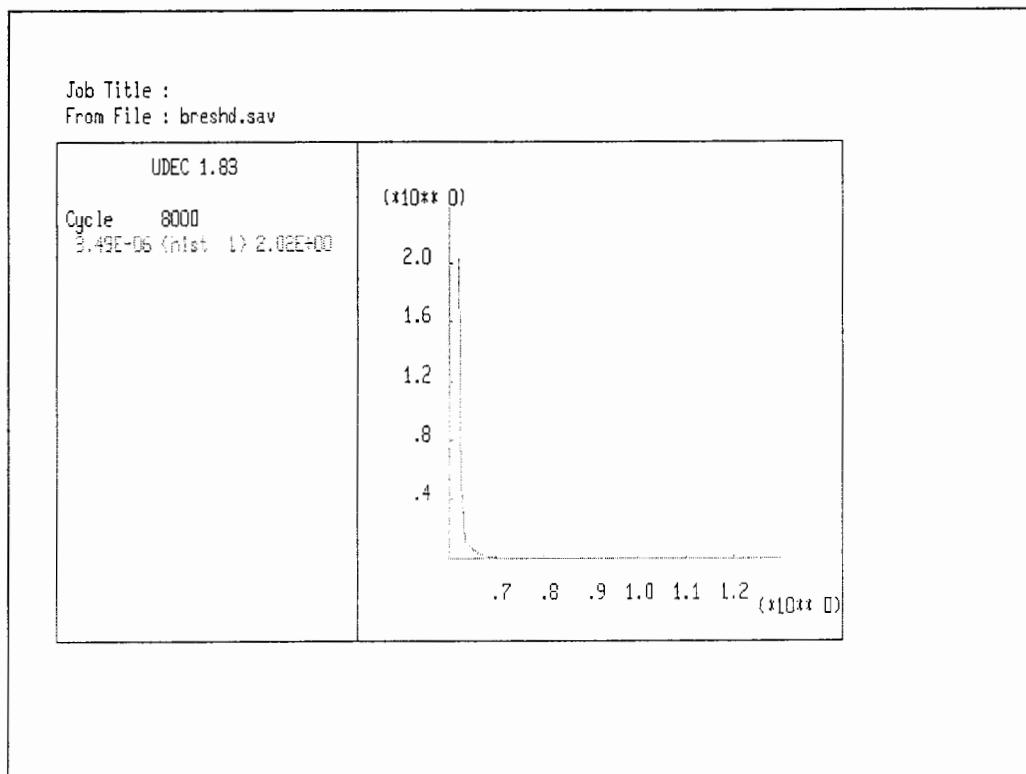
ماکزیمم نیروی محوری در آن طبق شکل ۷-۸ برابر 2.5×10^{-4} کیلو نیوتن و ماکزیمم نیروی برشی در آن طبق شکل ۷-۹ برابر 3.4×10^{-4} کیلو نیوتن می باشد.



شکل ۷-۹- ماکزیمم نیروی برشی در بولت

۷-۴-۲- توفهای ائوسن

در این مقطع نیز تونل به قطر ۴ متر با مقطع نعل اسبی در بلوک ۱۸۰×۳۰ مدل شده است. مقدار روباره ۱۷۰ متر در نظر گرفته شده است. پس از اعمال شرایط مرزی تونل در داخل توده سنگ حفر گردیده که تکرار تا رسیدن شرایط همگرایی صورت گرفته است نمودار نیروهای نا متعادل کننده در شکل ۷-۱۰ آمده شده است. پس از حفر ضریب ایمنی توده سنگ اطراف تونل محاسبه گردیده که در اطراف تونل مقدار آن پایین تر از یک است. (شکل ۷-۱۱)

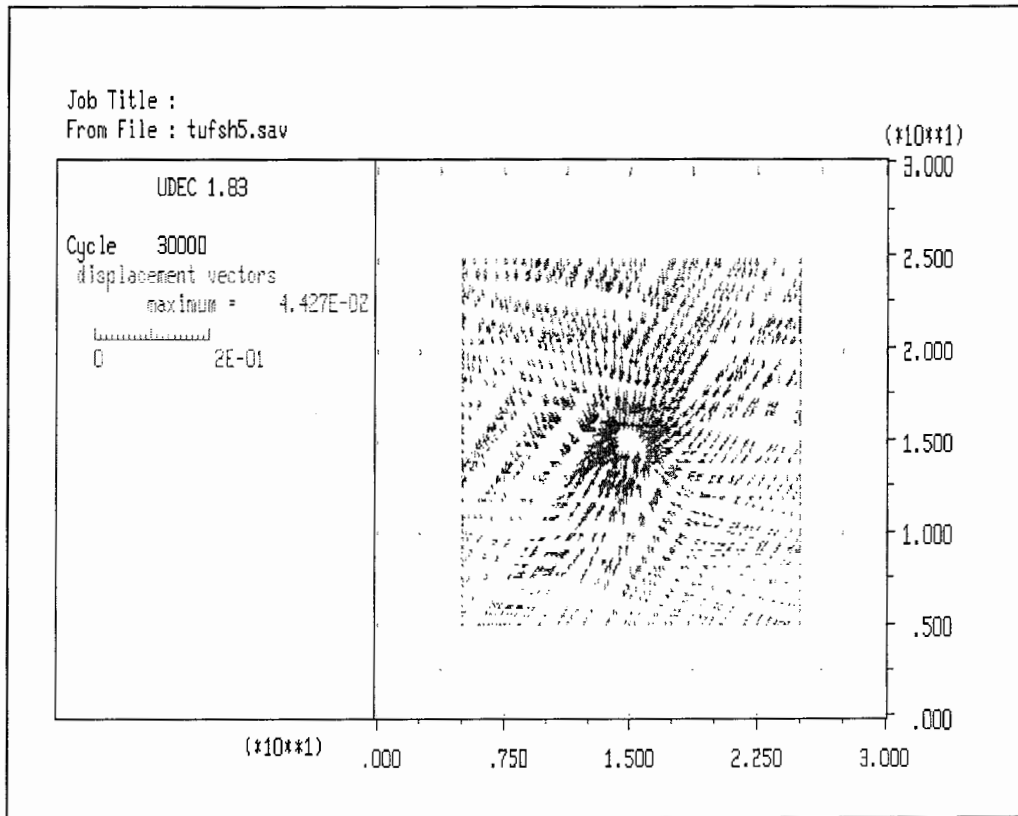


شکل ۷-۱۰- نمودار همگرایی در توفها

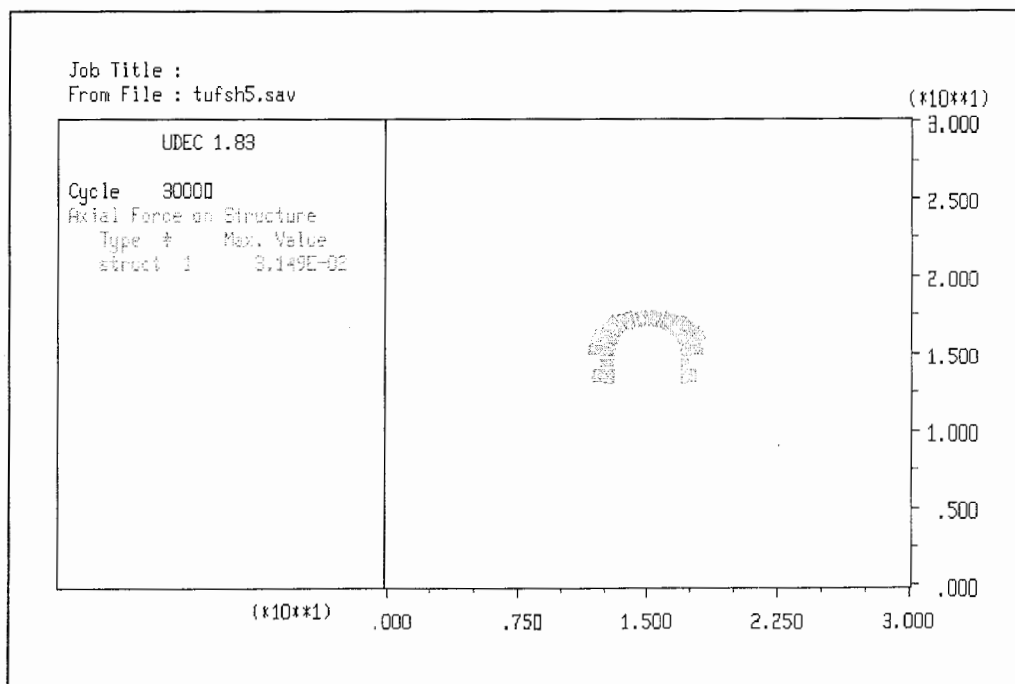


شکل ۷-۱۱- مقادیر ضریب ایمنی پس از حفر تونل در توفها

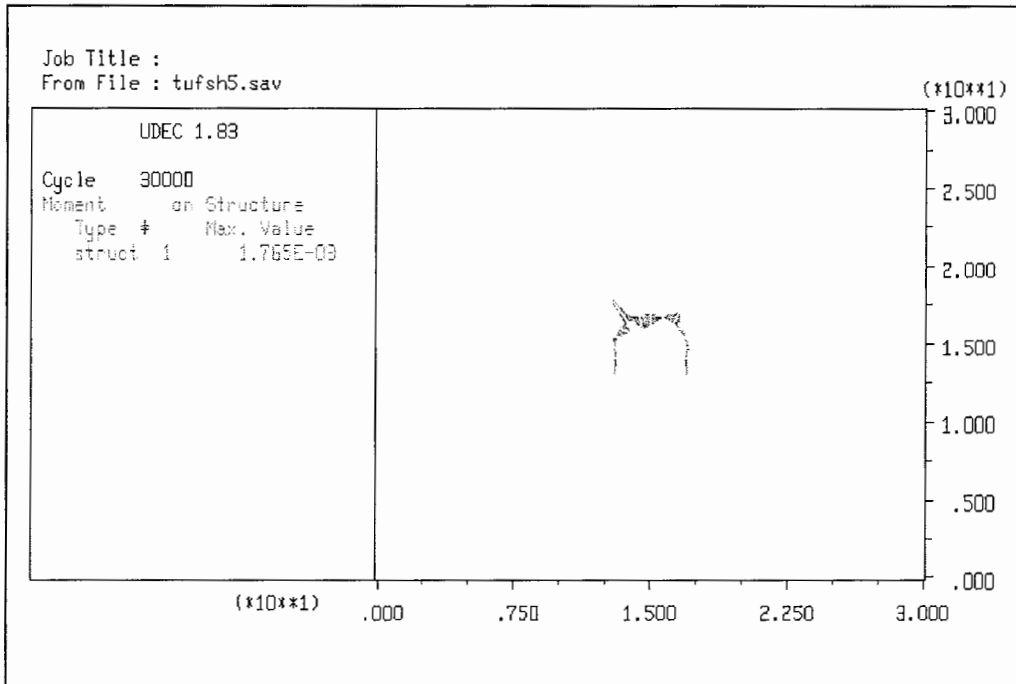
بر اساس مدل حل شده توسط نرم افزار UDEC مقدار جابجایی در سقف تونل برابر ۴۴ میلی‌متر بوده که میزان ماکزیمم جابجایی در شکل ۷-۱۲ آمده است. برای بالا بردن فاکتور ایمنی از سیستم نگهداری استفاده شده است. برای این منظور شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر مدل گردیده که نیروی محوری و لنگر خمشی وارده بر شاتکریت بترتیب در شکل‌های ۷-۱۷ و ۷-۱۸ آمده است. ماکزیمم نیروی محوری در شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر برابر $31/5$ کیلو نیوتن و ماکزیمم لنگر خمشی بر پوسته شاتکریت برابر $1/76$ کیلو نیوتن می باشد. ضریب ایمنی در کشش و خمش برای شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر $4/1$ خواهد بود. برای چسباندن شاتکریت به سنگ در توفهای ولکانیکی از بولت های ۳ متری با فاصله داری $2/5 \times 2/5$ استفاده گردیده است. ماکزیمم نیروی محوری در آن طبق شکل ۷-۱۵ برابر $1/6$ کیلو نیوتن و ماکزیمم نیروی برشی در آن طبق شکل ۷-۱۶ برابر $1/6$ می باشد.



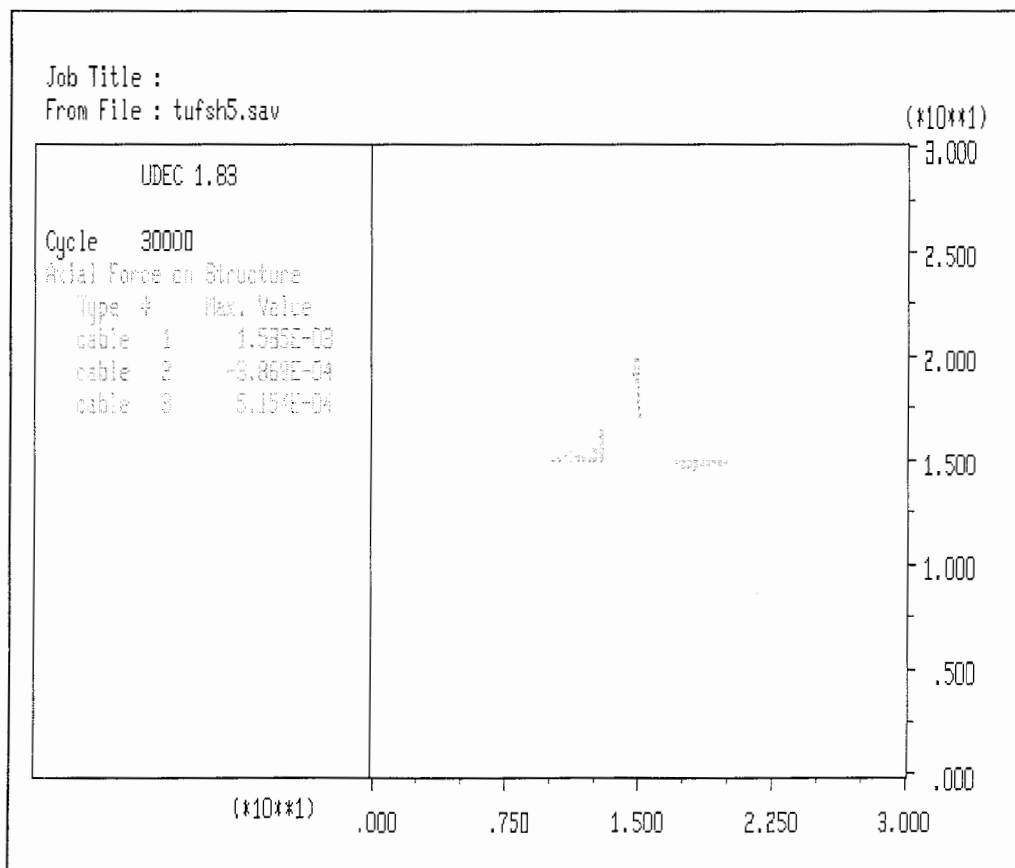
شکل ۷-۱۲- ماکزیمم جابجایی پس از حفر تونل در توفها



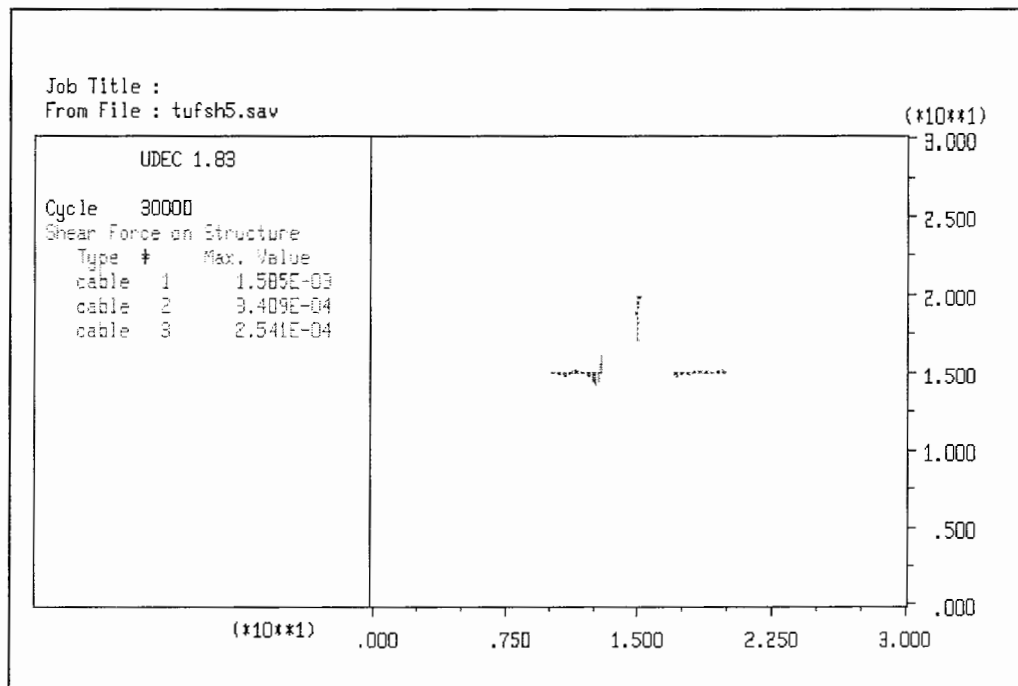
شکل ۷-۱۳- ماکزیمم نیروی محوری در شاکریت در توفها



شکل ۷-۱۴- ماکزیمم لنگر خمشی در شاتکریت در سنگ های توفی



شکل ۷-۱۵- ماکزیمم نیروی محوری در بولتهای سنگ توف

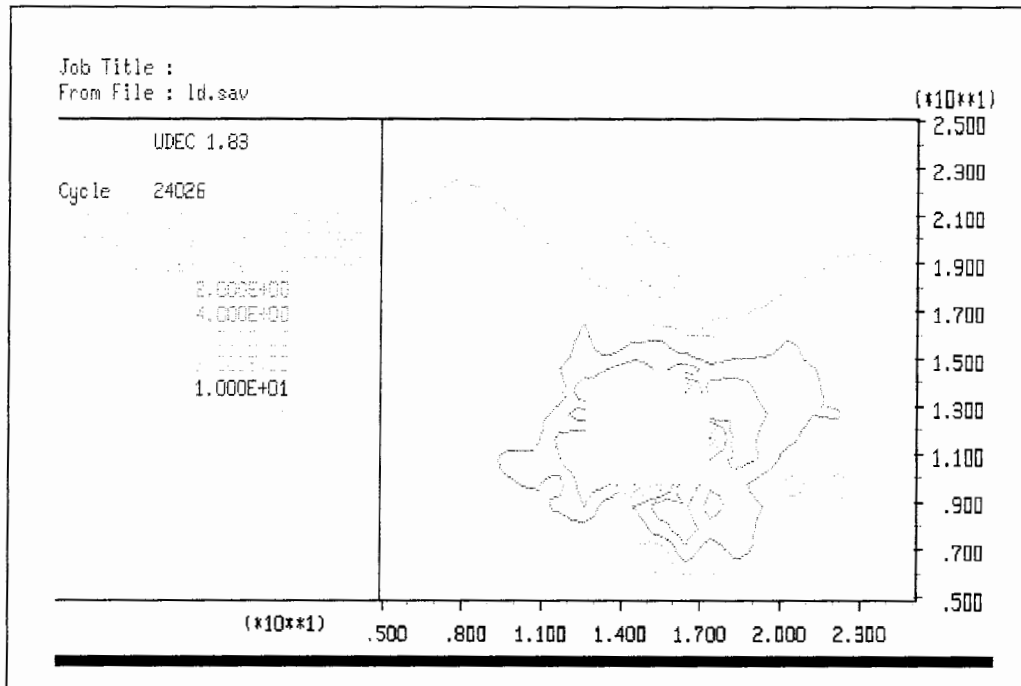


شکل ۷-۱۶ - ماکزیمم نیروی یرشی در بولتهای سنگ توف

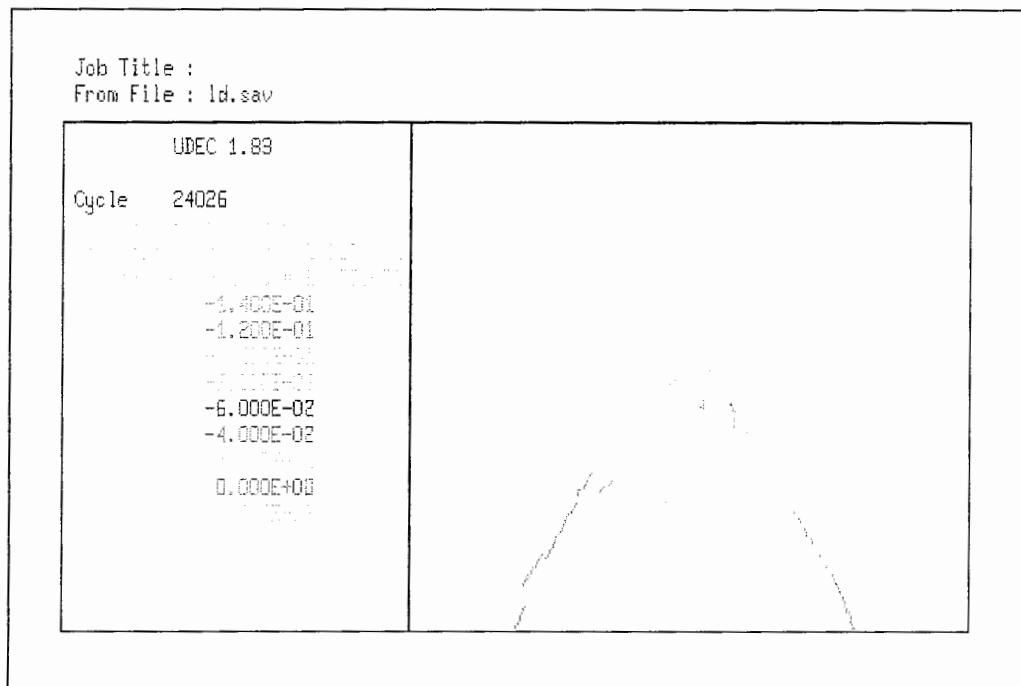
۷-۴-۳- مناطق آهکی

لایه آهکی در سازند باروت از کیلومتر ۱۳۰+۱ تا ۱۲۰+۲ به صورت متناوب وجود دارد. برای مدل‌سازی مقطع دو بعدی تونل در لایه های آهکی، بیشترین روباره به ضخامت ۶۲۰ متر در کیلومتر ۳۸۰+۱ می باشد در نظر گرفته شد. در این لایه ها به علت وجود دسته درزه‌های مختلف با فاصله درزه ۱-۰،۷ متر و با توجه به ابعاد تونل، بصورت ناپیوسته مدل‌سازی انجام شده است. پس از حفر تونل فاکتور ایمنی در توده‌سنگ اطراف تونل اندازه‌گیری شد که کمتر از یک بوده و نیاز به نصب سیستم نگهداری مطمئن داشت.

میزان فاکتور ایمنی توده سنگ اطراف تونل در شکل ۷-۱۷ آورده شده است میزان جابجایی اطراف تونل نیز ماکزیمم ۱۴۰ میلی‌متر بوده که موید لزوم نصب سیستم نگهداری است. نمودار جابجایی در سقف تونل در شکل ۷-۱۸ آمده است. سیستم نگهداری طراحی شده برای این مناطق عبارت از شاکریت به همراه بولت می باشد.



شکل ۷-۱۷- مقادیر ضریب ایمنی پس از حفر تونل در سنگهای آهکی

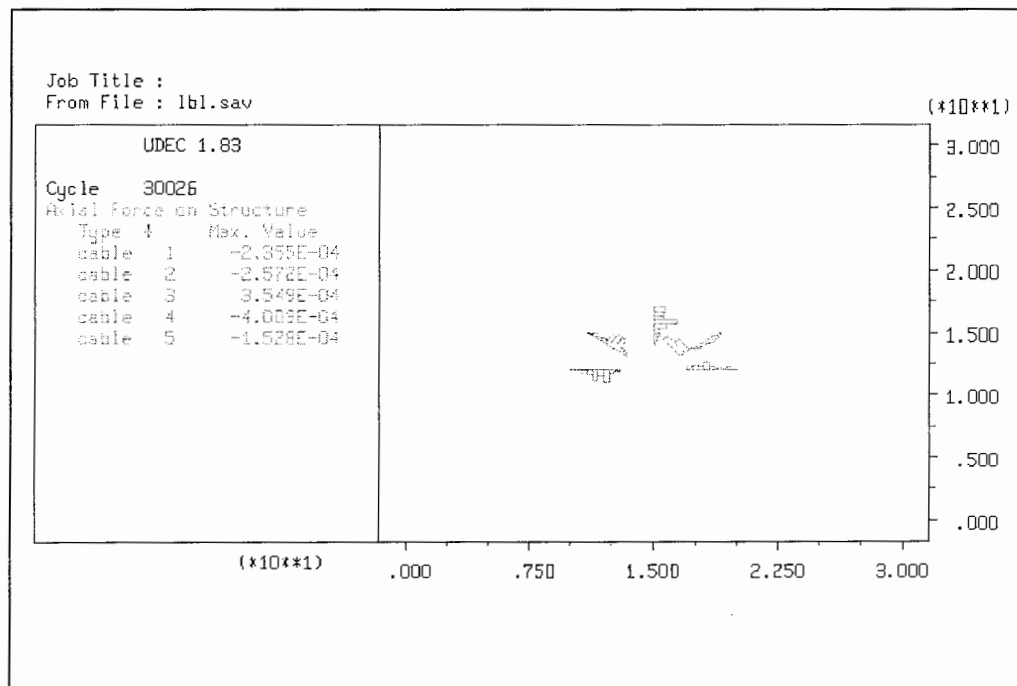


شکل ۷-۱۸- ماکزیمم جابجایی پس از حفر تونل در سقف

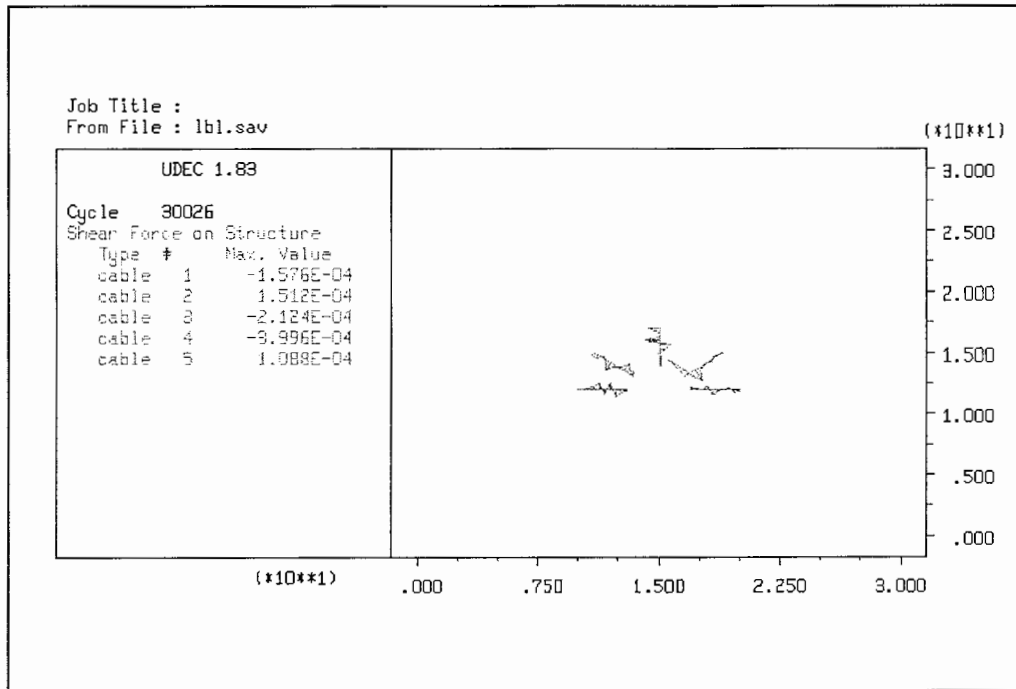
جهت کنترل جابجایی نیاز به نصب سیستم نگهداری می باشد. بدین صورت از بولتهای ۳ متری با فاصله داری $۲/۵ \times ۲/۵$ استفاده شده که طبق شکل ۷-۱۹ ماکزیمم نیروی محوری در بولت با فاصله داری $۲/۵ \times ۲/۵$ برابر ۴۴۰ نیوتن و ماکزیمم نیروی برشی در بولت برابر ۲۶۰ نیوتن می باشد شکل (۷-۲۰). در جدول ۶-۷ مقادیر نیروی محوری و برشی در بولت ها با فاصله داری $۱/۵ \times ۱/۵$ آمده است.

جدول ۶-۷ مقادیر نیروی محوری و برشی در بولت

فاصله داری	نیروی محوری (N)	نیروی برشی (N)
$۱/۵ \times ۱/۵$	۴۰۰	۴۰۰
$۲/۵ \times ۲/۵$	۴۴۰	۲۶۰



شکل ۷-۱۹- ماکزیمم نیروی محوری در بولتهای سنگ آهک

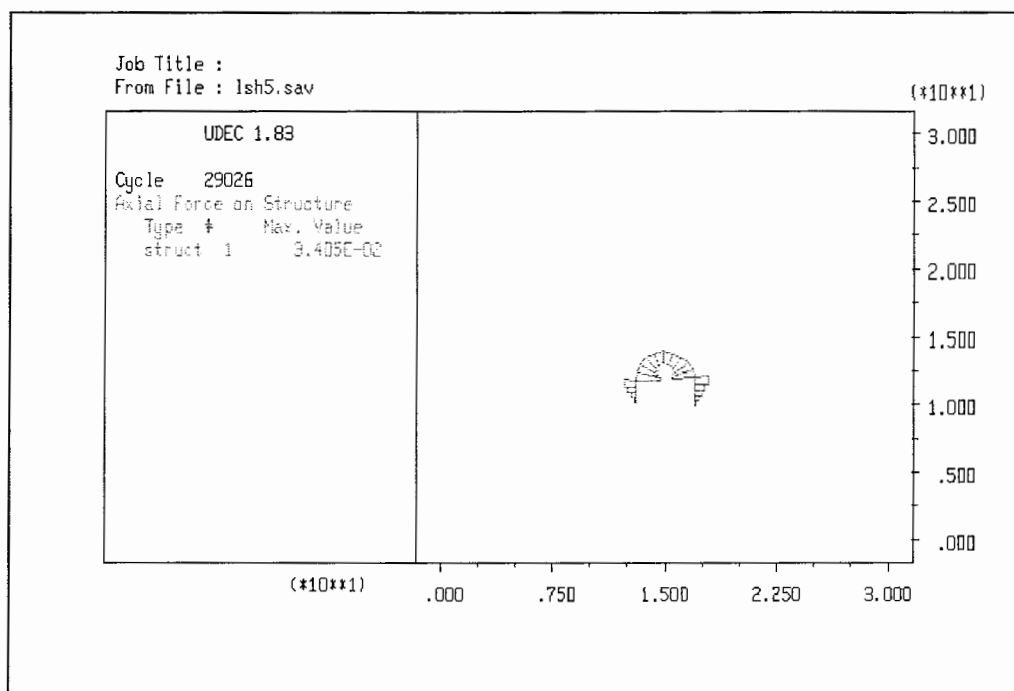


شکل ۷-۲۰- ماکزیمم نیروی برشی در بولتهای سنگ آهک

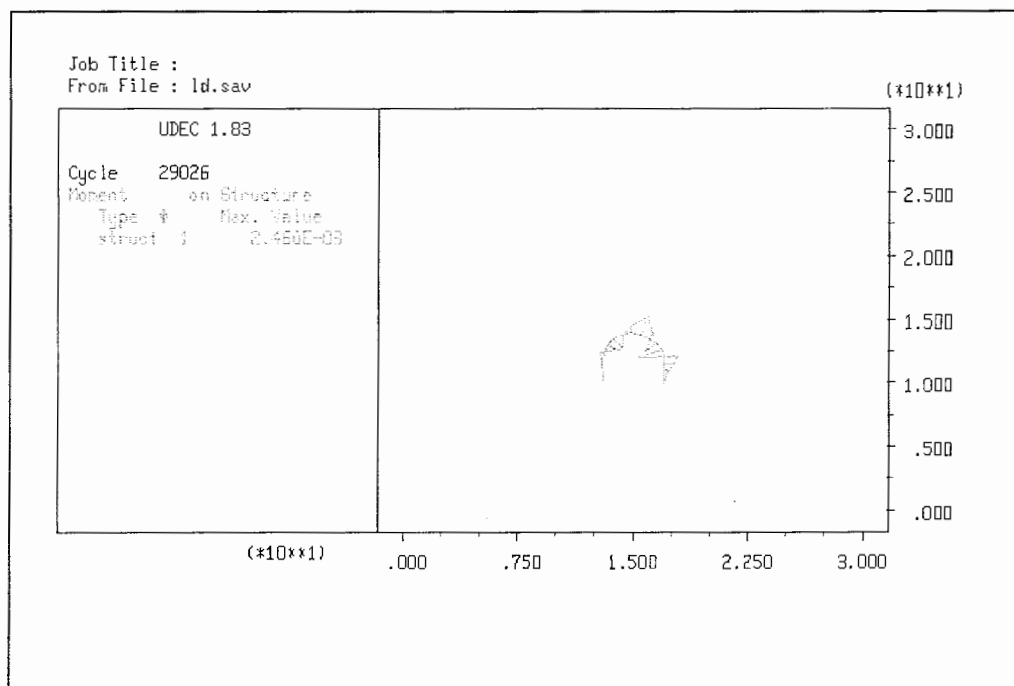
همچنین برای نگهداری از شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر نیز استفاده گردیده که طبق شکل ۷-۲۱ ماکزیمم نیروی محوری بر شاتکریت ۳۴ کیلو نیوتن و ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت طبق شکل ۷-۲۲ برابر ۲/۵ کیلو نیوتن می باشد که ضریب ایمنی ۳ در برش و خمش را خواهد داد. در جدول ۷-۷ مقادیر لنگر خمشی و نیروی محوری و برشی شاتکریت با ضخامتهای متفاوت آمده است.

جدول ۷-۷ مقادیر لنگر خمشی و نیروی محوری و برشی شاتکریت با ضخامتهای متفاوت

ضخامت cm	نیروی محوری (KN)	نیروی برشی (KN)	لنگر خمشی (KN/M)	فاکتور ایمنی (در خمش و فشار)
۵	۳۴	۲/۵	۲/۵	۳
۱۰	۸۵۰	۷/۱	۷/۱	۴



شکل ۷-۲۱-ما کزیمم نیروی محوری در شاتکریت مقطع سنگ آهک



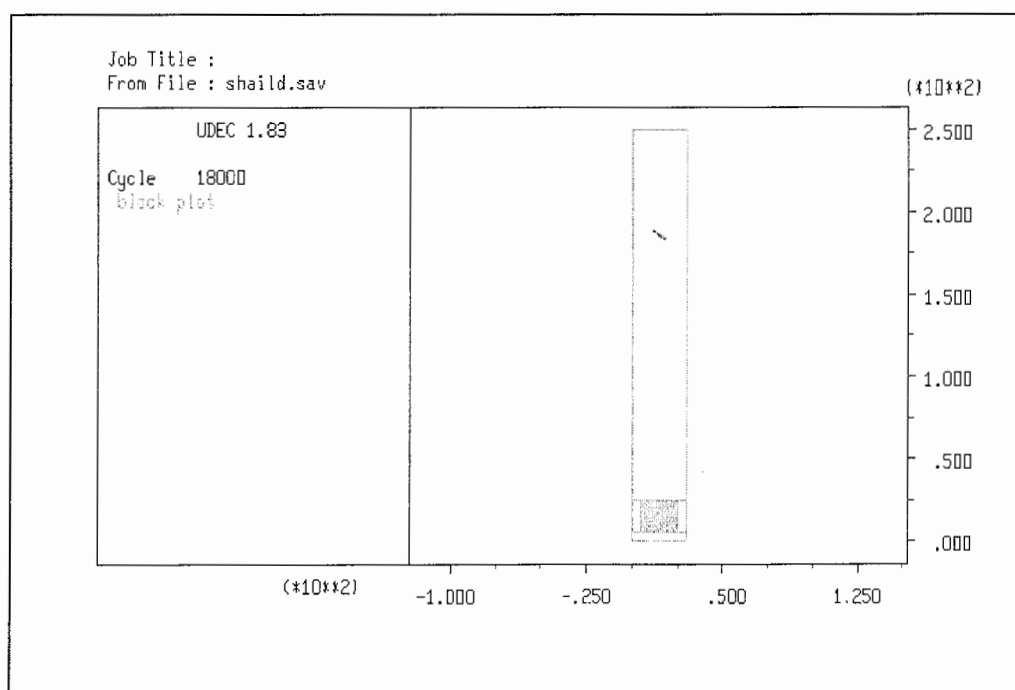
شکل ۷-۲۲-ما کزیمم لنگر خمشی در شاتکریت مقطع سنگ آهک

۷-۴-۴- شیلها

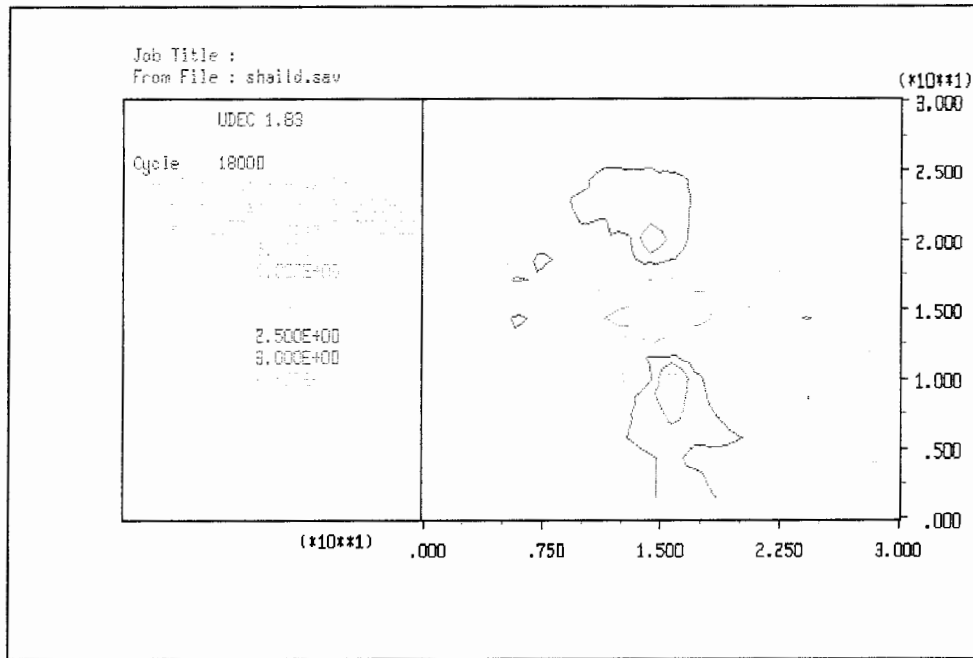
مناطق شیلی در سازند لالون تونل چشمه روزیه را در بر گرفته است، این مناطق به دلیل خواص ساختاری به دو دسته شیل‌های سست و شیل‌های مقاوم تر (مناسب) تقسیم شده و مورد تحلیل عددی قرار گرفته‌اند.

۷-۴-۴-۱- شیل مناسب

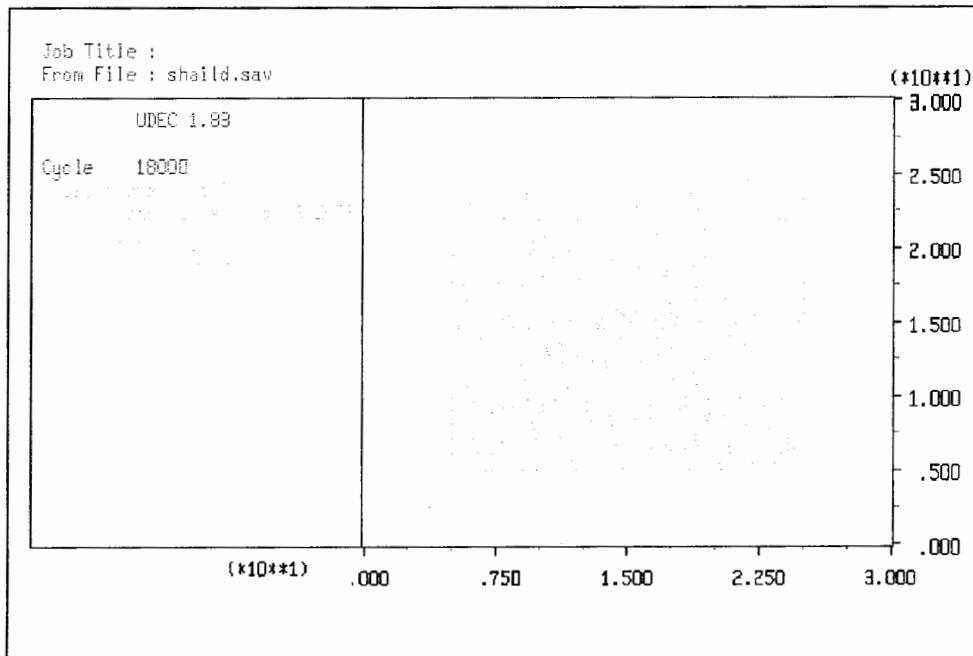
به علت درزه‌داری و پایین بودن فاصله درزه‌ها در این منطقه، شیل‌های منطقه مورد تحلیل عددی قرار گرفته است. میزان روباره ۲۲۰ متر بوده که بر همین اساس بلوک ۳۰×۲۲۰ در این نرم‌افزار ساخته شده است (شکل ۷-۲۳). پس از رسیدن مدل به همگرایی تونل مورد نظر در سنگ حفر شده که میزان ضریب ایمنی در سنگ‌های اطراف تونل برابر ۰/۵ بوده که در شکل ۷-۲۴ آورده شده است. میزان جابجایی نیز در سنگ‌های اطراف تونل بر اساس نمودار شکل ۷-۲۵ برابر ۵۱ میلی‌متر است که نیاز به نصب سیستم نگهداری را نشان می‌دهد.



شکل ۷-۲۳- مدل بلوکی در شیلها

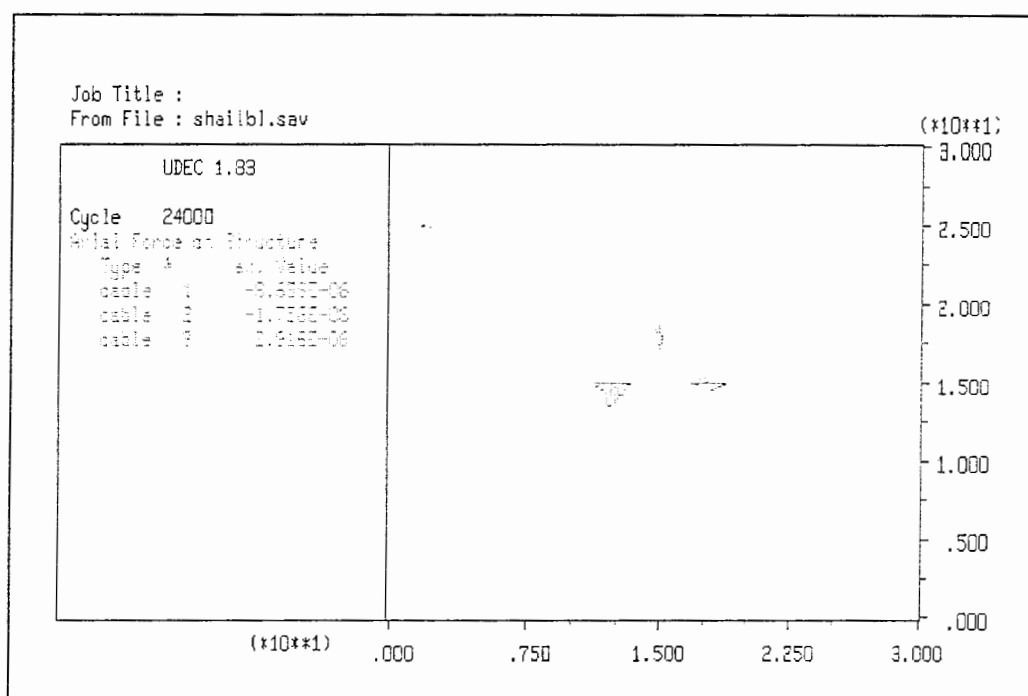


شکل ۷-۲۴- خطوط تراز فاکتور ایمنی در شیل‌های مناسب

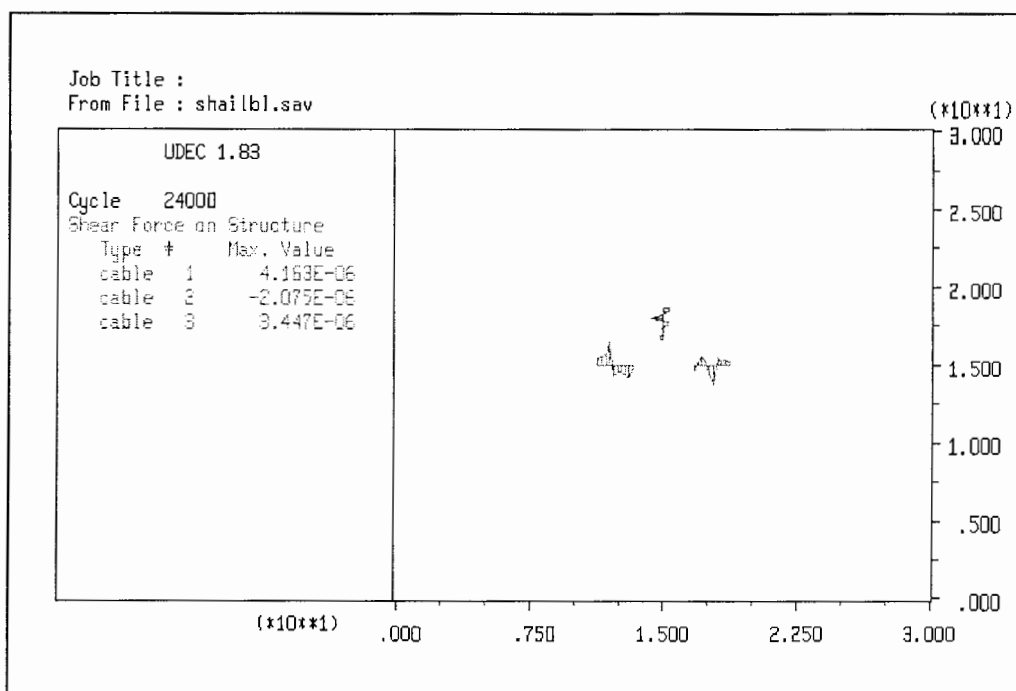


شکل ۷-۲۵- ماکزیمم جابجایی در شیل‌های مناسب

از آنجا که نتایج مدل‌سازی وضعیت تونل را در شیل ها پس از حفر ناپایدار می‌دانند لذا نیاز به نصب سیستم نگهداری می‌باشد. برای سیستم نگهداری تونل از بولتهای دوغابی به همراه شاتکریت استفاده شده است. پس از مدل‌سازی بولت و شاتکریت در نرم افزار Udec این دو سیستم نگهدارنده سنگ مورد بررسی قرار گرفته‌اند. در طراحی از بولتهای ۲ متری با فواصل $2/5 \times 2/5$ استفاده شده که ماکزیمم نیروی محوری در بولت بر اساس شکل ۲۶-۵ برابر $8/7$ نیوتن بوده و میزان نیروی برشی وارد بر بولت بر اساس شکل ۲۷-۷ برابر $4/2$ نیوتن می‌باشد.



شکل ۲۶-۷- ماکزیمم نیروی محوری در بولتهای واقع در شیلها

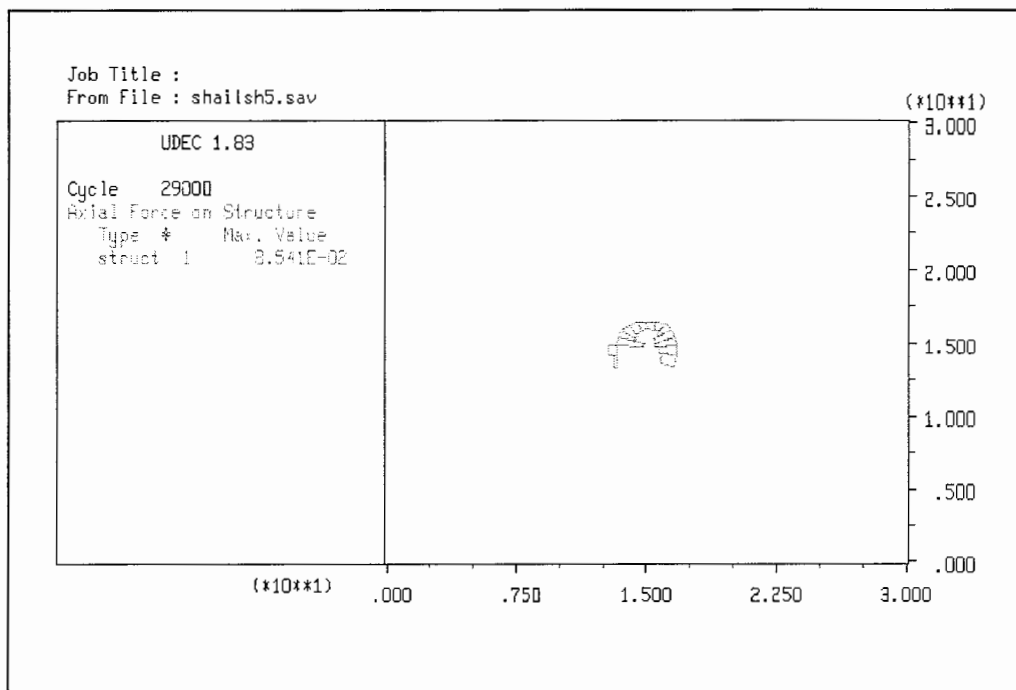


شکل ۷-۲۷- ماکزیمم نیروی برشی در بولتهای واقع در شیلها

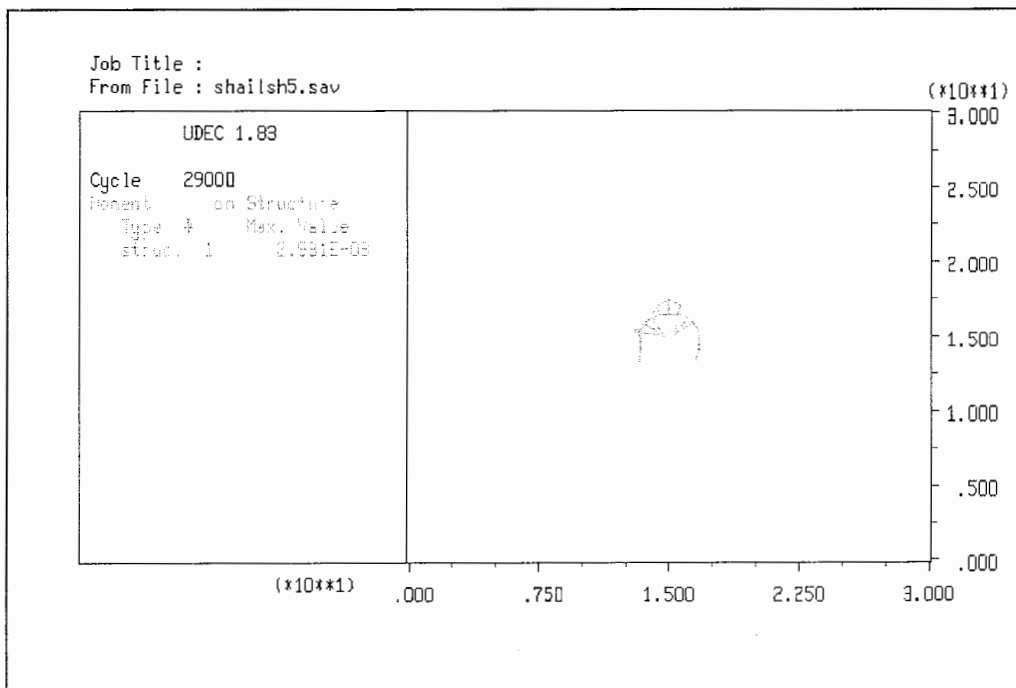
برای نگهداری از شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر نیز استفاده گردیده که طبق شکل ۷-۲۸ ماکزیمم نیروی محوری بر شاتکریت ۳۵ کیلو نیوتن و ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت طبق شکل ۷-۲۹ برابر ۲/۹ کیلو نیوتن متر می باشد که ضریب ایمنی ۲/۶۱ در برش و خمش را خواهد داد. در جدول ۷-۸ مقادیر لنگر خمشی و نیروی محوری و برشی شاتکریت با ضخامتهای متفاوت آمده است.

جدول ۷-۸ مقادیر لنگر خمشی و نیروی محوری شاتکریت با ضخامتهای متفاوت

ضخامت شاتکریت (cm)	نیروی محوری KN	لنگر خمشی KN.m	فاکتور ایمنی
۵	۳۵	۲/۹	۲/۶۱
۱۰	۵۵	۵/۹	۴/۹
۱۵	۸۶	۹/۷	۶/۳۱



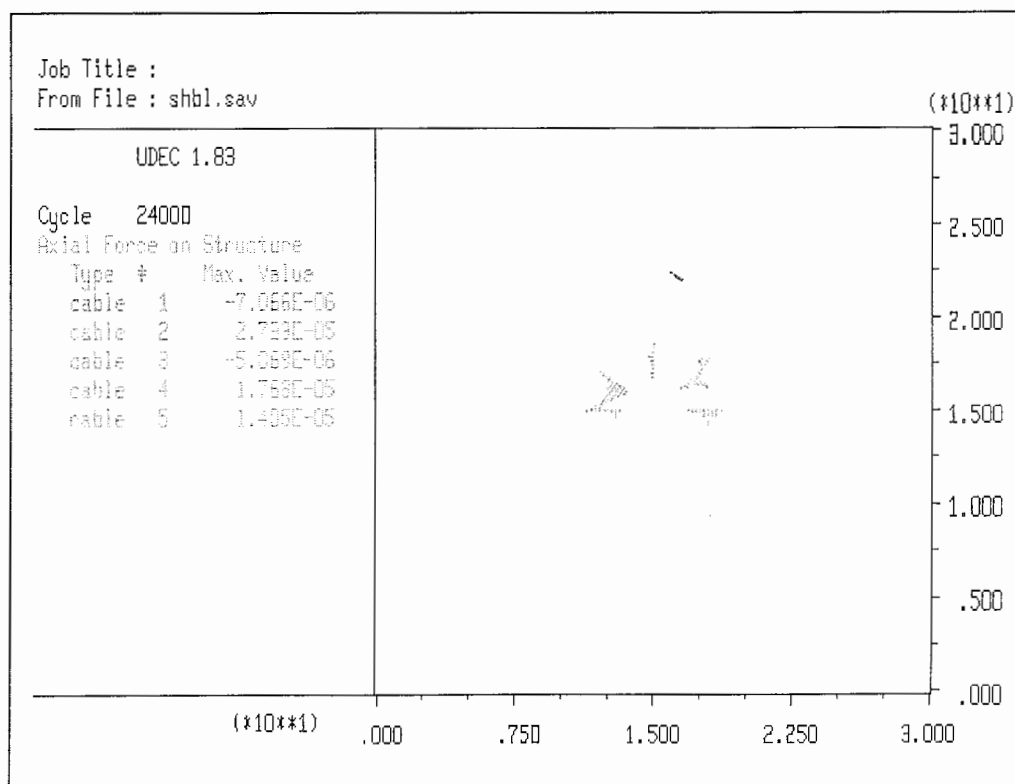
شکل ۷-۲۸- ماکزیمم نیروی محوری وارد بر شاتکریت در شیل‌های مناسب



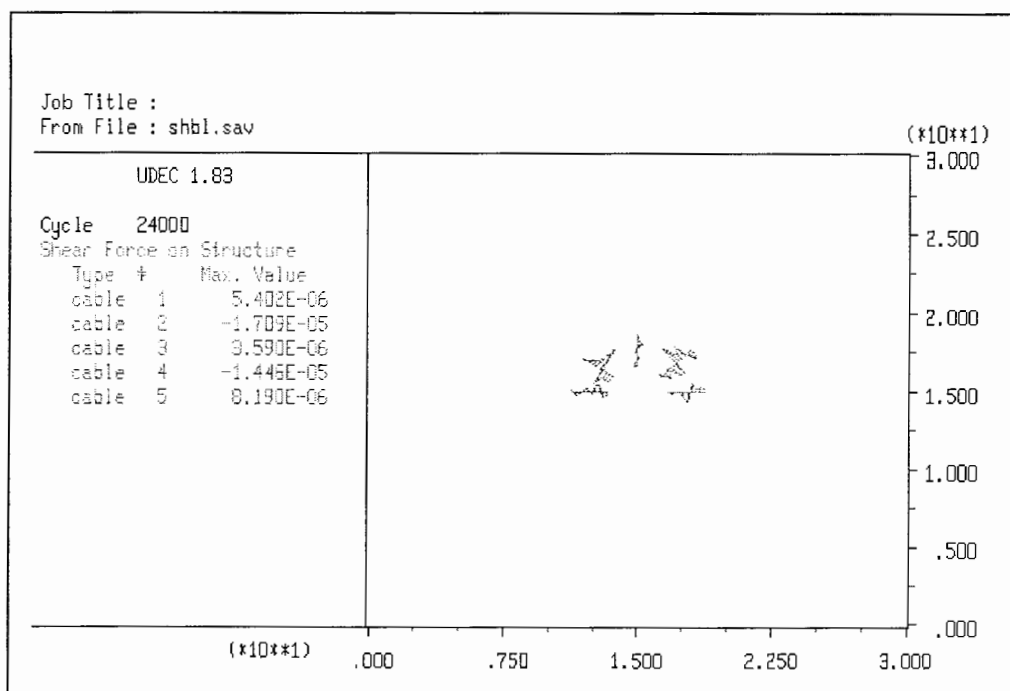
شکل ۷-۲۹- ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت در شیل‌های مناسب

۷-۴-۴-۲- شیل ضعیف

این منطقه از شیلها به دلیل وجود آب و پایین بودن فاصله داری درزه ها منطقه ای سست را تشکیل داده اند. جهت سیستم نگهدار تونل از بولت به همراه شاتکریت استفاده شده است. بولتها با فاصله داری $1/5 \times 1/5$ و به طول ۳ متر در مدل نصب گردیده که براساس شکل ۵-۳۰ ماکزیمم نیروی محوری در واحد طول بولت برابر ۲۷ نیوتن و ماکزیمم نیروی برشی طبق شکل ۷-۳۱ برابر ۱۷ نیوتن می باشد. در صورتیکه بولتها با فاصله داری $2/5 \times 2/5$ نصب شوند ماکزیمم نیروی محوری در بولتها ۹۶۰ نیوتن و ماکزیمم نیروی برشی در بولتها ۱ کیلو نیوتن خواهد شد.



شکل ۷-۳۰- ماکزیمم نیروی محوری در بولت واقع در شیلها



شکل ۷-۳۱- ماکزیمم نیروی برشی در بولت

در صورتیکه از شاتکریت نیز استفاده گردد، شاتکریت بایستی علاوه بر تنش ناشی از وزن سنگ تنش ناشی از وزن آب را نیز متحمل گردد. تنش ناشی از وجود آب بر شاتکریت از رابطه زیر قابل محاسبه است [۱۱].

$$\sigma_{water} = \gamma_w \cdot h_{hyd} \left(\frac{r}{t} \right)$$

h_{hyd} : ارتفاع آب

t ضخامت شاتکریت

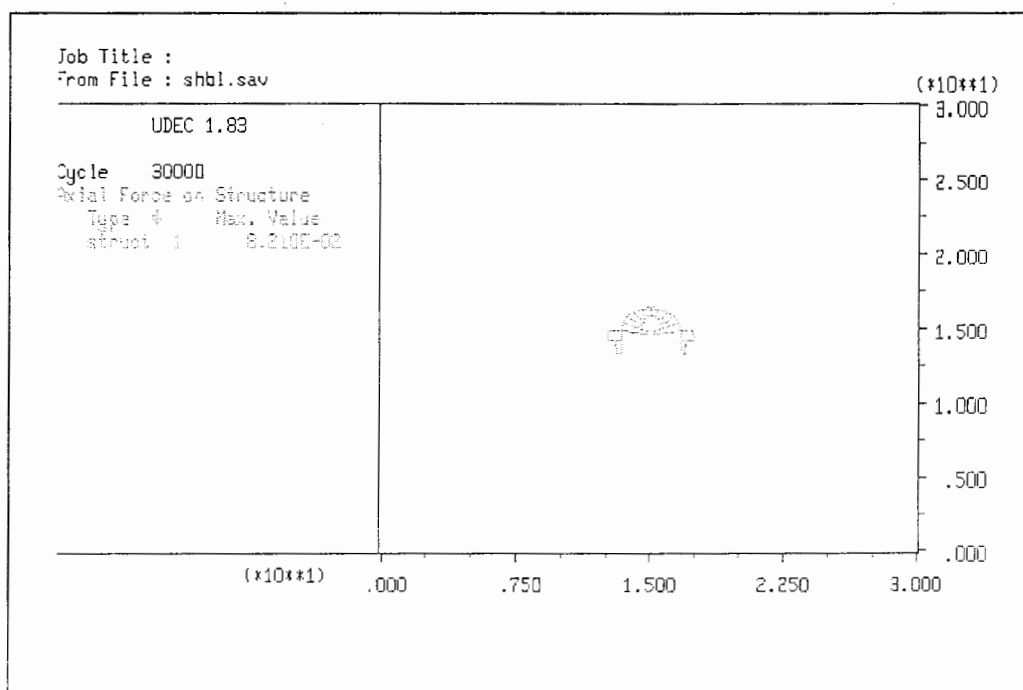
r شعاع تونل

تنش ناشی از آب در شیل‌های ضعیف در ضخامتهای مختلف شاتکریت در صورتیکه ارتفاع آب تا ۱۰۰ متر بالا آید در جدول ۷-۹ آمده است

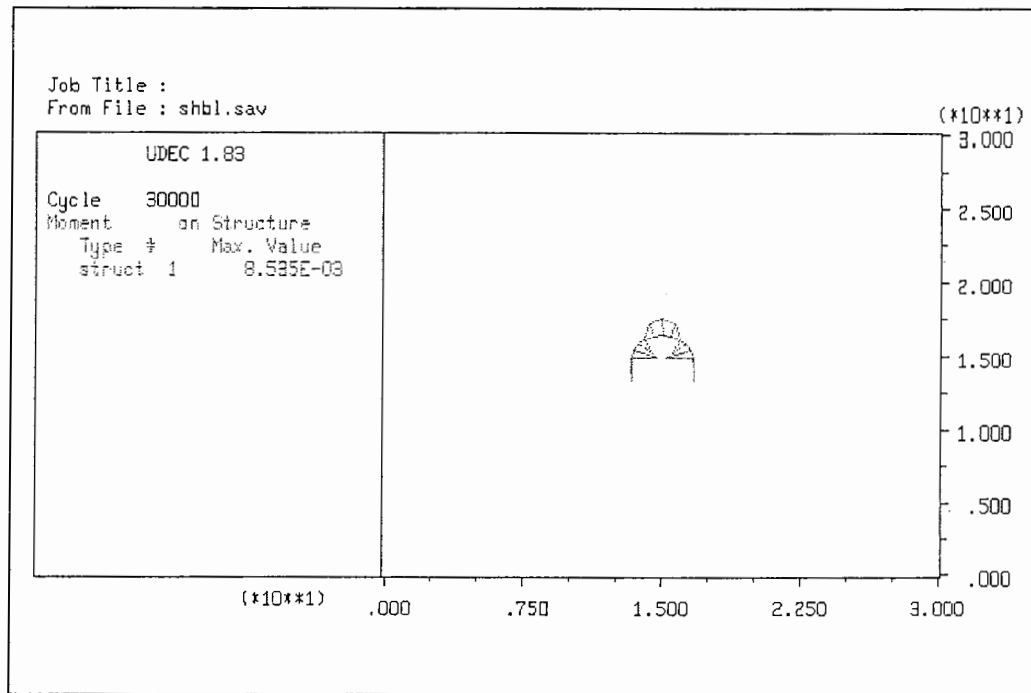
جدول ۹-۷ مقادیر لنگر خمشی و نیروی محوری و برشی شاتکریت با ضخامت‌های متفاوت

ضخامت شاتکریت (cm)	تنش ناشی از فشار و خمشی (MPa)	تنش ناشی از آب (MPa)	تنش کلی وارد برشاتکریت (MPa)	فاکتور ایمنی
۵	۱/۹۷	۳۳/۳۲	۳۵/۲۹	۰/۵۷
۱۰	۲/۱۵	۱۶/۸	۱۸/۹۵	۱/۰۴
۱۵	۲/۸۲	۶/۵	۹/۳۲	۲/۱۵

همچنین نیروی محوری و ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت به ضخامت ۱۵ سانتیمتر در شکلهای ۳۳-۷ و ۳۲-۷ آمده است.



شکل ۳۲-۷ نیروی محوری وارد بر شاتکریت



شکل ۷-۳۳ ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت

۷-۴-۵- ماسه سنگها

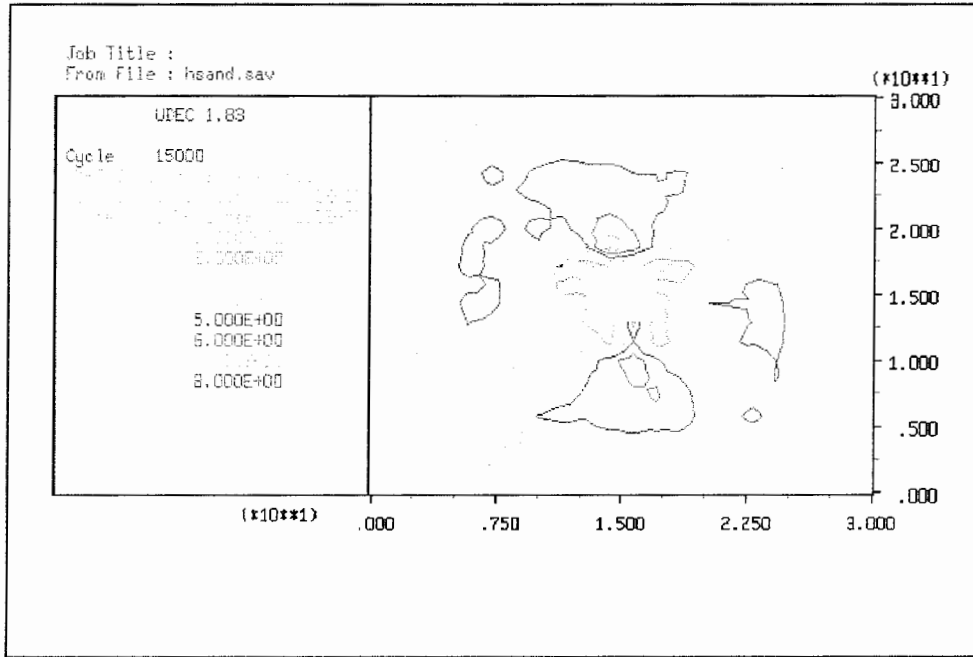
ماسه سنگهای خروجی تونل در سازند زاگون ولالون واقع شده اند. از آنجا که مقادیر پارامترهای توده سنگ در ماسه سنگها دارای تفاوت چشمگیری بود لذا مدل‌سازی عددی این قسمت از تونل در دو مقطع که شامل ماسه سنگهای مناسب و ماسه سنگهای ضعیف تر است صورت گرفته است. مدل ساخته شده برای هر کدام در ذیل شرح داده شده است.

۷-۴-۵-۱- ماسه سنگهای مناسب

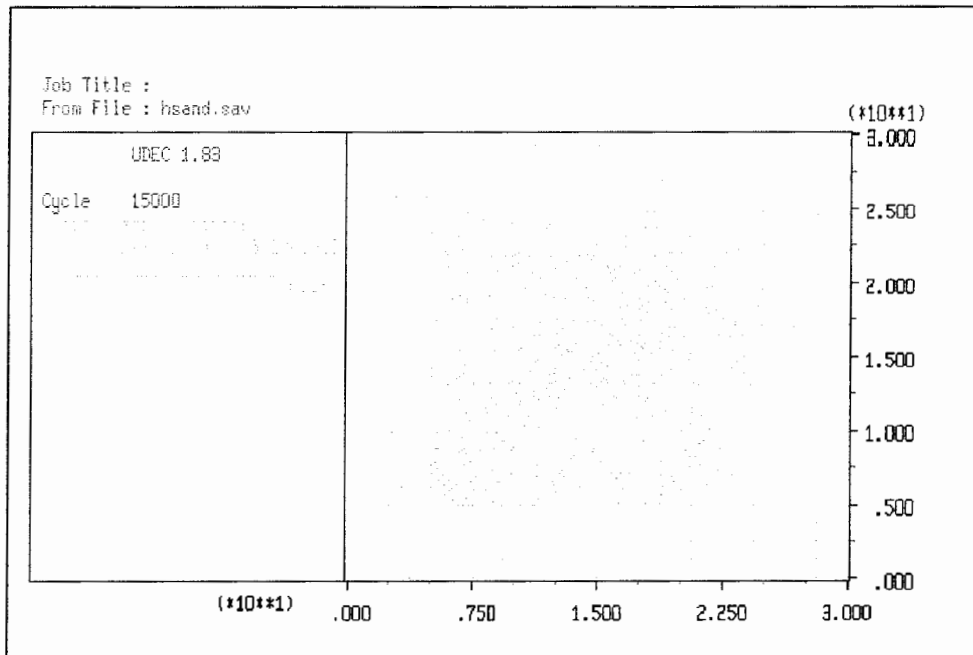
در این قسمت از تونل با ارتفاع روباره حدودا ۱۸۰ متر ، بعد از حفر تونل فاکتور ایمنی زیر ۲ بوده که در شکل ۷-۳۴ کنتور های فاکتور ایمنی مشاهده می گردد. ماکزیمم جابجایی در صورت عدم نصب سبستم نگهداری برابر ۵۸ میلیمتر خواهد بود که در شکل ۷-۳۵ مشاهده می گردد.

در این قسمت از تونل جهت کنترل جابجایی های اطراف تونل بعد از حفر تونل نیاز به نصب سیستم نگهداری است. به همین دلیل ابتدا بولتهای ۳ متری با فواصل $2/5 \times 2/5$ متر در مدل نصب گردیده که بیشترین مقدار نیروی محوری در واحد طول بولت براساس شکل ۷-۳۶ برابر ۳۳۰

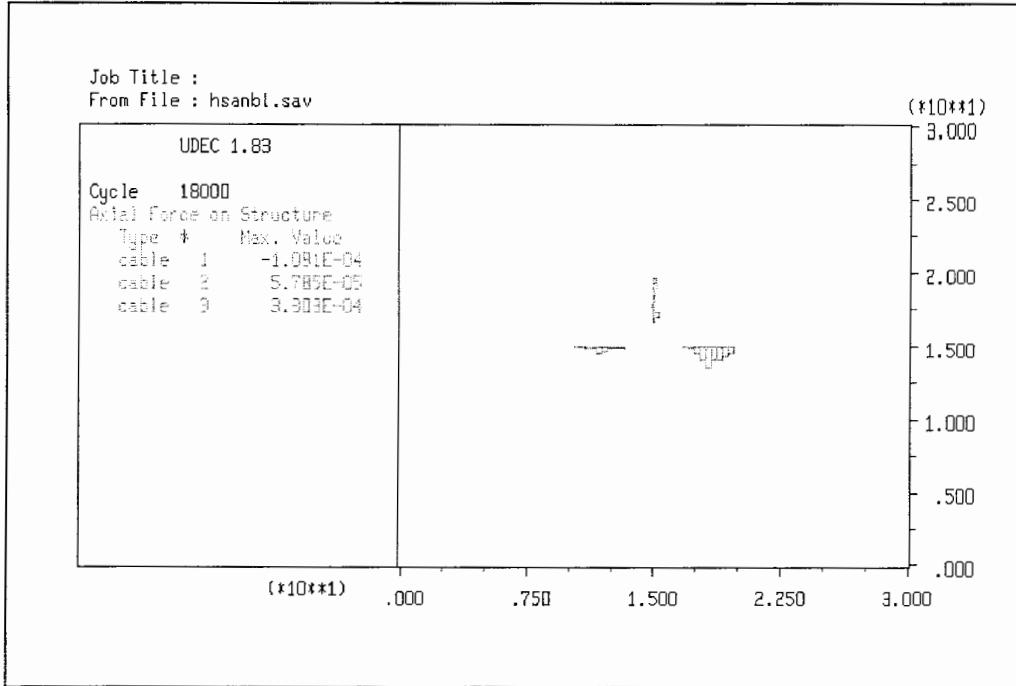
نیوتن است که در مقایسه با مقاومت تسلیم نهایی فولاد فاکتور ایمنی ۷۲ را خواهد داد و بیشترین مقدار نیروی برشی ۱۷۶ نیوتن است (شکل ۷-۳۷).



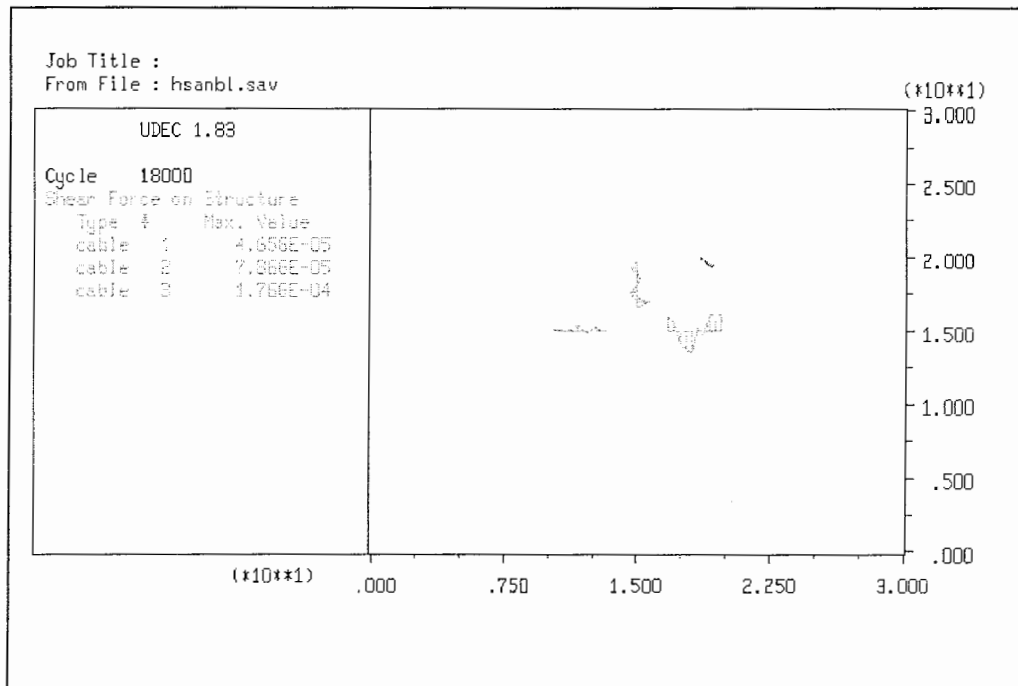
شکل ۷-۳۴- کنتور فاکتور ایمنی در ماسه سنگهای مناسب



شکل ۷-۳۵- ماکزیمم جابجایی در ماسه سنگهای مناسب

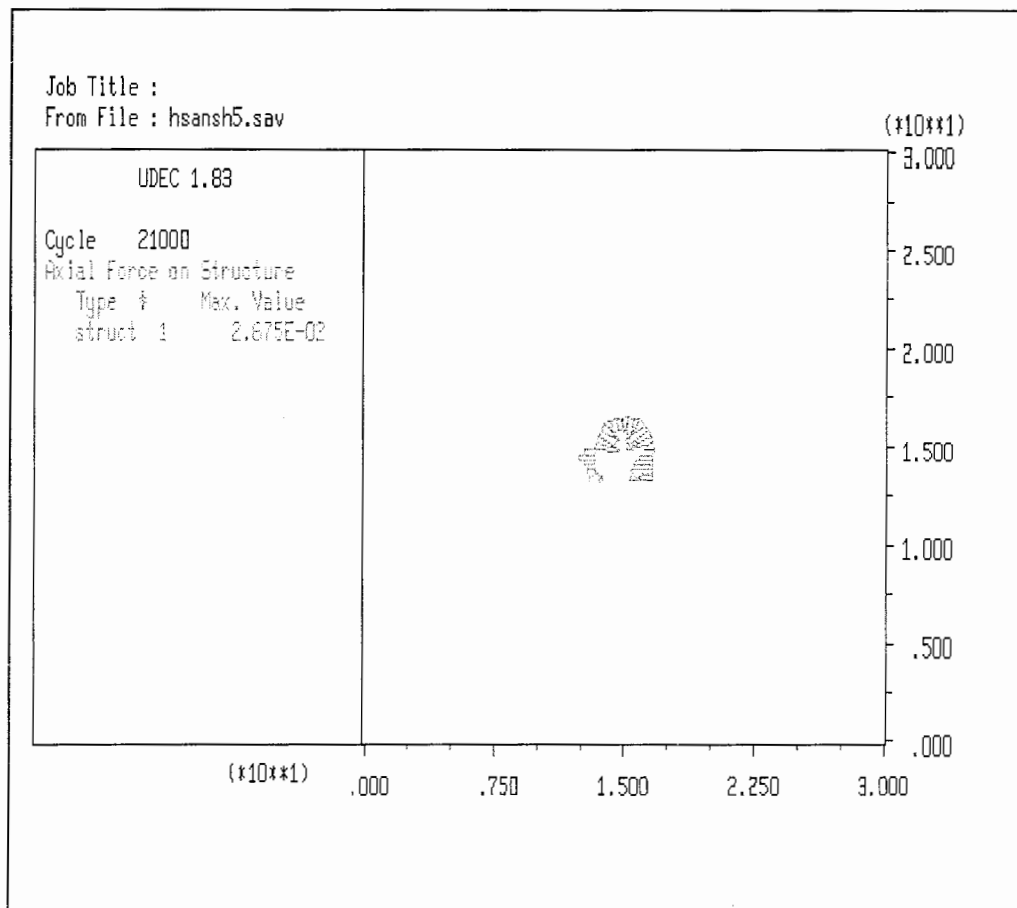


شکل ۷-۳۶- ماکزیمم نیروی محوری در بولت در ماسه سنگهای مناسب

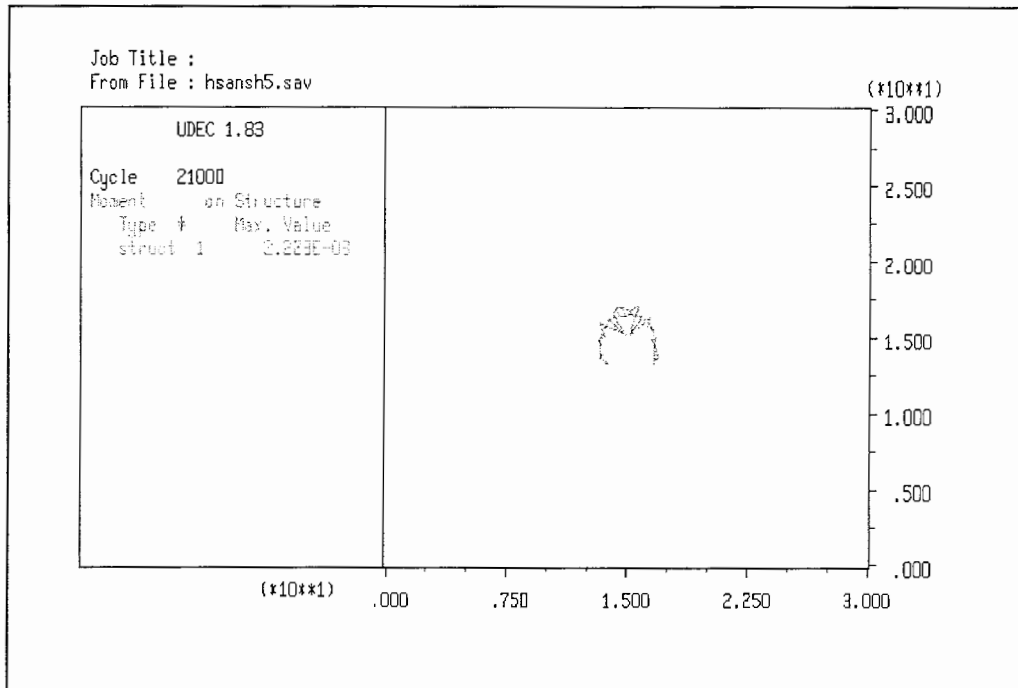


شکل ۷-۳۷- ماکزیمم نیروی برشی در بولت در ماسه سنگهای مناسب

علاوه بر نصب بولت ، شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر مدل گردیده که مقدار نیروی محوری و ممان خمشی بر اساس شکل‌های ۵-۳۸ و ۷-۳۹ برابر ۲۷ کیلو نیوتن و ۲/۲ کیلو نیوتن متر بدست آمده است. در نتیجه مقدار تنش اعمالی ۴/۴ مگا پاسکال و ضریب ایمنی تحت فشار و خمش برابر ۴/۵ است.



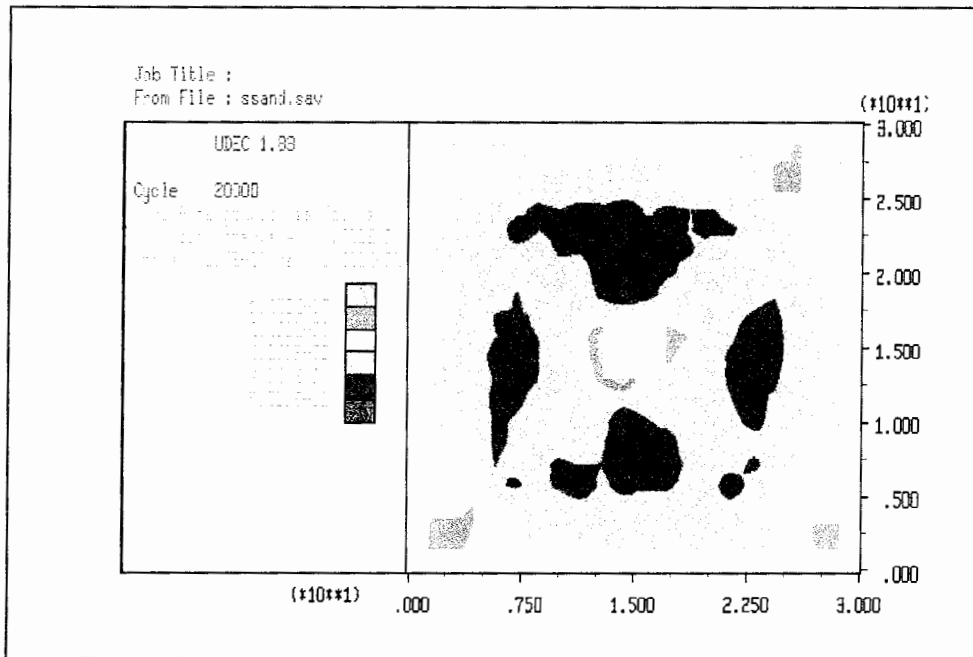
شکل ۷-۳۸: ماکزیمم نیروی محوری وارد بر شاتکریت



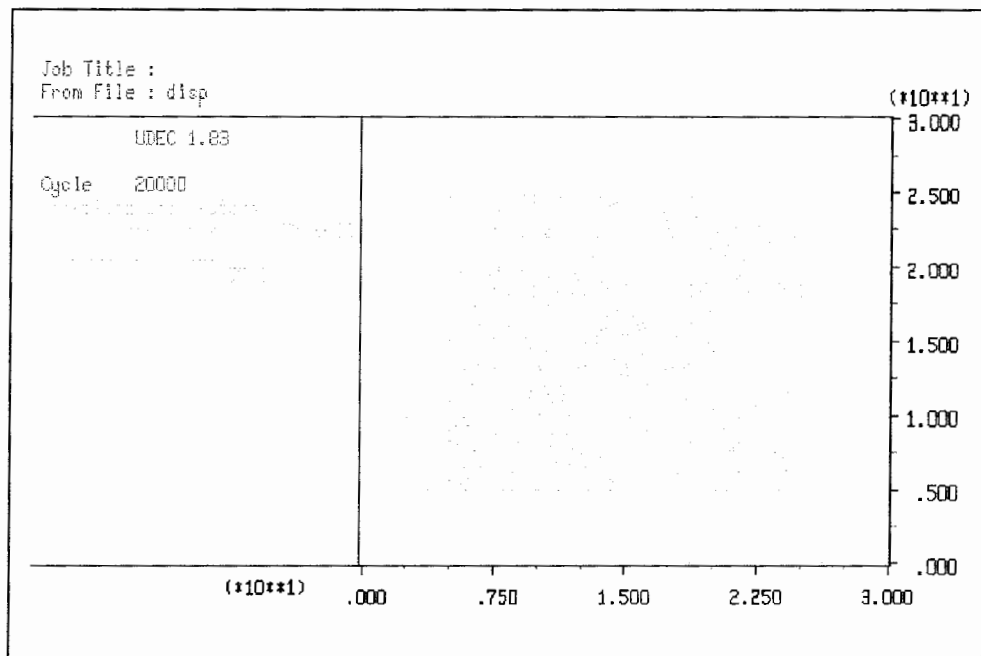
شکل ۷-۳۹ ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت

۷-۴-۵-۲- ماسه سنگهای ضعیف

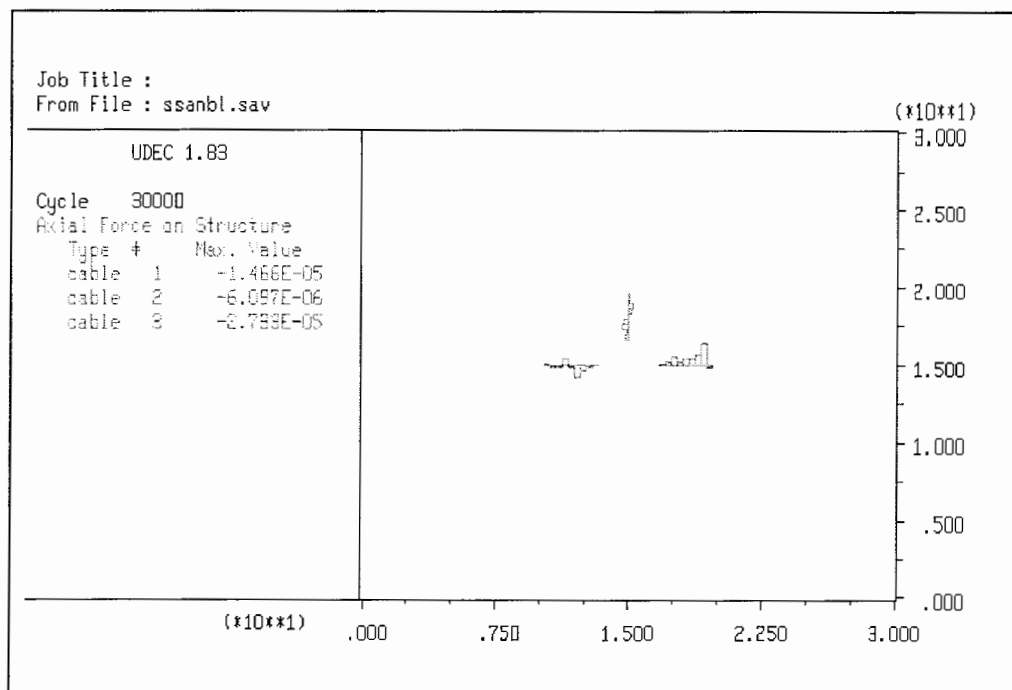
در این قسمت برای ماسه سنگهای ضعیف مدلی با ارتفاع روباره حدوداً ۲۰۰ متر ساخته شد. پس از اجرای برنامه فاکتور ایمنی در سنگ محاسبه گردید و همانطور که در شکل ۷-۴۰ مشاهده میگردد فاکتور ایمنی پایین بوده و میزان جابجایی در تونل نیز در حدود ۸۲ میلیمتر است (شکل ۷-۴۱) که لزوم به نصب سیستم نگهداری را نشان می دهد. برای کنترل جابجایی در دیواره ها و سقف تونل بولت های ۳ متری با فاصله داری $2/5 \times 2/5$ نصب گردیده است. پس از نصب بولتها میزان ماکزیمم نیروی محوری در بولت طبق شکل ۷-۴۲ برابر ۲۷ نیوتن در واحد طول بولت و ماکزیمم نیروی برشی طبق شکل ۷-۴۳ برابر ۳۰ نیوتن میباشد. فاکتور ایمنی در بولتها در کشش و برش بالا خواهد بود.



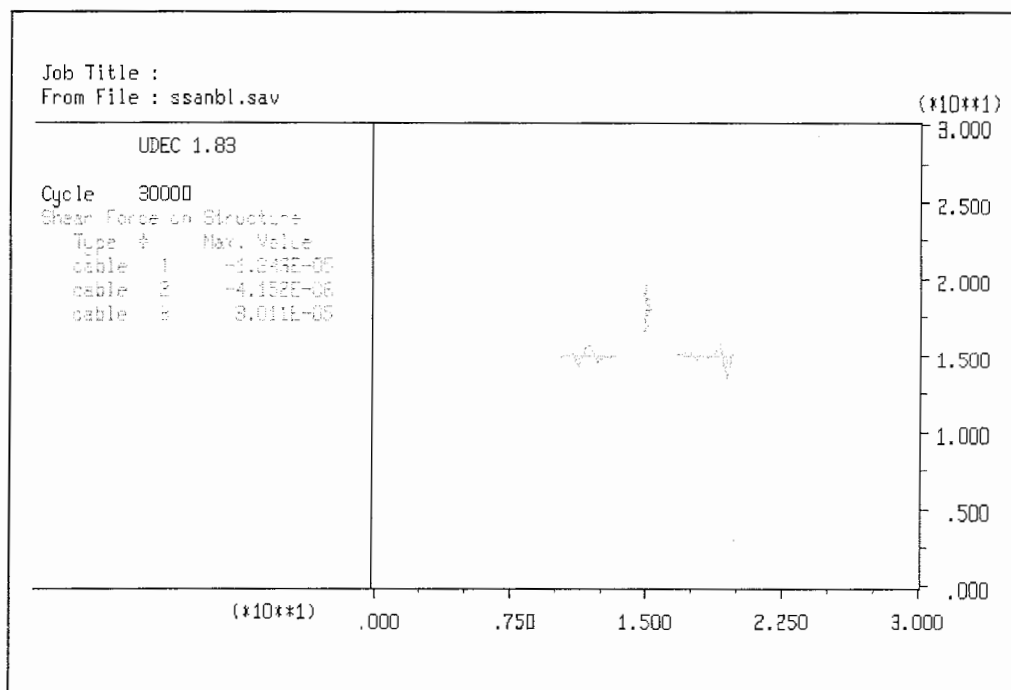
شکل ۷-۴۰- کنتور فاکتور ایمنی در ماسه سنگهای ضعیف



شکل ۷-۴۱- ماکزیمم جابجایی در ماسه سنگهای ضعیف



شکل ۷-۴۲- ماکزیمم نیروی محوری در بولت در ماسه سنگهای ضعیف



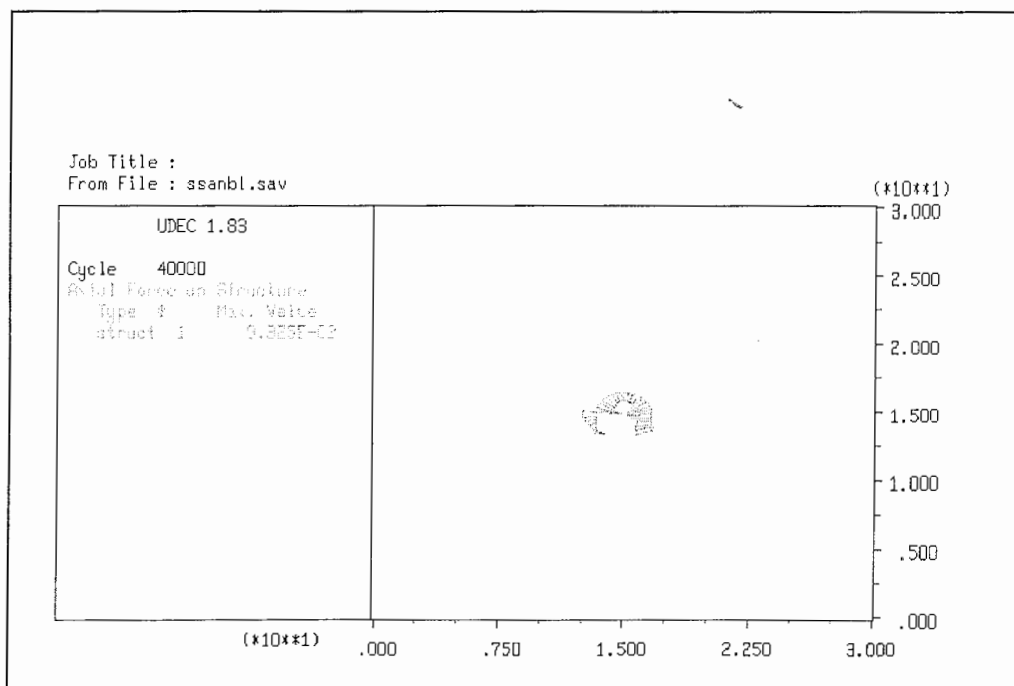
شکل ۷-۴۳- ماکزیمم نیروی برشی در بولت در ماسه سنگهای ضعیف

علاوه بر نصب بولت، شاتکریت به ضخامت ۵ و ۱۰ سانتیمتر مدل گردیده که مقدار نیروی محوری و ممان خمشی برای شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر برترتیب ۹۳ کیلو نیوتن و ۴/۳ کیلو نیوتن متر می باشد. میزان فاکتور ایمنی در اثر خمش و فشار در حدود ۱/۶ خواهد بود. در صورتیکه ضخامت شاتکریت ۱۰ سانتیمتر شود فاکتور ایمنی به حدود ۱۳ خواهد رسید. در جدول ۷-۱۰ مقادیر تنش ناشی از لنگر خمشی و نیروی محوری وارد بر شاتکریت به ضخامتهای ۵ و ۱۰ سانتیمتر آمده است.

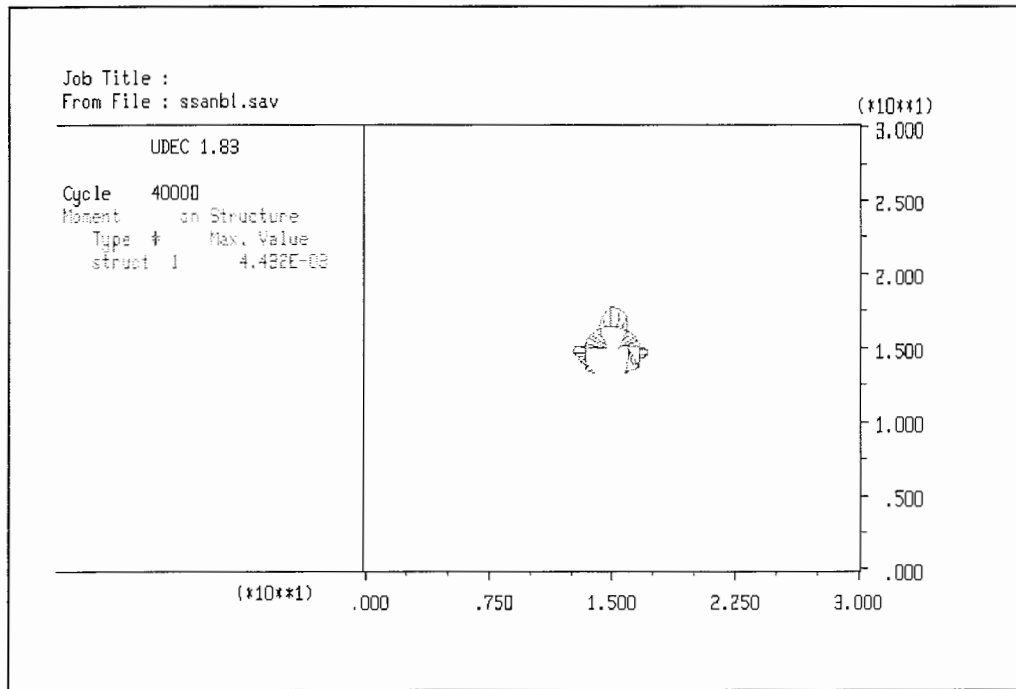
جدول ۷-۱۰ مقادیر تنش ناشی از فشار و خمش بر شاتکریت با ضخامتهای متفاوت

ضخامت شاتکریت (cm)	تنش ناشی از فشار و خمش (MPa)	فاکتور ایمنی
۵	۱۲/۲	۱/۶۴
۱۰	۱/۵	۱۳

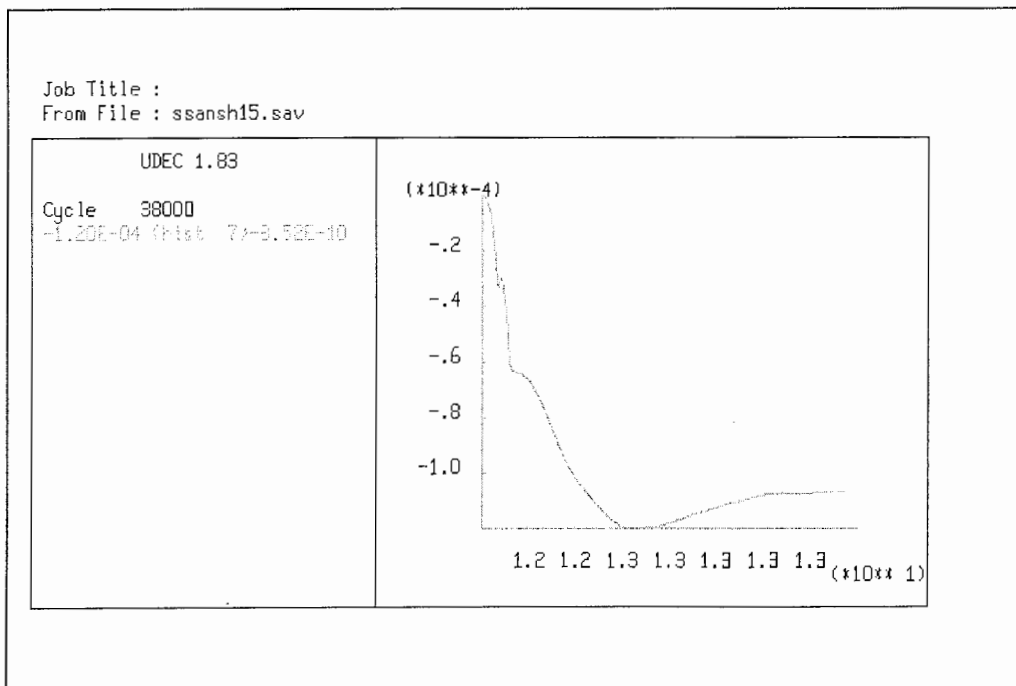
همچنین نیروی محوری و برشی و ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت به ضخامت ۱۵ سانتیمتر در شکل‌های ۷-۴۴ و ۷-۴۵ آمده است. همچنین نمودار میزان جابجایی در شکل ۷-۴۶ آورده شده است.



شکل ۷-۴۴ ماکزیمم نیروی محوری وارد بر شاتکریت



شکل ۴۵-۷ ماکزیمم لنگر خمشی وارد بر شاتکریت



شکل ۴۶-۷ ماکزیمم جابجایی پس از بتن پاشی

۷-۵- بحث و نتیجه گیری

در طراحی سیستم نگهداری توسط روش عددی با توجه به نوع محیط در بر گیرنده از نرم افزار Udec استفاده شده است. برای هر کدام از مقاطع مورد نظر تونل، مدل خاص آن ساخته شده و سپس مورد تحلیل قرار گرفته است. این مقاطع در ورودی تونل در سنگهای مارنی ائوسن بصورت پیوسته مدل گردیده اند. نتایج حاصل از روش عددی نشان می دهد که تونل در این قسمت دارای جابجایی کمی پس از حفر تونل می باشد و فاکتور ایمنی ۲ الی ۳ است. اما از آنجا که مارن‌ها در صورت جذب آب متورم می شوند لذا سیستم نگهداری شامل ۵ سانتیمتر شاتکریت برای آن در نظر گرفته شده است. برای آنکه در این نوع سنگها شاتکریت Passive عمل می کند لذا بولت با فاصله داری $2/5 \times 2/5$ برای اتصال شاتکریت به سنگ در نظر گرفته شده است.

در توفها مدل ساخته شده شامل درزه ها و ناپیوستگی های موجود در منطقه بوده که در این قسمت تونل بولتهای ۳ متری با فاصله داری $2/5 \times 2/5$ به همراه ۵ سانتیمتر شاتکریت از پایداری مناسبی برخوردارند.

در سنگهای آهکی نتایج حاصل از مدل ساخته شده ، جابجایی زیاد در اطراف تونل را نشان می دهد که برای کنترل آن شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر به همراه بولت ۳ متری با فاصله داری $2/5 \times 2/5$ در نظر گرفته شده است.

توده سنگهای شیلی با توجه به مقاومت سنگ و میزان آب موجود در منطقه به دو دسته شیل‌های ضعیف و مناسب تقسیم شده اند که برای شیل‌های مناسب پس از تحلیل‌های صورت گرفته بولتهای ۳ متری با فاصله داری $2/5 \times 2/5$ به همراه شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر مناسب تشخیص داده شده و در شیل‌های ضعیف همان نحوه بولت گذاری به همراه ۱۵ سانتیمتر شاتکریت برای مقاومت در برابر تنش ناشی از وزن آب پیشنهاد گردید.

در ماسه سنگها نیز سنگ درونگیر به دو دسته مناسب و ضعیف تقسیم شده برای ماسه سنگهای مناسب پس از تحلیل‌های صورت گرفته بولتهای ۳ متری با فاصله داری $2/5 \times 2/5$ متر به همراه شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر مناسب تشخیص داده شده و در ماسه سنگهای ضعیف همان نحوه بولت گذاری به همراه ۱۰ سانتیمتر شاتکریت برای مقاومت در برابر تنش ناشی از فشار و خمش طراحی گردید.

فصل هشتم

نتیجه گیری و پیشنهادات

۸-۱- نتیجه گیری

در این پایان نامه برای طراحی سیستم نگهداری تونل انتقال آب چشمه روزیه سمنان از روشهای مختلفی استفاده شده است. در ابتدا تونل مورد نظر بر اساس نوع سنگهای تشکیل دهنده و ترکیب لایه بندیها به چندین قسمت (منطقه) تقسیم شده و سپس برای طراحی سیستم نگهداری هر قسمت از روشهای قابل کاربرد استفاده گردیده است. دسته بندیهای قسمتهای مختلف تونل از سمت ورودی شامل مارنزا، توفها، لایه های متناوب از آهک ماسه ای و توف و در برخی موارد لایه های برش ولکانیکی، آهک های ضخیم لایه، لایه های متناوب از شیل و آهک های آبدار، لایه های شیلی و ماسه سنگها است. پس از تحلیلهای صورت گرفته نتایج زیر از طراحی حاصل گردید.

۱- در طراحی سیستم نگهداری برای مارنزا تحلیلهای نشان دهنده آنست که این سنگها پس از حفر جابجایی کمی داشته و نسبتا پایدارند که این تحلیلهای نتایج روشهای تجربی همانند Q, RMI را تایید می کند. اما از آنجا که این سنگها تورم پذیر بوده در اثر جذب آب متورم می شوند لذا در تحلیل عددی شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر به همراه بولتهای ۲ متری با فاصله داری $2/5 \times 2/5$ مناسب تشخیص داده شد.

۲- در تحلیلهای صورت گرفته برای طراحی سیستم نگهداری در توفها بولت ۳ متری با فاصله داری ۳ متر به همراه شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر جهت نگهداری پیشنهاد شد. این سیستم نگهداری جهت کنترل بلوکهای تشکیل شده در این نوع سنگ مناسب بوده و تحلیل عددی نیز آنرا تایید می نماید.

۳- جهت نگهداری دسته بندی سوم تونل که شامل لایه های متناوب از آهک ماسه ای و توف است فقط روش RMR برای طراحی مناسب تشخیص داده شد و بر اساس طراحی صورت گرفته توسط این روش سیستم نگهدارنده شامل قاب فولادی با فاصله داری $1/5$ متر و شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر پیشنهاد می گردد. برای تحلیل عددی این قسمت از تونل نیاز به نرم افزار سه بعدی همچون 3DEC بوده که بعلت عدم دسترسی به این نرم افزار تحلیل عددی برای این قسمت صورت نگرفته است.

۴- جهت طراحی سیستم نگهداری برای سنگهای آهکی که دارای بیشترین روباره در تونل هستند پس از تحلیل عددی سیستم نگهداری بولت ۳ متری با فاصله داری ۲/۵ به همراه ۵ سانتیمتر شاتکریت مناسب تشخیص داده شده است.

۵- در طراحی سیستم نگهداری لایه های متناوب شیل و آهکهای آبدار فقط روش RMR برای طراحی مناسب تشخیص داده شد و بر اساس طراحی صورت گرفته توسط این روش سیستم نگهدارنده شامل قاب فولادی با فاصله داری ۱/۵ متر و شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر پیشنهاد می گردد. برای تحلیل عددی این قسمت از تونل نیاز به نرم افزار سه بعدی همچون 3DEC بوده که بعلت عدم دسترسی به این نرم افزار تحلیل عددی برای این قسمت صورت نگرفته است.

۶- برای طراحی سیستم نگهداری برای شیلهای مناسب بولت های ۲ متری با فاصله داری ۲ متر به همراه شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر برای نگهداری پیشنهاد می گردد.

۷- از آنجا که شیلهای ضعیف در قسمتی از تونل قرار دارند که ریزش آب از سقف زیاد است لذا در صورت بتن پاشی می بایست وزن ناشی از آب جمع شده پشت بتن را شاتکریت تحمل نماید لذا پس از تحلیل عددی بولت ۲ متری با فاصله داری ۲/۵ متر به همراه ۱۵ سانتیمتر شاتکریت برای نگهداری پیشنهاد می گردد.

۸- سیستم نگهداری در ماسه سنگهای مناسب بولت ۳ متری با فاصله داری ۲ متر به همراه ۵ سانتیمتر شاتکریت پیشنهاد می گردد.

۹- در ماسه سنگهای ضعیف پس از تحلیلهای صورت گرفته سیستم نگهداری بولت های ۳ متری با فاصله داری ۲/۵ متر به همراه ۱۰ سانتیمتر شاتکریت برای نگهداری پیشنهاد می گردد.

۱۰- از آنجا که در مقاطع مختلف تونل از روشهای متنوع تجربی استفاده شده لذا پس از برازش منحنی رابطه $RMR = 8.9LnQ + 41$ بین دو روش Q, RMR و رابطه $JH = 10.2LnQ + 47.7$ بین دو روش JH, Q بدست آمد.

۱۱- نتایج حاصل از تحلیل عددی نشانگر آنست که روش تجربی RMR در طراحی بولت محافظه کارانه عمل نموده و طول پیشنهادی برای بولت ها در تمامی مناطق بیش از آنچه که در روش عددی مورد تحلیل واقع شده ذکر گردیده است.

۱۲- در تحلیل‌های صورت گرفته روش RMI,Q در سنگهای دارای مقاومت پایین بهتر از سنگهای مقاوم تر جواب داده و به دلیل آنکه قطر تونل کم بوده، بدین جهت در اکثر مناطق تونل را بدون سیستم نگهداری پایدار دانسته در صورتیکه تحلیل عددی مارن‌ها را فقط بدون سیستم نگهداری پایدار نشان می دهد و در سایر مناطق نیاز به نصب سیستم نگهداری است.

۱۳- نتایج حاصل از تحلیل عددی نشانگر آنست که روش طبقه بندی مهندسی Q در طراحی طول بولت از دقت کافی برخوردار است.

۱۴- در توفها، ماسه سنگها و شیلها نتایج حاصل از روش آنالیز بلوکی به نتایج حاصل از تحلیل های عددی شباهت خوبی دارد.

۱۵- روش JH در طراحی سیستم نگهداری تاکید بسیار در طراحی بولت دارد، از آنجا که این روش بر مبنای مطالعات موردی فراوان در تونلهای راه ژاپن استوار است در طراحی بولت بخصوص در سنگهای سست به روش عددی نزدیکی بهتری نشان می دهد. استفاده از این روش در طراحی سیستم نگهداری سنگهای بسیار مقاوم محافظه کارانه است.

۸-۲- پیشنهادات

۱- عمده آزمایشات صورت گرفته بر روی سنگهای دربرگیرنده تونل چشمه روزیه، آزمایشات تک محوری و کشش برزیلی است که برای بدست آوردن سایر پارامترهای سنگ پیشنهاد می گردد از آزمایش سه محوره استفاده شود.

۲- در دسته بندی های سوم و پنجم از تونل که شامل لایه بندیهای با ضخامت کم و مجاور هم است ناپیوستگی های عمده سطوح لایه بندی است که در این مناطق شرایط کرنش صفحه ای بر قرار نمی باشد لذا بایستی از نرم افزای سه بعدی استفاده شود. لذا پیشنهاد می گردد در صورت امکان از نرم افزار 3DEC استفاده گردد.

۳- از آنجا که تحلیلهای صورت گرفته استاتیکی است، می توان برای بررسی تنشهای دینامیکی از تحلیل دینامیکی با لحاظ نمودن شتابهای لرزه ای استفاده نمود. لذا پیشنهاد می گردد در مناطق نزدیک به گسل در تونل تحلیل دینامیکی نیز صورت گیرد.

۴- در این پایان نامه از داده های حاصل از طبقه بندی های مختلف برای بدست آوردن رابطه منطقی بین روشهای مختلف طبقه بندی استفاده گردید. در صورت جمع آوری اطلاعات تکمیلی می توان برای محاسبه مقادیر پارامترهای توده سنگ نیز رابطه های مناسبی بدست آورد و یا اینکه روابط هوک را مورد بررسی قرار داد. پیشنهاد می گردد در صورت وجود اطلاعات بیشتر این روابط مورد محاسبه و بررسی قرار گیرد.

۵- به دلیل شباهت بسیار زیاد دو روش RMR, JH در سنگهای دارای کیفیت بالا در مواردی که $JH > 80$ است پیشنهاد میگردد جهت طراحی سیستم نگهداری از جداول مربوط به روش RMR استفاده گردد.

- Geomechanics". A.A.Balkema. 222 pp
- 12-Singh, B.Geol. R.K. "1999,Rock Mass Classification". Elsevier
- 13- Palmstrom, A.1995."Charactrerizing Rock Mass by The RMI For Use In Practical Rock Engineering".*Tunneling and Underground Space Technology*- Vol.11 pp 175-188 .No 2-
- ۱۴- دهقان بنادکی. م. ، ۱۳۷۸. "تئوری بلوک و کاربرد های آن در مهندسی سنگ" - انتشارات دانشگاه صنعتی شاهرود.
- 15-Mannuál of Unwedge Software,
www.rockscience.com
- ۱۶-شکور شهبابی ، رضا. ۱۳۸۱. "طراحی سیستم نگهداری سیستم آب بر سد گتوند علیا". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- ۱۷- صفری ، اباسد. ۱۳۸۰، "تحلیل پایداری شیروانی ساحل راست سد گتوند علیا". پایان نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه صنعتی شاهرود.
- 18-Cundall, P. 1992 ."UDEc Users Manual (Ver 1.8) ".Vol 1,2.Itasca Consulting Group Inc.
- ۱۹- معارف وند ، پرویز و زارع ، شکراله. ۱۳۸۰. "تحلیل پایداری و طرح نگهداری تونلها با نرم افزار UDEC مطالعات موردی". پنجمین کنفرانس تونل ایران. ص ۱۶۹-۱۶۱
- ۲۰- گزارش اطلاعات زمین شناسی و مکانیک سنگی پروژه انتقال آب سمنان- شرکت مهندسی مشاور مهتاب قدس

منابع

- ۱- هوک، ا و براون، ای- ۱۳۷۶- سازه های زیر زمینی در سنگ- انتشارات آزمایشگاه مکانیک خاک
- 2-Palmstrom, A.1995. "RMI-Rock Mass Characterization System for Rock Engineering Purpose".Phd-Thesis.University of Oslo Norway. 400 pp
- 3- Barton, N. Lien ,R. Lunde , J .1974."Engineering Classification of Rock Masses for Design of Rock Support".*Rock Mechanics* 6.
- 4-Bieniawski ,Z.T.1984. "Rock Mechanics Design in Mining and Technology", A.A.Balkema, 272 pp
- 5- Kvelsvik ,V . Kalsrud , K."Support Methods and Ground Water Control", *Norwegian Urban Tunneling*. Norwegian Soil and Rock Engineering Association
- 6- Chen, S.G. Ong, H.L.TanK, H and Tan, C.E. 2001." Main Consideration on UDEC Modeling of Tunnel Excavations and Supports", *Modern Tunneling Science &Technology*
- 7-Akagi, W. Ito, T. Shiroma, H and etall. 2001."A Proposal of New Rock Mass Classification for Tunneling ". *Modern Tunneling Science and Tunneling Science & Technology* , pp 371-377
- ۸-قزوینیان،ع و شریف واقعی، ع . ۱۳۸۰. "تحلیل پایداری فضای زیر زمینی تلمبه خانه سد لار، اولین کنفرانس مکانیک سنگ ایران- ص ۳۲۲-۳۱۵
- ۹-قارونی نیک، م و همزه ابیازنی،م. ۱۳۸۰. نگهداری حفاریات زیر زمینی در سنگهای سخت، انتشارات نص
- 10- Windsor, C.R.1990." Block Stability in Jointed Rock Masses "*Fractured jointed Rock Masses Conference*
- 11-Sharama, V.M . Saxena, K.R. Woods, R.D.1999."Disinct Element Modeling in

ضمائم

ضمیمه شماره ۱: جداول امتیاز دهی RMR

در سیستم طبقه بندی RMR برای امتیاز دهی پارامترها از جدول الف-۱ استفاده می گردد. در نهایت مجموع این امتیازها مقدار RMR را برای توده سنگ خواهد داد که برای طراحی سیستم نگهداری از آن استفاده می گردد.

جدول الف-۱ - امتیاز پارامترهای روش RMR

الف - پارامترهای طبقه بندی و امتیاز آنها			محدوده مقادیر					پارامتر		
مقادیر	تعداد	گام	تعداد	گام	تعداد	گام	شاخص مقارنت	ماده سنگ بکر	مقارنت	
							پارامترهای			تک
برای این محدوده آزمایش ملازمت فشاری تک محوری ترجمه داده می شود.							مقارنت			
1-0 MPa		0-10 MPa	1-2 گام	2-7 گام	4-10 گام	10-10 گام	10	ماده سنگ بکر	مقارنت	
0-10 MPa		10-50 MPa	3-4 گام	5-10 گام	11-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
10-50 MPa		50-100 MPa	5 گام	6-11 گام	12-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
10-50 MPa		100-200 MPa	6 گام	7-11 گام	12-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
20-50 MPa		200-500 MPa	7 گام	8-11 گام	12-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
50-100 MPa		500-1000 MPa	8 گام	9-11 گام	12-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
100-200 MPa		1000-2000 MPa	9 گام	10-11 گام	12-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
200-500 MPa		2000-5000 MPa	10 گام	11-12 گام	13-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
500-1000 MPa		5000-10000 MPa	11 گام	12-13 گام	14-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
1000-2000 MPa		20000-50000 MPa	12 گام	13-14 گام	15-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
2000-5000 MPa		50000-100000 MPa	13 گام	14-15 گام	16-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
5000-10000 MPa		100000-200000 MPa	14 گام	15-16 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
10000-20000 MPa		200000-500000 MPa	15 گام	16-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
20000-50000 MPa		500000-1000000 MPa	16 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
50000-100000 MPa		1000000-2000000 MPa	17 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
100000-200000 MPa		2000000-5000000 MPa	18 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
200000-500000 MPa		5000000-10000000 MPa	19 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
500000-1000000 MPa		10000000-20000000 MPa	20 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
1000000-2000000 MPa		20000000-50000000 MPa	21 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
2000000-5000000 MPa		50000000-100000000 MPa	22 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
5000000-10000000 MPa		100000000-200000000 MPa	23 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
10000000-20000000 MPa		200000000-500000000 MPa	24 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
20000000-50000000 MPa		500000000-1000000000 MPa	25 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
50000000-100000000 MPa		1000000000-2000000000 MPa	26 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
100000000-200000000 MPa		2000000000-5000000000 MPa	27 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
200000000-500000000 MPa		5000000000-10000000000 MPa	28 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
500000000-1000000000 MPa		10000000000-20000000000 MPa	29 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
1000000000-2000000000 MPa		20000000000-50000000000 MPa	30 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
2000000000-5000000000 MPa		50000000000-100000000000 MPa	31 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
5000000000-10000000000 MPa		100000000000-200000000000 MPa	32 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
10000000000-20000000000 MPa		200000000000-500000000000 MPa	33 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
20000000000-50000000000 MPa		500000000000-1000000000000 MPa	34 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
50000000000-100000000000 MPa		1000000000000-2000000000000 MPa	35 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
100000000000-200000000000 MPa		2000000000000-5000000000000 MPa	36 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
200000000000-500000000000 MPa		5000000000000-10000000000000 MPa	37 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
500000000000-1000000000000 MPa		10000000000000-20000000000000 MPa	38 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
1000000000000-2000000000000 MPa		20000000000000-50000000000000 MPa	39 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
2000000000000-5000000000000 MPa		50000000000000-100000000000000 MPa	40 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
5000000000000-10000000000000 MPa		100000000000000-200000000000000 MPa	41 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
10000000000000-20000000000000 MPa		200000000000000-500000000000000 MPa	42 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
20000000000000-50000000000000 MPa		500000000000000-1000000000000000 MPa	43 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
50000000000000-100000000000000 MPa		1000000000000000-2000000000000000 MPa	44 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
100000000000000-200000000000000 MPa		2000000000000000-5000000000000000 MPa	45 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
200000000000000-500000000000000 MPa		5000000000000000-10000000000000000 MPa	46 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
500000000000000-1000000000000000 MPa		10000000000000000-20000000000000000 MPa	47 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
1000000000000000-2000000000000000 MPa		20000000000000000-50000000000000000 MPa	48 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
2000000000000000-5000000000000000 MPa		50000000000000000-100000000000000000 MPa	49 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
5000000000000000-10000000000000000 MPa		100000000000000000-200000000000000000 MPa	50 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
10000000000000000-20000000000000000 MPa		200000000000000000-500000000000000000 MPa	51 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
20000000000000000-50000000000000000 MPa		500000000000000000-1000000000000000000 MPa	52 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
50000000000000000-100000000000000000 MPa		1000000000000000000-2000000000000000000 MPa	53 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
100000000000000000-200000000000000000 MPa		2000000000000000000-5000000000000000000 MPa	54 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
200000000000000000-500000000000000000 MPa		5000000000000000000-10000000000000000000 MPa	55 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
500000000000000000-1000000000000000000 MPa		10000000000000000000-20000000000000000000 MPa	56 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
1000000000000000000-2000000000000000000 MPa		20000000000000000000-50000000000000000000 MPa	57 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
2000000000000000000-5000000000000000000 MPa		50000000000000000000-100000000000000000000 MPa	58 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
5000000000000000000-10000000000000000000 MPa		100000000000000000000-200000000000000000000 MPa	59 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
10000000000000000000-20000000000000000000 MPa		200000000000000000000-500000000000000000000 MPa	60 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
20000000000000000000-50000000000000000000 MPa		500000000000000000000-1000000000000000000000 MPa	61 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
50000000000000000000-1000000000000000000000 MPa		1000000000000000000000-2000000000000000000000 MPa	62 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
100000000000000000000-2000000000000000000000 MPa		2000000000000000000000-5000000000000000000000 MPa	63 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
200000000000000000000-5000000000000000000000 MPa		5000000000000000000000-10000000000000000000000 MPa	64 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
500000000000000000000-10000000000000000000000 MPa		10000000000000000000000-20000000000000000000000 MPa	65 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
1000000000000000000000-20000000000000000000000 MPa		20000000000000000000000-50000000000000000000000 MPa	66 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
2000000000000000000000-50000000000000000000000 MPa		50000000000000000000000-100000000000000000000000 MPa	67 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
5000000000000000000000-100000000000000000000000 MPa		100000000000000000000000-200000000000000000000000 MPa	68 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
10000000000000000000000-200000000000000000000000 MPa		200000000000000000000000-500000000000000000000000 MPa	69 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
20000000000000000000000-500000000000000000000000 MPa		500000000000000000000000-1000000000000000000000000 MPa	70 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20	ماده سنگ بکر	مقارنت	
50000000000000000000000-1000000000000000000000000 MPa		1000000000000000000000000-2000000000000000000000000 MPa	71 گام	17-17 گام	17-17 گام	18-25 گام	20			

RMR ادامه جدول ۱ - الف - امتیاز پارامترهای روش

ب - رده و کلاس بوده سنگ که براساس امتیاز کل تعیین می شود					
امتیاز	۸۱ - ۱۰۰	۶۱ - ۸۰	۴۱ - ۶۰	۲۱ - ۴۰	< ۲۱
سنگ خیلی خوب	I	II	III	IV	V
شماره طبقه (کلاس)	سنگ خیلی خوب	سنگ خوب	سنگ متوسط	سنگ ضعیف	سنگ خیلی ضعیف
ث - معنای رده و کلاس سنگ					
شماره طبقه (کلاس)	I	II	III	IV	V
متوسط زمان خرد با داری	۲۰ سال برای دهانه	یک سال برای دهانه	یک هفته برای دهانه	۱۰ ساعت برای دهانه	۳۰ دقیقه برای ۵ متری
۳ سببگی رده سنگ (RPM)	۱۵ متری	دهانه ۱۰ متری	۵ متری	دهانه ۲/۵ متری	دهانه ۱ متری
زاویه اصطکاک ی رده سنگ (درجه)	بیشتر از ۲۰۰	۳۰۰ - ۲۰۰	۲۰۰ - ۳۰۰	۱۰۰ - ۲۰۰	کمتر از ۱۰۰
طول ناپرسنگی (گسترش ناپرسنگی)	بیشتر از ۲۵	۲۵ - ۱۵	۱۵ - ۳۵	۱۵ - ۲۵	کمتر از ۱۵
ث - رده و معنای برای طبقه بندی شرایط ناپرسنگی ها					
امتیاز	کمتر از امتز	۲ - امتز	۱ - امتز	۱ - امتز	بیشتر از ۲۰ امتز
بازشدگی (شکاف)	نداره	کمتر از ۱ میلیمتر	۱ - ۱/۱۰ میلیمتر	۱ - ۵ میلیمتر	بیشتر از ۵ میلیمتر
امتیاز	۲	۵	۲	۱	۰
زبری	خیلی زبر	زبر	کمی زبر	صاف	مبغلی
امتیاز	۲	۵	۳	۱	۰
برشدگی (خردشدگی)	نداره	برکنده سخت > ۵ میلیمتر	برکنده سخت > ۵ میلیمتر	برکنده نرم > ۵ میلیمتر	بیشتر از ۵mm برکنده نرم
امتیاز	۲	۲	۲	۲	۰
موازنگی	موازنده	کمی موازنده	موازنگی متوسط	موازنگی زیاد	متلاطمی شده
امتیاز	۲	۵	۲	۱	۰
ج - اثر راستا و جهت شیب در توانسازگی					
اندازه عمود بر محور تونل					
جهت پیشروی عم جهت شیب، جهت ۹۰-۲۵ درجه	جهت پیشروی هم جهت شیب، جهت ۲۵-۲۰ درجه	استاده موازی محور تونل			
شکل مساعد	مساعد	شکل نامساعد	زاویه شیب ۹۰-۲۵ درجه		
جهت پیشروی شیب ۹۰-۲۵ درجه	جهت پیشروی شیب ۲۵-۲۰ درجه	شکل نامساعد	زاویه شیب ۲۰-۲۵ درجه		
متناسب	متناسب	شکل نامساعد	زاویه شیب ۲۰-۲۵ درجه بدون توجه به راستا		
متناسب	متناسب	نامساعد	متناسب		

ضمیمه شماره ۲: راهنمای حفاری و نگهداری بر اساس روش RMR

پس از آنکه مقدار RMR برای توده سنگ در بر گیرنده سازه زیر زمینی مشخص گردید، می توان از طریق جدول راهنمایی که در سال ۱۹۸۹ توسط بنیادسکی ارائه شد سیستم نگهداری را بصورت تجربی برای آن قسمت از سنگ در برگیرنده طراحی نمود. این جدول در ذیل آورده شده است.

رده و کلاس سنگ	حفاری	پنج سنگ	پنجاه	قابلیت فولادی
۱- سنگ خوب خوب RMR=۸۱-۱۰۰	حفاری تمام سطح با سه متر پیشروی	(با قطر ۲۰ سانتیمتر تمام توری می)	معمولاً به استثنای پنج سنگهای موضعی به نگهدارنده احتیاج ندارد	
۲- سنگ خوب RMR=۶۱-۸۰	حفاری تمام سطح فاصله نگهدارنده کامل از چینه کار ۲۰ متر	موضعی پنج سنگهای سقف بطول ۳ متر با فاصله ۲/۵ متر و گاهی همراه با توری سیمی کامل	۵۰ میلیتر در سقف اگر نیاز باشد	نیازی نیست
۳- سنگ متوسط RMR=۴۱-۶۰	حفاری بصورت پله ای پیشروی تاج ۳-۱/۵ متر جلوتر از کف نصب نگهدارنده بعد از هر آشکاری. فاصله نگهدارنده کامل از چینه کار ۱۰ متر	ششگه منظم پنج سنگ به طول ۴ متر با فاصله ۱/۵ تا ۲ متر در سقف و دیواره و در سقف همزمان توری سیمی	۵۰ تا ۱۰۰ میلیتر در سقف ۲۰ و ۳۰ میلیتر در دیوارهای جانبی	نیازی نیست
۴- سنگ ضعیف RMR=۲۱-۴۰	حفاری به صورت پله ای پیشروی در تاج ۱/۵-۱ متر جلوتر از کف نصب نگهداری مداوم همراه با حفاری به فاصله ۱۰ متری چینه کار	ششگه پنج سنگها به طول ۲ تا ۵ متر با فاصله ۱ تا ۱/۵ متر در سقف و دیوارها همراه با توری سیمی	۱۵۰ تا ۱۰۰ میلیتر در سقف و ۱۰۰ میلیتر در دیوارهای جانبی	کم تا متوسط با فاصله ۱/۵ متر در صورت نیاز
۵- سنگ خیلی ضعیف RMR < ۱۱	حفاری با چنگکاری پیشروی در قسمت بالایی ۱/۵ تا ۰/۵ متر جلوتر از کف. نصب نگهدارنده مداوم همراه با حفاری و پاشیدن بتن پاشیده سریم بعد از آشکاری	ششگه پنج سنگها به طول ۵ تا ۶ متر، با فاصله ۱-۱/۵ متر در سقف و دیوارها همراه با توری سیمی در کف هم پنج سنگ نصب شود	۱۵۰ تا ۲۰۰ میلیتر در سقف، ۱۵۰ میلیتر در دیوارهای جانبی و ۵۰ میلیتر روی سطح چینه کار	متوسط تا زیاد با فاصله ۰/۷۵ متر همراه با پوششهای فولادی بین قابها و در صورت نیاز پیش تزیین روی چینه کار کفبند شده و دیوارها

پس از آنکه مقادیر پارامترها از جدول ۳-الف مشخص گردید می توان مقدار JH را از امتیاز دهی پارامترهای جدول ۳-ب تعیین نمود. امتیاز پارامترها در جدول ۳-ب آمده است.

جدول ۳-ب - امتیاز پارامترهای روش JH

Inclination regression line	Occupation ratio of each group	Rating of category					
		1	2	3	4	5	6
Uniaxial strength	39.68%	40	32	24	16	8	0
Weathering alteration	18.20%	18	12	6	0	-	-
Spacing of joints	16.42%	16	12	8	4	0	-
Condition of joints	25.71%	26	19	13	6	0	-
Total	100%	100					
Uniaxial strength	31.28%	31	25	19	13	6	0
Weathering alteration	21.84%	22	15	7	0	-	-
Spacing of joints	20.38%	20	15	10	5	0	-
Condition of joints	26.50%	27	20	13	7	0	-
Total	100%	100					
Uniaxial strength	32.37%	32	26	19	13	6	0
Weathering alteration	26.07%	26	17	9	0	-	-
Spacing of joints	13.68%	14	10	-7	3	0	-
Condition of joints	27.88%	28	21	14	7	0	-
Total	100%	100					
Uniaxial strength	37.08%	37	30	22	15	7	0
Weathering alteration	15.28%	15	10	5	0	-	-
Spacing of joints	20.59%	21	15	10	5	0	-
Condition of joints	27.05%	27	20	14	7	0	-
Total	100%	100					

ضمیمه شماره ۵: فایل متنی ورودی نرم افزار UDEC

```
*/this model is for tuff

bl 0 0 0 180 30 180 30 0
ro 0.015
cr 5 5 5 25
cr 0 25 30 25
cr 25 25 25 5
cr 0 5 30 5
cr 5 13 25 13

cr 13 13 13 15
cr 13 13 17 13
cr 17 13 17 15
arc 15 15 17 15 180 20

jregion 5 5 5 25 25 25 25 5
jset 53 8 40 0 0.3 0 0.5 0 0 0
jset -5.4 10 40 0 0.2 0 0.5 0 0 0
jdel
gen 5 25 5 25 edge 2
gen edge 8

prop mat 1 dens 0.025 ymod 13000 prat 0.25 coh 0.6 fric 48
prop mat 2 dens 0.078 prat 0.2 ymod 80e3 yield 7.8e-2 ycomp 0.1
prop mat 3 kbond 4e3 sbond 1.6e-2

prop jmat 1 jkn 25.2e3 jks 25.22e2 jfric 30 jcoh 1 jten 1
prop jmat 1 jkn 25.2e3 jks 25.22e2 jfric 30 jcoh 1 jten 1
prop jmat 1 jkn 25.2e3 jks 25.22e2 jfric 30 jcoh 1 jten 1

ch mat 1
ch jmat 1

bo -0.1 0.1 0 180 xvel 0
bo 29.9 30.1 0 180 xvel 0
bo -0.1 30.1 -0.1 0.1 yvel 0
grav 0 -9.81

damp auto

hist unbal

*pause
cy 8000
```

```
save tuf.sav
reset dis
reset hist
hist unbal
```

```
hist yvel 15 17 ydis 15 17
hist yvel 17 15 ydis 17 15
hist yvel 13 15 ydis 13 15
del an 15 15 0 2
del region 13 13 13 15 17 15 17 13
*pause
```

```
cy 8000
save tufd.sav
cable 17 15 20 15 10 2 0.005 3
cable 15 17 15 20 10 2 0.005 3
cable 13 15 10 15 10 2 0.005 3
cy 6000
save tufbl.sav
```

```
pro mat 4 de 0.023 bu 11.11e3 ccoh 0.5 sh 8.3e3 cfri 26.4 kn 840 ks 100
struct xc 15 yc 15 fa -45 ra 4.5 np 15 mat 4 thi 0.05 the 270
cy 8000
```

```
save tufsh5.sav
rest tufbl.sav
```

```
pro mat 4 de 0.023 bu 11.11e3 ccoh 0.5 sh 8.3e3 cfri 26.4 kn 840 ks 100
struct xc 15 yc 15 fa -45 ra 4.5 np 15 mat 4 thi 0.1 the 270
cy 8000
```

```
save tufsh10.sav
```

```
rest tufbl.sav
```

```
pro mat 4 de 0.023 bu 11.11e3 ccoh 0.5 sh 8.3e3 cfri 26.4 kn 840 ks 100
struct xc 15 yc 15 fa -45 ra 4.5 np 15 mat 4 thi 0.15 the 270
cy 8000
```

```
save tufsh15.sav
```



Shahrood University of Technology

Mining Engineering and Geophysics Faculty

Exploitation Department

**Analysis and Design of Support System for Water
Conveyance Tunnel of CHESHMEH ROZIEH Semnan**

By:

M.R.Bitarafan

Supervisor:

Dr.H.Mirabediny

Advisor:

S.M.E.Jalali

Januray ۲۰۰۴

Abstract :

Cheshmeh Rozieh water conveyance tunnel is to deliver 650 $\frac{l}{sec}$ drinking water to Semnan city. This tunnel with its water pipe inside must be passed through Bashm mountain which is located in Shahmirzad area. The Tunnel length is about 3300 m and its cross section is modified horse shoe in shape. Selecting the tunnel direction, then the appropriate design of support system must be carried out. Comprehensive design has not been performed yet for the Cheshmeh Rozieh tunnel because of lack of enough geotechnical data at the time.

In this research firstly geological data was collected then tunnel regional rock was divided to several classes based on rock types, geotechnical conditions and so on.

The results of rock mass classification was used to identify various rock engineering characteristics. A regression analysis was performed among data resulted from the rock mass classification studies. Regression analysis showed there are meaningful relationship between RMR, Q and RMR, JH. Following equations are results of the regression analysis

$$RMR = 8.9 \ln Q + 41.3$$

$$JH = 10.3 \ln Q + 47.7$$

the second phase of this research aimed at analyse the key blocks to identify unstable areas. Unwedge software was used for this analysis. A suitable support system was proposed based on results of empirical and block analysis studies. At the last stage, this support system was fully investigated using numerical method. UDEC 1.83 Software was applied for numerical analysis. Modifications to support system suggested by the numerical analysis was reported to the tunnel contractor for better performance in the field.