دانشکده مهندسی معدن و ژئوفیزیک
گروه استخراج

پایان نامه کارشناسی ارشد

عنوان:

طراحی وتحلیل سیستم نگهداری تونل انتقال آب چشمه روزیه سمنان

محقق:

محمد رضا بیطرفان

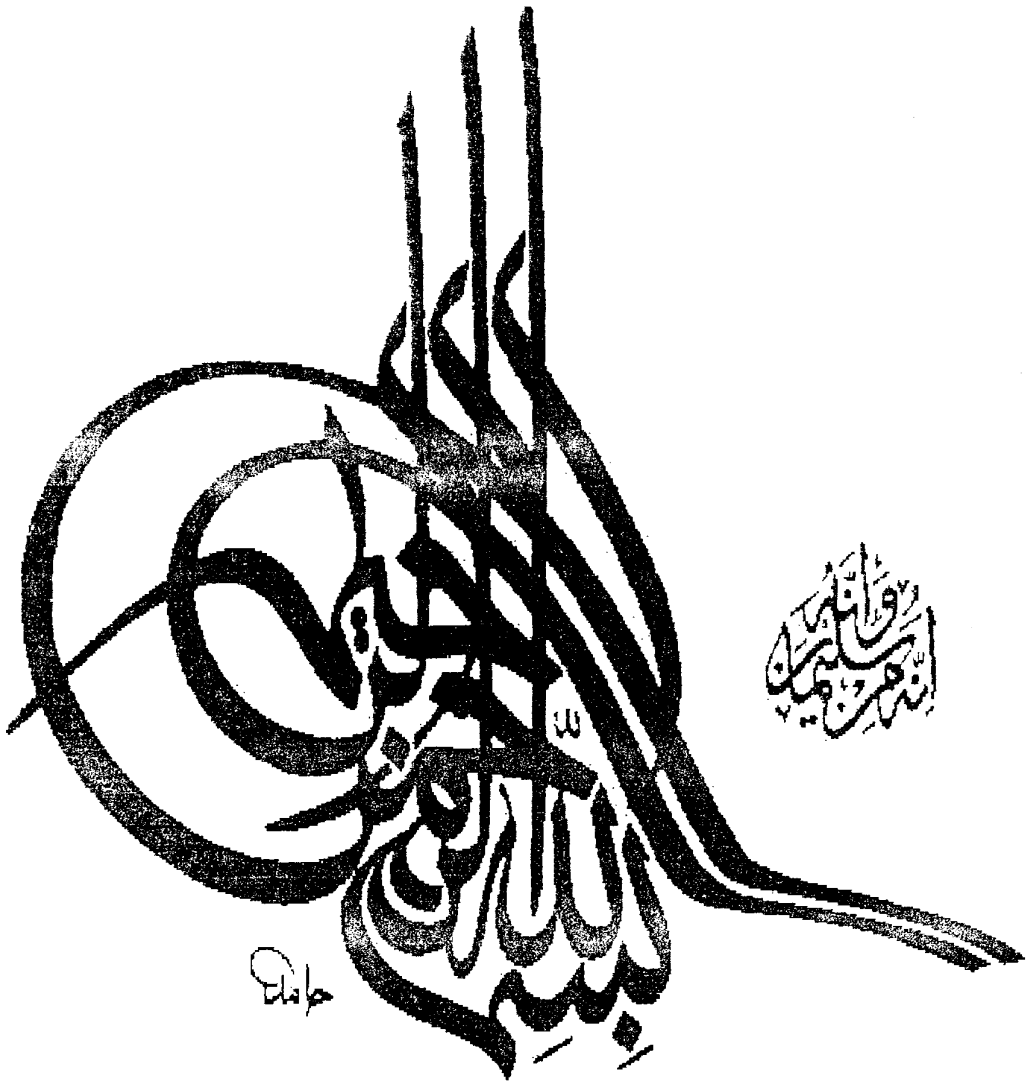
استاد راهنما:

دکتر حمید میرعابدینی

استاد مشاور:

مهندس سید محمد اسماعیل جلالی

زمستان ۱۳۸۲


بسم الله الرحمن الرحيم
إنه من سليمان وإنه

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 به :

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

من لم یشکر المخلوق لم یشکر 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

۱-۲-اهمیت طراحی سیستم نگهداری در سازه های زیر زمینی ۳

۱-۳-هدف از انجام پایان نامه ۵

۱-۴- سازماندهی پایان نامه ۵

فصل دوم - موارد کاربردی روشهای طراحی سیستم نگهداری

۲-۱- طراحی سیستم نگهداری ۸

۲-۲- روابط موجود بین سیستمهای نگهداری ۱۱

۲-۳-بحث و نتیجه گیری..... ۱۲

فصل سوم- روشهای طراحی سیستم نگهداری

۳-۱-مقدمه ۱۶

۳-۲- استفاده از طبقه‌بندی مهندسی سنگ ۱۶

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

فصل چهارم- سیمای کلی پروژه تونل آبرسانی سمنان

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

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

۵-۱-مقدمه ۵۴

۵-۲- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش Q ۵۴

۵-۳- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش RMR ۵۴

۵-۴- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش RMI ۵۷

۵-۵- طبقه بندی تونل چشمه روزیه با استفاده از روش JH ۵۸

۵-۶- طرح نگهداری بر اساس سیستمهای طبقه بندی ۵۸

۵-۶-۱- روش طبقه بندی مهندسی سنگ (Q)NGI ۵۸

۵-۶-۲- سیستم طبقه بندی RMR ۶۰

۵-۶-۳-روش RMI ۶۲

۵-۶-۴-روش JH ۶۳

۵-۷- محاسبه پارامتر های توده سنگ از روابط تجربی ۶۶

۵-۷-۱- مقادیر محاسبه شده براساس روش Q ۶۶

۵-۷-۲- تخمین بر اساس مقادیر RMR ۶۷

۵-۸- روابط بدست آمده بین سیستمهای طبقه‌بندی مختلف ۶۹

۵-۸-۱ـ رابطه بین Q, RMR ۶۹

۵-۸-۲ـ رابطه بدست آمده بین روش Q,JH ۷۰

فصل ششم-تحلیل پایداری با استفاده از آنالیز گوه ای

۶-۱- مقدمه ۷۳

فصل هشتم – نتیجه گیری و پیشنهادات

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

فهرست اشکال و تصاویر

شکل ۲-۱-نمایش روابط بین RMRوQ ۱۲

شکل ۳-۱-نمودار تخمین نوع نگهدارنده براساس شاخص Q ۱۹

شکل ۳-۲-نمودار طبقه بندی RMI ۲۵

شکل۳-۳- انواع گوه های ایجاد شده در تونل ۲۶

شکل ۳-۴ دامنه ناپیوستگی بر اساس نظر دیر ۳۲

شکل۳-۵- مراحل مدلسازی روش اجزا مجزا ۳۵

شکل۳-۶ – فلوچارت مدلسازی نرم افزارUdec ۳۶

شکل ۴-۱- مو قعیت تقریبی پروژه انتقال آب سمنان ۴۲

شکل ۴-۲- نمایی از لایه بندی مسیر تونل ۴۳

شکل ۴-۳ مقطع عرضی تونل ۴۳

شکل۴-۴- نمونه ای از نمایش صفحات اصلی درزه ها در منطقه ۴۹

شکل۵- ۱ برازش بین داده های RMR,Q ۷۰

شکل ۵-۲- برازش بین داده های JH,Q ۷۱

شکل۶-۱- 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
شکل۶-۱۴ 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
شکل۶-۱۸ 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
شکل۷ -۲- شکل بلوک در توده سنگهای مارنی ۹۷
شکل۷-۳- نمودار همگرایی در توده سنگهای مارنی..... ۹۸
شکل۷-۴-مقادیر ضریب ایمنی پس ار حفر تونل درمارنها..... ۹۹
شکل۷-۵-ماکزیمم جابجایی پس ار حفر تونل درمارنها..... ۹۹
شکل۷-۶- ماکزیمم نیروی محوری در شاتکریت..... ۱۰۰
شکل۷-۷- 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 دربولت 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 درماسه سنگهای مناسب ۱۲۰
شکل ۷-۳۶- ماکزیمم نیروی محوری دربولت در ماسه سنگهای مناسب..... ۱۲۱
شکل ۷-۳۷- ماکزیمم نیروی برشی دربولت در ماسه سنگهای مناسب..... ۱۲۱
شکل ۷-۳۸ماکزیمم 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 درماسه سنگهای ضعیف..... ۱۲۴
شکل ۷-۴۲- ماکزیمم نیروی محوری دربولت در ماسه سنگهای ضعیف ۱۲۵
شکل ۷-۴۳- ماکزیمم نیروی برشی دربولت 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 ۲-۱- خلاصه برخی از روشهای طراحی و موارد کاربرد آنها ۱۳

جدول ۳-۱- رده بندی سیستم نگهداری بر اساس روش JH ۲۳

جدول ۴-۱-دسته بندی مناطق مختلف تونل ۴۶

جدول ۴-۲-مشخصات مکانیک سنگی سنگهای منطقه ۴۸

جدول۴-۳ مشخصات دسته درزه ها ۵۰

جدول ۴-۴- پراکندگی ناپیوستگی ها ی موجود در منطقه ۵۱

جدول ۵-۱- مقادیر بدست آمده برای مقاطع مختلف به روش Q ۵۵

جدول۵-۲- مقادیر طبقه بندی RMR برای مقاطع مختلف ۵۶

جدول ۵-۳-طبقه بندی دسته های مختلف تونل با استفاده از روش RMI ۵۷

جدول ۵-۴- مقادیر بدست آمده برای مقاطع مختلف به روش JH ۵۹

جدول ۵-۵-طبقه بندی بر اساس روش Q ۶۰

جدول ۵-۶ -طراحی سیستم نگهداری به روش RMR ۶۱

جدول۵-۷ - سیستم نگهداری بر اساس روش طبقه بندی RMI ۶۲

جدول ۵- ۸ -طراحی سیستم نگهداری به روش JH ۶۳

جدول ۵-۹ -طراحی توسط تمامی روشهای تجربی ۶۴

جدول ۵-۱۰- دهانه بدون نگهداری و فشار سقف ۶۶

جدول ۵-۱۱ - دهانه بدون نگهداری و فشار سقف ۶۸

جدول ۶-۱- خلاصه طراحی بر اساس آنالیز بلوکی ۹۰

جدول۷-۱ مشخصات فاصله‌داری درزه ها 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 – پارامتر های کنتاکت سنگ وشاتکریت 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 ازفشار وخمش 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 روزیه واقع در ارتفاعات شهمیرزاد به شهر سمنان مورد بررسی قرار گرفت. پس از بررسی های صورت گرفته توسط مشاور طرح (شرکت مهاب 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 اصلیترین بخش در مهندسی تونل طراحی سیستم نگهداری آن می باشد. اصولا سیستم نگهداری بایستی طوری طراحی گردد که بتواند فاکتور ایمنی موررد 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[1]، لین[2] ولند[3] 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.

---

[1]-Barton

[2] -Lein

[3] - 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 وتنها 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 عموما قادرند فقط در تحلیل اثر یک فرآیند خاص در یک زمان، مورد استفاده قرار گیرند. مثل تاثیر ناپیوستگی های ساختاری یا تاثیر تنش فزآینده سنگ بر سازه. از سوی دیگر بندرت امکانپذیر است به آسانی بتوان اندر کنش این فرآیند ها 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 جاییکه ممکن است، باید میزان شکستگی و سست شدگی و سنگ اطراف تونل به حداقل برسد تا نیاز به حایل بتنی یا فولادی کمتر شود عمدتا 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 کاملا 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

مالـی، توقف عملیات پیشروی و در برخی موارد تلفات جانی خواهد گردید. بر همین اساس طراحی سیسـتم نگهـداری مناسـب از جملـه مهـمترین مطالعات در سیکل عملیاتی حفر فضای زیر زمینی اسـت. البـته 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.

پـس از آنکـه مـنطقه مورد حفاری به چندین قسمت تقسیم شد و نوع سنگ وپارامتر های تـوده سـنگ مـورد بررسـی قـرار 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 یاچند طرح طـبقه بـندی تـوده سنگ می تواند در کنترل پارامتر های کیفی و کمی توده سنگ کمک نماید . بـرای ایـن مـنظور بکارگیری چندین روش طبقه بندی مهندسی سنگها یک تصویر کلی از تر کیب مشخصـه هـای تـوده سـنگ 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 براثر حفر سازه زیرزمینی نیاز به مدلهای ریاضی وتحلیلی دارد زیرا روشهای تجربی به طور دقیق میزان مقاومت توده سنگ را نشان نمی دهد . اسـتفاده از این روشها نیاز به شناخت صحیح توده سنگی دارد. در صورت وجود اطلاعات مورد نیاز بـرای تحلـیل عـددی، طـراح قـادر بـه شـناخت رفـتار سیسـتم نگهـداری پـس از نصب می باشد. نکـته مهـم 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 بـاید آنالـیز گـوه 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 مـورد بررسـی قرار گیرد برای این منظور می توان از روشهای عددی استفاده کرد. در بین روشهای عـددی موجود، روشهای المان محدود و روش تفاضل محدود خاص محیط های پیوسته بوده و قادر بـه تحلـیل محیط های درزه دار نمی باشند. روش المان مجزا قابلیت تحلیل محیط های درزه دار و ناپیوسـته را دارا بـوده و مـی تـوان توسـط ایـن روش بـه مدلسـازی و تحلـیل درزه هـا و ناپیوستگی هاپرداخت.

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 برگیرنده 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 برگیرنده 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 شهمیرزاد سمنان که تونل انتقال آب ازآن منطقه عبور خواهد کرد، آورده شده و در ضمن پارامتر های اندازه گیری شده از منطقه نیز دسته بندی گردیده است. در فصل پنجم با استفاده از پارامترهای ژئوتکنیکی سنگهای در برگیرنده تونل، طبقه بندی مهندسی سنگها با استفاده از روشهای مرسوم طبقه بندی

نظیر Q,RMR,JH ,RMI صورت پذیرفته وسیستم 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 پروفسور 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 سنگ های 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 اصولا اگر حفاری در سنگهای سخت چه در اعماق و چه در عمق کم صورت گیرد روش RMR , Q, RMI برای طبقه بندی مناسب خواهد بود اما روش RMI, Q در مواقعی که محیط پرتنش بوده وتنشهای تکتونیکی سبب بروز درزه وناپیوستگی در سنگ شوند مناسب‌تر می‌باشند[۳]. در مواقعی که لایه بندی‌های متوالی در توده‌سنگ 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 دراکثر مناطق

۱- Ground Reaction Curve

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 درکانادا توسط (N.Barton) اشاره کرد[۵و۶].

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 ژاپن‌توسط 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 ازسایر 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 پارامتر ها در برخی از پروژه ها بکار گرفته شده است برای مثال می توان به طراحی یسیستم نگهدار ی تلمبه خانه سد لار و برخی از تونلهای راه در ایرا ن 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 دارکم عمق اتفاق می‌افتد. 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 [۹و۱۰]، 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 می‌شود [۱۰]. از این روش در طراحی سیستم نگهداری مغارها و تونلها در ایران و سایر کشورها استفاده گردیده است از جمله می‌توان به طراحی سیتم نگهداری مغارکارون 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 ـ کاملا پلاستیک است. طبق نظر دانکن[۱] و فوما[۲] چنین فرض می شود که شکست شامل لغزش در طول ناپیوستگی های متقاطع توده سنگ شدیدا درزه دار با تغییرات حجم پلاستیک صفر اتفاق می افتد[۹].

در تحلیل سیستم نگهداری به روش عددی، مهمترین عامل دقت پارامترهای ورودی می‌باشد. 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 تود. 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 می‌توان از نرم‌افزارهای 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 نرم‌افزار ۳DEC استفاده نمود. از این نرم‌افزار در طراحی و تحلیل سیستم‌های نگهداری در محیط‌های درزه‌دار در ایران و سایر کشورها به کثرت استفاده شده است. از جمله می‌توان به طراحی سیستم نگهداری در تونل‌های راه ژاپن توسط

---

۱ - Duncan

۲-Fuma

۳ -Distinct element

S.G.ChenH.L.Ongاشاره نمود[۶]. همچون طراحی سیستم نگهداری تونل های حفر شده توسط TBM[1] 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. ازاین 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:

$$RMR = 9LnQ + 44 \qquad (۱-۲)$$

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

$$RMR = 5.9LnQ + 43 \qquad (۲-۲)$$

Moreno(۱۹۸۰), Budavari &Cameron(۱۹۸۱),Abad(۱۹۸٤) روابط دیگری را بین این دو روش پیشنهاد نموده اند که این روابط در ذیل آمده است[۱۲].

$$RMR = 5.4LnQ + 55.2 \qquad (۳-۲)$$

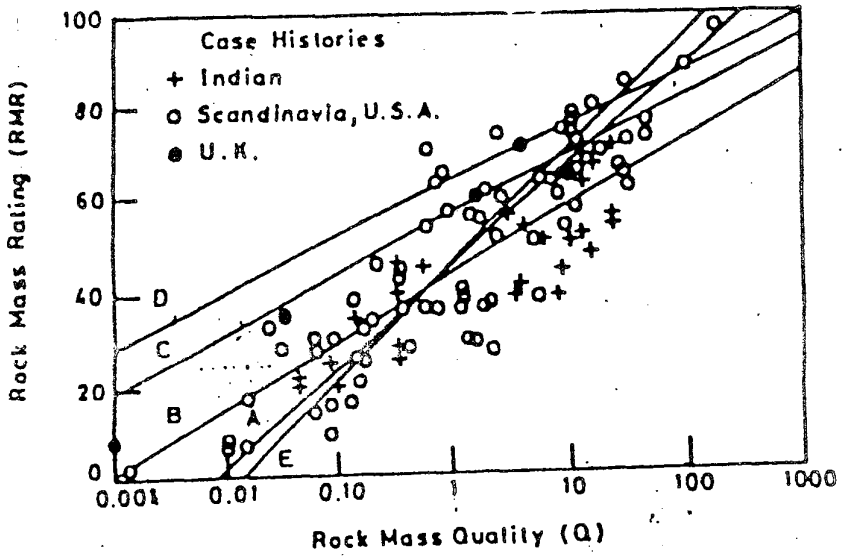
---

[1] Tunnel 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 ۲-۱ آمده است.



شکل ۲-۱-نمایش روابط بین RMRوQ [۱۲]

۲-۳-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 فضا ها 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 هریک 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 ۲-۱ دسته بندی شده است.

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

روشهای طراحی سیستم نگهداری		ارائه دهندگان و سال ارائه	شرح روش	موارد استفاده شده
روشهای تجربی	روش طبقه بندی مهندسی سنگ RMR	Bieniawski ۱۹۷۳	این روش در محیهای 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.	در اغلب پروژه های زیر زمینی در آمریکا، آفریقای جنوبی، نروژ، کانادا و اکثر نقاط دنیا از این روش استفاده می گردد.
	روش طبقه بندی مهندسی سنگ Q	Barton,Lein,Lunde ۱۹۷۴	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.	این روش به دلیل قدمت تا کنون در اغلب پروژه های زیر زمینی استفاده شده است.
	روش طبقه بندی مهندسی سنگ RMI	Palmstrom ۱۹۹۵	روش RMIخاص 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.	این روش از سال ۱۹۹۵ تا به حال در نروژ و برخی از تونلهای راه در ایران استفاده گردیده است.
	روش طبقه بندی مهندسی سنگ JH	Akagi & etall ۲۰۰۱	محاسبه پارامتر ها توسط این روش با دارا بودن پارامتر های شاخص توده سنگ نسبت به سایر روش ها آسانتر است.	از روش JH به دلیل تازه بودن فقط در طراحی سیستم نگهداری تونلهای راه در ژاپن استفاده شده است.
روش تحلیلی منحنی واکنش زمین GRC		Hoek &Brown	این روش جزء روشهای تحلیل سیستم نگهداری است ودر مواردی که تونل دایره ای در محیط پیوسته و هیدرواستاتیک قرار داشته باشد کاربرد دارد	از این روش در تحلیل تونلهای انقال آب که اکثرا دارای مقطع دایره ای و همچنین در تونلهای زیر دریایی(k=۱) می توان استفاده نمود.

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

روش آنالیز بلوکی			Goodman &Shi ۱۹۸۵	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 سسیتم نگهداری می پردازد.	در سنگهای سخت و پروژه های با عمق روباره کم همچون تونلهای درون شهری در صورت وجود ناپیوستگی می توان استفاده نمود
تحلیل عددی	محیط پیوسته	روش المان محدود	R.Courant ۱۹۴۳	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.	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.
		روش تفاضل محدود	Wilkins ۱۹۶۴	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	
	محیط ناپیوسته	روش المان مجزا	Cundall ۱۹۸۵	روش المان مجزا قابلیت بررسی رفتار محیطهای ناپیوسته را دارا می باشد. نرم افزار UDEC,۳DECبه این روش قادر به بررسی رفتار سنگ و سیستم نگهداری می باشند.	

فصل سوم

روشهای طراحی سیستم نگهداری فضاهای زیر زمینی

۳- روشهای طراحی سیستم نگهداری درسازه 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 طبقه‌بندی مهندسی سنگ و طراحی سیستم نگهداری براساس آن

روشهای طراحی سیستم نگهداری به روش تجربی از سال ۱۹۴۶ توسط ترزاقی ابداع وتا 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 پارامتر های 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 بنیاویسکی (۱۹۸۴) اظهار داشت[۲]:

"بسیار با اهمیت است که کیفیت داده‌های 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 می‌سازد تا درک بهتری از تاثیر پارامترهای گوناگون زمین‌شناسی در رفتار کلی توده سنگ و مشخصات ذاتی توده سنگ کسب نماید که در نهایت به قضاوت مهندسی بهتر منجر خواهد گردید. یک طرح طبقه‌بندی همچنین می‌تواند به عنوان لیست کنترلی برای اطمینان از اینکه تمام اطلاعات مربوطه مورد رسیدگی قرار گرفته، استفاده گردد، از طرف دیگر یک یا چند طرح طبقه‌بندی توده سنگ می‌تواند برای بیان تصویری از ترکیب و مشخصه‌های توده سنگ، برای تخمین اولیه و نگهداری‌های 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 تونل‌زنی در سنگ (Q)

بـارتون و همکـارانش در انسـتیتو ژئوتکـنیک نروژ در سال۱۹۷۴ شاخص کیفی تونل‌زنی 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].

$$Q = \frac{RQD}{J_n} * \frac{J_r}{J_a} * \frac{J_w}{SRF} \qquad (۱)$$

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

مـی‌باشـند. در توضـیح معـانی پارامـترهای استفاده شده برای تعیین مقدار Q بارتون و همکارانش نظریات زیر را ارائه کرده اند.

نسبت $\frac{RQD}{Jn}$: 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[1] 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 حفریات 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

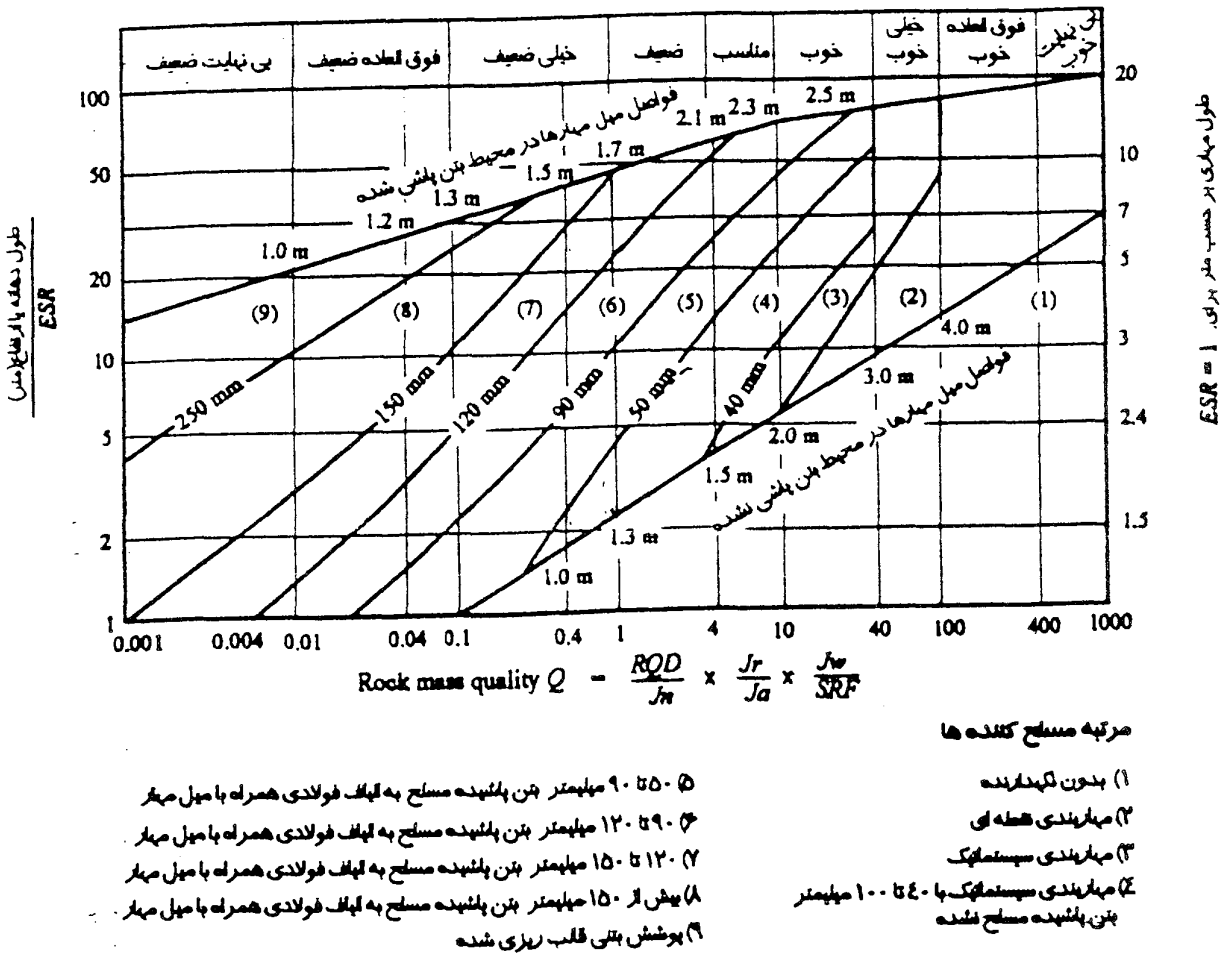
اهمیت نگهدارنده (ESR) نامیده می شود بدست می آید[۹] .

---

[1]-Diletency

[2] -Norvegian Rock Mechanics Insitute

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



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

۳-۲-۲- طبقه‌بندی ژئومکانیکی(RMR)

در سال ۱۹۷۶، بنیاویسکی جزئیات طبقه‌بندی توده سنگ که طبقه‌بندی 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].

۱ـ مقاومت فشاری تک محوری ماده سنگی

۲ـ شاخص کیفیت سنگ RQD

۳ـ فاصله ناپیوستگی‌ها

۴ـ شرایط ناپیوستگی‌ها

۵ـ شرایط آب زیرزمینی

۶ـ 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 سنک 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 بنیاوسکی یک جدول راهنمائی برای انتخاب نگهدارنده در تونلهای سنگی با توجه به RMR معلوم آنها ارائه کرد. این راهنما در جدول ضمیمه ۲ آمده است.

۳-۳-۲- روش JH

روش JH در سال ۲۰۰۱، توسطW.AKAGI و همکارانش ارائه گردید[۷]. در بین روشهای موجود، روش NATM[1] 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 ۱۹۶۶-۱۹۹۸در بیش از ۵۳ تونل و۹۶۹۰ مقطع در ژاپن مورد مطالعه قرار گرفته است. از انجا 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].

1-New Austrian Tunneling Method

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]=[امتیاز سمت راست سینه کار +۲× امتیاز تاج تونل+امتیاز سمت چپ سینه کار]/4 (۲)

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

الف ـ مقاومت سنگ بکر

ب ـ میزان هوازدگی و آلتراسیون

ج ـ فاصله‌داری درزه‌ها

د ـ شرایط درزه‌ها

---

[1] -Face

هـ ـ جریان آب زیرزمینی

و ـ دگرسانی توسط آب

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

جدول ۳-۱- 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	125H	3.84
DI-b	1.0m	4.0m	1.2m	15cm	125H	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[1]

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 پارامتر های زمین شناسی تعریف شده استوار است. مهمترین ایده استفاده شده در طبقه بندی RMI ، استفاده از پارامتر های ذاتی توده سنگ است. این طبقه بندی بر اصل کاهش مقاوت درونی توده سنگ بر اثر درزه های درونی آن استوار بوده و بصورت زیر تعریف می گردد[۱۳].

[1] -Rock Mass Index

$$RMI = \sigma_C * J_P$$

اندیس J_P از فرمول زیر قابل محاسبه است.

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

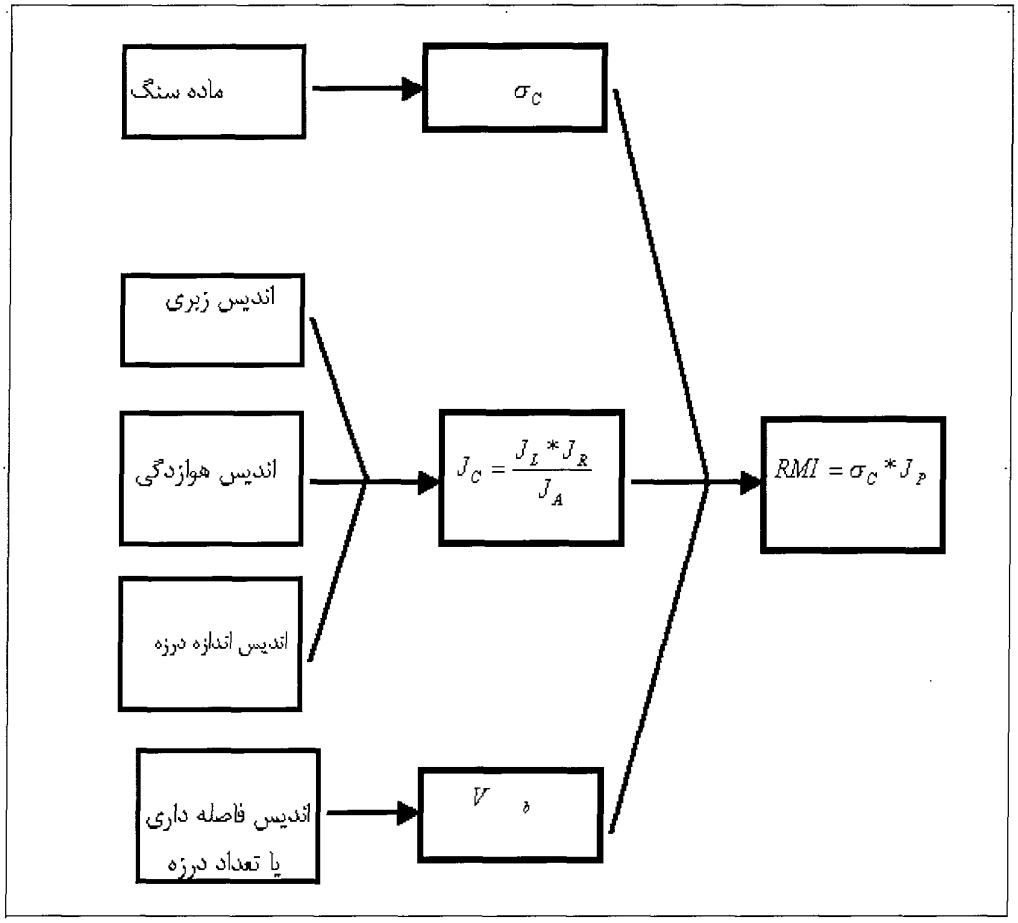
$$D = 0.37 J_C{}^{-0.2}$$

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

که در این فرمولها :

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

است . در شکل۳-۲ نمودار طبقه بندی RMI آورده شده است. ارزش J_Pبرای سنگهای خرد شده نزدیک به صفر و برای ماده سنگ حدود یک خواهد بود . RMI برای مقایسه و مبادله اطلاعات بین مهندسین 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 ار 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[۱۳و۲] .



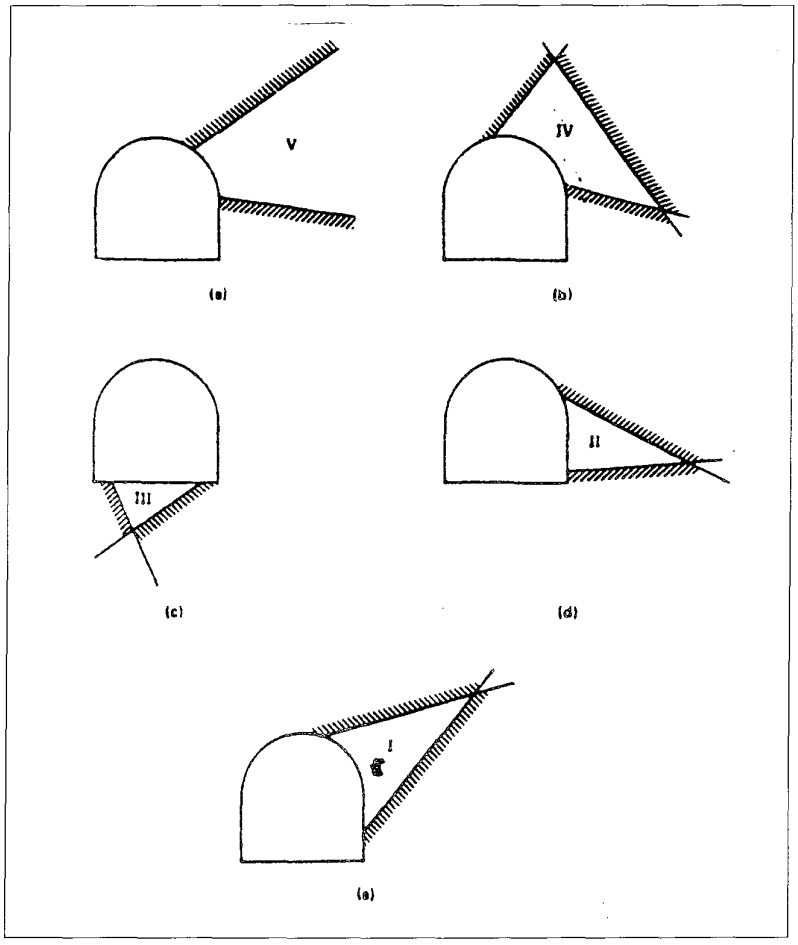
شکل ۳-۲-نمودار طبقه بندی RMI [۱۳و۲]

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. گو ه

های کلیدی برای پایداری فضاهای استخراجی 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 درموارد aتا 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] .



شکل۳-۳- 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 جداشدن 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 درصورت 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 ودیواره های فضای حفاری شده ممکن است از بین برود. هرگوه که اجازه افتادن یا لغزیدن پیدا می کند باعث کاهش در گیری 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 نا پیوستگی 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 مواردرا 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 وشاتکریت 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 مدلسازی 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 زمین‌شناسی 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 درنظر 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 درنظر 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 درنظر 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.

۱ـ درزه داری و یا ناپیوستگی های موجود در منطقه

۲ـ 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 می‌کند، زیرا در روشهای عددی برای هر یک از محیطهای پیوسته و ناپیوسته روشهای مختلفی بکار گرفته می‌شود 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 توده‌های سنگی

طبق نظر دیر[1] 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.

---

[1] Deere

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]:

۱ـ جان[1] در سال ۱۹۶۵ پیشنهاد نمود که: اگر واحدهای تشکیل شده در توده سنگ حداقل ۱۰ برابر واحد نمونه باشد (بعد حفاری) می‌توان 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.

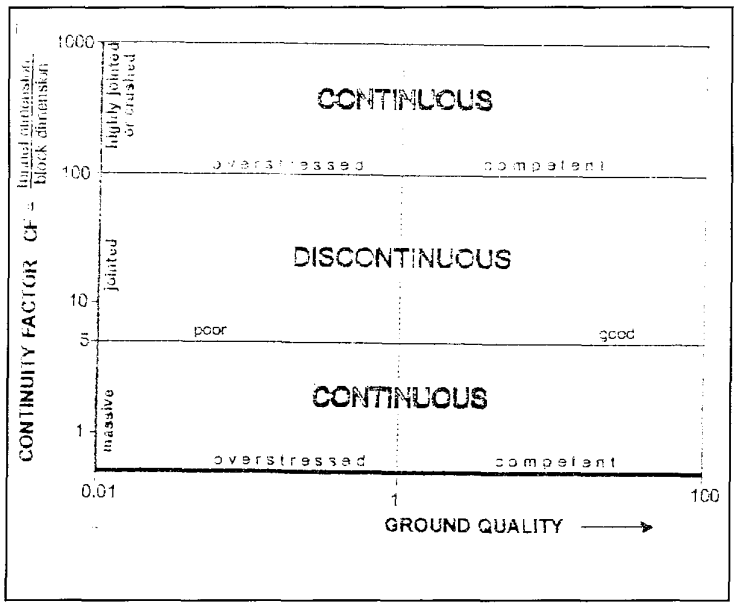
۲- دیر[2] در سال ۱۹۶۹ نیز پایداری فضاهای زیرزمینی را در محیطهای پیوسته بسته به مقاومت ذرات و خواص تغییرشکل‌پذیری حجم مواد دانست. او همچنین پایداری فضاها در محیطهای ناپیوسته را اساساً وابسته به فاکتور فاصله‌داری ناپیوستگی برشمرد.

ایشان در ادامه ابعاد فضای زیرزمینی را عامل مهم در تشخیص ایزوتروپ یا آنیزوتروپ بودن محیط دانست و اظهار داشت: «زمانیکه نسبت فاصله‌داری 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].

---

[1] - 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 ۱۲۵=۵×۵×۵ واحد بلوک باشد را پیوسته فرض کرد. ولی نکته مهم آن است که در یک مورد خاص ، نوع محیط می‌تواند تئوری مورد استفاده در تحلیل را تعیین نماید. دراین 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 می‌شود)[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.

۲-DEERE

۳-۴-۲-انواع روشهای عددی

۳-۴-۲-۱-روش المان محدود[1]

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 نا همگن 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 نا محدود 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 متغیر های اولیه طبیعی تصحیح نمود. این تغییرات در یک روش تکراری ایجاد می شوند. به این صورت که معادلات اساسی و تعادل حالت بار های داده شده را برآورد می کند[۹].

۳-۴-۲-۲-روش تفاضل محدود[2]

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 (مثلا 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

1-Finite Element
2-Finite Difference

تولید مجدد معادلات تفاضل محدود مفید تر و کاراتر است. اصولا 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 [1]

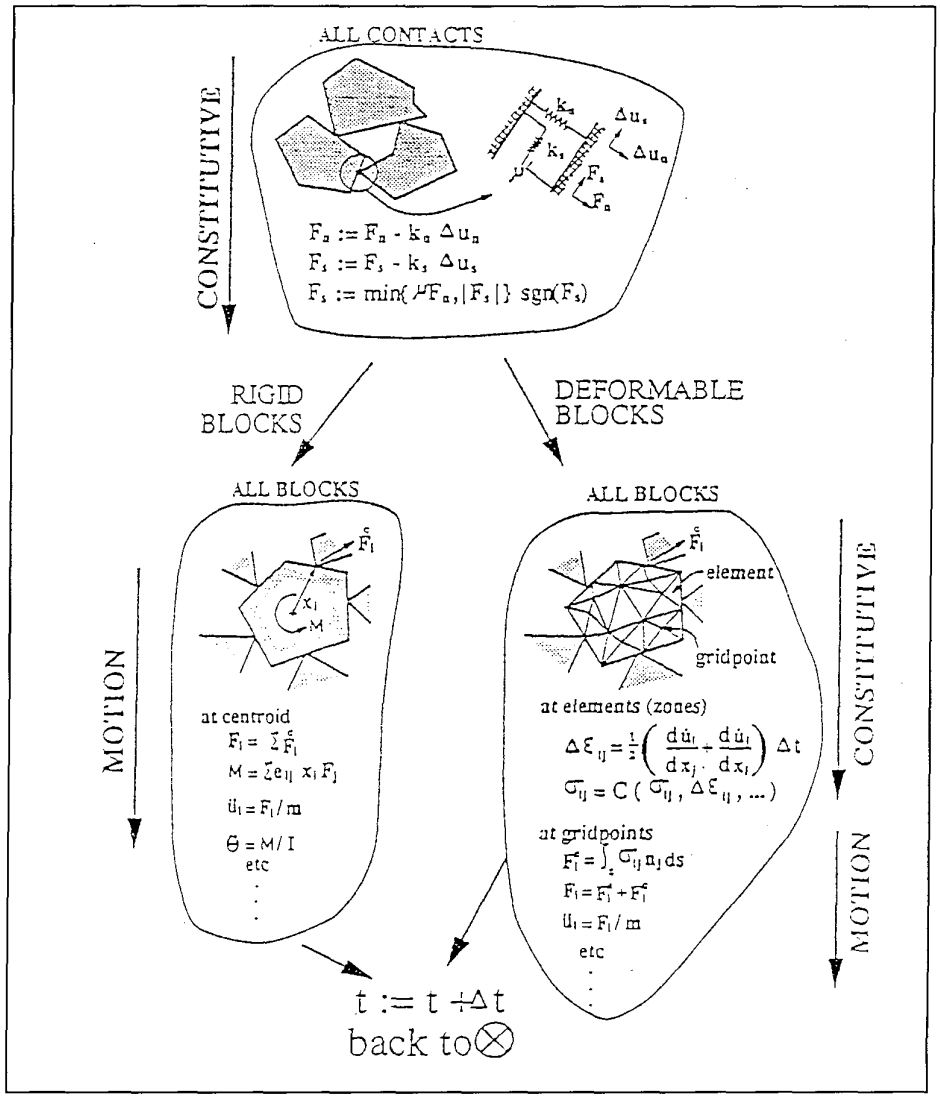
روش اجزا مجزا برای اولین بار در سال ۱۹۷۱ توسط Candall برای مدلسازی عددی محیطهای ناپیوسته بکار برده شده این روش که جزو روشهای ناحیه ای محسوب می گردد قادر به مدلسازی محیط های توده ای سخت و پردرزه است به همین دلیل تعیین وضعیت درزه ها بسیار حساس و خطا آفرین است. در این روش توده سنگ به عنوان مجموعه ای از بلوک های مجزا درنظر 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 درنظر گرفته می شوند. بلوک ها را می توان صلب[1] و یا تغییرشکل پذیر درنظر گرفت. اساس روش اجزا مجزا بر مبنای قوانین نیرو ـ جابجایی است. زمانیکه محیط سنگی تحت بارگذاری داخلی و یا خارجی قرار می‌گیرد 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 می‌شود 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].

۳-۴-۲-۳-۱- 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

1-Distinct Element



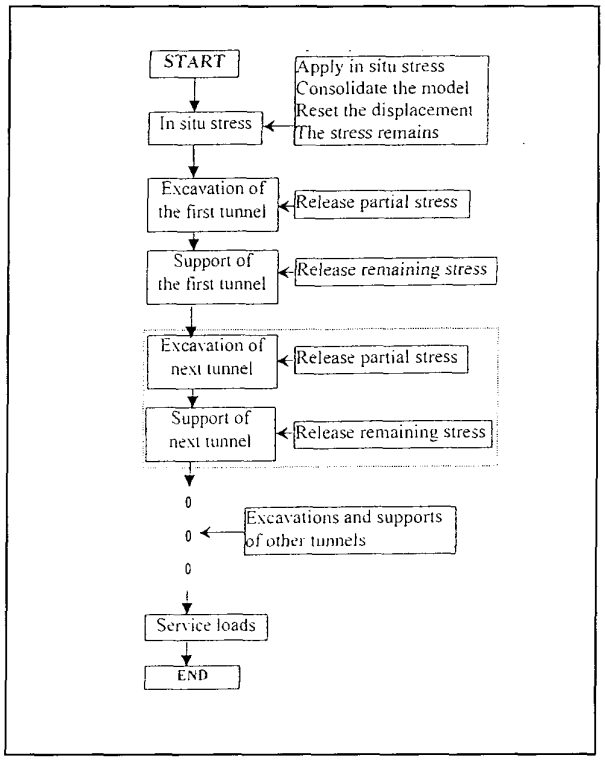
شکل۳-۵- مراحل مدلسازی روش اجزا مجزا [۱۱]

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 توده‌سنگهای درزه‌دار است.. در نرم افزار Udec احجام مابین ناپیوستگی‌ها به صورت بلوک‌های صلب یا تغییر شکل‌پذیر مدل شده که در آن بلوک‌های صلب در محیط‌های کم‌تنش و مکان‌هایی که سنگ بکر دارای مقاومت بالا بوده و یا مدل تغییرشکل‌پذیری 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 نامتعادل‌کننده [۱] به صفر نزدیک گردد. در غیر این صورت مقداری خطا وارد محاسبات مرحله مزبور خواهد شد. در این نرم‌افزار زمانیکه نیروی نامتعادل‌کننده ضریبی از $۱۰^{-۴}$ (خیلی کوچک) بوده و نمودار آن به سمت افق میل کند مدل را می‌توان کاملا 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 رابه صورت همزمان مدل نموده که مراحل مدلسازی توسط این نرم‌افزار در فلوچارت شکل۳-۶ آمده است[۶].



شکل۳-۶ – فلوچارت مدلسازی نرم افزارUdec [۶]

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

۱ـ 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 موردنظر برسیم، اما در مدلسازی توسط UDEC اندازه مدل هرچه بزرگتر باشد تعداد بیشتری از درزه‌ها را دربر گرفته و نتیجتا زمان زیادی در اجرا صرف خواهد کرد و در نهایت مدلسازی با ابعاد خیلی بزرگ سخت و یا غیرممکن است[۶].

۲ـ 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].

۳ـ انتخاب مدل رفتاری برای سنگ بکر و ناپیوستگی ها و نسبت دادن مشخصات موردنیاز 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].

۴ـ اعمال شرایط مرزی

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

۶ـ صفر کردن جابجایی‌ها و حفر تونل

۷ـ اجرای دوباره برنامه و بررسی مقادیر نیروی نامتعادل‌کننده و جابجایی نقاط مدل

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

قابلیت‌های ویژه نرم‌افزار UDEC عبارتند از:

۱ـ اعمال ساختارهای مختلف ناپیوستگی ها

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

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

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

۵ـ درنظر گرفتن مواد مختلف با خواص مختلف در مدلسازی

۶ـ مدل کردن جریان گرمایی زودگذر و تنش‌های القایی و حرارتی ناشی از آن

۷ـ مدل کردن سیالات و جریان عبوری از ناپیوستگی ها

۸ـ دارا بودن مطق اجزا ساختاری به منظور شبیه‌سازی نگه‌داری پوشش فضاهای زیرزمینی

۹ـ سهولت تهیه فایل ورودی نرم افزار با استفاده از یک ویرایشگر متنی[۶و۱۶].

فصل چهارم

مشخصات زمین شناسی منطقه

۴- سیمای کلی پروژه تونل آبرسانی سمنان

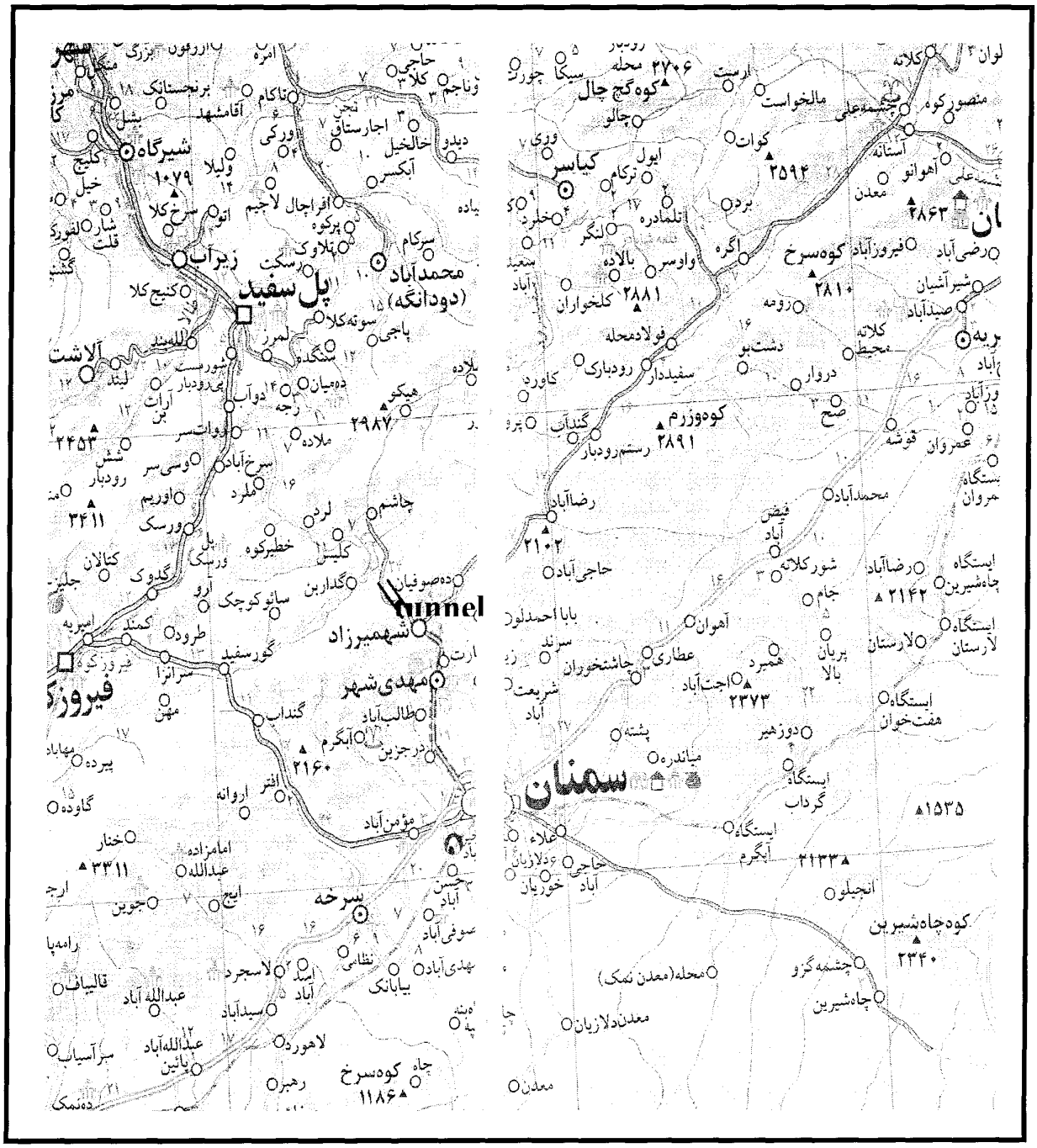
۴-۱- مقدمه

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. مو قعیت 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].

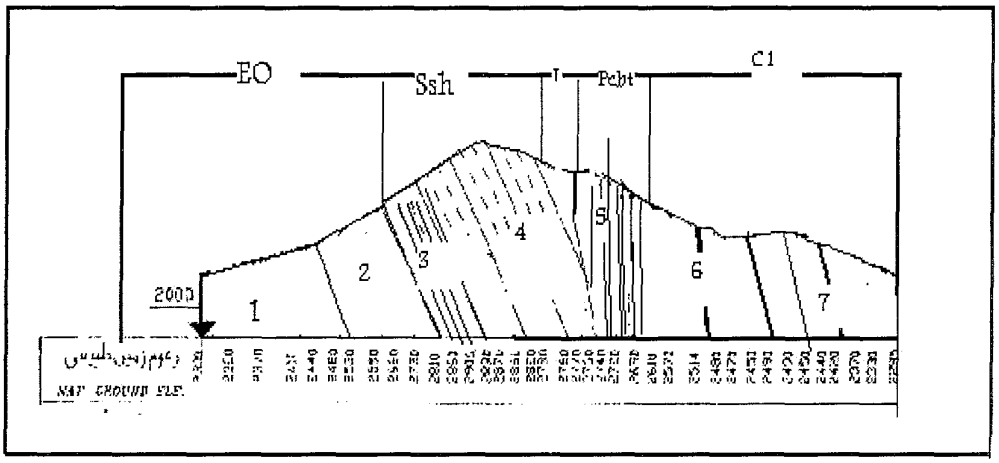
تونل انتقال آب به شهرسمنان به منظور هدایت آب از چشمه روزیه که به فاصله ۱۶/۷ کیلومتری از دهانه ورودی تونل در زیر کوه بشم قرار دارد طراحی شده است . طول این تونل ۳۳۰۰ متر و امتداد آن N۲۰W می باشد . به جهت عبور این تونل از ارتفاعات بشم روباره تونل به حدود ۱۰ الی ۶۱۰ متر متغیر است طی پیمایشهای صورت گرفته مشخص گردید که این تونل از داخل تشکیلاتی با خصوصیات متفاوت عبور می کند. امتداد لایه بندی زاویه ۸۰ درجه با امتداد تونل می سازد و شیب لایه ها نیز به حدود ۸۰ درجه میرسد . نمایی از لایه بندی مسیر تونل در شکل۴-۲ 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 می شود.

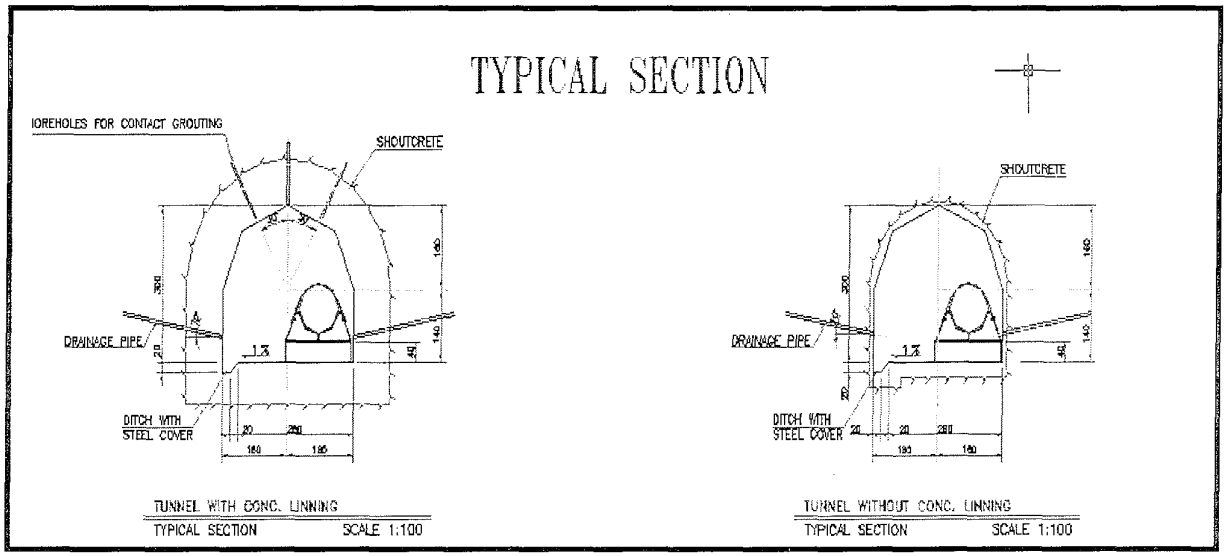
شکل ۴-۳ مقطع عرضی تونل را در قسمت های ورودی و خروجی نشان می دهد[۲۰] ..



شکل ۴-۱- مو قعیت تقریبی پروژه انتقال آب سمنان[۲۰] .



شکل ۴-۲- نمایی از لایه بندی مسیر تونل[۲۰]



شکل ۴-۳ مقطع عرضی تونل[۲۰]

۴-۲- مطالعات زمین‌شناسی

۴-۲-۱ـ 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 ـ 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 ـ 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:

ـ آبرفتهای عهد حاضر (QT):

در دهانه ورودی تونل محدوده‌ای از آبرفتها 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].

ـ سازند توفی ـ مارنی ائوسن (Em):

از ورودی تونل تا حدود کیلومتر ۰+۹۳۰ ، تونل در سنگهای توفی ـ 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].

ـ سازند باروت:

این سازند در قسمتهای میانی تونل رخنمون دارد و توسط گسل بشم در مجاورت سازند توفی ـ 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 ـ مارنی ائوسن قرار می گیرند.

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.

ـ 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.

ـ سازند لالون (C1):

از حدود کیلومتر ۲+۷۵۰ تا انتهای تونل شامل ماسه‌سنگهای قرمز آرکوزی 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 ـ 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 ۹۳۰+۰ 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 ـ منجیل وجود خواهد داشت[۲۰].

۴-۳- مطالعات زیرسطحی

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 مهندسین 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	۱+۰۰۰ - ۰+۴۴۰	توف
دسته سوم	۱+۵۰۰ -۱+۰۰۰	لا یه های متناوب آهک ماسه ای و توف به همراه سیلت استون
دسته چهارم	۲+۰۴۰ - ۱+۵۰۰	لایه های آهکی
دسته پنجم	۲+۴۵۰ -۲+۰۴۰	لایه های سست شیلش با میان لایه های اهکی
دسته ششم	۲+۸۶۰ - ۲+۴۵۰	شیلها ی سست و مناسب
دسته هفتم	۳+۳۵۰ - ۲+۸۶۰	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 می توان 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 آزمایشان فیزیکی برای تعیین وزن مخصوص خشک ظاهری و اشباع با سطح خشک انجام شده، که تمامی این مطالعات برای سنگهای منطقه در جدول۴-۲ آمده است. از اطلاعات این جدول فقط در مدلسازی عددی مارنها از γ_{sat} استفاده گردیده زیرا مارنها دارای قابلیت جذب آب را دارند.

۴-۶- پردازش نتایج حاصل از مطالعات صحرایی

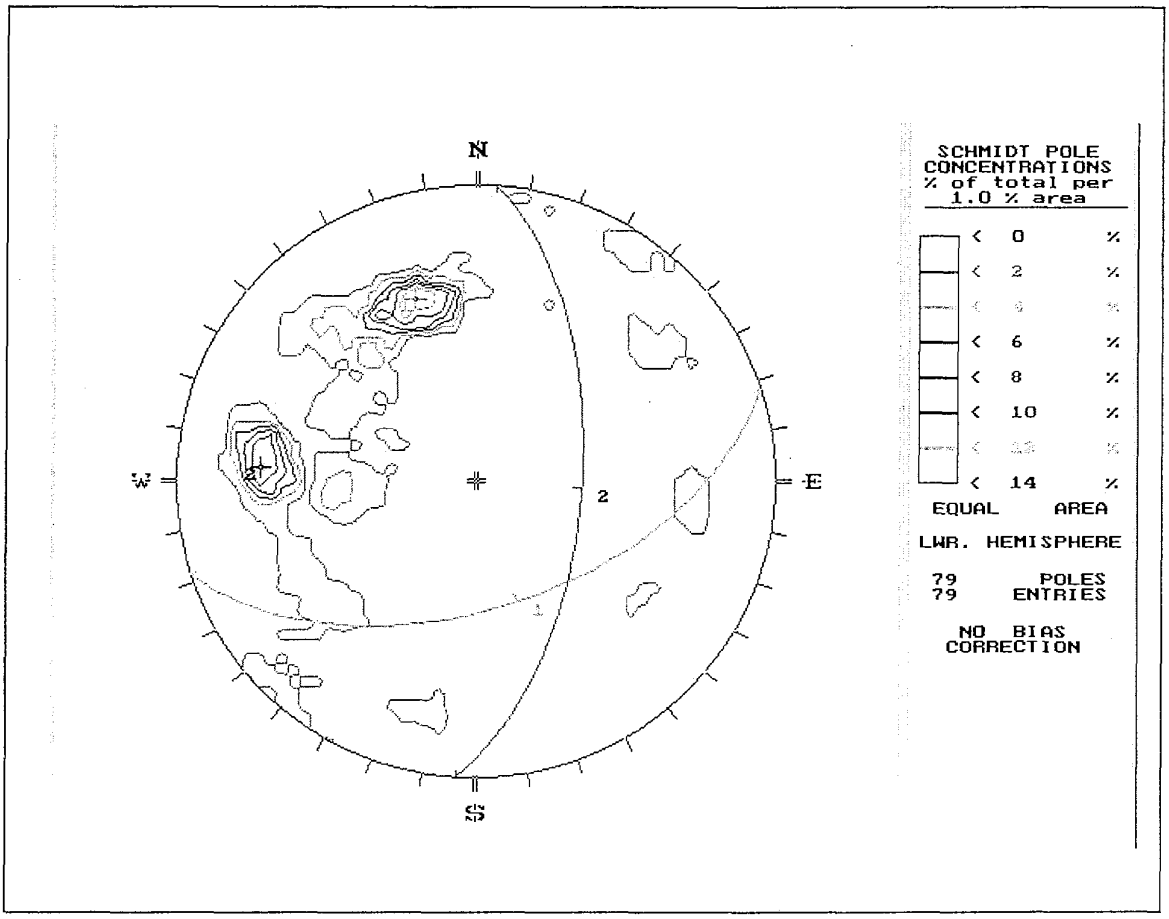
الف – تعیین دسته درزه های اصلی منطقه

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 هاو . . . 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 ۴-۲-مشخصات مکانیک سنگی سنگهای منطقه [20]

نوع سنگ	$\gamma_d \left(\frac{KN}{m^3}\right)$	$\gamma_{sat} \left(\frac{KN}{m^3}\right)$	ν	$\sigma_c\ (MPa)$	$\sigma_t\ (MPa)$
ماسه سنگ قرمز	25	25.7	0.26	81	-
ماسه سنگ قرمز وسبز	28.2	-	0.25	82	4.4
ماسه سنگ قرمزروشن	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 ۴-۳ آورده شده است .



شکل۴-۴- 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 سنگهای 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 جدول۴-۴ آمده است .

جدول۴-۳ مشخصات دسته درزه ها

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

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 درسنگهای 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 تقریبا عمودی در مسیر تونل می توان دانست‌که این لایه بندی‌ها درمسیر تونل دارای تنوع بسیار هستند[۲۰] .

جدول ۴-۴- پراکندگی ناپیوستگی ها ی موجود در منطقه

نوع سنگ	تعداد دسته درزه	Dip /dip direction	انحراف معیار
ماسه سنگ قرمز	۲	۸۵/۱۶۹ ۷۸/۲۵۰	۹،۵ ۱۷
لایه های تازک به همراه سیلت استونل	۲	۴۳/۵۲ ۸۳/۳۲۳	۱۸،۵ ۲۰
شیل	۲	۷۹/۱۵۰ ۴۰/۷۷	۱۷ ۱۱
آهک	۲	۷۰/۲۶۰ ۵۰/۳۱۵	۹ ۱۲
مارن	۲	۳۸/۲۱۱ ۴۷/۹	۱۰ ۱۰
توف	۲	۵۳/۱۶۱ ۶۱/۹۳	۸ ۱۰

ج- تعیین نوع گسترش ناپیوستگی ها

گسترش سطح یک ناپیوستگی نشانه تداوم آن در توده سنگ است. با توجه به نتایج حاصل از پردازش اطلاعات ناپیوستگی های منطقه اکثر این ناپیوستگی ها دارای گسترش زیاد بوده و با توجه به اینکه گسترش نایوستگی ها تاثیر زیادی بر روی مقاومت برشی آنها ، نحوه خرد شدن سنگ در اثر آتشباری و قابلیت ریزش سقف دارد تعیین وشناسایی 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 کمترشده 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 پر کننده ها دارای اهمیت فراوانی است .در قسمت ورودی تونل چشمه روزیه ، در مارنها وبرشها درزه ها اغلب از مواد کلسیتی پرشده 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 پر کننده 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 دیگرپارامتر های موثر در مطالعات صحرایی وبرداشتهای 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 ایـن قسمت طبقه بندی توده سنگ در بر گیرنده بهمراه 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 طـبقه بـندی برقـرار گردد. لذا پس از طبقه بندی مناطق مختلف تونل و طراحی سیستم نگهداری بـرای آن مـناطق، پارامـتر هـای مشخص کننده توده سنگ از روابط موجود محاسبه شده سپس از داده هـای حاصـل از طـبقه 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 بـه 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 حفریات درون این نوع سنگها پیشنهاد نماید. در تونل چشمه روزیه توده سنگهای مسیر عبور تونل، در تمامـی مقـاطع بجـز در دسـته بندیهای سوم و پنجم که دارای لایه بندی های سست نازک در مجـاورت هـم اسـت 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 روشهایRMI, 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 جدول۵-۲ آمده است.

جدول ۱۰۵- مقادیر بدست آمده برای مقاطع مختلف به روش Q

Q	SRF	J_w	J_a	J_r	J_n	RQD	نوع سنگ	گروه بندی
۴	۵	۰،۶۶	۲	۳	۴	۸۲	مارن	دسته بندی اول
۱،۴	۷،۵	۰،۶۶	۳	۳	۴	۶۳	توف	دسته بندی دوم
۲۷	۱	۰،۶۶	۱،۵	۳	۴	۸۰	آهک	دسته بندی چهارم
۰،۳	۵	۰،۶۶	۲	۱	۹	۴۰	شیل ضعیف	دسته بندی ششم
۱،۳۳	۲،۵	۰،۵	۱	۱	۹	۶۰	شیل مناسب	
۶،۳	۲،۵	۱	۲	۳	۶	۶۳	ماسه سنگ قرمزروشن	دسته بندی هفتم
۴،۱	۲،۵	۱	۲	۴	۹	۴۶	ماسه سنگ قرمز	
۲،۷	۲،۵	۰،۵	۳	۴	۶	۶۰	ماسه سنگ قرمز و سبز	

جدول۵-۲- مقادیر طبقه بندی RMR برای مقاطع مختلف

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

۵-۴- 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 پارامتر های درزه داری ولحاظ نمودن پارامتر های مقاومتی سعی در توسعه روش Qدارد. 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 مارنها 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 وشیل) نمی توان از این روش استفاده نمود. نتایج حاصل از طبقه بندی سایر مقاطع در جدول ۵-۳ آورده شده است.

جدول ۵-۳-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	./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 بـر اسـاس نـوع سـنگ و پارامـتر 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 سـنگهای درزه دار و سـنگهای 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 بایسـتی بـه لحـاظ نمـودن امـتیاز پارامـتر هـا بـر اساس نوع سنگ اشاره نمود زیرا سنگهایی همچـون شـیل وآهـک در صـورت دارا بودن شرایط درزه داری یکسان رفتار متفاوتی در برابر آب و آلتراسـیون نشـان مـی 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 مجـزا بـرای هـر سـنگ قـادر بـه طبقه بندی دقیق لایه های سست در مجاور هم که دارای جنس مـتفاوت هستند نمی باشد. در طبقه بندی تونل چشمه روزیه در دسته بندی های سوم (لایه های نـازک آهـک ماسـه ای و تـوف) و دسته پنجم (لایه های نازک آهک وشیل) 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 NGI(Q)

براسـاس طـبقه بـندی صـورت گرفته د رمقاطع مختلف تونل ، در قسمت ورودی تونل در سـازند ائوسـن کمـترین مقدار Q برابر ۱،۴ مربوط به سنگهای توفی بوده که این سنگ با توجه به بعـد معـادل تونل در رده خیلی ضعیف قرار گرفته که در نهایت این روش سیستم نگهداری ترکیبی شـامل بولـت هـای ۲ مـتری بـا فواصـل ۲/۵×۲/۵مـتری به همراه *mm* ۵۰-۴۰ شاتکریت پیشنهاد مـی کـند در سـازند لالون کمترین مقدار Q برابر ۲/۷ بوده که مربوط به ماسه سنگهای قرمز وسبز است. روش Q این سازند را بدون سیستم نگهداری پایدار می داند. در سازند زایگون شامل شیلهای قرمز رنگ کمترین مقدار Qمحاسبه شده برابر ۰/۳۳ بوده که سنگ را در رده خیلی ضعیف قرار

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

گروه بندی	نوع سنگ	مقاومت سنگ	هوازدگی و آلتراسیون	جدایش و پر کننده درزه	RQD	آب زیر زمینی	دگر سانی	JII
دسته بندی اول	مارن	۱۹	۱۵	۱۳	۲۰	-۳	۲	۶۲
دسته بندی دوم	توف	۲۵	۷	۱۳	۱۵	-۳	۲	۵۵
دسته بندی چهارم	آهک	۳۲	۱۷	۱۴	۱۴	-۲	۲	۷۸
دسته بندی ششم	شیل ضعیف	۱۹	۹	۱۴	۱۰	-۲	۲	۳۸
	شیل مناسب	۲۸	۱۵	۱۵	۲۰	-۲	۲	۵۶
دسته بندی هفتم	ماسه سنگ قرمزروشن	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 ۹۰-۵۰ *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

سیستم نگهداری	Q	سنگ
کلاس سنگ: مناسب بدون سیستم نگهداری	۴	مارن
کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۲/۵ متری ، شاتکریت به ضخامت ۵-۴ سانتیمتر	۱/۴	توف
کلاس سنگ:خوب بدون سیستم نگهداری	۲۷	آهک
کلاس سنگ: بدون سیستم نگهداری	۴/۱	ماسه سنگ قرمز
کلاس سنگ: ضعیف بدون سیستم نگهداری	۲/۷	ماسه سنگ قرمز و سبز
کلاس سنگ: مناسب بدون سیستم نگهداری	۶/۳	ماسه سنگ قرمزروشن
کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۱/۵ متری ، شاتکریت به ضخامت۵-۹ سانتیمتر	/۳۳	شیل ضعیف
کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۲/۵ متری ، شاتکریت به ضخامت ۵-۴ سانتیمتر	۱/۳۳	شیل مناسب

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 ۱۰۰تا۵۰ میلیمتر شاتکریت را پیشنهاد می کند. 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 ضخامت۵۰ میلیمتر پیشنهاد می شود. مقادیر محاسبه شده به تفکیک برای هر نوع سنگ در جدول۵- 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 فواصل۲/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر	۶۲	آهک	**دسته جهارم**
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 وشیل	**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 فواصل۲/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر	۶۱	ماسه سنگ قرمزروشن	

۶-۵-۳-روش RMI

رو ش طبقه بندی RMI به دلیل مشابهت زیادی که به روش Qدارد، میتوان برای طراحی سیستم نگهداری از جدول روشQ 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 روشRMI برای مقاطع مختلف تونل، در قسمت ورودی تونل درسازند 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 وهفتم بدون نیاز به سیستم نگهدارنده پایدار می داند، مقادیرRMI به همراه سیستم نگهداری پیشنهادی در جدول ۵-۷ آمده است .

جدول۵-۷ 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 ۵-۴ 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 قرمزروشن	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 روشJH نیز به روش تجربی قادر به طراحی سیستم نگهداری است، مقادیرJH 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 نظرگرفته و سیستم نگهداری ترکیبی شامل بولت ۳ متری با فواصل ۱،۵×۱،۵ متر اه 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 جدول۵- ۸آمده است. در جدول ۵-۹ طراحی توسط تمامی روشهای تجربی آورده شده است.

جدول ۵- ۸ طراحی سیستم نگهداری به روش JH

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

جدول ۵-۹- سیستم نگهداری پیشنهادی توسط روشهای تجربی

سیستم نگهداری	JH	سیستم نگهداری	Q	سیستم نگهداری	RMR	
بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵متری شاتکریت به ضخامت ۱۰-۵سانتیمتر	٦٢	کلاس سنگ: ضعیف بدون سیستم نگهداری	٤،١	بولت ٤ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰- ۵ سانتیمتر	۵۳	ماسه سنگ قرمز
بولت ۲ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰سانتیمتر	٥٦	کلاس سنگ: ضعیف بدون سیستم نگهداری	۲،۷	بولت ٤ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰- ۵ سانتیمتر	۵۲	ماسه سنگ قرمز و سبز
بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر	۷۰	کلاس سنگ: مناسب بدون سیستم نگهداری	٦،٣	بولت ۳ متری با فواصل۲/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر	٦١	ماسه سنگ قرمز روشن
ـــــ	ـــ	ـــــ	ـــ	قاب فولادی با فاصله داری ۱/۵ متر به همراه شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر	٤٠-٣٦	لایه های متناوب
بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰- ۵ سانتیمتر	٦٢	کلاس سنگ: مناسب بدون سیستم نگهداری	٤	بولت ٤ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰- ۵ سانتیمتر	۵۸	مارن

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

بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر	۵۵	کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۲/۵ متری ، شاتکریت به ضخامت ۵-٤ سانتیمتر	۱،٤	بولت ٤ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰- ۵ سانتیمتر	۵٦	توف
بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰سانتیمترو قاب فولادی I۱۲۵	۳۸	کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۱/۵ متری ، شاتکریت به ضخامت ٤-۹ سانتیمتر	۰،۳۳	بولت ٤ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰- ۵ سانتیمتر	٤۱	شیل ضعیف
بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰ سانتیمتر	۵٦	کلاس سنگ: خیلی ضعیف بولت به طول ۲ متر با فواصل ۲/۵ متری ، شاتکریت به ضخامت ۵-٤ سانتیمتر	۱،۳۳	بولت ٤ متری با فواصل ۲ متری شاتکریت به ضخامت ۱۰- ۱۵ سانتیمتر	٤۸	شیل مناسب
بولت ۳ متری با فواصل ۱/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر	۷۸	کلاس سنگ: خوب بدون سیستم نگهداری	۲۷	بولت ۳ متری با فواصل ۲/۵ متری شاتکریت به ضخامت ۵ سانتیمتر	٦۲	آهک

۵-۷- محاسبه پارامتر های 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 ازدهانه فضای زیرزمینی B و ضریب اهمیت نگهدارنده ESR تخمین زده شود.[۸] .

$$L = \frac{2 + 0.15B}{ESR} \qquad (۱)$$

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

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

بر اساس تجزیه و تحلیل موارد ثبت شده ، گریمستاد 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.

$$P_{roof} = \frac{2\sqrt{j_n}Q^{-\frac{1}{3}}}{3J_r} \qquad (۲)$$

این مقادیر بر اساس فرمولهای ۱ تا ۳برای 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 قرمزروشن	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	۲۷	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 [۱] نامیده می شود . GSI از RMR_{89} بنیاوسکی محاسبه می گردد که مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید[۸].

$$GSI = RMR_{89} - 5 \qquad (۳)$$

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

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

۲ـ 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 ـ براون اشاره کرد . $\frac{mr}{m}$ و S_r (پارامترهای هوک، براون توده سنگ شکسته شده) از فرمولهای زیر قابل محاسبه است .

$$\frac{m_r}{m} = \exp\left(\frac{GSI - 100}{28}\right) \qquad (۴)$$

$$S_r = \exp\left(\frac{GSI - 100}{9}\right) \qquad (۵)$$

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 می‌توان 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 شکل‌پذیری برجا (E_m (GPa از RMR است[۸].

1-Geological Strength Index

$$E_m = 10^{\left(\frac{RMR-10}{40}\right)} \qquad (۶)$$

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]

$$P_{RMR} = \left(\frac{100 - RMR}{100}\right).B * \gamma \qquad (۷)$$

در این رابطه :

B: عرض تونل

γ: وزن حجمی سنگ است .

مقادیر محاسبه شده در هر مقطع در جدول۵ -۱۱آمده 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،۳۲
ماسه سنگ قرمزروشن	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

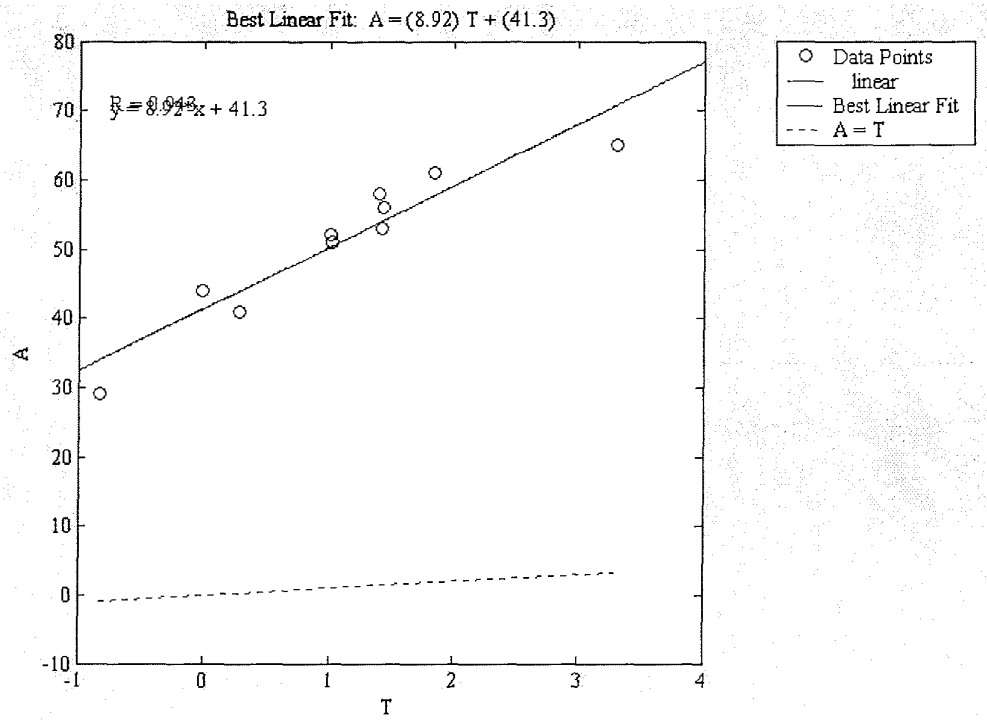
۵-۸- روابط بدست آمده بین سیستمهای طبقه‌بندی مختلف

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 مقایسه ها بدست آوردن روابط تجربی بین روشهای موجود است. بر همین اساس با استفاده از داده های حاصل از طبقه بندی دو روش RMR,JH با روش Q مورد مقایسه قرار گرفته که در نهایت با استفاده از با برازش منحنی بر داده های موجود روابط تجربی بدست آمده است.

۵-۸-۱- رابطه بین Q, RMR

در تونل چشمه روزیه سمنان برای مقاطع مختلفی مورد بررسی قرار گرفته تا نتایج حاصل با رابطه $RMR = 9LnQ + 44$ بنیاوسکی مورد مقایسه قرار گیرد. بر داده های حاصل از طبقه بندی به دو روش RMR,Q با استفاده از نرم افزار ریاضی Matlab 6 نمودار برازش شده که در شکل۵-۱ نتیجه این برازش آورده شده است. همانطور که مشاهده می گرد، ضریب همبستگی(R) برابر 0.943 بوده و رابطه (۸) بین مقادیر Q و RMR برقرار می باشد.

$$RMR = 8.92LnQ + 41.3 \qquad (۸)$$



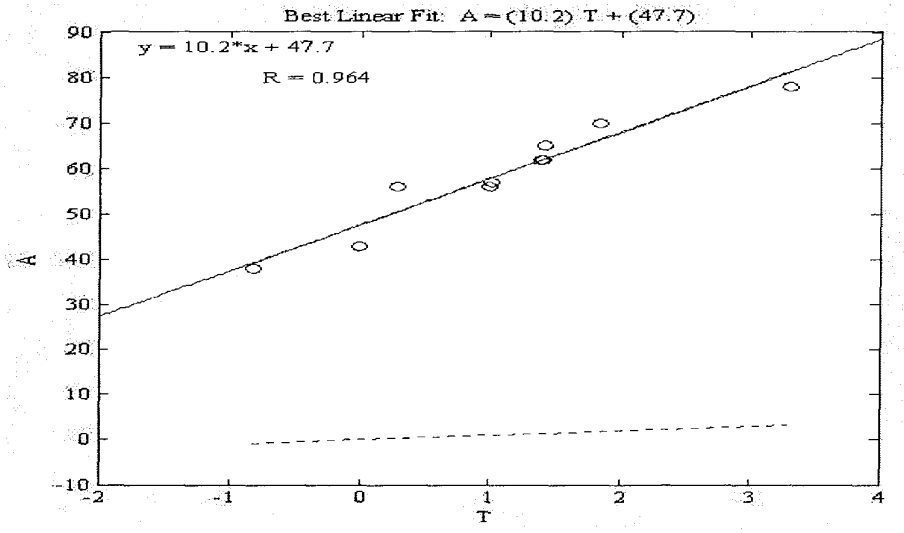
شکل۵- ۱ برازش بین داده های RMR,Q

۸-۵-۲- رابطه بدست آمده بین روش Q,JH

روشJH بـرای اولیـن بار در ژاپن بکار برده شد. به دلیل بدیع بودن روش مطالعات گسترده ای بر روی ایـن روش صورت نگرفته است. مطالعاتی که قادر به پیوند این روش با سایر سیستمهای طبقه بـندی بـوده یـا بـتوان از طریق این روش به محاسبه پارامتر های توده سنگ پرداخت. در صورتیکه تعداد مواردی که درآنها طراحی و آنالیز به روش JH صورت گرفته به حد قابل قبول برسد می توان بـه نـتایج خوبی دست یافت. از آنجا که این دو روش با هم در موارد مشابه استفاده نگردیده بود لذا بـرای اولیـن بـار در ایـن تحقیق سعی شد در دسته بندیهای مختلف نتایج طیقه بندیهای دو روش Q,JH بـا هـم مقایسه شده تا بتواند مورد استفاده مطالعات تکمیلی در آینده قرار گیرد. برای این منظور از نرم افزار Matlab۶ به دلیل توانایی های خوب این نرم افزار در محاسبات ریاضی استفاده شده و برازش مناسب بین دو سری داده صورت گرفته است. نتایج برازش بصورت رابطه (۹) است.

$$JH = 10.2\,LnQ + 47.7 \qquad (۹)$$

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



شکل ۵-۲- برازش بین داده های JH,Q

فصل ششم

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

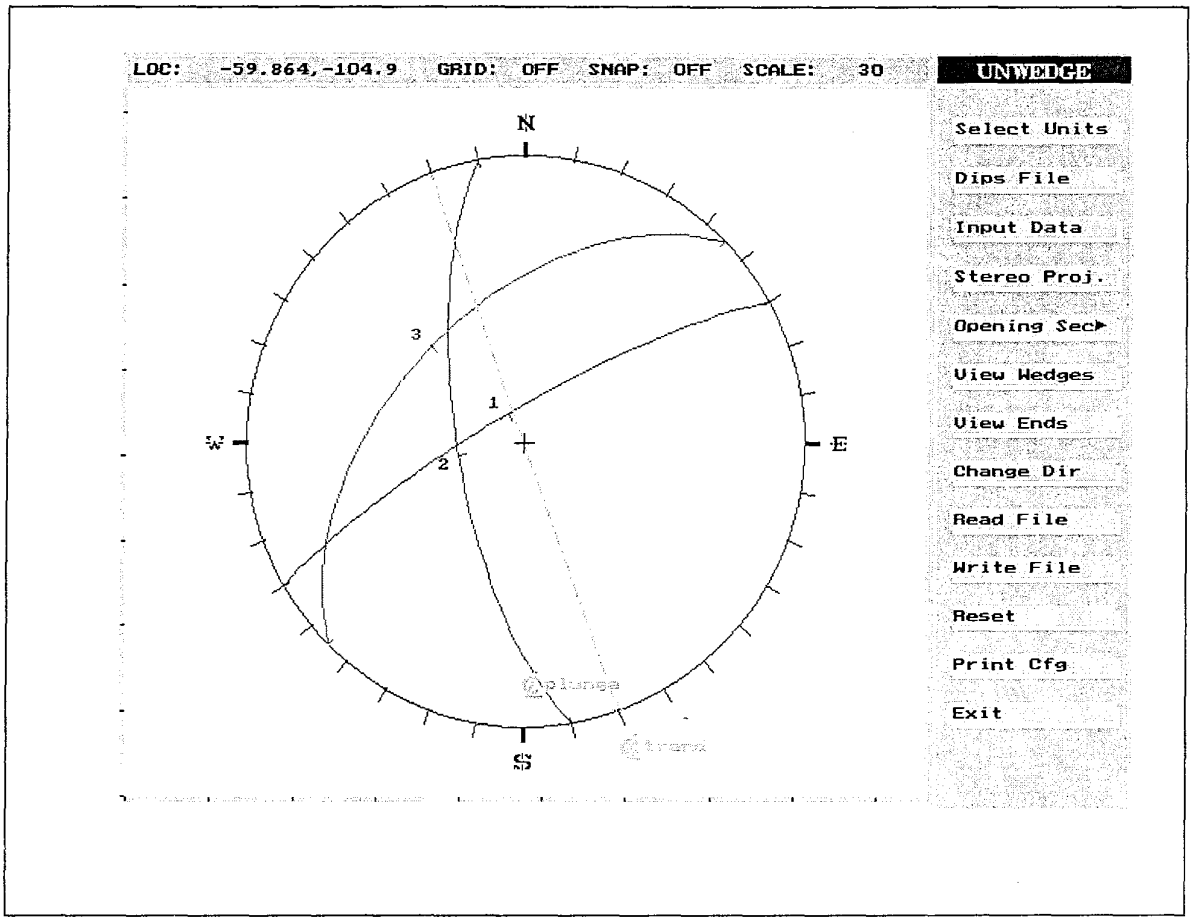
۶-تحلیل پایداری با استفاده از آنالیز گوه ای

۶-۱- مقدمه

از آنجا که تونل انتقال آب چشمه روزیه از کوه بشم عبور خواهد کرد، دامنه روباره سنگ پوشاننده متغییر می باشد. مقاومت سنگ در بر گیرنده نیز بین MPa ۱۳۵-۳۰ 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 ۶۲۰ متر می رسد و کمترین ارتفاع روباره در این سنگها ۴۵۰ 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] .

۶-۲- تحلیل بلوکی تونل چشمه روزیه

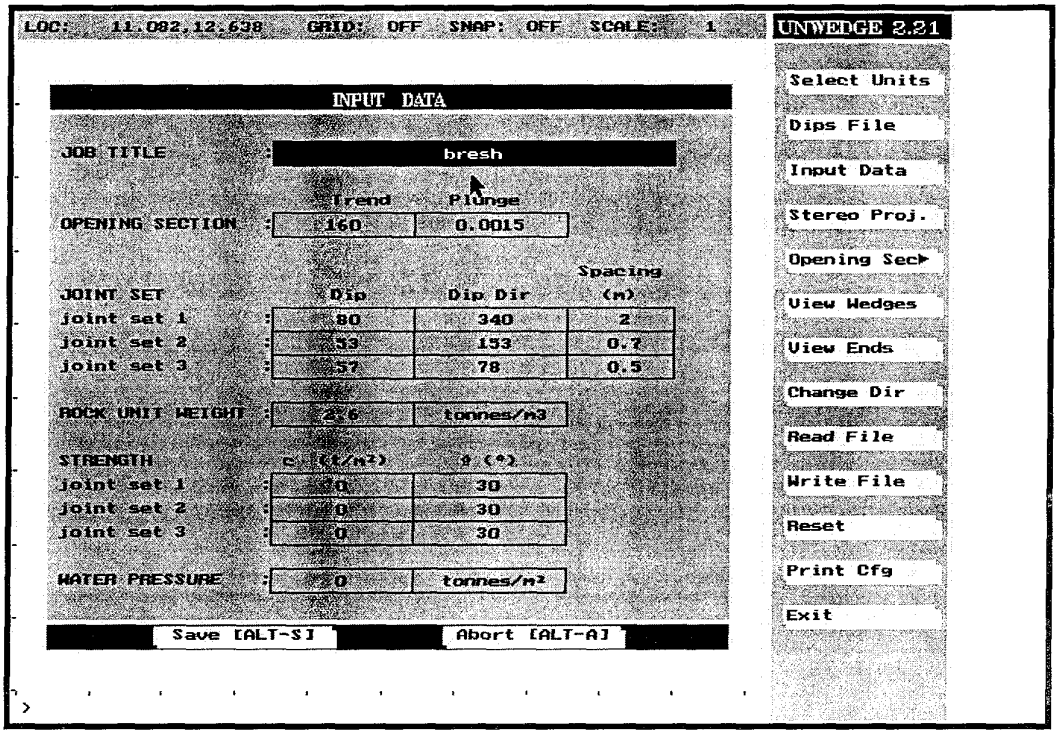
برای تحلیل بلوکی تونل چشمه روزیه ابتدا دسته درزه های اصلی در هر منطقه مشخص گردید و سپس اطلاعات مورد لزوم به نرم افزار UNWEDGE داده شد. در هر دسته از سنگها آنالیز بلوکی انجام گشت و سیستم نگهداری لازم جهت رسیدن به فاکتور ایمنی مورد نظر، طراحی گردیده است. همچنین از آنجا که نرم افزار UNWEDGE قابلیت دریافت 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 ودر 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 آنالیز ها نشان دهنده آنست که 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 گو ه 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 ازاین دو نوع نگهدارنده و یا سیستم ترکیبی شامل هر دو نوع نگهدارنده (بولت وشاتکریت) 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.



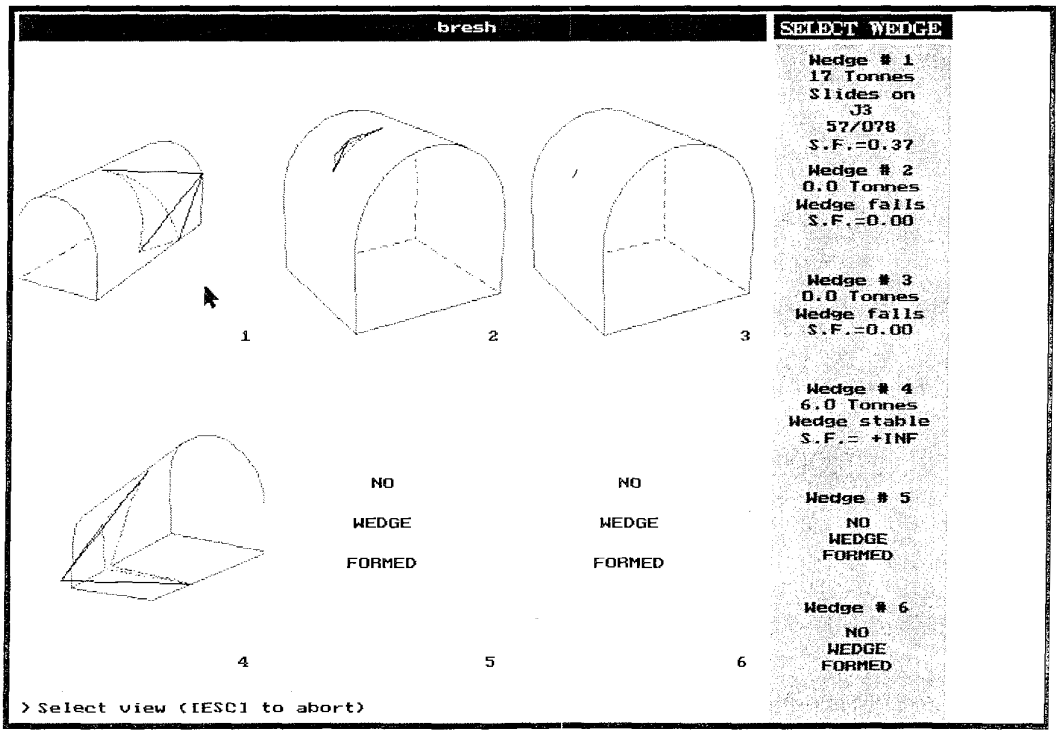
شکل۶-۱- موقعیت درزه ها و امتداد تونل در صفحه استریونت

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

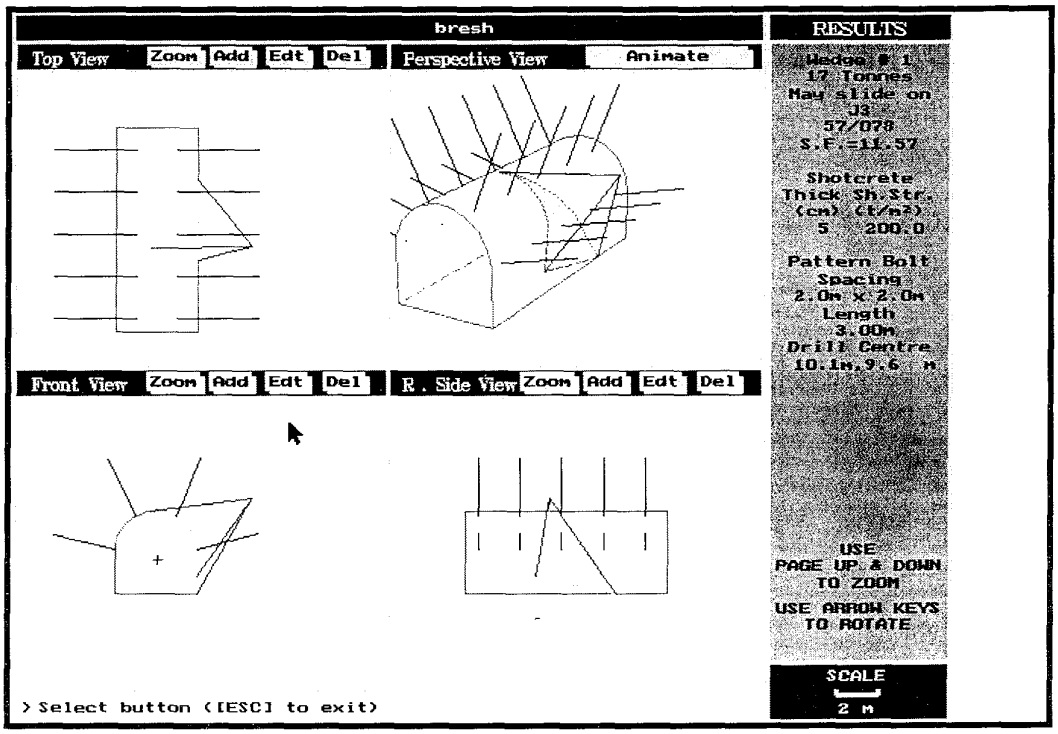
توفها در سازند ائوسن واقع شده و برداشتهای انجام شده نشان دهنده دو دسته درزه اصلی در این نوع سنگ است. با توجه به دسته درزه های ایجاد شده در شده در توفها با شیب وجهت شیب مشخص که در شکل ۶-۲ آورده شده است، تعداد گوه های ایجاد شده در اطراف تونل ۳ عدد بوده که از این ۳ گوه تشگیل شده، فقط گوه شماره یک طبق شکل ۶-۳ با ضریب ایمنی آن ۰/۲۳ ریزشی می باشد. برای نگهداری این گوه می توان از بولت های ۳ متری با فواصل ۲/۵ متری استفاده کرد و فاکتور ایمنی آنرا مطابق آنچه که در شکل۶-۴ نشان داده شده است به مقدار ۸/۵ رسانید. گوه ایجاد شده در سینه کار تونل توسط این دسته درزه ها در شکل ۶-۵ آمده است.



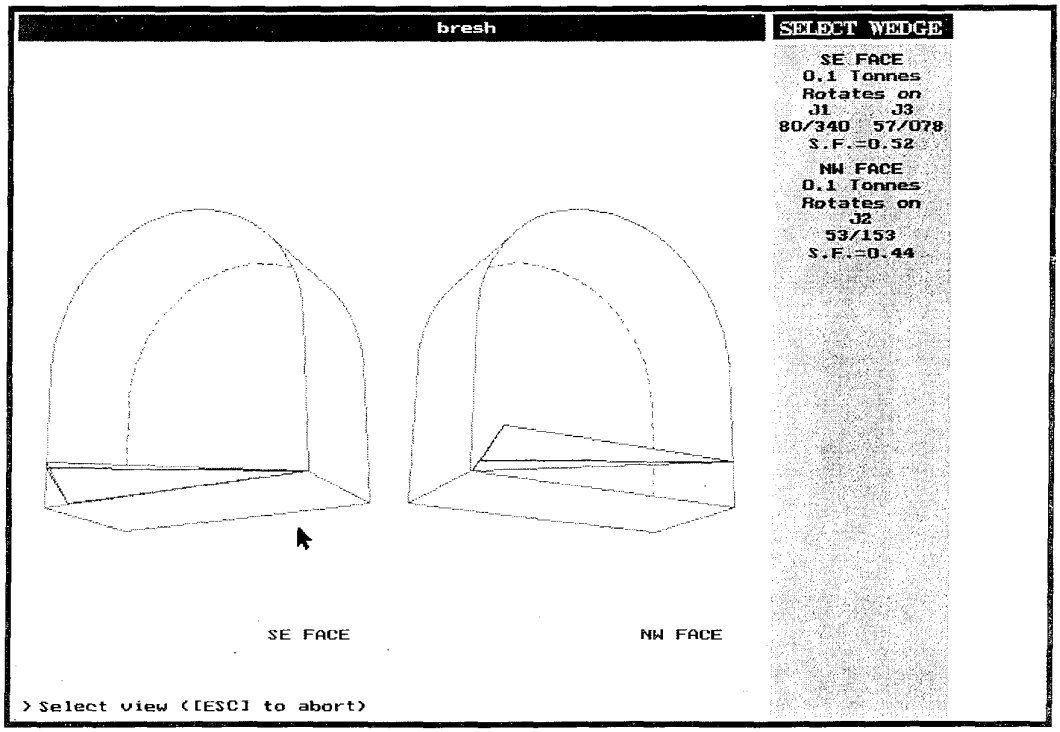
شکل ۶-۲-داده های مربوط به سنگهای توف



شکل ۶-۳- گوه های ایجاد شده در توفها



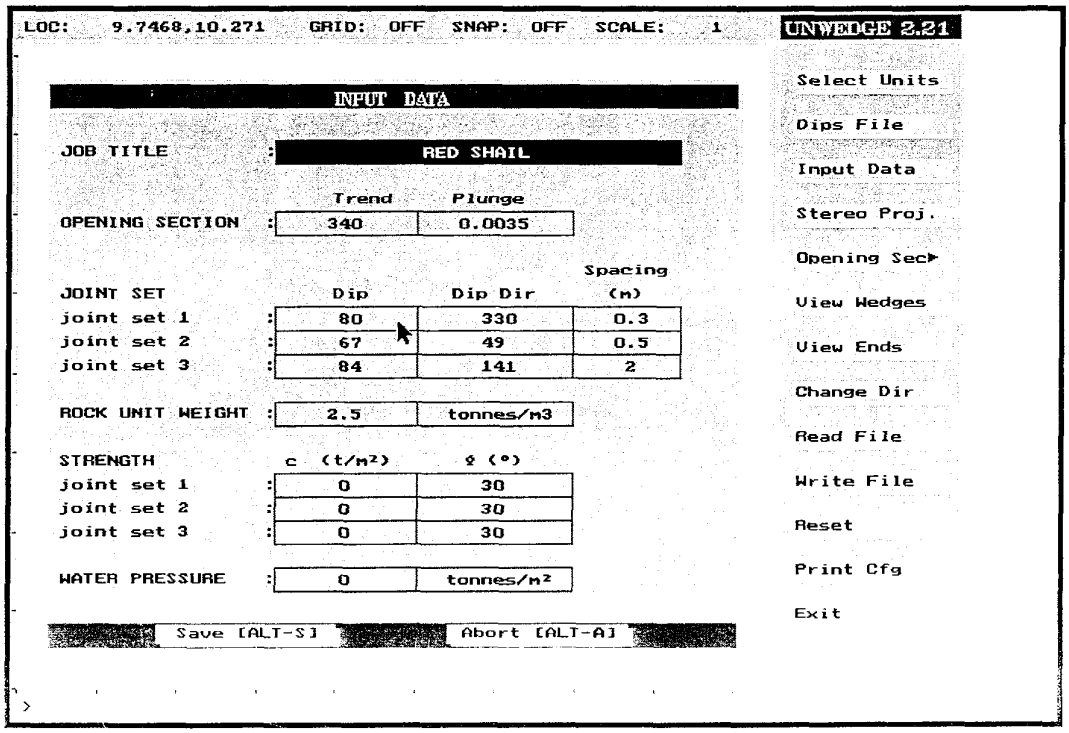
شکل ۶-۴- سیستم نگهدارنده پیشنهادی در توفها



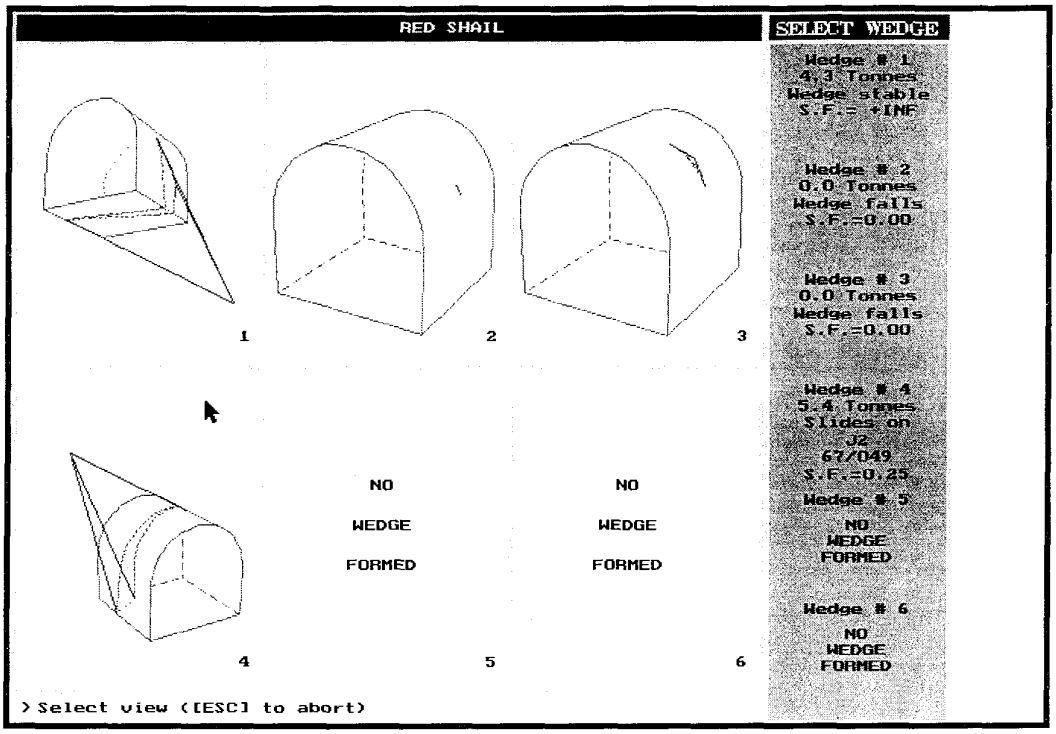
شکل ۶-۵- گوه های ایجاد شده در سینه کار، واقع در توفها

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

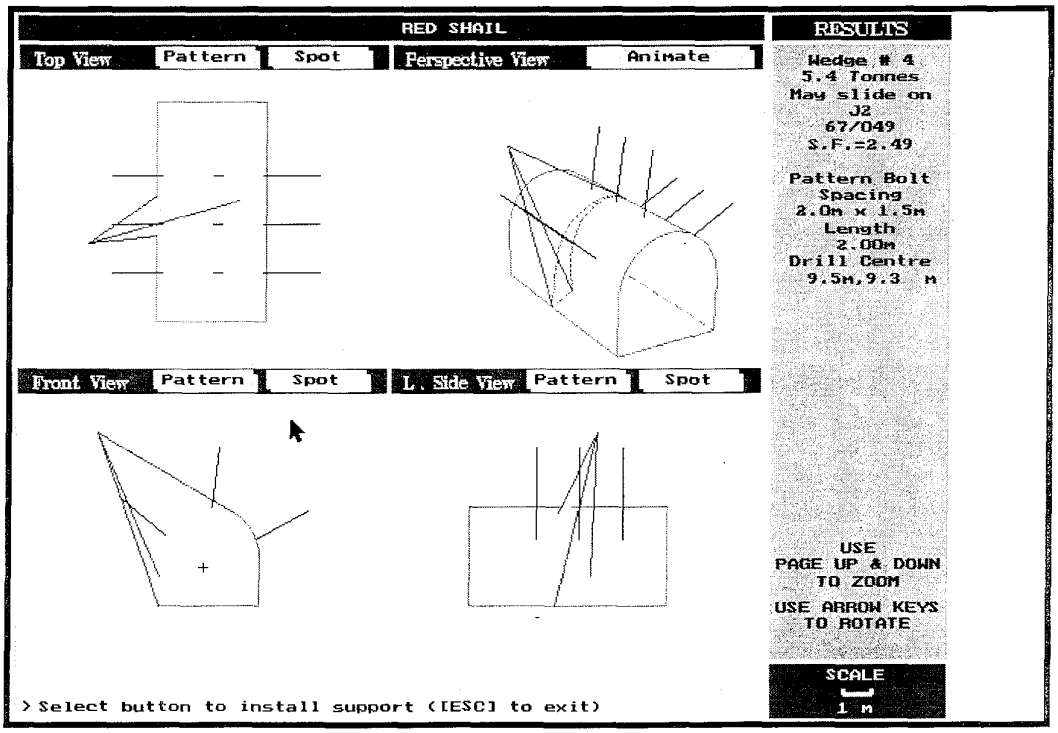
از آنجا که در شیلها نیز عمق قرار گیری بسیار زیاد نبوده و ناپیوستگی های سنگ شامل لایه بندی و درزه هاست، لذا امکان تشکیل گوه در این سنگها وجود داشته و می توان از آنالیز گوه ای برای تحلیل استفاده نمود. در این سنگها با توجه به اطلاعات آمده در شکل۶-۶ یک گوه ریزشی تشکیل گشته (شکل ۶-۷) که دارای ضریب ایمنی۲۵/. است. جهت کنترل این گوه ریزشی می توان از سیستم نگهداری بولت به همراه شاتکریت استفاده نمود که سیستم نگهداری شامل بولت های ۵/ ۲ متری و با فواصل ۲ متری می تواند باعث پایداری این گوه شود. (شکل ۶-۸)



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

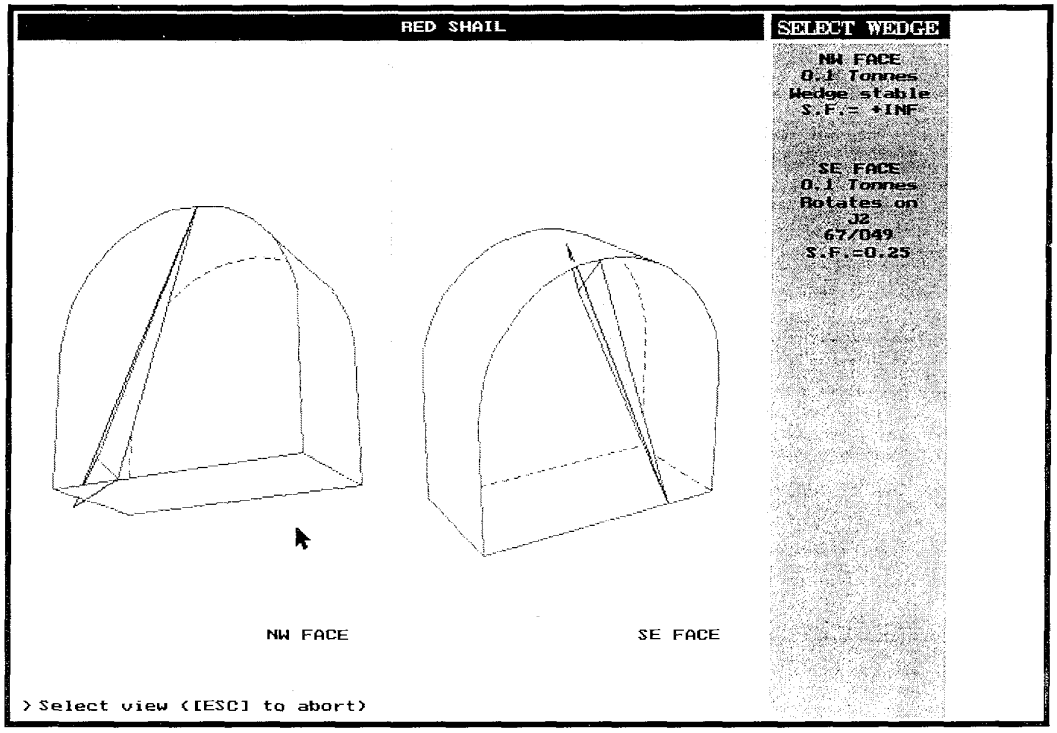


شکل ۶-۷- گوه های ایجاد شده در شیلها



شکل ۶-۸- سیستم نگهدارنده پیشنهادی در شیلها

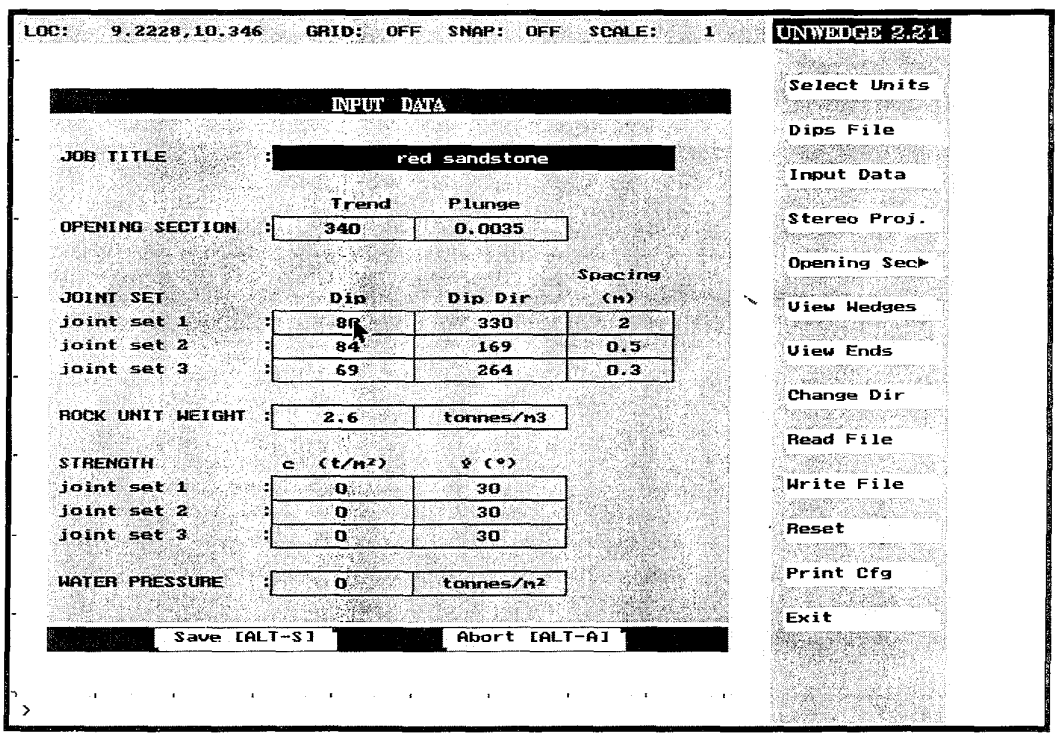
با توجه به موقعیت دسته درزه ها و لایه بندیها در سینه کار تونل نیز گوه ای ایجاد شده که مشخصات گوه تشکیل شده در سینه کار در شکل ۶-۹ نشان داده شده است.



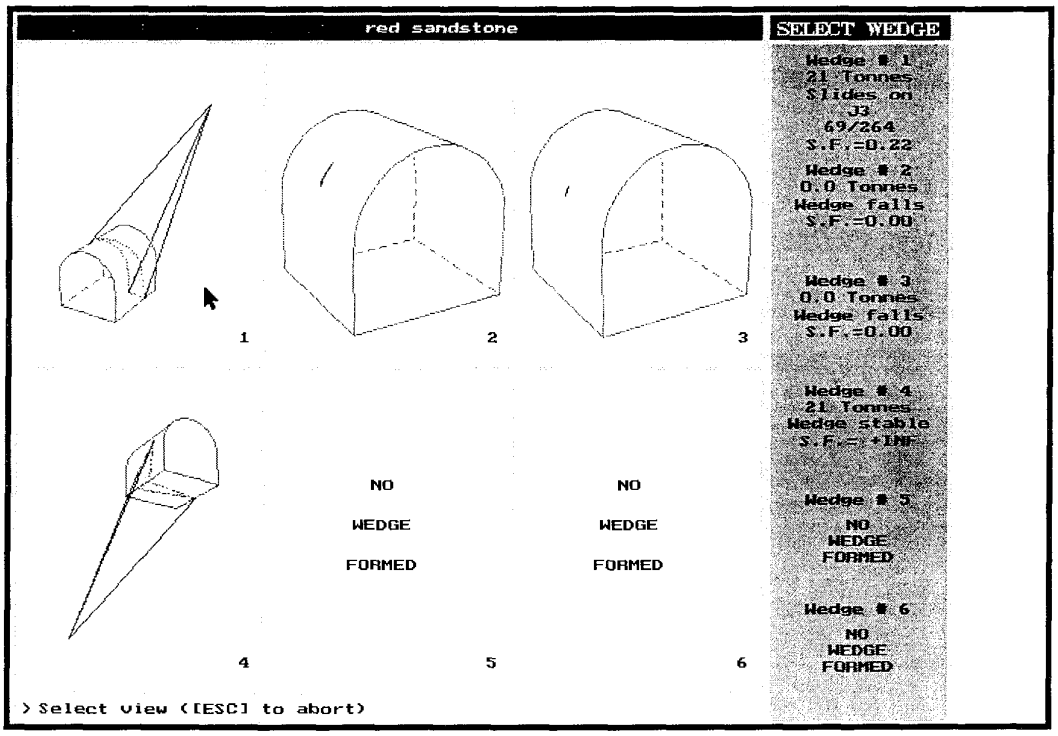
شکل ۶-۹- گوه های ایجاد شده در انتهای سینه کار

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

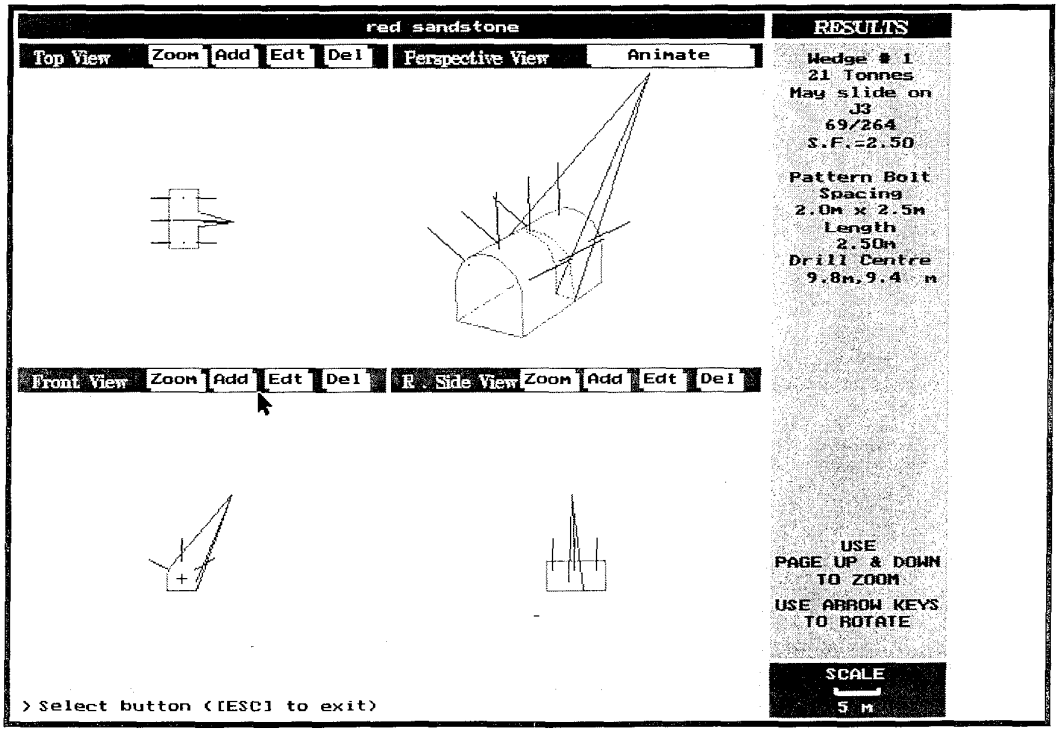
در سازند لالون تونل فوق درچهار مقطع که در کوارتزیت، ماسه سنگهای قرمز، ماسه سنگهای قرمز روشن زده شده مورد بررسی قرار گرفته است. در کوارتزیتهای خروجی گوه ای تشکیل نشده و ضریب ایمنی بسیار بالا می باشد. در ماسه سنگهای قرمز خروجی با توجه به اطلاعات شکل ۶-۱۰ تعداد گوه های ایجاد شده ۲ عدد بوده که یکی از آنها 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)



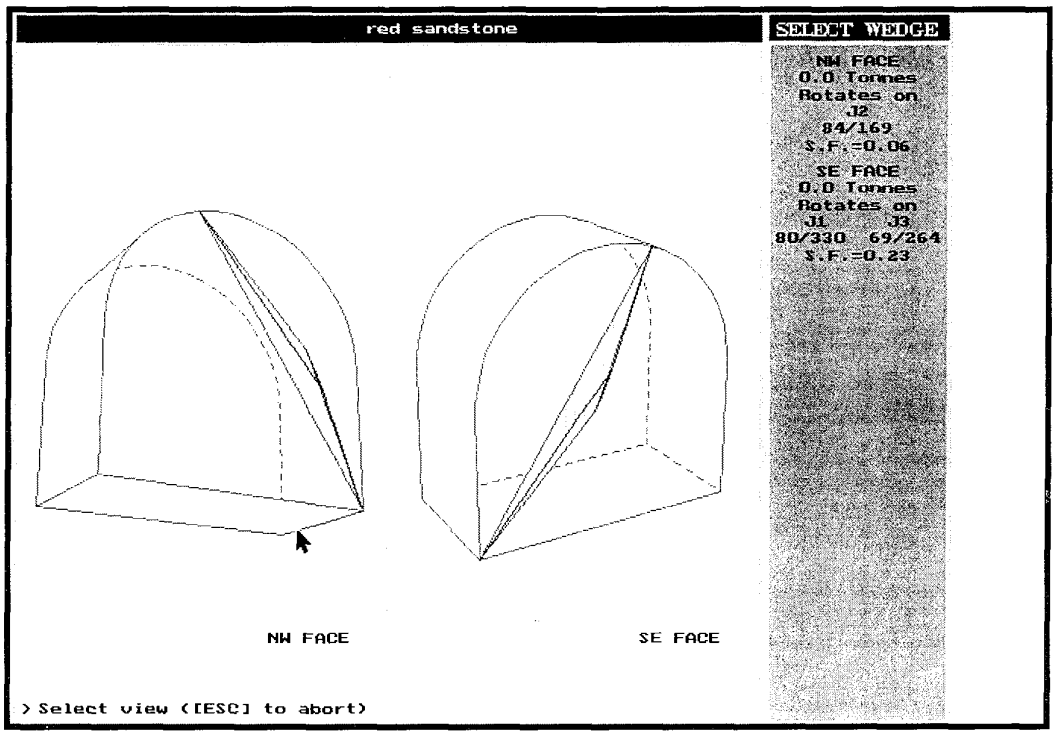
شکل ۶-۱۰-داده های مربوط به ناپیوستگی ها در ماسه سنگهای قرمز



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

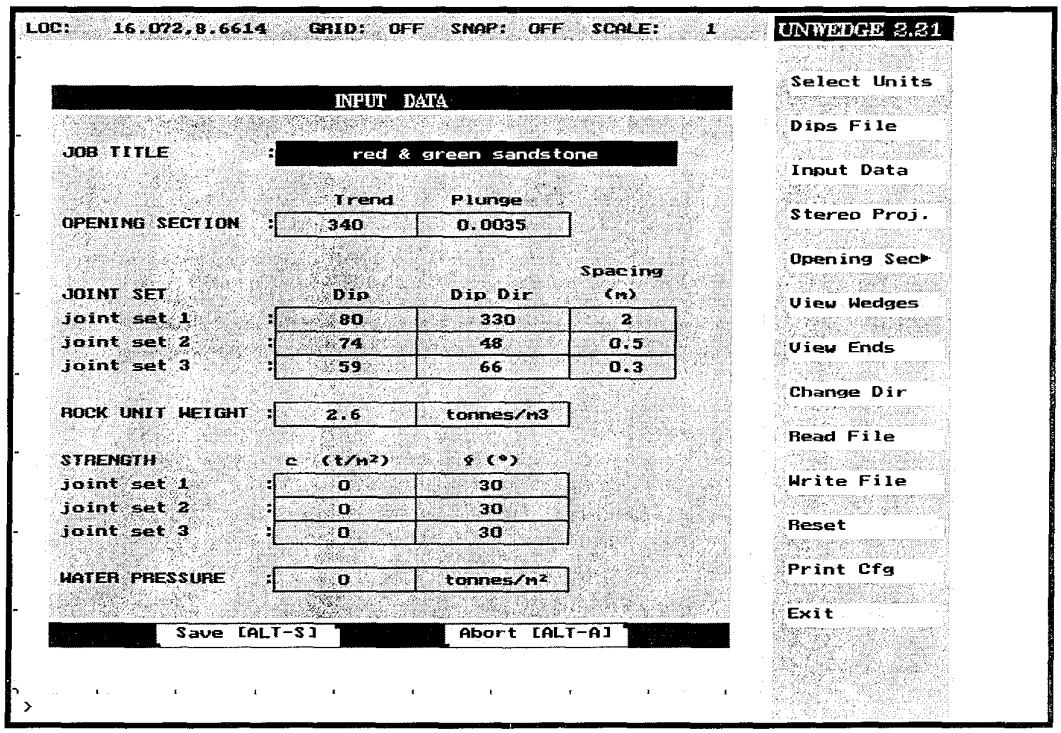


شکل ۶-۱۲ سیستم نگهداری برای مهار گوه ها در ماسه سنگهای قرمز

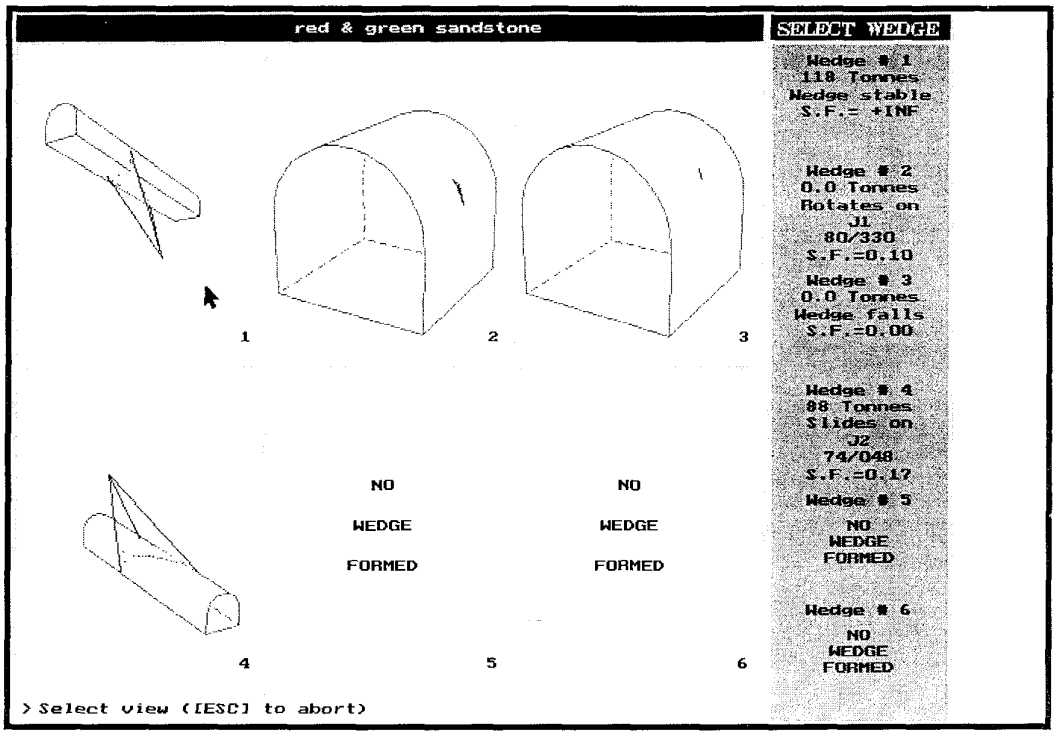


شکل ۶-۱۳-گوه های ایجاد شده در سینه کار ماسه سنگهای قرمز

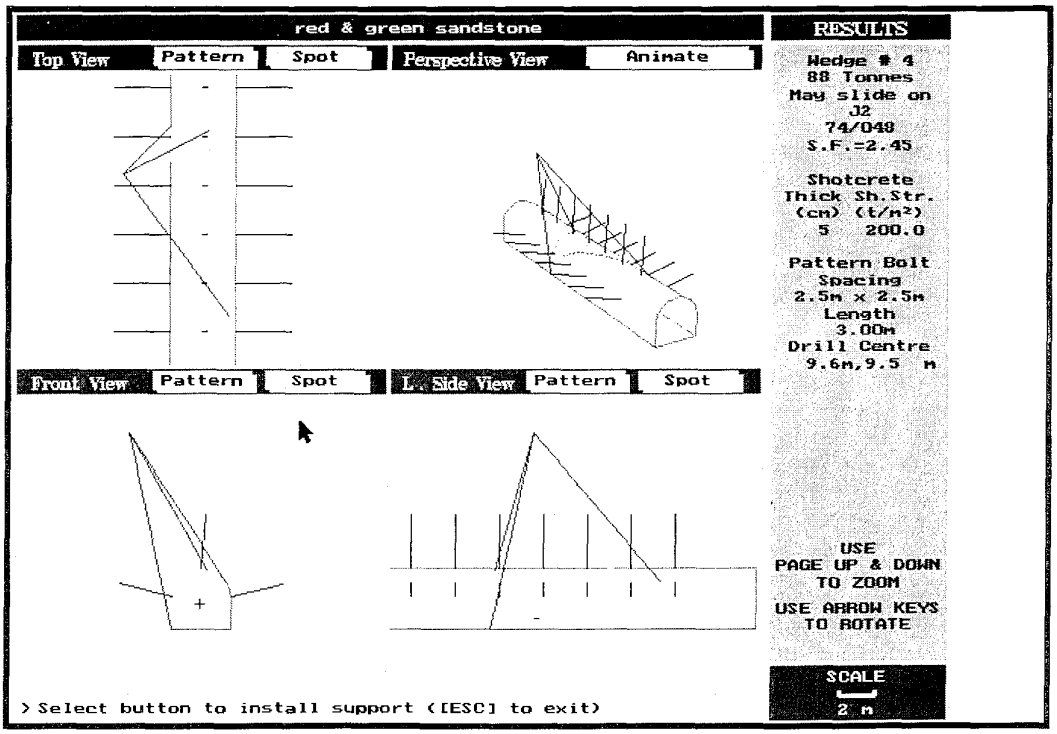
در ماسه سنگهای قرمز و سبز دو دسته درزه عمده وجود داشته که با احتساب لایه بندی ۳ دسته ناپیوستگی خواهیم داشت. با توجه به اطلاعات شکل۶-۱۴ ، ۲ گوه در سقف و کف ایجاد شده که گوه شماره ۱ دارای فاکتور ایمنی بسیار بالا بوده و گوه شماره ۴ دارای فاکتور ایمنی بسیار پایین است تعداد گوه های ریزشی ایجاد شده یک عدد 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 شاتکریت 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 .



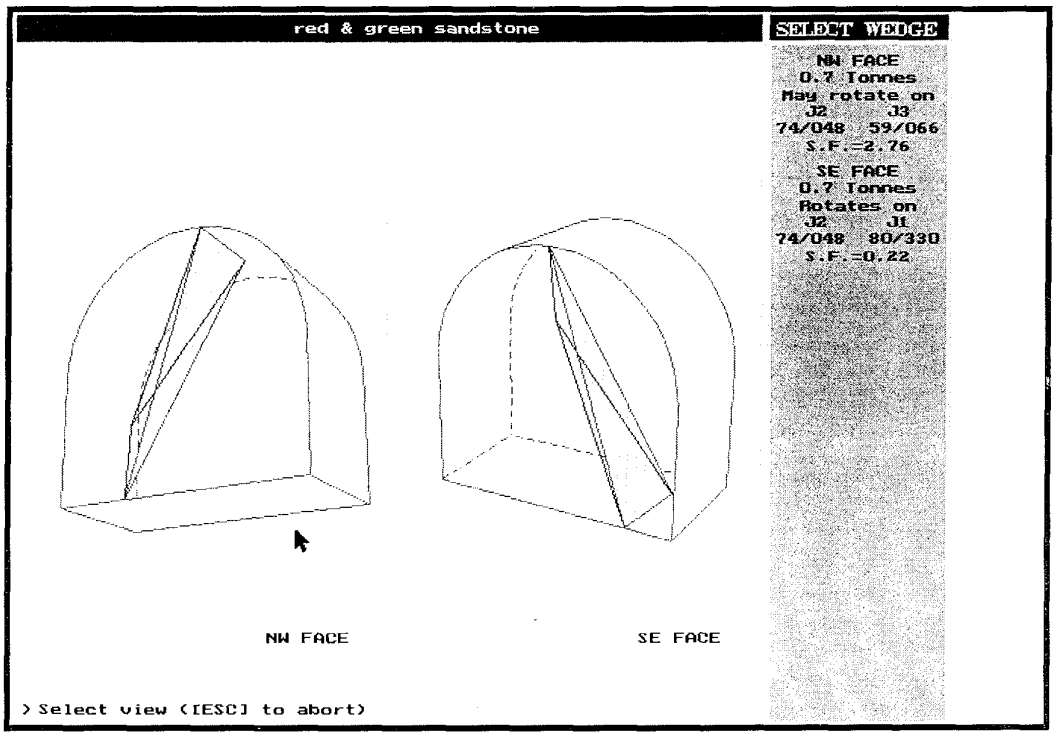
شکل۶-۱۴ اطلاعات موجود در ماسه سنگهای قرمز و سبز



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



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