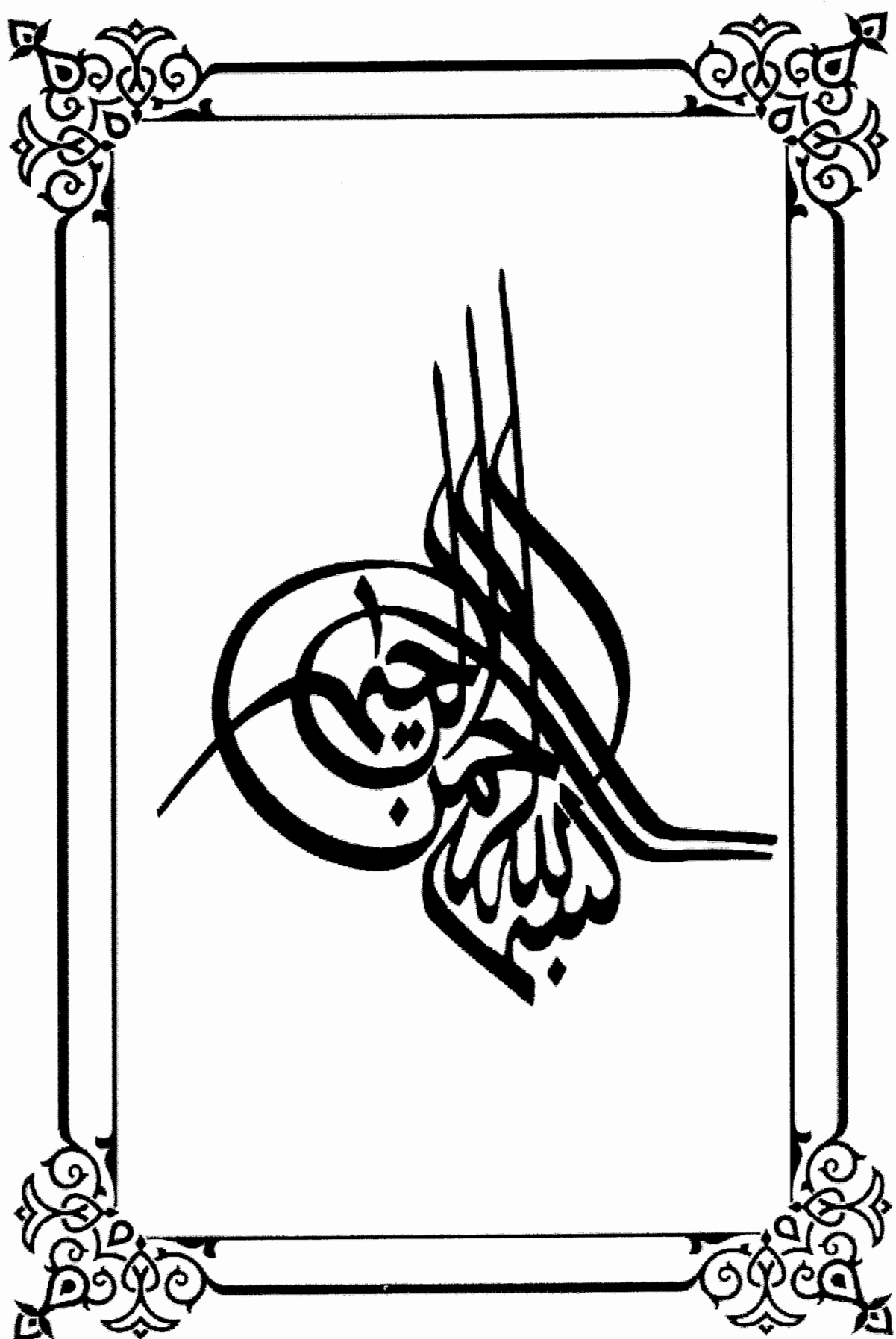
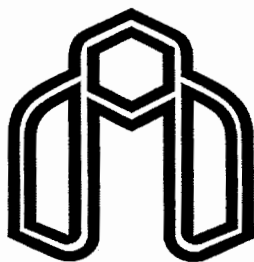






دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده معدن و ژئوفیزیک

پایان نامه کارشناسی ارشد

## طراحی سیستم حمل و نقل حین اجرای تونل انتقال آب از سد امیرکبیر به تصفیه خانه شماره ۶ تهران

دانشجو:

علی تبریزی

اساتید راهنما :

دکتر محمد عطایی

دکتر رضا کاکائی

استاد مشاور:

مهندس محسن کریمی

تابستان ۱۳۸۵

تقدیم به:

پدر عزیزم

و مادر مهربانم

معلمان نخستین زندگیم

آنان که خمیدند، تا راست قامت بمانم

آنان که هوی سپید کردند، تا روی سپید بمانم.

## تقدیر و تشکر:

الهی شکر از یاریت که پاهای لرزان مرا در راه علم توانا ساختی و به امیدت که تا همیشه در وادی علم استوارشان سازی.

اکنون که این پایان نامه به پایان رسیده است، برخود لازم می دانم از تمام کسانی که مرا در انجام این پایان نامه یاری کردند، تشکر نمایم. از آقایان دکتر محمد عطایی و دکتر رضا کاکائی که اساتید راهنمای اینجانب بودند و همچنین از جناب آقای مهندس محسن کریمی معاونت محترم فنی و اجرایی مؤسسه حرا که زحمت مشاوره این پایان نامه را بر عهده داشتند، تشکر می نمایم.

جا دارد از آقایان مهندس گلیان و مهندس فرزی در مؤسسه حرا و آقای مهندس طاهری دوست در دفتر فنی کارگاه مؤسسه حرا و آقایان مهندس شمسی و مهندس حسن پور در مؤسسه مهندسین مشاور ساحل که در جمع آوری داده، با اینجانب همکاری کردند و همچنین مهندس نادر زیاری و تمامی دوستانم در دانشکده معدن و ژئوفیزیک تشکر نمایم.



## چکیده

در سی سال اخیر طرحهای مطالعاتی و اجرایی تأمین، انتقال و تصفیه آب مطابق با رشد روز افزون جمعیت و گسترش سایر تأسیسات زیر بنایی و توسعه شهری انجام نشده و لذا در سالهای آینده برای تأمین آب مورد نیاز شهر تهران با حالتی بحرانی تر مواجه خواهد شد. به منظور تأمین آب شرب بخش غربی شهر تهران تونل انتقال آب از پایین دست سد امیر کبیر به تصفیه خانه شماره ۶ (واقع در شمال غرب تهران، شمال شهرک راه آهن، مجاور ضلع شمالی شهرک نیروی انتظامی) در حال احداث می باشد. قطعه اول تونل انتقال آب از پایین دست سد تنظیمی کرج به تصفیه خانه شماره ۶ تهران حد فاصل تصفیه خانه شماره ۶ واقع در اراضی کن تا اراضی کندر به طول ۱۵۹۸۰ متر و شیب ۰/۱۳ درصد و با قطر حفاری ۴/۶۵ متر طراحی شده است. در این پایان نامه سیستم ترابری در حین احداث تونل با دو هدف استفاده از حداکثر قابلیت ماشین تونلزنی تمام مقطع برای پیشروی و بیشینه سازی پیشروی در هر سیکل طراحی شده است. برای این منظور ابتدا با بررسی عوامل زمین شناسی مسیر تونل و زمانبندی انجام پروژه، دستگاه ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف برای حفر و احداث قطعه اول تونل انتقال آب کرج انتخاب شده و سپس با توجه به شرایط زمین، ماشین و با استفاده از روش تجربی  $Q_{TBM}$ ، عملکرد ماشین تونلزنی تمام مقطع برای هر یک از واحدهای زمین شناسی مهندسی تونل کرج پیش بینی شده است. در نهایت به دلیل مسائل فنی و اقتصادی برای قطعه اول تونل کرج سیستم ترابری ریلی حین احداث تونل در نظر گرفته شده که با توجه به مقطع کوچک تونل تنها می توان از یک خط ریل در طول تونل استفاده کرد و با افزایش پیشروی تونل، به تردد چند قطار در سیستم نیاز می باشد. بنابراین به منظور جلوگیری از تداخل و

ترافیک، لازم است در متراژهایی از تونل سوئیچ کالیفرنیا نصب شود. از طرفی با توجه به هدف تعریف شده و محدودیت زمانی در تکمیل پروژه توسط پیمانکار، راندمان پیشروی تونل با اهمیت بوده و سیستم ترابری حین احداث تونل می بایست به گونه ای باشد که عامل محدود کننده برای پیشروی دستگاه D.S.TBM تلقی نشود. لذا در این پایان نامه تحلیلهای جامعی به منظور زمانبندی سیستم ترابری حین احداث تونل کرج انجام شده است. مطالعات فنی و بررسی های اقتصادی نشان می دهد که برای احداث این تونل یک سوئیچ کالیفرنیا باید در کیلومتر ۷/۵ تا ۸ تونل نصب شود و به منظور نیازهای سیستم ترابری در حین احداث تونل در ابتدا از دو دستگاه قطار استفاده خواهد شد اما به تدریج تعداد قطارها در حدود کیلومتر ۵ به بعد به ۳ دستگاه و در حدود کیلومتر ۷/۵ تا ۸ به بعد به ۴ دستگاه افزایش خواهد یافت.

## فصل اول : کلیات

- ۱-۱- مقدمه..... ۲
- ۲-۱- خلاصه‌ای از طرح..... ۳
- ۳-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به منطقه..... ۴
- ۴-۱- مروری بر کارهای انجام شده و اطلاعات موجود..... ۶
- ۵-۱- هدف پایان نامه..... ۷
- ۶-۱- سازماندهی پایان نامه..... ۷

## فصل دوم : زمین شناسی، زمین شناسی مهندسی

- ۱-۲- مقدمه..... ۱۱
- ۲-۲- زمین شناسی منطقه..... ۱۱
- ۳-۲- تفکیک واحدهای زمین شناسی مهندسی مسیر تونل..... ۱۴
- ۴-۲- تشریح ویژگیهای توده سنگهای مسیر تونل..... ۱۷
- ۱-۴-۲- پارامترهای فیزیکی و مکانیکی ماده سنگ..... ۱۸
- ۲-۴-۲- مشخصات ناپیوستگی‌ها..... ۲۰
- ۵-۲- طبقه بندی مهندسی توده سنگ..... ۲۷
- ۶-۲- پارامترهای مقاومتی توده سنگ..... ۲۸

## فصل سوم : انتخاب روش مناسب برای حفر تونل

- ۱-۳- مقدمه..... ۳۲
- ۲-۳- دلایل انتخاب ماشینهای تونل‌زنی تمام مقطع برای حفر تونل..... ۳۲
- ۳-۳- انواع مختلف ماشینهای تونل‌زنی مورد استفاده در محیطهای سنگی..... ۳۴
- ۱-۳-۳- ماشین تونل‌زنی تمام مقطع بدون سپر..... ۳۵

- ۴۱-۳-۲- ماشین تونل‌زنی تمام مقطع سپردار.....
- ۴۳-۳-۲-۱- ماشین تونل‌زنی تمام مقطع سپری منفرد.....
- ۴۷-۳-۲-۲- ماشین تونل‌زنی تمام مقطع سپری مضاعف.....
- ۴۸-۳-۲-۳- ماشین تونل‌زنی تمام مقطع سپری تعادلی با فشار زمین.....
- ۵۱-۳-۴- انتخاب ماشین تونل‌زنی.....

#### فصل چهارم : پیش‌بینی سرعت نفوذ و سرعت پیشروی ماشین در مسیر

##### تونل کرج بر اساس روش تجربی $Q_{TBM}$

- ۶۲-۴-۱- مقدمه.....
- ۶۳-۴-۲- مفاهیم اساسی کارکرد TBM.....
- ۶۳-۴-۲-۱- سرعت نفوذ.....
- ۶۳-۴-۲-۲- بهره‌وری TBM.....
- ۶۴-۴-۲-۳- سرعت پیشروی.....
- ۶۴-۴-۳- عوامل موثر در سرعت نفوذ TBM.....
- ۶۴-۴-۱-۳- شرایط زمین.....
- ۶۸-۴-۲-۳- ویژگی‌های ماشین.....
- ۶۹-۴-۴- پیش‌بینی کارکرد ماشین توسط روش تجربی  $Q_{TBM}$ .....
- ۷۰-۴-۴-۱- رده بندی  $Q$  و  $Q_{TBM}$ .....
- ۷۴-۴-۲- روابط کلی بین سرعت نفوذ و سرعت پیشروی با  $Q_{TBM}$ .....
- ۷۸-۴-۵- شرایط زمین شناسی مسیر تونل.....
- ۷۸-۴-۶- محاسبات پیش‌بینی عملکرد TBM توسط  $Q_{TBM}$ .....

#### فصل پنجم : طراحی سیستم ترابری حین اجرای تونل

- ۹۰-۵-۱- مقدمه.....
- ۹۱-۵-۲- انتخاب نوع سیستم حمل و نقل.....

- ۳-۵- مبانی طراحی سیستم ترابری ..... ۹۲
- ۱-۳-۵- تعیین طول پیشروی در هر سیکل حفاری ..... ۹۲
- ۱-۳-۵- عرض قابل عبور و مرور در تونل ..... ۹۴
- ۲-۱-۳-۵- محدودیت ناشی از ابعاد سگمنت هنگام چرخش و قرارگیری بر روی تغذیه کننده نصاب ..... ۹۶
- ۳-۱-۳-۵- اختلاف ارتفاعی که لازم است سوئیچ کالیفرنیا ایجاد کند ..... ۹۹
- ۲-۳-۵- شیب تونل، مشخصات هندسی مقطع و مشخصات فیزیکی سنگهای خرد شده ..... ۱۰۰
- ۳-۳-۵- مشخصات پوشش تونل ..... ۱۰۱
- ۴-۳-۵- تقسیم بندی عملیات اجرایی و مقادیر کمی مواد و سنگهای خرد شده برای حمل ..... ۱۰۲
- ۵-۳-۵- ترابری خارج تونل ..... ۱۰۳
- ۶-۳-۵- مشخصات ریل و سوئیچ ها ..... ۱۰۶
- ۱-۶-۳-۵- ریل گذاری ..... ۱۰۹
- ۷-۳-۵- مشخصات واگن های مورد نیاز ..... ۱۱۰
- ۱-۷-۳-۵- واگنهای حمل خاک ..... ۱۱۱
- ۲-۷-۳-۵- واگن های حمل و نقل پرسنل ..... ۱۱۲
- ۳-۷-۳-۵- واگنهای کفی و مخزن مربوطه جهت حمل شن نخودی ..... ۱۱۲
- ۴-۷-۳-۵- واگن های حمل سگمنت ..... ۱۱۳
- ۵-۷-۳-۵- واگنهای کفی جهت حمل سیمان و وسائل یدکی و قطعات تعویض شده .. ۱۱۴
- ۶-۷-۳-۵- واگن های کفی جهت حمل لوله و ریل و تراورس ..... ۱۱۴
- ۸-۳-۵- انتخاب نوع لوکوموتیو ..... ۱۱۶
- ۹-۳-۵- روابط بین نیروی کشش و نیروی مقاوم و توان ..... ۱۱۸
- ۱۰-۳-۵- نیروهای مقاوم در طی حرکت قطار ..... ۱۲۰
- ۱-۱۰-۳-۵- مقاومت غلتشی ..... ۱۲۰

|     |                                                                           |
|-----|---------------------------------------------------------------------------|
| ۱۲۱ | ..... مقاومت شیب ۵-۳-۱۰-۲                                                 |
| ۱۲۲ | ..... مقاومت لختی یا اینرسی ۵-۳-۱۰-۳                                      |
| ۱۲۴ | ..... مقاومت در قوس ها ۵-۳-۱۰-۴                                           |
| ۱۲۶ | ..... تعیین مجموع نیروهای مقاوم در طی حرکت قطار، هنگام برگشت ۵-۳-۱۱       |
| ۱۲۸ | ..... تعیین مجموع نیروهای مقاوم در طی حرکت قطار، در هنگام رفت ۵-۳-۱۲      |
| ۱۳۰ | ..... تعیین وزن و توان لوکوموتیو ۵-۳-۱۳                                   |
| ۱۳۴ | ..... زمان بندی سیکل عملیات ترابری و محاسبه تعداد تجهیزات مورد نیاز ۵-۴-۴ |
| ۱۳۵ | ..... زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی ۵-۴-۱                        |
| ۱۴۴ | ..... زمان بارگیری و تخلیه در محوطه ترانше ۵-۴-۲                          |
| ۱۴۵ | ..... زمانبندی سیستم حمل و نقل از ابتدا تا انتهای تونل ۵-۴-۳              |
| ۱۴۷ | ..... زمانبندی با در نظر گرفتن حالت ۱ ۵-۴-۳-۱                             |
| ۱۵۴ | ..... زمان بندی با در نظر گرفتن حالت ۲ ۵-۴-۳-۲                            |
| ۱۶۸ | ..... تعداد تجهیزات مورد نیاز ۵-۴-۴                                       |
| ۱۷۰ | ..... عملیات بارگیری و تخلیه در محوطه ترانше ۵-۴-۵                        |

## فصل ششم : نتیجه گیری و پیشنهادات

|     |                      |
|-----|----------------------|
| ۱۷۳ | ..... نتیجه گیری ۶-۱ |
| ۱۷۶ | ..... پیشنهادات ۶-۲  |
| ۱۷۸ | ..... فهرست منابع    |

## ضمائم

|     |                                                                                   |
|-----|-----------------------------------------------------------------------------------|
| ۱۸۱ | ..... ضمیمه الف : جداول تعیین پارامتر های سیستم طبقه بندی مهندسی توده سنگ (Q) ۱۸۱ |
|     | ..... ضمیمه ب : جدول مربوط به جهتداری ناپیوستگیهای مرثر در حفاری،                 |
| ۱۸۷ | ..... سطح سینه کار و زاویه بین آنها ۱۸۷                                           |

|                                                                       |     |
|-----------------------------------------------------------------------|-----|
| ضمیمه ج : مقادیر پارامترهای ورودی مورد نیاز برای روش Q <sub>TBM</sub> |     |
| و نتایج محاسبات برای هر مقطع.....                                     | ۱۸۹ |
| ضمیمه د : مشخصات فنی تجهیزات Rolling Stock شرکت MSD.....              | ۲۱۹ |
| ضمیمه ه : نمودارهای گانت و CPM در سیستم پشتیبانی                      |     |
| برای هر واحد زمین شناسی مهندسی.....                                   | ۲۳۱ |

### فصل اول : کلیات

- شکل ۱-۱- پلان مسیر تونل (قطعه ET-K) طول کل ۱۵۹۸۰ متر ..... ۴
- شکل ۲-۱- موقعیت جغرافیایی و راه‌های دسترسی به بخشهای مختلف تونل انتقال آب کرج ..... ۶
- شکل ۳-۱- سازماندهی پایان نامه ..... ۹

### فصل دوم : زمین شناسی، زمین شناسی مهندسی

- شکل ۱-۲- نقشه زمین شناسی منطقه ( چهارگوش کرج با مقیاس (۱:۱۰۰۰۰۰) ..... ۱۲

### فصل سوم : انتخاب روش مناسب برای حفر تونل

- شکل ۱-۳- محدوده کاری ماشینهای حفر تونل در سنگ ..... ۳۶
- شکل ۲-۳- سیکل کامل حفاری ماشین تونلزنی تمام مقطع بدون سپر نوع محور اصلی ..... ۳۸
- شکل ۳-۳- سیکل کامل حفاری ماشین تونلزنی تمام مقطع بدون سپر نوع دو کفشکه ..... ۳۹
- شکل ۴-۳- فلوچارت کلی سیکل پیشروی ماشین تونلزنی تمام مقطع بدون سپر ..... ۴۰
- شکل ۵-۳- سیکل کامل حفاری ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد ..... ۴۵
- شکل ۶-۳- فلوچارت کلی سیکل پیشروی ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد ..... ۴۶
- شکل ۷-۳- سیکل حفاری D.S.TBM در زمینهای نیمه خرد شده یا مناسب  
در حالت کاری Double ..... ۴۸
- شکل ۸-۳- فلوچارت کلی سیکل پیشروی ماشین D.S.TBM در زمینهای با مقاومت مناسب ..... ۴۹
- شکل ۹-۳- سیکل کامل حفاری D.S.TBM در زمینهای بسیار خرد شده و ریزشی  
در حالت کاری Single ..... ۵۰

### فصل چهارم : پیش بینی سرعت نفوذ و سرعت پیشروی ماشین در مسیر

#### تونل کرج بر اساس روش تجربی $Q_{TBM}$

- شکل ۱-۴- چهار رده عمده شرایط زمین در بحث تونلسازی ..... ۶۷



- شکل ۲-۴- رابطه عمومی میان  $Q$ ، سرعت نفوذ و سرعت پیشروی ..... ۷۰
- شکل ۳-۴- دامنه تغییرات شاخص عمر تیغه در سنگهای مختلف ..... ۷۲
- شکل ۴-۴- نفوذ تیغه غلتان وقتی  $\beta = 90^\circ$  باشد کمترین کارایی را دارد که به شدت به ناهمسانی شاخص مقاومت بار نقطه ای سنگ وابستگی دارد ..... ۷۴
- شکل ۴-۵- روند کلی مورد انتظار برای سرعت نفوذ نسبت به جهت‌داری بافت و نسبت سر سختی سنگ  $(\frac{\sigma_c}{I_{50}})$  ..... ۷۴
- شکل ۴-۶- تعیین مقدار شیب  $m_1$  با استفاده از مقدار  $Q$  ..... ۷۵
- شکل ۴-۷- رابطه پیشنهادی بین سرعت نفوذ و سرعت پیشروی و  $Q_{TBM}$  ..... ۷۶
- شکل ۴-۸- فلوجارت کلی روش  $Q_{TBM}$  ..... ۷۷
- شکل ۴-۹- هیستوگرام تغییرات سرعت نفوذ و سرعت پیشروی  $TBM$  در واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل با استفاده از مدل  $Q_{TBM}$  ..... ۸۸
- شکل ۴-۱۰- درصد طول واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل ..... ۸۸

### فصل پنجم: طراحی سیستم ترابری حین اجرای تونل

- شکل ۵-۱- نحوه قرارگیری سگمنته‌ها بر روی واگن حمل سگمنت ..... ۹۳
- شکل ۵-۲- مقطعی فرضی از تونل در محل نصب سوئیچ کالیفرنیا ..... ۹۵
- شکل ۵-۳- وضعیت چرخش سگمنت از نمای بالا هنگام قرارگیری بر روی تغذیه کننده نصاب ..... ۹۷
- شکل ۵-۴- مشخصات هندسی مقطع عرضی تونل ..... ۱۰۰
- شکل ۵-۵- نمای عمومی ترانشه پرتال و متعلقات سیستم ترابری ..... ۱۰۵
- شکل ۵-۶- مقطع عرضی تونل در حالت نامتقارن در محدوده ای از سیستم پشتیبانی ..... ۱۰۷
- شکل ۵-۷- نمونه ای از مقطع عرضی تونل در حالت متقارن در محدوده ای از سیستم پشتیبانی ..... ۱۰۷
- شکل ۵-۸- نمونه سوئیچ کالیفرنیا ثابت به کار رفته در داخل تونل در حالت نامتقارن ..... ۱۰۸
- شکل ۵-۹- نمونه سوئیچ کالیفرنیا ثابت به کار رفته در داخل تونل در حالت متقارن ..... ۱۰۸

- شکل ۵-۱۰- تراورس های طراحی شده و جایگیری آن در کف تونل ..... ۱۰۹
- شکل ۵-۱۱- مشخصات هندسی تراورس های مورد استفاده در ترانشه ..... ۱۱۰
- شکل ۵-۱۲- نمایی شماتیک از قرارگیری قطار در شیب مسیر تونل هنگام برگشت ..... ۱۲۵
- شکل ۵-۱۳- نمایی شماتیک از نحوه قرارگیری قطار بر روی شیب مسیر تونل،  
شیب کالیفرنیا سوئیچ، روی سوئیچ کالیفرنیا در هنگام برگشت ..... ۱۲۷
- شکل ۵-۱۴- نمایی شماتیک از قرارگیری قطار در شیب مسیر تونل هنگام رفت ..... ۱۲۹
- شکل ۵-۱۵- نمایی شماتیک از نحوه قرارگیری قطار بر روی مسیر تونل،  
شیب سوئیچ کالیفرنیا و روی سوئیچ کالیفرنیا در هنگام رفت ..... ۱۳۰
- شکل ۵-۱۶- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن  
سرعت نفوذ متوسط (حالت ۱) ..... ۱۴۰
- شکل ۵-۱۷- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن  
سرعت نفوذ متوسط (حالت ۱) ..... ۱۴۱
- شکل ۵-۱۸- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن  
سرعت نفوذ متوسط (حالت ۲) ..... ۱۴۳
- شکل ۵-۱۹- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن  
سرعت نفوذ متوسط (حالت ۲) ..... ۱۴۴
- شکل ۵-۲۰- نمودارهای گانت یک سیکل ترابری برای حالت ۱  
زمانیکه دو قطار در سیستم تردد می کنند ..... ۱۴۸
- شکل ۵-۲۱- نمودارهای گانت یک سیکل ترابری برای حالت ۱  
زمانیکه سه قطار در سیستم تردد می کنند ..... ۱۵۰
- شکل ۵-۲۲- نمودارهای گانت برای چند سیکل ترابری با سه قطار و سوئیچ کالیفرنیا ..... ۱۵۱
- شکل ۵-۲۳- نمودارهای گانت یک سیکل ترابری برای حالت ۱ زمانیکه سوئیچ کالیفرنیا نصب  
و چهار قطار در سیستم تردد می کنند ..... ۱۵۱
- شکل ۵-۲۴- نمودارهای گانت یک سیکل ترابری برای حالت ۲ زمانی که  
دو قطار در سیستم تردد می کنند ..... ۱۵۶

- شکل ۵-۲۵- نمودارهای گانت یک سیکل ترابری برای حالت ۲ زمانی که سه قطار در سیستم تردد می کنند..... ۱۵۷
- شکل ۵-۲۶- نمودارهای گانت یک سیکل ترابری برای حالت ۲ زمانیکه سوئیچ کالیفرنیا نصب و چهار قطار در سیستم تردد می کنند..... ۱۵۸
- شکل ۵-۲۷- نمودارهای گانت یک سیکل ترابری برای حالت ۲ زمانیکه سوئیچ کالیفرنیا دوم نصب و پنج قطار در سیستم تردد می کنند..... ۱۵۹
- شکل ۵-۲۸- نمودارهای گانت برای چهار سیکل ترابری با پنج قطار و دو سوئیچ کالیفرنیا ثابت ..... ۱۶۱
- شکل ۵-۲۹- نمودارهای گانت یک سیکل ترابری (پس از اصلاح) برای حالت ۲ زمانیکه سوئیچ کالیفرنیا دوم نصب و پنج قطار در سیستم تردد می کنند..... ۱۴۴
- شکل ۵-۳۰- نمودارهای گانت برای چهار سیکل ترابری (پس از اصلاح) با پنج قطار و دو سوئیچ کالیفرنیا ثابت ..... ۱۶۵

## ضمائم

- شکل ه-۱- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta2(حالت ۱)..... ۲۳۲
- شکل ه-۲- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta3(حالت ۱)..... ۲۳۳
- شکل ه-۳- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta4(حالت ۱)..... ۲۳۴
- شکل ه-۴- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts1(حالت ۱)..... ۲۳۵
- شکل ه-۵- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts2(حالت ۱)..... ۲۳۶
- شکل ه-۶- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts2-3(حالت ۱)..... ۲۳۷

- شکل ه-۷- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Tsh (حالت ۱)..... ۲۳۸
- شکل ه-۸- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Mdg (حالت ۱)..... ۲۳۹
- شکل ه-۹- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta1 (حالت ۲)..... ۲۴۰
- شکل ه-۱۰- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Cz (حالت ۲)..... ۲۴۰
- شکل ه-۱۱- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta2 (حالت ۱)..... ۲۴۱
- شکل ه-۱۲- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta3 (حالت ۱)..... ۲۴۱
- شکل ه-۱۳- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta4 (حالت ۱)..... ۲۴۱
- شکل ه-۱۴- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts1 (حالت ۱)..... ۲۴۲
- شکل ه-۱۵- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts2 (حالت ۱)..... ۲۴۲
- شکل ه-۱۶- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts2-3 (حالت ۱)..... ۲۴۲
- شکل ه-۱۷- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Tsh (حالت ۱)..... ۲۴۳
- شکل ه-۱۸- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Mdg (حالت ۱)..... ۲۴۳
- شکل ه-۱۹- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
 با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta1 (حالت ۲)..... ۲۴۳

شکل ه-۲۰- نمودار CPM فعالیت‌های انجام شده برای ۲ گام پیشروی  
با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Cz (حالت ۲) ..... ۲۴۳

## فصل اول : کلیات

جدول ۱-۱- مختصات نقاط شاخص در مسیر تونل..... ۵

## فصل دوم : زمین شناسی، زمین شناسی مهندسی

جدول ۱-۲- خلاصه‌ای از ویژگیهای واحدهای چینه شناسی تفکیک شده..... ۱۵

جدول ۲-۲- واحدهای زمین شناسی مهندسی شناسایی شده در مسیر تونل..... ۱۶

جدول ۳-۲- آزمون شاخص دستی، استاندارد شده توسط ISRM..... ۱۹

جدول ۴-۲- تخمین مقاومت تک محوری ماده سنگ در واحدهای

زمین شناسی مهندسی از طریق آزمونهای صحرایی..... ۲۰

جدول ۵-۲- نتایج خام آزمایشات آزمایشگاهی انجام شده در مرحله اول..... ۲۱

جدول ۶-۲- نتایج خام آزمایشات آزمایشگاهی انجام شده در مرحله دوم..... ۲۲

جدول ۷-۲- نتایج جمع بندی شده آزمونهای مقدماتی صحرایی

و آزمونهای آزمایشگاهی..... ۲۳

جدول ۸-۲- جهتداری دسته ناپیوستگیهای مختلف در

واحدهای زمین شناسی مهندسی منطقه..... ۲۵

جدول ۹-۲- ویژگیهای دسته ناپیوستگیهای مختلف در واحدهای

زمین شناسی مهندسی منطقه..... ۲۶

جدول ۱۰-۲- نتایج تست های برش انجام شده بر روی سطوح آره بر شده

در واحدهای زمین شناسی مهندسی مختلف..... ۲۷

جدول ۱۱-۲ : نتایج نهایی طبقه بندی مهندسی توده سنگهای مسیر تونل..... ۲۹

جدول ۱۲-۲ - نتایج تعیین پارامترهای مقاومتی توده سنگ در تونل..... ۳۰

## فصل سوم : انتخاب روش مناسب برای حفر تونل

جدول ۱-۳- پارامترهای ژئوتکنیکی و زمین شناسی..... ۵۲

جدول ۲-۳- تقسیم بندی زمین از نظر خاصیت مچاله شوندگی ..... ۵۴

جدول ۳-۳- مقادیر کمی و کیفی مچاله شوندگی در طول مسیر ..... ۵۵

### فصل چهارم : پیش‌بینی سرعت نفوذ و سرعت پیشروی ماشین در مسیر

#### تونل کرج بر اساس روش تجربی $Q_{TBM}$

جدول ۱-۴- مشخصات فنی ماشین تونل‌زنی تمام مقطع سپری مضاعف

ساخت شرکت Herrenknecht ..... ۶۹

جدول ۲-۴- داده های مربوط به مقادیر  $Q$  و  $RQD$  در جهت تونل ..... ۷۹

جدول ۳-۴- نتایج حاصل از محاسبه پارامتر  $SIGMA$  برای واحدهای زمین شناسی مختلف ..... ۷۹

جدول ۴-۴- نیروی رانش به ازای هر تیغه برای واحدهای مختلف ..... ۸۰

جدول ۵-۴- محاسبه  $Q_{TBM}$  بر اساس پارامترهای تعیین شده و نیروی رانش به ازای تیغه ..... ۸۱

جدول ۶-۴- محاسبه گرادیان منفی با توجه به روابط بیان شده و شکل ۴-۶ ..... ۸۲

جدول ۷-۴- سرعت نفوذ، سرعت پیشروی و ضریب بهره وری برای واحدهای

زمین شناسی مهندسی مسیر تونل ..... ۸۳

جدول ۸-۴- تغییرات پارامترهای  $Q$  قبل و بعد از تزریق مقدماتی در واحد زمین شناسی  $CZ$  ..... ۸۴

جدول ۹-۴- نیروی رانش را به ازای هر تیغه برای واحدهای زمین شناسی مهندسی

مسیر تونل بعد از در نظر گرفتن تزریق مقدماتی در  $CZ$  ..... ۸۵

جدول ۱۰-۴- سرعت نفوذ، سرعت پیشروی، ضریب بهره وری و شیب منفی  $m$  برای واحد

زمین شناسی مهندسی  $CZ$  (سنگ خرد شده) با در نظر گرفتن تزریق مقدماتی ..... ۸۶

جدول ۱۱-۴- نتایج پیش بینی عملکرد  $TBM$  با استفاده از روش  $Q_{TBM}$  ..... ۸۷

جدول ۱۲-۴- متوسط سرعت نفوذ و سرعت پیشروی ..... ۸۷

### فصل پنجم : طراحی سیستم ترابری حین اجرای تونل

جدول ۱-۵- حجم مواد و سنگهای خرد شده مورد نیاز برای پیشروی به اندازه

دو رینگ سگمندی که توسط هر قطار جابجا می شود ..... ۱۰۳

جدول ۲-۵- مشخصات فنی واگن های حمل سگمنت ..... ۱۱۳

- جدول الف-۴- عدد دگرگونی (هوازدگی) درزه  $J_a$  ..... ۱۸۴
- جدول الف-۵- فاکتور کاهش تنش SRF ..... ۱۸۵
- جدول الف-۶- شاخص آب درزه  $J_w$  ..... ۱۸۶
- جدول ب-۱- جهتداری ناپیوستگیهای مؤثر در حفاری، سطح سینه کار و زاویه بین آنها ..... ۱۸۸



# فصل اول

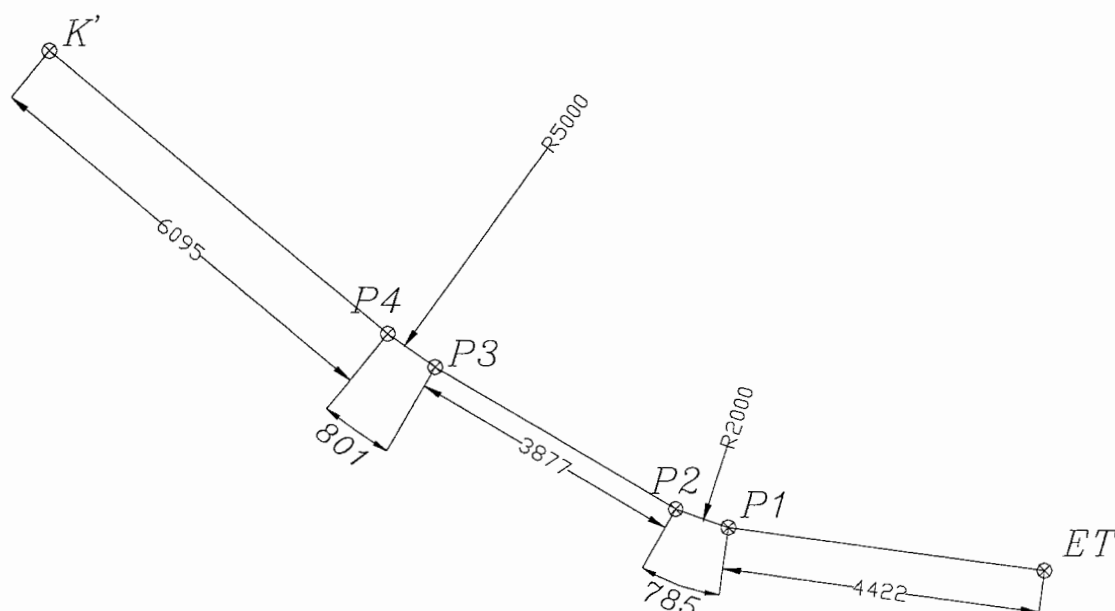
## کلیات

گردیده است. در سالهای اخیر برای تأمین نیاز آب شرب شهروندان تهرانی ضمن افزایش برداشت آب زیر زمینی که دارای ظرفیت محدودی بوده و برداشت بیش از حد آن آلودگی منابع مزبور را بدنبال خواهد داشت، تمام سعی و تلاش لازم انجام شده که از توان نهایی منابع و ظرفیت خطوط انتقال و تصفیه خانه های موجود حداکثر استفاده بعمل آید. به منظور پاسخ افزایش تقاضای آب، مطالعه و اجرای پروژه سامانه انتقال و تصفیه خانه آب از غرب به تهران، با توجه به موارد فوق و انتقال حدود ۶۰۰ میلیون متر مکعب آب (شامل ۳۰۰ میلیون متر مکعب از سد کرج و ۳۰۰ میلیون متر مکعب از طالقان) در آینده ضروری می باشد. همچنین انتقال آب به تصفیه خانه شماره ۶ (واقع در شمال غرب تهران، شمال شهرک راه آهن، مجاور ضلع شمالی شهرک نیروی انتظامی) با توجه به گزارش مدیریت منابع آب مهندسین مشاور برابر ۳۵۰ میلیون متر مکعب در سال در نظر گرفته شده است. ظرفیت تونل برابر ۱۶ متر مکعب در ثانیه می باشد (مؤسسه حرا، ۱۳۸۲).

## ۱-۲- خلاصه ای از طرح

سامانه انتقال آب غرب تهران به منظور انتقال آب شرب تهران از سد امیرکبیر طراحی و در حال اجرا می باشد. مهمترین بخش این پروژه احداث تونلی طویل با طول تقریبی ۳۰ کیلومتر می باشد که قرار است در دو قطعه مجزا اجرا شود. برای اجرای قطعه اول این تونل از ET به K' دو گزینه اصلی به عنوان مسیر تونل مطرح گردید که در نهایت به دلایل مختلف از جمله شرایط زمین شناسی مسیر (به ویژه برای اجتناب از گسل پورکان - وردیج) گزینه مسیر قوسی انتخاب گردید (مؤسسه مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۸۴). پلان مسیر تونل (قطعه K'-ET) در شکل ۱-۱ و مختصات نقاط اصلی در جدول ۱-۱ همراه با طول قطعات مختلف نشان داده شده است. طول کلی مسیر

قطعه اول (قطعه ET-K') ۱۵۹۸۰ متر بوده و با استفاده از روش مکانیزه به وسیله ماشین حفار تمام مقطع (TBM) حفر خواهد شد. اجرای این بخش از طریق مناقصه به قرارگاه خاتم الانبیاء (مؤسسه حرا به عنوان پیمانکار و مؤسسه مهندسين مشاور ساحل بعنوان مشاور پیمانکار) واگذار گردیده است.



شکل ۱-۱- پلان مسیر تونل (قطعه ET-K') طول کل ۱۵۹۸۰ متر (مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

### ۱-۳- موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به منطقه

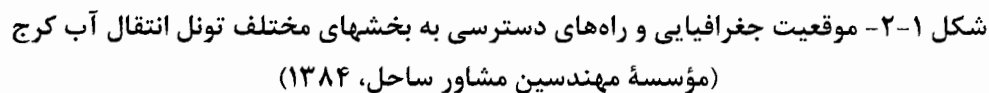
در مطالعات صورت گرفته توسط مشاور کارفرما (مهندسين مشاور تهران - بوستن) پرتال خروجی تونل در ضلع شمال غرب محوطه ای که برای احداث تصفیه خانه شماره ۶ تهران در نظر گرفته شده است، انتخاب شده است.

جدول ۱-۱- مختصات نقاط شاخص در مسیر تونل (موسسه حرا، ۱۳۸۲)

| نقطه | X           | Y            | ترازکف    | فواصل-متر          | شیب طولی (متربرمتر) | توضیحات                              |
|------|-------------|--------------|-----------|--------------------|---------------------|--------------------------------------|
| K'   | ۵۰۷۹۵۸/۵۶۶۸ | ۳۹۶۵۹۹۴/۰۹۱۹ | ۱۵۸۲      | K'-P4<br>۶۰۹۵/۴۱۶۳ | K'-P4<br>۰/۰۰۱۳۷۶۷۲ | خط<br>مستقیم                         |
| P4   | ۵۱۲۶۷۲/۰۷۲۵ | ۳۹۶۲۱۲۹/۲۵۵۱ | ۱۵۷۳/۳۱۶۶ | P4-P3<br>۸۰۱/۳۴۴۳  | P4-P3<br>۰/۰۰۱۳۷۶۷۲ | قوس<br>دایروی به<br>شعاع<br>۵۰۰۰ متر |
| P3   | ۵۱۳۳۲۹/۷۲۱۲ | ۳۹۶۱۶۷۲/۸۸۰۸ | ۱۵۷۲/۵۹۸۲ | P3-P2<br>۳۸۷۶/۷۳۵۶ | P3-P2<br>۰/۰۰۱۳۷۶۷۲ | خط<br>مستقیم                         |
| P2   | ۵۱۶۶۸۱/۳۹۸۷ | ۳۹۵۹۷۲۴/۷۱۸۳ | ۱۵۶۷/۱۵   | P2-P1<br>۷۸۴/۶۳۷۰  | P2-P1<br>۰/۰۰۱۳۷۶۷۲ | قوس<br>دایروی به<br>شعاع<br>۲۰۰۰ متر |
| P1   | ۵۱۷۴۱۸/۸۵۶۴ | ۳۹۵۹۴۷۱/۸۲۴۵ | ۱۵۶۶/۰۷۲۵ | P1-ET<br>۴۴۲۱/۸۶۶۸ | P1-ET<br>۰/۰۰۱۳۷۶۷۲ | خط<br>مستقیم                         |
| ET   | ۵۲۱۸۰۰/۹۶۴۳ | ۳۹۵۸۸۸۰/۱۸۵۷ | ۱۵۶۰      | K'-ET<br>۱۵۹۸۰     | K'-ET<br>۰/۰۰۱۳۷۶۷۲ | خط<br>مستقیم                         |

تصفیه خانه شماره ۶ در شمال غرب تهران و شمال شهرک راه آهن در مجاورت ضلع شمالی شهرک نیروی انتظامی واقع شده است. دسترسی به این بخش از تونل از طریق بخش غربی اتوبان همت میسر می‌باشد. محدوده شافت K' نیز در نزدیکی روستای کندر در مجاورت راه دسترسی جدید الاحداث که از جاده چالوس منشعب می‌شود، واقع شده است. شافت K' در کیلومتر ۳ از این جاده در محلی که جاده توسط رودخانه کندر قطع شده است، قرار گرفته است. دسترسی به بخشهای میانی تونل نیز از طریق جاده آسفالتی وردیج و جاده خاکی روستای ورک آباد از جاده وردیج منشعب می‌شود، میسر است. در شکل ۱-۲ موقعیت جغرافیایی و راه های دسترسی به بخشهای مختلف تونل نشان داده شده

است (مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۴).



تا به امروز خدمات مهندسی عمومی اولیه در دوره برگزاری مناقصه، کارهای مطالعاتی و طراحی تفصیلی در دوره قرارداد، تجهیز کارگاه (شامل تهیه ملزومات و ساختمانهای رفاهی، آماده کردن فضای لازم برای نصب دستگاه حفار، تهیه، نصب و راه اندازی کارخانه ساخت قطعات بتنی (سگمنت)، احداث ساختمانهای سرویس دهی حین اجرا نظیر ساختمانها و تأسیسات تهویه، روشنایی و ایمنی، ساختمانها و تأسیسات سرویس دهی به دستگاه حفار و ...)، احداث راههای دسترسی و حمل، نصب تجهیزات و احداث پرتال ورودی انجام گرفته است. اطلاعات موجود دربارهٔ طرح مذکور شامل زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی، مربوط به اسناد فنی شرکت در مناقصه (مؤسسهٔ حرا) و گزارش

زمین‌شناسی مهندسی نهایی توسط مشاور (مؤسسه مهندسين مشاور ساحل) می‌باشد. در زمینه طراحی سیستم ترابری کار مفصل و مناسبی انجام نشده تنها طراحی های مربوط به دوره مناقصه و مقدماتی موجود می باشد.

#### ۱-۵- هدف پایان نامه

برای حفاری تونل کرج استفاده از دستگاه تونل‌زنی تمام مقطع (TBM) پیش بینی شده است. در این روش، ترابری مواد حفاری شده از سینه کار پیشروی و انتقال قطعات نگهداری به محل نصب آن نقش به سزایی در میزان پیشروی با دستگاه TBM دارند لذا انجام مطالعات جامع به منظور بررسی و طراحی سیستم ترابری حین اجرای تونل کرج حائز اهمیت می باشد. سیستم ترابری حین اجرا بایستی به گونه ای طراحی و اجرا شود که اولاً امکان بهره‌برداری از حداکثر قابلیت دستگاه TBM را فراهم نماید. به عبارت دیگر به صورت عامل محدود کننده سرعت تونلسازی مطرح نشود و ثانیاً در طراحی ترابری، بیشینه سازی طول پیشروی در هر سیکل در نظر گرفته شود. هدف این پایان نامه طراحی سیستم حمل و نقل حین اجرای تونل با توجه به شرایط مذکور می‌باشد.

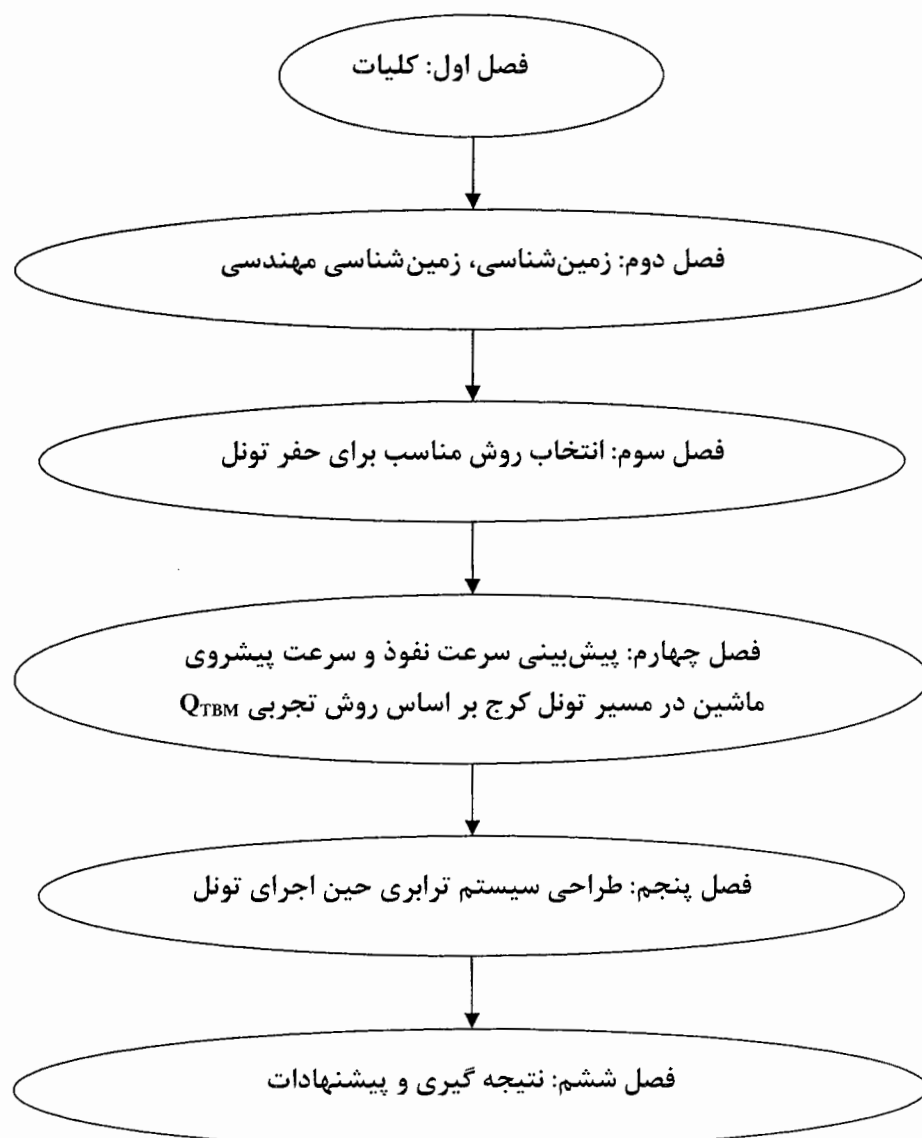
#### ۱-۶- سازماندهی پایان نامه

پایان‌نامه حاضر مشتمل بر شش فصل می‌باشد. مابقی فصول این پایان نامه به شرح ذیل سازماندهی شده است:

فصل دوم تحت عنوان زمین‌شناسی، زمین‌شناسی مهندسی است که در آن زمین‌شناسی منطقه و بررسی کمی و کیفی واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل مورد مطالعه قرار گرفته است.

فصل سوم تحت عنوان انتخاب روش مناسب برای حفر تونل است. در این فصل با توجه به شرایط زمین و زمان‌بندی انجام پروژه، به انتخاب روش حفاری مناسب پرداخته شده است.

فصل چهارم تحت عنوان پیش‌بینی سرعت نفوذ و سرعت پیشروی ماشین در مسیر تونل کرج بر اساس روش تجربی  $Q_{TBM}$  است که در آن نخست پارامترهای مؤثر در سرعت نفوذ و پیشروی و پارامترهای بکار رفته در روش  $Q_{TBM}$  مورد مطالعه قرار گرفته سپس با استفاده از همین روش سرعت نفوذ و پیشروی برای هر یک از واحد‌های زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل پیش‌بینی شده است. فصل پنجم تحت عنوان طراحی سیستم ترابری حین اجرای تونل است که با توجه به تمامی محدودیت‌های موجود، حداکثر طول پیشروی در هر سیکل حفاری، مشخصات فنی تجهیزات رولینگ استوک<sup>۱</sup>، وزن لازم برای لوکوموتیو، زمان‌بندی سیکل ترابری و تعداد تجهیزات مورد نیاز تعیین شده است. در فصل ششم نتایج بدست آمده مورد بررسی قرار گرفت و در نهایت پیشنهاداتی ارائه گردید. شکل ۱-۳ مراحل فوق را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳- سازماندهی پایان نامه



# فصل دوم

زمین شناسی، زمین شناسی مهندسی

## ۲-۱- مقدمه

در این فصل زمین‌شناسی منطقه به اختصار شرح داده شده و واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل به صورت تفکیک شده ارائه گردیده است. در نهایت به تشریح ویژگیهای توده سنگ‌ها مسیر تونل، پارامترهای فیزیکی و مکانیکی ماده سنگ، مشخصات ناپیوستگی‌ها، طبقه‌بندی مهندسی توده سنگ و پارامترهای مقاومتی توده سنگ پرداخته می‌شود.

## ۲-۲- زمین‌شناسی منطقه

گستره طرح از دیدگاه چینه‌شناختی در برگیرنده مجموعه‌های رسوبی-آتشفشانی مختلفی از سازند کرج است. این مجموعه‌ها بر پایه نقشه ۱:۱۰۰۰۰۰ چهارگوش تهران (سازمان زمین‌شناسی (شکل ۱-۲))، وابسته به بالاترین بخش توف میانی و بخشهای زیرین تا میانی شیل آستارا از سازند کرج هستند که در قلمرو سنی ائوسن پسین تا میانی قرار می‌گیرند. سنگ‌شناسی آنها به طور کلی شامل تناوب‌هایی از توف، ماسه سنگ، کنگلومراهای ریز دانه و بخشهای سیلت سنگ و گدازه و حتی آگلومرای هستند که به طور جانبی تغییرات چشمگیری دارند و گاهی در فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتر، با مجموعه‌های هم‌ارز خود به طور قطعی قابل انطباق نیستند و تنها از روی جایگاه چینه‌شناختی آنها می‌توان آنها را معادل یکدیگر قرار داد.



# فصل دوم

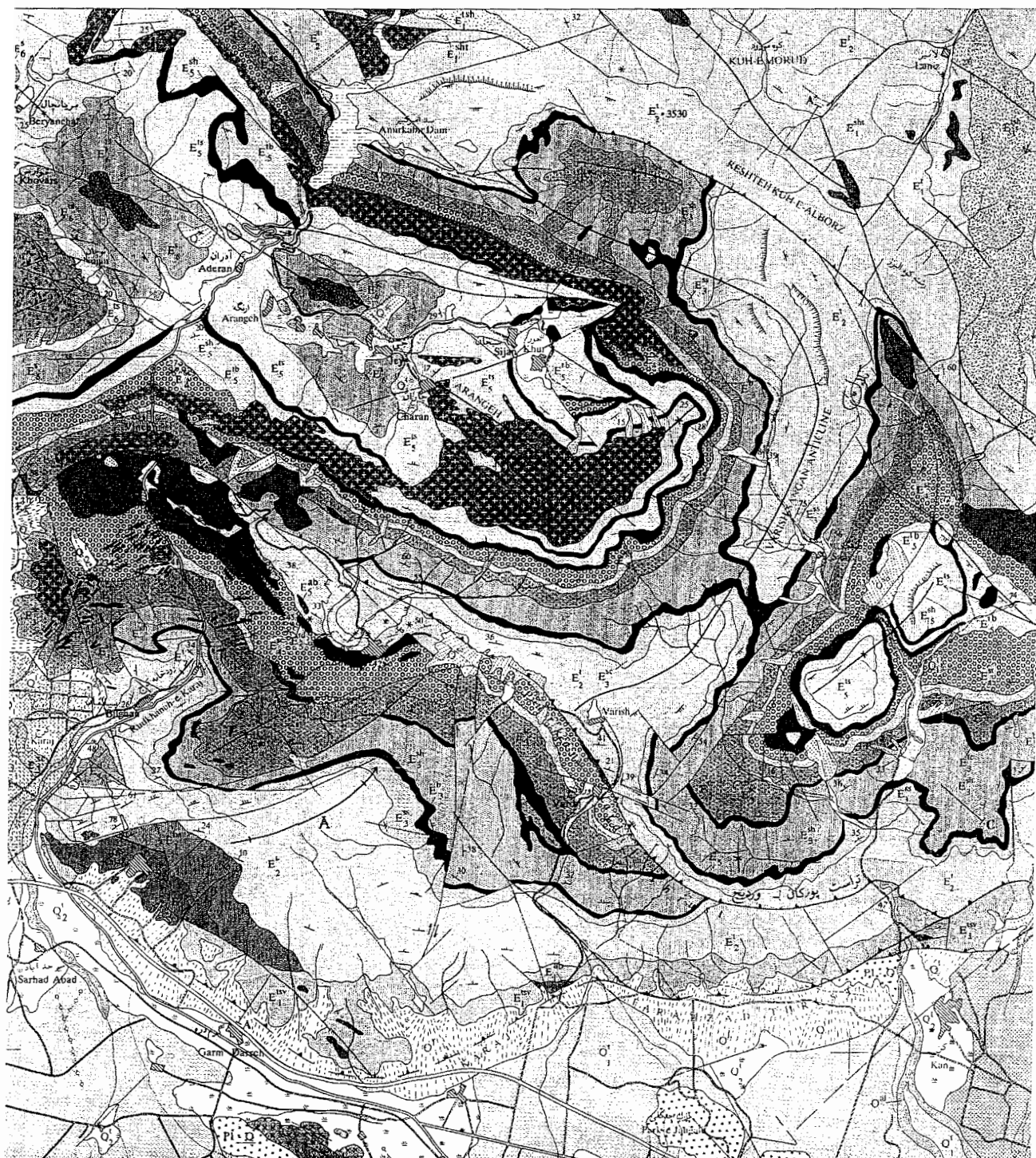
زمین شناسی، زمین شناسی مهندسی

## ۲-۱- مقدمه

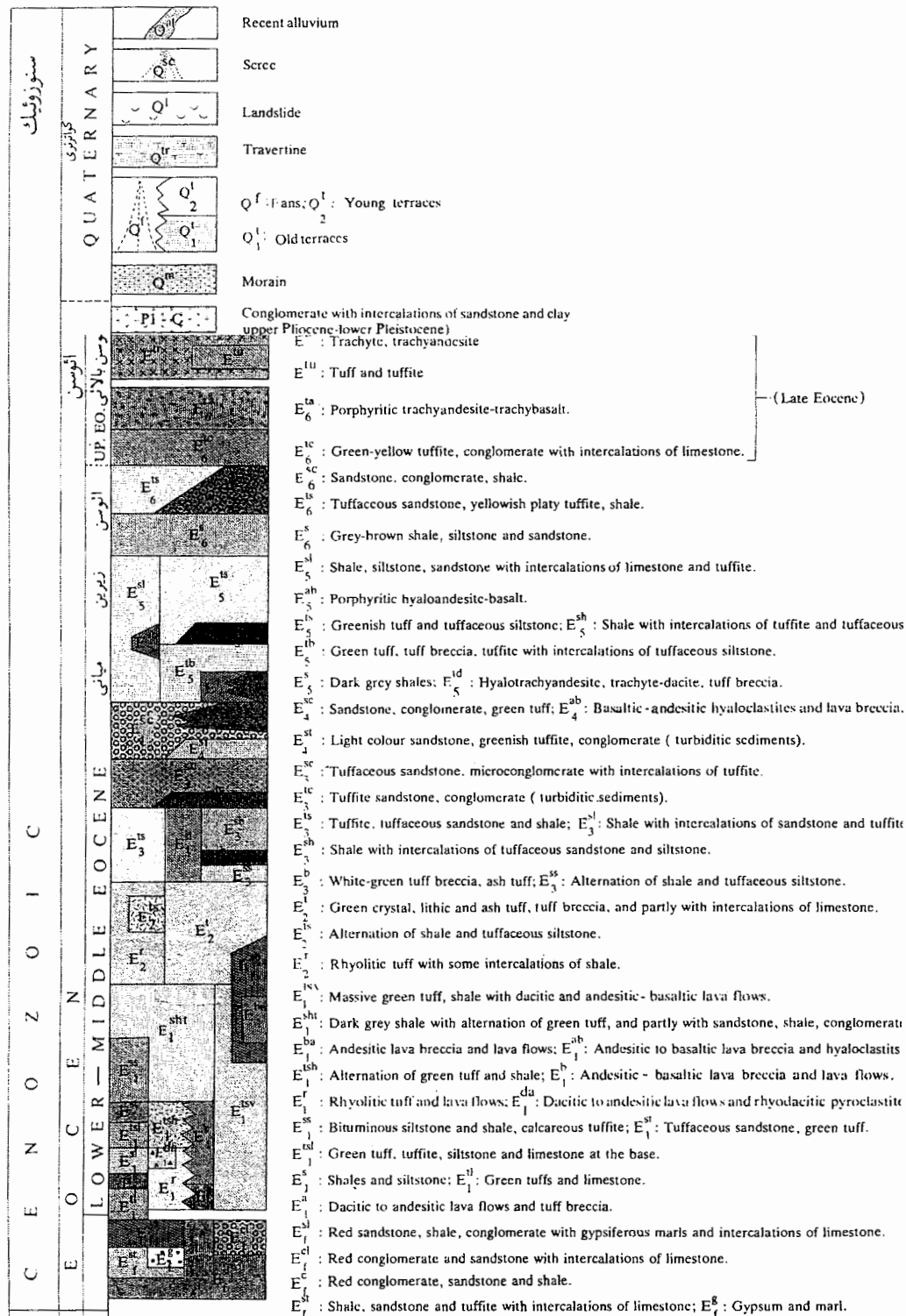
در این فصل زمین‌شناسی منطقه به اختصار شرح داده شده و واحد های زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل به صورت تفکیک شده ارائه گردیده است. در نهایت به تشریح ویژگیهای توده سنگ ها مسیر تونل، پارامترهای فیزیکی و مکانیکی ماده سنگ، مشخصات ناپیوستگی ها، طبقه بندی مهندسی توده سنگ و پارامتر های مقاومتی توده سنگ پرداخته می‌شود.

## ۲-۲- زمین‌شناسی منطقه

گستره طرح از دیدگاه چینه شناختی در برگیرنده مجموعه های رسوبی- آتشفشانی مختلفی از سازند کرج است. این مجموعه ها بر پایه نقشه ۱: ۱۰۰۰۰۰ چهارگوش تهران ( سازمان زمین‌شناسی (شکل ۱-۲) )، وابسته به بالاترین بخش توف میانی و بخشهای زیرین تا میانی شیل آستارا از سازند کرج هستند که در قلمرو سنی ائوسن پسین تا میانی قرار می‌گیرند. سنگ‌شناسی آنها به طور کلی شامل تناوب هایی از توف، ماسه سنگ، کنگلومراهای ریز دانه و بخشهای سیلت سنگ و گدازه و حتی آگلومرای هستند که به طور جانبی تغییرات چشمگیری دارند و گاهی در فاصله کمتر از ۱۰ کیلومتر، با مجموعه‌های هم ارز خود به طور قطعی قابل انطباق نیستند و تنها از روی جایگاه چینه شناختی آنها می‌توان آنها را معادل یکدیگر قرار داد.



شکل ۱-۲- نقشه زمین‌شناسی منطقه ( چهارگوش کرج با مقیاس (۱:۱۰۰۰۰۰) سازمان زمین‌شناسی  
کشور (موسسه حرا، ۱۳۸۲)



شکل ۱-۲- راهنمای نقشه زمین شناسی منطقه

این مجموعه در قالب تاقدیس و ناودیس های مختلف از کوچک تا بزرگ مقیاس چین خورده و با گسل‌های کوچک و بزرگ مختلفی بریده شده است. از دیگر ویژگی‌های زمین‌شناختی گستره به وجود توده‌های نفوذی، دایک‌های آذرین و حتی دایک‌های سیلیسی می‌توان اشاره کرد، که در میان واحدهای رسوبی و یا در راستای برخی از گسله‌ها بیرون زده‌اند. در مطالعات زمین‌شناسی صورت گرفته، کل مسیر تونل به ۱۴ واحد چینه‌شناسی تقسیم شده است که ویژگی‌های آنها به طور خلاصه در جدول ۱-۲ درج شده است. گستره مورد مطالعه در برگیرنده مجموعه چین خورده‌ای از تاقدیس و ناودیس‌های ملایم تا بازی است که در روند عمومی شمال شرقی - جنوب غربی شکل گرفته‌اند و از شرق رو به غرب، هندسه آنها پیچیده‌تر و شدت دگر شکلی در آنها بیشتر شده است. این مجموعه با دو پهنه گسلی به نسبت بزرگ شمال تهران و پورکان - وردیچ در برگرفته شده است که با جهت شیب عمومی رو به شمال - شمال شرقی، بلوک‌های شمالی خود را رو به جنوب رانده‌اند. به این ترتیب، گستره مورد نظر ما در یک پهنه فشاری کهن، میان دو گسله راندگی بزرگ به دام افتاده و پذیرای دگرشکلی ناشی از جنبش‌های دراز مدت آنها بوده است (مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، ۱۳۸۴).

## ۲-۳- تفکیک واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل

بر اساس بررسی‌های انجام شده در بازدید زمین‌شناسی صورت گرفته از منطقه و اطلاعات به دست آمده از عملیات ژئوتکنیک (گمانه‌های اکتشافی و آزمایشات آزمایشگاهی) صرف نظر از رسوبات و نهشته‌های کواترنر، در مجموع ۹ واحد زمین‌شناسی مهندسی در سیستم فعال قابل شناسایی و تفکیک از یکدیگر می‌باشند. این واحدهای زمین‌شناسی مهندسی در جدول ۲-۲ معرفی شده‌اند.



جدول ۲-۱- خلاصه‌ای از ویژگیهای واحدهای چینه‌شناسی تفکیک شده  
(مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

| نام واحد سنگی<br>در نقشه زمین<br>شناسی ۱:۱۰۰۰۰۰ | نام واحد سنگی در<br>نقشه ۱:۵۰۰۰۰ | سنگ شناسی                                                                                                                                            |
|-------------------------------------------------|----------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $E^{mg}$                                        | $U_{1-1}$                        | توده منزودیوریت متوسط بلور.                                                                                                                          |
|                                                 | $U_{1-2}$                        | توده مونزوکابرو متوسط بلور که به همراه توده مونزودیوریتی در میان واحدهای $U_2$ و $U_3$ رخنه کرده است و شدیداً هوازده و تکتونیزه شده است.             |
| $E_4^{sc}$                                      | $U_2$                            | تناوب میکرو کنگلومرا، ماسه سنگ و کنگلومرا، توده ای تا سبتر لایه با میان لایه هایی از توفیت و توفیتهای ماسه ای، صخره ساز.                             |
| $E_3^{ic} + E_3^{sc}$                           | $U_{3-1}$                        | سیلت سنگهای توفی، ماسه ای نازک لایه و نا مقاوم به رنگ سبز تیره که در درون خود دگر شکل شده اند.                                                       |
|                                                 | $U_{3-2}$                        | ستبرهایی از توفیت، ماسه ای نازک لایه و نا مقاوم به رنگ سبز تیره که در درون خود دگر شکل شده اند.                                                      |
|                                                 |                                  | ماسه سنگ و ماسه سنگهای توفی مقاوم متوسط تا سبتر لایه با میان لایه های نازکی از شیل وسیلت سنگهای توفی و بخشهای میکرو کنگلومرای.                       |
| $E_3^{sh}$                                      | $U_4$                            | تناوب شیل، سیلت سنگ و ماسه سنگهای نازک لایه، هوازده و خرد شده که در بخشهایی از ستبرای خود لایه های ماسه سنگی مقاوم و متوسط لایه دیده می شود.         |
|                                                 | $U_5$                            | ستبرایی از کنگلومرا و ماسه سنگ متوسط لایه که رو به باختر به آگلومرا تبدیل می گردد و از ستبرای آن کاسته می شود.                                       |
|                                                 | $U_6$                            | سیلت سنگها توفی با میان لایه های نازکی از ماسه سنگ ریز دانه که در گذار به واحد زیرین به توفهای سیلیسی تبدیل می شود.                                  |
| $E_3^b$                                         | $U_7$                            | توف توده ای به رنگ سبز روشن تا کرم که رو به باختر از ستبرای آن کاسته شده و به کنگلومرا و ماسه سنگهای درشت دانه تبدیل می شود.                         |
| $E_3^{ss}$                                      | $U_8$                            | توفهای سبز سیلیسی و سیلت سنگهای آهکی که در ۳۵ متری بالایی به شیلهای نا مقاوم تبدیل می شود.                                                           |
|                                                 | $U_9$                            | تناوبی از توفهای سبز، آهکهای ریز بلور و ماسه سنگهای با دانه بندی گوناگون، نازک لایه.                                                                 |
| $E_2'$                                          | $U_{10}$                         | تناوبی از توفهای سبز تیره سیلیسی نازک لایه و ماسه سنگ و توفهای متوسط تا سبتر لایه که در گذار به واحد زیرین به میکرو کنگلومرای توده ای تبدیل می شوند. |
|                                                 | $U_{11}$                         | میکرو کنگلومرای توده ای، خاکستر توف با ترکیب گوناگون و میان لایه هایی از توفهای سبز نازک لایه.                                                       |
|                                                 | $U_{12}$                         | توفهای روشن رنگ سبتر لایه تا توده ای درشت دانه بسیار مقاوم.                                                                                          |
|                                                 | $U_{13}$                         | ستبرای زیادی از ماسه سنگهای متوسط لایه کرم رنگ تا قهوه ای، بخشهایی از توفهای سبز روشن توده ای و توفهای سبز سیلیسی نازک لایه.                         |
|                                                 | $U_{14}$                         | بخشهای جداشده $U_{10}$ و $U_{13}$ که در پی جنبشهای تکتونیکی بهم ریخته شده است.                                                                       |

جدول ۲-۲- واحدهای زمین‌شناسی مهندسی شناسایی شده در مسیر تونل  
(مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

| ردیف | واحد زمین شناسی مهندسی | واحدهای چینه شناسی معادل (مقیاس ۱:۲۰۰۰)             | متوسط روباره (متر) | شرایط آب زیر زمینی  | رده پایداری                                                                      | علامت |
|------|------------------------|-----------------------------------------------------|--------------------|---------------------|----------------------------------------------------------------------------------|-------|
|      |                        |                                                     |                    |                     | توصیف                                                                            |       |
| ۱    | Gta1                   | U <sub>13</sub> , U <sub>14</sub>                   | ۲۰۰                | خشک                 | Weak to Moderately Strong, Thin to moderately bedded, Fractured, May be Unstable | C     |
| ۲    | Gta2                   |                                                     | ۳۵۰                | نمناک تا مرطوب      | Moderately strong, Moderately to thick bedded, Moderately fractured, Stable      | B-C   |
| ۳    | Gta3                   | U <sub>10</sub> , U <sub>11</sub> , U <sub>12</sub> | ۳۵۰                | نمناک تا مرطوب      | Moderately strong, Moderately to thick bedded, Moderately fractured, Stable      | B     |
| ۴    | Gta4                   |                                                     | ۵۰۰                | نمناک تا مرطوب      | Very strong, Thick bedded, Stable                                                | A-B   |
| ۵    | Sts1                   | U <sub>5</sub> to U <sub>9</sub>                    | ۱۵۰                | جریان به صورت موضعی | Weak to Moderately Strong, Thin to moderately bedded, Fractured, May be Unstable | C     |
| ۶    | Sts2                   |                                                     | ۲۵۰                | نمناک تا مرطوب      | Very strong, Thick bedded, Stable                                                | A-B   |
| ۷    | Tsh                    | U <sub>3</sub> , U <sub>4</sub>                     | ۱۵۰                | مرطوب               | Weak to Moderately Strong, Thin to moderately bedded, Fractured, May be Unstable | C     |
| ۸    | Mdg                    | U <sub>1</sub>                                      | ۱۰۰                | مرطوب               | Moderately strong, Moderately to thick bedded, Moderately fractured, Stable      | B     |
| ۹    | Cz                     | U <sub>1</sub> to U <sub>13</sub>                   | ۳۰۰                | جریان               | Very weak, Crushed rock, Intense water inflow, Unstable                          | D     |

مرز این واحدهای زمین‌شناسی مهندسی فقط در برخی موارد منطبق بر مرز واحدهای چینه شناسی است و در بیشتر موارد ویژگیهای ژئومکانیکی واحدها عامل تفکیک واحدهای زمین‌شناسی مهندسی بوده است. در مشاهدات صحرایی، برخی واحدهای زمین‌شناسی مهندسی از جمله واحدهای

زمین‌شناسی مهندسی  $Cz$ ,  $Tsh$ ,  $Gta1$  به دلیل وجود درزه‌های ساختاری و سطوح تورق با فاصله داری اندک، وضعیتی خرد شده داشته، قابلیت حفاری خوبی دارند ولی در صورت رخنمون یافتن در دیواره تونل از پایداری کافی برخوردار نمی‌باشند، در حالیکه سایر واحدها توده سنگهایی بلوکی را تشکیل می‌دهند که از پایداری و مقاومت نسبتاً خوبی برخوردار بوده ولی حفاری در آنها با توجه به شرایط ناپیوستگی‌ها دشوار می‌باشد.

## ۲-۴- تشریح ویژگیهای توده سنگهای مسیر تونل

منظور از ویژگیهای توده سنگها آن دسته از خصوصياتی است که مستقیماً بر رفتار مکانیکی توده سنگها و میزان پایداری آنها هنگام حفر تونل و ترانشه و همچنین بر قابلیت حفاری آنها تاثیر می‌گذارد. این ویژگیها علاوه بر اینکه منعکس کننده رفتار ماده سنگ هستند تا حد زیادی به شرایط ناپیوستگیها نیز وابسته هستند. ویژگیهای ماده سنگ را می‌توان شامل مواردی نظیر مقاومت تراکمی تک محوری، مقاومت کششی، پارامترهای مقاومت برشی، مدول یانگ، ساینده‌گی، سختی و ... دانست. تعیین این خواص نیازمند نمونه برداری صحیح و دقیق از کلیه واحدهای سنگی منطقه و انجام آزمایشات آزمایشگاهی بر روی نمونه های فوق می‌باشد، اگر چه با استفاده از برخی از آزمونهای مقدماتی صحرایی نیز قابل تخمین هستند. برای تعیین شرایط ناپیوستگی‌های عمل کرده در توده سنگها نیز، لازم است مشخصات ناپیوستگی‌ها در بخشهای مختلف محدوده مورد مطالعه، با استفاده از روش خط برداشت یا به صورت پراکنده در ایستگاههای مختلف مورد بررسی قرار گیرد. این مشخصات شامل جهت‌داری، فاصله داری، تداوم، بازشدگی، جنس مواد پرکننده، درجه هوازدگی سطوح

درزه‌ها، زبری و موجداری سطوح درزه و ... می‌شود که بصورت سیستماتیک برداشت گردیده و مورد تجزیه و تحلیل قرار می‌گیرند (مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۴).

## ۲-۴-۱- پارامترهای فیزیکی و مکانیکی ماده سنگ

پارامترهای فیزیکی و مکانیکی ماده سنگ به همراه ویژگیهای درزه داری و ساختاری سنگ معمولاً مهمترین پارامترهایی هستند که در تفکیک واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرند. سهولت و سرعت حفاری در سنگ تا حد زیادی به این پارامترها بستگی دارد. پارامترهایی نظیر دانسیته، تخلخل جذب آب، سختی، شاخص بار نقطه‌ای، مقاومت کششی، مقاومت فشاری، مدول دگر شکل پذیری، ضریب پواسون، سرعت امواج لرزه‌ای، نفوذ و ... از جمله پارامترهای فیزیکی و مکانیکی ماده سنگ هستند که معمولاً از طریق آزمایشات آزمایشگاهی و تخمین‌های صحرایی قابل اندازه‌گیری هستند. در این پروژه در ابتدا ویژگیهای مقاومتی سنگهای منطقه با انجام آزمونهای صحرایی مقدماتی بر روی رخنمونهای سطحی تعیین شده است. ساده‌ترین آزمونی که در این زمینه وجود دارد، آزمون شاخص دستی است که به طور خیلی ساده با استفاده از چکش زمین‌شناسی و چاقوی جیبی، مقاومت تراکمی تک محوری سنگها را تعیین می‌نماید. این آزمون که توسط انجمن بین المللی مکانیک سنگ ISRM استاندارد شده است، در جدول ۲-۳ ارائه شده است. در این مطالعات همچنین از چکش اشمیت نیز برای تخمین مقاومت تک محوری سنگها استفاده شده است. برای این منظور در ۱۰ نقطه از سنگ مورد نظر ضربات چکش اشمیت نواخته شده اعداد به دست آمده ثبت شد.

جدول ۲-۳- آزمون شاخص دستی، استاندارد شده توسط ISRM  
(مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

| Grade* | Term             | Uniaxial Comp. Strength (MPa) | Point Load Index (MPa) | Field estimate of strength                                                                                                 | Examples                                                                                        |
|--------|------------------|-------------------------------|------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------|
| R6     | Extremely Strong | > 250                         | >10                    | Specimen can only be chipped with a geological hammer                                                                      | Fresh basalt, chert, diabase, gneiss, granite, quartzite                                        |
| R5     | Very strong      | 100 - 250                     | 4 - 10                 | Specimen requires many blows of a geological hammer to fracture it                                                         | Amphibolite, sandstone, basalt, gabbro, gneiss, granodiorite, limestone, marble, rhyolite, tuff |
| R4     | Strong           | 50 - 100                      | 2 - 4                  | Specimen requires more than one blow of a geological hammer to fracture it                                                 | Limestone, marble, phyllite, sandstone, schist, shale                                           |
| R3     | Medium strong    | 25 - 50                       | 1 - 2                  | Cannot be scraped or peeled with a pocket knife, specimen can be fractured with a single blow from a geological hammer     | Claystone, coal, concrete, schist, shale, siltstone                                             |
| R2     | Weak             | 5 - 25                        | **                     | Can be peeled with a pocket knife with difficulty, shallow indentation made by firm blow with point of a geological hammer | Chalk, rocksalt, potash                                                                         |
| R1     | Very weak        | 1 - 5                         | **                     | Crumbles under firm blows with point of a geological hammer, can be peeled by a pocket knife                               | Highly weathered or altered rock                                                                |
| R0     | Extremely weak   | 0.25 - 1                      | **                     | Indented by thumbnail                                                                                                      | Stiff fault gouge                                                                               |

\* Grade according to Brown (1981).

\*\* Point load tests on rocks with a uniaxial compressive strength below 25 MPa are likely to yield highly ambiguous results.

سپس براساس توصیه USBR (سازمان عمران امریکا) ۵ مورد که بیشترین مقدار را داشته‌اند

انتخاب و از آنها متوسط گیری شده و بعد از تصحیح نتایج به وسیله نمودارهای مربوطه، مقاومت تک

محوری سنگ تعیین گردیده است. نتایج تخمین مقاومت فشاری ماده سنگ در واحدهای مختلف

منطقه بر اساس دو روش فوق الذکر در جدول ۲-۴، درج شده است. علاوه بر تست‌های صحرایی فوق

الذکر، از تست‌های آزمایشگاهی نیز برای تعیین خصوصیات فیزیکی و مکانیکی ماده سنگ استفاده

شده است.

جدول ۲-۴- تخمین مقاومت تک محوری ماده سنگ در واحدهای زمین‌شناسی مهندسی  
از طریق آزمونهای صحرایی (مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

| واحد زمین<br>شناسی مهندسی | مقاومت تک محوری سنگ (MPa) |                 |
|---------------------------|---------------------------|-----------------|
|                           | چکش اشمیت                 | آزمون شاخص دستی |
| Gta1                      | 30-40                     | R3(25-50)       |
| Gta2                      | 70-80                     | R4(50-100)      |
| Gta3                      | >80                       | R4(50-100)      |
| Gta4                      | >80                       | R5(100-250)     |
| Sts1                      | >80                       | R5(100-250)     |
| Sts2                      | >80                       | R5(100-250)     |
| Tsh                       | 50-60                     | R4(50-100)      |
| Mdg                       | >80                       | R4(50-100)      |
| Cz                        | -----                     | R2(5-25)        |

آزمایش‌های انجام شده شامل آزمایش‌هایی از قبیل آزمایش تعیین دانسیته، تخلخل، جذب آب و تستهای تک محوری، سه محوری، بار نقطه‌ای، برزیلین، برش مستقیم و ... می‌باشد. نتایج این آزمایشها در جدول ۲-۵ و ۲-۶ ارائه شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، نتایج دو مرحله آزمایش بر روی نمونه‌های اخذ شده از گمانه‌های حفر شده در مرحله اول تا حدود زیادی مشابهت را نشان می‌دهد. دامنه تغییرات مقادیر به دست آمده از آزمایشات آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های گرفته شده از گمانه‌های مرحله دوم نیز در محدوده مورد انتظار برای هر واحد زمین‌شناسی بوده است. نتایج جمع بندی شده این آزمونها که براساس بررسیهای آماری و قضاوت مهندسی تعیین شده است، در جدول ۲-۷ درج شده است.

#### ۲-۴-۲- مشخصات ناپیوستگی‌ها

ناپیوستگی‌هایی که به ویژگیهای ژئومکانیکی توده سنگ‌های منطقه تأثیر مستقیم دارند، به چهار دسته شامل سطوح لایه بندی، تورق، درزه‌های ساختاری و خرده گسلها تقسیم می‌شوند.

جدول ۵-۲ - نتایج خام آزر

| Borehole | Sample | Depth (m)  | Lithology                                                                            | Dry Density<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | Saturated Density<br>(gr/cm <sup>3</sup> ) | Direct Shear Strength |        |               |
|----------|--------|------------|--------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------------|-----------------------|--------|---------------|
|          |        |            |                                                                                      |                                      |                                            | Cohesion<br>(Mpa)     | $\phi$ | Type          |
| BH6      | SR5    | 45-46      | Microgabbro                                                                          | 2.756                                | 2.794                                      |                       |        |               |
|          | SR6    | 49-50      |                                                                                      | 2.769                                | 2.802                                      |                       |        |               |
|          | SR7    | 52.4-52.75 |                                                                                      | 2.758                                | 2.799                                      | 0                     | 18.5   |               |
|          | SR8    | 66.5-66.9  |                                                                                      | 2.785                                | 2.815                                      |                       |        |               |
|          | SR9    | 74.4-74.7  |                                                                                      | 2.805                                | 2.822                                      |                       |        |               |
|          | SR10   | 80.5-80.9  |                                                                                      | 2.81                                 | 2.825                                      |                       |        |               |
| BH25     | SR1    | 430-431    | Silty/Shally<br>tuff, sandy tuff,<br>Tuff                                            | 2.639                                | 2.681                                      |                       |        |               |
|          | SR2    | 435-436    |                                                                                      | 2.53                                 | 2.606                                      |                       |        |               |
|          | SR3    | 440-441    |                                                                                      | 2.585                                | 2.647                                      |                       |        |               |
|          | SR4    | 444.3-445  |                                                                                      | 2.373                                | 2.499                                      |                       |        |               |
|          | SR5    | 448.4-450  |                                                                                      | 2.592                                | 2.648                                      | 0                     | 35.2   |               |
|          | SR6    | 451-453    |                                                                                      | 2.483                                | 2.573                                      |                       |        |               |
| BH17     | SR1    | 272-273    | Silty/sandy<br>tuff, Shally<br>tuff, some<br>brecciated tuff                         | 2.654                                | 2.68                                       |                       |        |               |
|          | SR2    | 276-277    |                                                                                      | 2.653                                | 2.675                                      |                       |        |               |
|          | SR3    | 280-280.6  |                                                                                      | 2.661                                | 2.68                                       |                       |        |               |
|          | SR4    | 285-285.7  |                                                                                      | 2.662                                | 2.693                                      |                       |        |               |
|          | SR5    | 289-290    |                                                                                      | 2.676                                | 2.702                                      | 0                     | 39.7   | Natural Joint |
|          | SR6    | 292-293.7  |                                                                                      | 2.606                                | 2.627                                      |                       |        |               |
|          | SR7    | 295-296    |                                                                                      | 2.598                                | 2.621                                      | 0                     | 34.7   | Natural Joint |
|          | SR8    | 303-304    |                                                                                      | 2.654                                | 2.686                                      |                       |        |               |
| BH7      | SR1    | 101-102    | Silty tuff                                                                           | 2.505                                | 2.56                                       |                       |        |               |
|          | SR2    | 104-104.5  |                                                                                      | 2.378                                | 2.474                                      |                       |        |               |
|          | SR3    | 108-109    |                                                                                      | 2.405                                | 2.49                                       |                       |        |               |
|          | SR4    | 113-113.4  |                                                                                      | 2.147                                | 2.306                                      |                       |        |               |
|          | SR5    | 116-1116.7 |                                                                                      | 2.305                                | 2.42                                       |                       |        |               |
|          | SR6    | 119-120    |                                                                                      | 2.269                                | 2.405                                      | 0                     | 24.9   |               |
|          | SR7    | 122-123    |                                                                                      | 2.252                                | 2.403                                      |                       |        |               |
|          | SR8    | 128-128.5  |                                                                                      | 2.396                                | 2.481                                      |                       |        |               |
|          | SR9    | 130-131    |                                                                                      | 2.357                                | 2.457                                      | 0                     | 25.6   |               |
|          | SR10   | 134-135    |                                                                                      | 2.379                                | 2.482                                      |                       |        |               |
| BH14     | SR1    | 60.4-60.8  | Silty tuff,<br>some<br>brecciated tuff                                               | 2.608                                | 2.632                                      |                       |        |               |
|          | SR2    |            |                                                                                      |                                      |                                            |                       |        |               |
|          | SR3    | 66.0-66.85 |                                                                                      | 2.56                                 | 2.608                                      |                       |        |               |
|          | SR4    | 73-74      |                                                                                      | 2.578                                | 2.615                                      |                       |        |               |
|          | SR5    | 78.4-79    |                                                                                      | 2.554                                | 2.61                                       | 0                     | 39.3   |               |
|          | SR9    | 83-84      |                                                                                      | 2.4                                  | 2.462                                      |                       |        |               |
|          | SR10   |            |                                                                                      |                                      |                                            |                       |        |               |
|          | SR11   |            |                                                                                      |                                      |                                            |                       |        |               |
|          | SR12   | 89.3-89.6  |                                                                                      |                                      |                                            |                       |        |               |
|          | SR13   | 92.4-92.6  |                                                                                      | 2.536                                | 2.602                                      |                       |        |               |
|          | SR14   | 95-96      |                                                                                      | 2.533                                | 2.575                                      |                       |        |               |
|          | SR1    | 142-142.8  |                                                                                      | 2.407                                | 2.476                                      |                       |        |               |
|          | SR2    | 151.5-152  |                                                                                      | 2.363                                | 2.459                                      |                       |        |               |
|          | SR3    | 158-158.5  |                                                                                      | 2.557                                | 2.6                                        |                       |        |               |
| BH21     | SR4    | 162-163    |                                                                                      | 2.65                                 | 2.675                                      | 1.216                 | 32.8   | Natural Joint |
|          | SR5    | 168-169    |                                                                                      | 2.299                                | 2.417                                      |                       |        |               |
|          | SR6    | 170-170.5  |                                                                                      | 2.261                                | 2.382                                      |                       |        |               |
|          | SR7    | 174-174.5  |                                                                                      |                                      |                                            |                       |        |               |
| BH22     | SR1    | 229.4-230  |                                                                                      | 2.61                                 | 2.626                                      |                       |        |               |
|          | SR2    | 233.5-234  |                                                                                      | 2.633                                | 2.649                                      |                       |        |               |
|          | SR3    | 236-237    |                                                                                      | 2.523                                | 2.583                                      |                       |        |               |
| BH23     | SR1    | 54-54.2    | Dacitic to<br>Rhyodacitic<br>tuff, Limy tuff,<br>Crystal lithic<br>tuff, Vitric tuff | 2.504                                | 2.511                                      | 0                     | 27.8   |               |
|          | SR3    | 57.3-57.7  |                                                                                      | 2.632                                | 2.691                                      |                       |        |               |
|          | SR5    | 61-62      |                                                                                      | 2.555                                | 2.63                                       |                       |        |               |
|          | SR6    | 64-65      |                                                                                      | 2.219                                | 2.37                                       | 0                     | 37.3   |               |
|          | SR7    | 69-69.5    |                                                                                      | 2.295                                | 2.427                                      |                       |        |               |
|          | SR8    | 74-75      |                                                                                      | 2.49                                 | 2.556                                      |                       |        |               |
|          | SR8    | 74-75      |                                                                                      | 2.49                                 | 2.556                                      |                       |        |               |
|          | SR9    | 78-78.8    |                                                                                      | 2.376                                | 2.475                                      |                       |        |               |
|          | SR10   | 81.5-82    |                                                                                      | 2.301                                | 2.425                                      |                       |        |               |
|          | SR11   | 83-83.5    |                                                                                      | 2.258                                | 2.4                                        |                       |        |               |
|          | SR3    | 18.5       |                                                                                      | 2.559                                | 2.609                                      |                       |        |               |
| BH24     | SR4    | 25.5-26    |                                                                                      | 2.609                                | 2.65                                       |                       |        |               |
|          | SR5    | 29.5-30    |                                                                                      | 2.497                                | 2.557                                      |                       |        |               |
|          | SR6    | 33.5-33.8  |                                                                                      | 2.603                                | 2.637                                      |                       |        |               |
|          | SR7    | 39.6       |                                                                                      | 2.554                                | 2.623                                      |                       |        |               |
|          |        |            |                                                                                      |                                      |                                            |                       |        |               |

| Borehole | Sample    | Depth (m)     | Lithology |
|----------|-----------|---------------|-----------|
| BH.6     | BH.6(1)   | 74.50         |           |
|          | BH.6(2)   | 83.00         |           |
| BH.7     | BH.7(1a)  | 51.50         | ural      |
|          | BH.7(1b)  | 51.50         |           |
|          | BH.7(2)   | 116.00        |           |
|          | BH.7(3)   | 133.50        |           |
| BH.13    | BH.13(1)  | ---           |           |
| BH.14    | BH.14(1)  | 83.50         |           |
|          | BH.14(2)  | 88.50         |           |
| BH.17    | BH.17(1)  | 141.70        |           |
|          | BH.17(2a) | 271.50        |           |
|          | BH.17(2b) | 271.50        |           |
|          | BH.17(3a) | 281.50        |           |
|          | BH.17(3b) | 281.50        | ural      |
| BH.21    | BH.21(1)  | 161.50        |           |
|          | BH.21(2)  | 164.50        | ural      |
|          | BH.21(3)  | 177.00        |           |
| BH.22    | BH.22(1a) | 221.00        |           |
|          | BH.22(1b) | 221.00        | ural      |
|          | BH.22(2)  | 237.00        | ural      |
| BH.23    | BH.23(1)  | 73.30         |           |
|          | BH.23(2)  | 73.30         |           |
| BH.24    | BH.24(1)  | 41.50         |           |
| BH.25    | BH.25(1)  | 238.50        |           |
|          | BH.25(2a) | 411.00        |           |
|          | BH.25(2b) | 411.00        |           |
|          | BH.25(2c) | 411.00        |           |
|          | BH.25(3a) | 433.00        |           |
|          | BH.25(3b) | 433.00        |           |
|          | BH.25(3c) | 433.00        |           |
|          | BH.25(4)  | 445.00        |           |
|          | BH.25(5)  | 455.50        |           |
|          | BH.25(6)  | 455.50        |           |
| Block    | ---       | ---           |           |
|          | ---       | ---           |           |
|          | A         | Portal        |           |
|          | B         | Portal        |           |
|          | C         | Portal        |           |
|          | D         | Portal        |           |
|          | E         | Portal        |           |
|          | F         | Portal        |           |
| BH.A     | BH.A(1)   | 108-109       | ural      |
|          | BH.A(2)   | 122-122.8     |           |
|          | BH.A(3)   | 124.5-125     |           |
|          | BH.A(4)   | 129.5-130     |           |
|          | BH.A(5)   | 138.45-138.65 |           |
|          | BH.A(6)   | 144-144.5     |           |
|          | BH.A(7)   | 147.5-148     |           |
|          | BH.A(8)   | 152.6-153     |           |
|          | BH.A(9)   | 159.5-160     |           |
| BH.B     | BH.B(1)   | 108-108.8     |           |
|          | BH.B(2)   | 109.2-110     |           |
|          | BH.B(3)   | 114.3-114.7   |           |
|          | BH.B(4)   | 115.4-115.95  |           |
|          | BH.B(5)   | 124.85-125    |           |
|          | BH.B(6)   | 125.45-126    |           |
|          | BH.B(7)   | 129.25-130    |           |
| BH.D     | 1         | 183.3-184     |           |
|          | 2         | 194.55-195    |           |
|          | 3         | 186.4-186.7   |           |
|          | 4         | 202.3-202.65  |           |
|          | 5         | 229.5-230.3   |           |
|          | 6         | 224.45-224.9  |           |
|          | 7         | 216.4-217     |           |
|          | 8         | 199-199.4     |           |
|          | 9         | 211.45-211.8  |           |
|          | 10        | 205.1-205.5   |           |
| BH.E     | S1        | 350.5-351     |           |
|          | S2        | 359.6-360     |           |
|          | S3        | 363.25-363.95 |           |
|          | S4        | 365.5-365.8   |           |
|          | S5        | 373.2-373.6   |           |
|          | S6        | 376.3-376.7   |           |
|          | S7        | 389-390       |           |
|          | S8        | 392.45-393    |           |
|          | S9        | 397-397.9     |           |
|          | S10       | 399.2-399.6   |           |



خرده گسلها و درزه‌ها پدیده‌هایی هستند که کاملاً به تکتونیک و شرایط ساختاری منطقه وابسته هستند (از نظر جهت داری، فاصله داری، تعداد و...). سطوح لایه بندی و تورق نیز پدیده‌هایی هستند که ویژگیهای آنها به شرایط رسوبگذاری و تکتونیک منطقه بستگی دارد. از سوی دیگر مشخصات ناپیوستگیهایی که بر رفتار ژئومکانیکی توده سنگ موثر هستند را می‌توان در دو گروه ویژگیهای زمین‌شناسی و ویژگیهای مکانیکی دسته بندی کرد.

جدول ۲-۷- نتایج جمع بندی شده آزمونهای مقدماتی صحرایی و آزمونهای آزمایشگاهی

(مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

| واحد<br>زمین شناسی<br>مهندسی | چگالی<br>متوسط<br>(t/m <sup>3</sup> ) | تخلخل<br>(%) | مقاومت فشاری<br>تک محوری<br>(MPa) | مدول<br>الاستیسیته<br>(GPa) | نسبت<br>پواسون | مقاومت<br>کششی<br>(MPa) | کوارتز<br>(%) |
|------------------------------|---------------------------------------|--------------|-----------------------------------|-----------------------------|----------------|-------------------------|---------------|
| Gta1                         | 2.6                                   | 10-15        | 30                                | 5-15                        | 0.13-0.17      | 3-4                     | 10-20         |
| Gta2                         | 2.6                                   | 5-10         | 75                                | 10-15                       | 0.13-0.17      | 4-6                     | 10-20         |
| Gta3                         | 2.6                                   | 5-10         | 100                               | 10-15                       | 0.13-0.15      | 6-8                     | 10-20         |
| Gta4                         | 2.6                                   | 5-10         | 150                               | 12-18                       | 0.13-0.15      | 10-20                   | 10-20         |
| Sts1                         | 2.6                                   | 5-10         | 120                               | 10-15                       | 0.13-0.17      | 8-10                    | 20-30         |
| Sts2                         | 2.55                                  | 10-15        | 150                               | 17-25                       | 0.13-0.17      | 10-20                   | 20-30         |
| Tsh                          | 2.6                                   | 5            | 50                                | 5-10                        | 0.15-0.2       | 4-6                     | 20-30         |
| Mdg                          | 2.8                                   | <5           | 90                                | 15-20                       | 0.15-0.17      | 4-6                     | 0-5           |

ویژگیهای دسته اول شامل موقعیت فضایی و هندسی ناپیوستگی‌ها (جهت شیب، زاویه شیب، تعداد دسته ناپیوستگی‌ها، فاصله داری، تداوم) و شرایط سطوح ناپیوستگیها (زبری، موجداری، مقاومت دیواره، بازشدگی، مواد پرکننده و...) می‌باشند که براساس اطلاعات برداشت شده از رخنمونهای سطحی توده سنگهای منطقه و گمانه‌های حفاری شده در مسیر تونل، مورد بررسی قرار گرفته‌اند. ویژگیهای دسته دوم یا ویژگیهای مکانیکی ناپیوستگی‌ها، براساس اطلاعاتی که از ارزیابی‌های صحرایی

و نتایج آزمایشهای آزمایشگاهی بر روی نمونه‌های برداشت شده از گمانه‌های حفر شده و ترانشه‌ها بدست آمده است، قابل تعیین می‌باشند. اطلاعات مورد نظر به صورت سیستماتیک از بخشهای مختلف واحدهای زمین‌شناسی مهندسی شناسایی شده، برداشت شده اند. خلاصه نتایج این مطالعات در جداول ۸-۲ و ۹-۲ درج شده است. بدیهی است که برخی مشخصات سطح ناپیوستگیهای توده سنگ در رخنمونهای سطحی و عمقی توده سنگ تا حدی متفاوت خواهد بود. به ویژه دو عامل درجه هوازگی و بازشدگی ناپیوستگی‌ها در عمق توده سنگ شرایطی کاملاً متفاوت با سطح خواهند داشت. در این راستا علاوه بر مطالعه ویژگیهای درزه‌ها در رخنمونهای سطحی، در عمق نیز خصوصیات درزه‌ها مورد بررسی قرار گرفته است. این بررسیها در پنج گمانه حفر شده در مرحله دوم و همچنین گمانه‌های حفر شده در مرحله اول صورت پذیرفته است و از نتایج به دست آمده برای تصحیح برداشت‌های سطحی استفاده شده است. دو پارامتر JRC و JCS در جدول ۹-۲ به ترتیب ضریب زبری و مقاومت فشاری سطوح درزه هستند. مقدار JRC از مقایسه نمودارهای تیپیک ارائه شده توسط بارتون با پروفیل سطوح درزه در صحرا به دست آمده است. مقدار JCS نیز با استفاده از نواختن ضربات چکش اشمیت بر روی سطوح برخی درزه‌ها تعیین شده است. مقدار JCS معمولاً به دلیل عملکرد هوازگی روی سطوح درزه تاحدی کمتر از مقاومت تراکمی تک محوری ماده سنگ می‌باشد.  $\Phi_b$  زاویه اصطکاک پایه سنگ است که از نتایج آزمایشاتی که بر روی سطوح آره بر شده انجام می‌شوند قابل حصول است. نتایج تست‌های انجام شده بر روی سطوح آره بر شده مغزه‌های گرفته شده از گمانه‌های مختلف در جداول ۱۰-۲ ارائه شده است.

جدول ۸-۲ - جهت‌داری دسته ناپیوستگی‌های مختلف در واحدهای زمین‌شناسی مهندسی منطقه  
(مؤسسه مهندسین مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

| مترائز                         | جهتداری میانگین سطوح نا پیوستگی |            |              |            |             |            |           |            | دسته<br>ناپیوستگیها                 | نام واحد<br>زمین<br>شناسی<br>مهندسی |
|--------------------------------|---------------------------------|------------|--------------|------------|-------------|------------|-----------|------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
|                                | دسته درزه III                   |            | دسته درزه II |            | دسته درزه I |            | لایه بندی |            |                                     |                                     |
|                                | شیب                             | جهت<br>شیب | شیب          | جهت<br>شیب | شیب         | جهت<br>شیب | شیب       | جهت<br>شیب |                                     |                                     |
| 0-2230                         | 270                             | 80-85      | 180-190      | 45-50      | 225-230     | 70-80      | 330-350   | 20-40      | 3+Random+Bedding                    | Gta1                                |
| 2280-4580                      |                                 |            | 180-190      | 45-50      | 225-230     | 70-80      | 330-350   | 20-40      | 2 Joint<br>Sets+Bedding             | Gta2                                |
| 4800-6000                      |                                 |            | 110-120      | 75-85      | 225-230     | 65-75      | 355-5     | 30-40      | 2 Joint<br>Sets+Bedding             | Gta3                                |
| 6000-7230                      |                                 |            | 95           | 80         | 220         | 85         | 5-20      | 25-40      | 2+ Random +<br>Bedding              | Sts2-1                              |
| 7230-7850                      |                                 |            | 135-145      | 60-65      | 240-260     | 70-80      | 10-30     | 35-45      | 2+Bedding<br>(Foliation)            | Sts1                                |
| 7850-8710                      |                                 |            | 300-310      | 50-60      | 230-240     | 70-80      | 20-30     | 05-15      | 2+Random+<br>Bedding<br>(Foliation) | Tsh-1                               |
| 8710-<br>10010&10260-<br>10950 |                                 |            | 315          | 55         | 200-210     | 80-90      | 90-100    | 30-40      | 2+ Random +<br>Bedding              | Sts2-2                              |
| 10950-13400                    |                                 |            | 130-140      | 75-85      | 220-240     | 70-80      | 50-60     | 25-35      | 2+ Random +<br>Bedding              | Gta4-1                              |
| 13400-4230                     |                                 |            |              |            |             |            | 295-300   | 45-55      | 3+ Random +<br>Bedding              | Gta4-2                              |
| 14230-14680                    |                                 |            | 190          | 80         | 150-160     | 55-60      | 300-310   | 45-55      | 2+ Random +<br>Bedding              | Sts2-3                              |
| 14680-15230                    |                                 |            |              |            |             |            | 20-40     | 45-50      | 2+Random+<br>Bedding<br>(Foliation) | Tsh-2                               |
| 15350-15980                    | 63                              | 25         | 157          | 80         | 235         | 64         | ---       | ---        | 3 Joint sets                        | Mdg                                 |

نکته: لازم به توضیح است که سایر زونهایی که این جدول آنها را شامل نمی‌شود، مربوط به زونهای خردشده (Cz) است که از نظر درزه داری شرایط خاص خود را داراست.

جدول ۲-۹- ویژگیهای دسته ناپیوستگیهای مختلف در واحدهای زمین‌شناسی مهندسی

منطقه (مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

| $\Phi_b$ | JRC   | JCS (MPa) | فاصله داری (متر) | تداوم (متر) | شرایط سطح ناپیوستگیها |              |         |                | نوع ناپیوستگی | تعداد ناپیوستگی های اصلی | واحد زمین شناسی مهندسی |
|----------|-------|-----------|------------------|-------------|-----------------------|--------------|---------|----------------|---------------|--------------------------|------------------------|
|          |       |           |                  |             | درجه هوازدگی          | پاشیدگی (mm) | موجدارى | زبرى           |               |                          |                        |
| ۳۰       | ۸-۱۰  | ۲۲        | <۰/۱۵            | <۱          | متوسط                 | <۱           | موجدار  | صاف تا کمی زبر | J1            | 4+ Random                | Gta1                   |
|          | ۸-۱۰  | ۲۵        | <۰/۲۵            | <۱          | اندک تا متوسط         | <۱           | موجدار  | کمی زبر        | J2            |                          |                        |
|          | ۲-۴   | ۲۵        | <۰/۱۵            | <۱          | اندک تا متوسط         | ۱-۳          | مسطح    | کمی زبر        | J3            |                          |                        |
|          | ۸-۱۰  | ۲۲        | ۰/۳-۰/۵          | >۲۰         | متوسط                 | کیپ          | موجدار  | صاف تا کمی زبر | B             |                          |                        |
| ۳۰       | ۸-۱۰  | ۶۰        | ۰/۲-۰/۴          | ۱-۳         | اندک تا متوسط         | <۱           | موجدار  | صاف تا کمی زبر | J1            | 3                        | Gta2                   |
|          | ۲-۴   | ۶۰        | ۰/۱۵-۰/۳         | <۱          | اندک تا متوسط         | <۱           | مسطح    | کمی زبر        | J2            |                          |                        |
|          | ۸-۱۰  | ۶۰        | ۰/۲۵-۲           | >۲۰         | اندک تا متوسط         | کیپ          | موجدار  | صاف تا کمی زبر | B             |                          |                        |
| ۳۰       | ۱۰-۱۲ | ۹۰        | ۰/۳-۰/۵          | ۱-۳         | اندک                  | کیپ          | موجدار  | کمی زبر تا زبر | J1            | 3                        | Gta3                   |
|          | ۸-۱۰  | ۹۰        | ۰/۴-۰/۶          | ۱-۳         | اندک                  | ۰/۱-۱        | موجدار  | کمی زبر        | J2            |                          |                        |
|          | ۱۰-۱۲ | ۹۰        | ۱-۳              | >۲۰         | اندک                  | کیپ          | موجدار  | کمی زبر تا زبر | B             |                          |                        |
| ۳۲       | ۱۰-۱۲ | ۱۵۰       | ۰/۵-۰/۸          | ۳-۱۰        | هوانزده               | کیپ          | موجدار  | کمی زبر تا زبر | J1            | 2+ Random                | Gta4                   |
|          | ۱۰-۱۲ | ۱۵۰       | ۱-۳              | ۳-۱۰        | هوانزده               | کیپ          | موجدار  | زبر            | J2            |                          |                        |
|          | ۱۰-۱۲ | ۱۵۰       | ۱-۵              | >۲۰         | هوانزده               | کیپ          | موجدار  | کمی زبر تا زبر | B             |                          |                        |
| ۲۸       | ۲-۴   | ۱۱۰       | ۰/۳-۰/۵          | ۱-۳         | اندک                  | کیپ          | مسطح    | صاف تا کمی زبر | J1            | 3                        | Sts1                   |
|          | ۸-۱۰  | ۱۱۰       | ۰/۲۵-۲           | ۱-۳         | اندک                  | کیپ          | موجدار  | کمی زبر        | J2            |                          |                        |
|          | ۰-۲   | ۱۲۰       | <۰/۴             | >۲۰         | هوانزده               | کیپ          | مسطح    | صاف            | B-F           |                          |                        |
| ۲۶       | ۸-۱۰  | ۱۴۰       | ۰/۵-۰/۸          | ۳-۱۰        | اندک                  | کیپ          | موجدار  | کمی زبر        | J1            | 2+ Random                | Sts2                   |
|          | ۲-۴   | ۱۴۰       | ۰/۷۵-۱           | ۳-۱۰        | اندک                  | کیپ          | مسطح    | کمی زبر        | J2            |                          |                        |
|          | ۸-۱۰  | ۱۴۰       | ۱-۵              | >۲۰         | اندک                  | کیپ          | موجدار  | کمی زبر        | B             |                          |                        |
| ۲۷       | ۰-۲   | ۴۰        | ۰/۲-۰/۵          | <۱          | اندک تا متوسط         | <۱           | مسطح    | صاف            | J1            | 3+ Random                | Tsh                    |
|          | ۰-۲   | ۴۰        | ۰/۲۵-۲           | <۱          | اندک تا متوسط         | کیپ          | مسطح    | صاف            | J2            |                          |                        |
|          | ۰-۲   | ۴۰        | <۰/۲             | >۲۰         | هوانزده               | کیپ          | مسطح    | صاف            | B-F           |                          |                        |
| ۲۵       | ۱۰-۱۲ | ۸۰        | ۰/۲-۰/۵          | ۱-۳         | اندک                  | کیپ          | موجدار  | زبر            | J1            | 3                        | Mdg                    |
|          | ۱۰-۱۲ | ۷۰        | ۰/۴-۰/۸          | ۱-۳         | اندک تا متوسط         | <۰/۱         | موجدار  | زبر            | J2            |                          |                        |
|          | ۱۰-۱۲ | ۸۰        | ۰/۵-۱            | ۱-۳         | اندک                  | <۰/۱         | موجدار  | کمی زبر تا زبر | J3            |                          |                        |
|          | ۰-۲   | ۱۰        | <۰/۰۶            | <۰/۲        | زیاد                  | >۱۰          | مسطح    | صیقلی          |               | Crushed Rock             | Cz                     |

مقادیر RQD، RMR، Q و GSI توده سنگ مسیر تونل تعیین شده و نتایج آن در جدول ۲-۱۱ درج شده است. منظور از RMR پایه در جدول ۲-۱۱ مقدار تصحیح نشده RMR از نظر جهت داری ناپیوستگیها می‌باشد. با توجه به تغییرات احتمالی جهت داری ناپیوستگیها و عدم اطلاع دقیق از جهت‌داری ناپیوستگیها در عمق و با در نظر گرفتن زاویه شیب درزه‌های مشاهده شده در گمانه‌ها، به نظر می‌رسد که فرض شرایط Very favorable تا Fair مناسب باشد. بنابراین برای تصحیح RMR حدود ۵ واحد از مقدار آن کاسته می‌شود (مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، ۱۳۸۴).

## ۲-۶- پارامترهای مقاومتی توده سنگ

برای تعیین پارامترهای مقاومتی توده سنگ از معیار شکست تجربی اصلاح شده هوک و براون استفاده شده است. معیار مذکور برای پیش‌بینی رفتار ماده سنگ و توده سنگ درزه دار قابل استفاده است. با استفاده از معادلات ریاضی می‌توان روابطی را بین پارامترهای رابطه هوک<sup>۱</sup> و براون<sup>۲</sup> و تنشهای برشی و قائم تعیین کرد. روابط مورد نظر در مقاله ارائه شده توسط هوک و همکاران ۲۰۰۲ ارائه شده‌اند (مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، ۱۳۸۴). نتایج تعیین پارامترهای ثابت معیار هوک و براون، پارامترهایی مقاومتی و در نهایت پارامترهای مقاومت برشی برای گونه‌های لیتولوژیکی رخنمون یافته در مسیر تونل در جدول ۲-۱۲ ارائه شده است. مقادیر پارامترهای مقاومت برشی متوسط ارائه شده در جدول ۲-۱۲ بدون در نظر گرفتن میزان تنش قائم و از طریق برازش کردن رابطه خطی موهر-کولمب<sup>۳</sup> با رابطه خطی هوک و براون محاسبه شده‌اند.

1 -Hoek

2-Brown

3 -Mohr-Coulomb

جدول ۲-۱۱: نتایج نهایی طبقه‌بندی مهندسی توده سنگ‌های مسیر تونل

(مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

| Q<br>(بارتن سال ۱۹۷۴ میلادی) |       | GSI  | رتبه بندی توده سنگ<br>(بنیادسکی سال ۱۹۸۰ میلادی) |                    |           |             | RQD<br>(%)  | واحد<br>زمین<br>شناسی<br>مهندسی |
|------------------------------|-------|------|--------------------------------------------------|--------------------|-----------|-------------|-------------|---------------------------------|
| توضیحات                      | مقدار |      | توضیحات                                          | RMR <sub>90'</sub> | RMR       | RMR<br>پایه |             |                                 |
| Very Poor                    | 0.167 | 43   | Fair                                             | 48                 | 43-48     | 48          | 15-50 (25)  | Gta1                            |
| Very Poor                    | 0.98  | 52.5 | Fair                                             | 57.5               | 46.5-51.5 | 51.5        | 30-60 (50)  | Gta2                            |
| Poor                         | 2.05  | 68.5 | Good                                             | 73.5               | 61.5-66.5 | 66.5        | 60-80 (50)  | Gta3                            |
| Good                         | 21.11 | 77.5 | Good                                             | 82.5               | 72.5-77.5 | 77.5        | 90-100 (95) | Gta4                            |
| Poor                         | 1.03  | 67   | Fair                                             | 73                 | 55-60     | 60          | 50-75 (70)  | Sts1                            |
| Good                         | 15    | 74.5 | Good                                             | 79.5               | 69.5-74.5 | 74.5        | 75-100 (90) | Sts2                            |
| Very Poor                    | 0.138 | 51.5 | Fair                                             | 56.5               | 43.5-48.5 | 48.5        | 40-60 (50)  | Tsh                             |
| Fair                         | 6.16  | 68.5 | Good                                             | 73.5               | 60.5-65.5 | 65.5        | >70 (70)    | Mdg                             |
| Exc. Poor                    | 0.003 | 33.5 | Very Poor to Poor                                | 38.5               | 18.5-23.5 | 23.5        | <25 (15)    | Cz                              |

برای تعیین پارامترهای مقاومت برشی در تنشهای قائم مختلف لازم است در هر نقطه بر منحنی هوک

و براون مماس رسم گردد. عرض از مبدا شیب مماس مورد نظر به ترتیب مقادیر C و  $\Phi$  توده سنگ

در تنش قائم مورد نظر هستند (مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، ۱۳۸۴).

جدول ۲-۱۲ - نتایج تعیین پارامترهای مقاومتی توده سنگ در تونل  
(مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

| متوسط<br>روباره<br>(m) | پارامترهای مقاومت<br>برشی متوسط |            | $\sigma_t$<br>(MPa) | $\sigma_{mglobal}$<br>(MPa) | $\sigma_m$<br>(MPa) | D | $m_i$ | GSI  | $\sigma_c$<br>(MPa) | واحد زمین<br>شناسی<br>مهندسی |
|------------------------|---------------------------------|------------|---------------------|-----------------------------|---------------------|---|-------|------|---------------------|------------------------------|
|                        | $\Phi$                          | C<br>(MPa) |                     |                             |                     |   |       |      |                     |                              |
| 200                    | 40                              | 0.69       | 0.031               | 5.101                       | 1.192               | 0 | 13    | 43   | 30                  | Gta1                         |
| 350                    | 45.5                            | 1.69       | 0.161               | 15.634                      | 5.223               |   | 13    | 52.5 | 75                  | Gta2                         |
| 350                    | 51.3                            | 3.093      | 0.715               | 29.978                      | 17.285              |   | 13    | 68.5 | 100                 | Gta3                         |
| 500                    | 54.4                            | 6.518      | 1.833               | 60.415                      | 42.897              |   | 15    | 77.5 | 150                 | Gta4                         |
| 150                    | 57.6                            | 2.584      | 0.712               | 35.773                      | 19.066              |   | 14    | 67   | 120                 | Sts1                         |
| 250                    | 57.1                            | 4.946      | 1.567               | 54.154                      | 36.281              |   | 14    | 74.5 | 150                 | Sts2                         |
| 150                    | 48.5                            | 0.865      | 0.099               | 10.202                      | 3.286               |   | 13    | 51.5 | 50                  | Tsh                          |
| 100                    | 63.1                            | 1.819      | 0.310               | 37.111                      | 15.557              |   | 27    | 68.5 | 90                  | Mdg                          |
| 300                    | 24.7                            | 0.484      | 0.012               | 1.605                       | 0.327               |   | 8     | 33.5 | 15                  | Cz                           |

# فصل سوم

انتخاب روش مناسب برای حفر تونل



## ۳-۱- مقدمه

پروژه قطعه اول تونل انتقال آب از پایین دست سد کرج به تصفیه خانه شماره ۶ تهران با مجموع طول ۱۵۹۸۰ متر، شیب ۰/۱۳۸ درصد، قطر حفاری ۴/۶۶۵ متر و قطر تمام شده ۳/۹ متر، یکی از پروژه‌هایی است که طراحی و اجرای آن به قرارگاه سازندگی خاتم الانبیاء (ص) واگذار شده است. در این فصل، استفاده از روشهای حفاری متداول، همانند روش چالزنی و آتشیاری و همچنین استفاده از روشهای حفاری تمام مکانیزه با استفاده از ماشین تونل‌زنی کله گاوی<sup>۱</sup> یا ماشینهای حفر تمام مقطع تونل<sup>۲</sup> برای اجرای این تونل بررسی و در نهایت روش مناسب انتخاب می‌شود.

## ۳-۲- دلایل انتخاب ماشینهای تونل‌زنی تمام مقطع برای حفر تونل

در صورت استفاده از روشهای چالزنی و آتشیاری و ماشین تونل‌زنی کله گاوی، بدلیل طول زیاد تونل و عدم کاربرد این روشها در طول زیاد، نیاز به تونلهای دسترسی متعدد و ایجاد چند سینه کار برای احداث تونل می باشد. مدت زمان اتمام کل پروژه محدود به ۷۰ ماه است و مسیرهای تقسیم شده توسط تونلهای دسترسی طولانی می باشد. بنابراین استفاده تنها از این دو روش بدلیل پایین بودن سرعت حفاری و سرعت انجام آستر بتنی<sup>۳</sup> تونل در داخل کشور منطقی به نظر نمی رسد. به

1 -Roadheader

2 -Full Face Tunnel Boring Machine - TBM

3 -Lining

عنوان مثال، طولانی ترین مسیر با طول ۶۵۸۰ متر، بین K' و A می باشد (در طول مسیر اولیه پیشنهادی مشاور تهران- بوستن موجود در اسناد مناقصه دو تونل دسترسی پیش بینی شده است که یکی در نقطه A واقع در متراژ ۶۵۸۰ از سمت نقطه K' می باشد) که با ایجاد دو سینه کار، این مسیر به دو بخش ۳۲۹۰ متری تقسیم می شود. با توجه به سرعت متوسط حفاری ۶۰ متر در ماه برای هر دو روش حفاری با ماشین تونل زنی کله گاوی و چالزنی و آتشیاری و همچنین ۱۲۰ متر در ماه برای بتن ریزی تمام مقطع تونل، حفاری این بخش از تونل اصلی، ۵۷ ماه و آستر بتنی آن ۲۵ ماه به طول می انجامد به این ترتیب اجرای پروژه بیش از ۷۰ ماه طول خواهد کشید (مؤسسه حرا، ۱۳۸۲).

از آنجا که طول تونل در این پروژه ۱۵۹۸۰ متر است، اجرای بخشی یا تمامی این مسیر بدون استفاده از روشهای تمام مکانیزه تونلسازی (ماشین های تونل زنی تمام مقطع)، در مدت زمان مدنظر کارفرما (۷۰ ماه) امکان پذیر نمی باشد. از طرفی با توجه به قرارگیری این دسترسیها در توپوگرافی نامناسب برای کار با روشهای متداول و روش تونل زنی با ماشین کله گاوی و همچنین مسائل مربوط به تملیک به دلیل احتمال قرارگیری برخی از دهانه ها در زمینهای ارتش، لزوم استفاده از روشهای مکانیزه با ماشین های تونل زنی تمام مقطع در تمامی پروژه، بیش از پیش احساس می شود (مؤسسه حرا، ۱۳۸۲).

در نهایت با توجه به زمان ۷۰ ماهه مورد نظر کارفرما و نیاز به احداث دسترسی های متعدد در روشهای اجرا با ماشین کله گاوی و چالزنی و آتشیاری که بسیار بر هزینه های اجرا می افزایند و همچنین کاربرد وسیع استفاده از روشهای حفاری تمام مقطع مکانیزه در احداث تونلهای طویل در جهان، اجرای تمام مکانیزه کل طول ۱۵۹۸۰ متری قطعه اول تونل کرج با ماشینهای تونل زنی تمام

مقطع، انتخاب شده است. برای این منظور انواع مختلف ماشینهای تونلزنی تمام مقطع بررسی و سپس ماشین تونلزنی مناسب انتخاب خواهد شد.

### ۳-۳- انواع مختلف ماشینهای تونلزنی مورد استفاده در محیطهای سنگی

در روش تونلزنی مکانیزه عمدتاً از دو نوع ماشین تونلزنی استفاده می‌شود. این دو نوع ماشین تونلزنی شامل ماشینهای تونلزنی تمام مقطع (TBM) و ماشینهای تونلزنی بازویی<sup>۱</sup> می‌باشد. ماشین تونلزنی تمام مقطع، تمام مقطع تونل را در یک وهله حفاری می‌کند ولی در ماشینهای تونلزنی بازویی، یک یا چند بازوی حفاری وجود دارد و سر حفار روی بازو سوار است. سطح مقطع سر حفار این ماشینها به مراتب کمتر از سطح مقطع تونل است و با جابجا کردن آن در نقاط مختلف سطح مقطع تونل، تونل حفاری می‌شود. هر یک از ماشینهای تونلزنی به انواع مختلفی تقسیم بندی می‌شوند که بسته به شرایط مختلف، می‌توان از هر کدام استفاده کرد. در محیطهای سنگی عمدتاً از ماشینهای تونلزنی زیر استفاده می‌شود (Herrenknecht et al, 2001):

۱- ماشین تونلزنی تمام مقطع بدون سپر<sup>۲</sup>

۲- ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد<sup>۳</sup>

۳- ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف<sup>۴</sup>

۴- ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری تعادلی با فشار زمین<sup>۵</sup>

۵- ماشین تونلزنی کله گاوی

۶- ماشین تونلزنی چکش هیدرولیکی<sup>۱</sup>

1 -Boom Type Machine

2 -Open TBM

3 -Single Shiled TBM

4 -Double Shield TBM

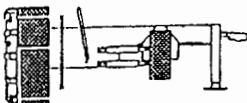
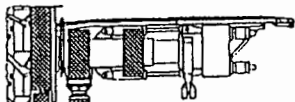
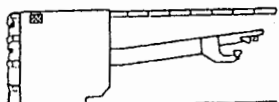
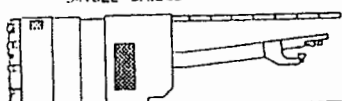
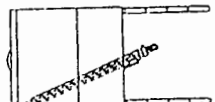
5 -Earth Pressure Balance Shield

با توجه به مطالب مذکور در ابتدای فصل تنها ماشینهای تونلزنی تمام مقطع TBM (موارد ۱ تا ۴ اشاره شده در بالا) بررسی می‌شود و در نهایت با دلایل فنی مناسب دستگاه حفاری تمام مکانیزه انتخاب خواهد شد. تعریف انجمن بین المللی مکانیک سنگ (ISRM) در سال ۱۹۸۰ در مورد سنگ سخت<sup>۲</sup>، مقاومت متجاوز از ۵۰ تا ۱۰۰ مگاپاسکال است؛ با قبول این تعریف کلی، می‌توان نتیجه گرفت که سنگ نرم<sup>۳</sup>، سنگی با مقاومت کمتر از ۵۰ مگاپاسکال خواهد بود. در شکل ۱-۳ بر اساس این تعریف، محدوده کاری این ماشینها از سوی شرکت Robbins آمریکا پیشنهاد شده است (Askilsrud, 1996). همانطور که مشاهده می‌شود ماشین تونلزنی تمام مقطع بدون سپر در سنگهای سخت و ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد در سنگهای نرم کاربرد دارد. همچنین ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف، قابل کاربرد در هر دو رده سنگی نرم و سخت و ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری تعادلی با فشار زمین، قابل کاربرد در سنگهای خرد شده و زمینهای نرم می‌باشد.

### ۳-۱-۳- ماشین تونلزنی تمام مقطع بدون سپر

از آنجا که این ماشین تونلزنی تمام مقطع حین حفاری تونل به دیواره تونل تکیه می‌کند، در مواردی به نام ماشین تونلزنی تمام مقطع چنگ زن<sup>۴</sup> نیز خوانده می‌شود. یک ماشین تونلزنی تمام مقطع بدون سپر، در حالت کلی از بخشهای مختلفی تشکیل شده است. این اجزاء بطور کلی شامل بدنه ماشین تونلزنی<sup>۵</sup>، سرحفار ماشین، ابزار برش<sup>۶</sup> و سرمته‌ها، چنگ‌زنهای ماشین، جکهای هل دهنده سرحفار<sup>۷</sup>، سیستم بارگیری و تخلیه مواد حفر شده<sup>۸</sup> و بازوی نصاب<sup>۹</sup> می‌باشند.

- 
- 1 -Hydraulic Hammer
  - 2 -Hard Rock
  - 3 -Soft Rock
  - 4 -Gripper
  - 5 -Machine body
  - 6 -Cutters
  - 7 -Thrust jacks
  - 8 -Mucking system
  - 9 -Elector arm

| MACHINE TYPE                                                                                        | DIAMETER RANGE<br>METERS<br>(FEET) | ROCK STRENGTH                                                                     |                                                                                    |       |                                                                                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-------|-------------------------------------------------------------------------------------|
|                                                                                                     |                                    | HARD                                                                              | SOFT ROCK                                                                          | MIXED | SOFT GROUND                                                                         |
| <br>OPEN MAIN BEAM | 2.5 - 14<br>(8 - 46)               |  |                                                                                    |       |                                                                                     |
| <br>OPEN KELLEY    | 2.5 - 14<br>(8 - 46)               |  |                                                                                    |       |                                                                                     |
| <br>SINGLE SHIELD  | 2.5 - 13<br>(8 - 43)               |                                                                                   |  |       |                                                                                     |
| <br>DOUBLE SHIELD  | 3 - 12<br>(9.5 - 40)               |                                                                                   |  |       |                                                                                     |
| <br>EPB           | 2.5 - 10<br>(8 - 33)               |                                                                                   |                                                                                    |       |  |

شکل ۳-۱- محدوده کاری ماشینهای حفر تونل در سنگ با توجه به مقاومت سنگ (Askilrud, 1996)

این ماشینها طراحیهای متفاوتی دارند ولی در کل دو سیستم دو کفشکه<sup>۱</sup> و محور اصلی<sup>۲</sup> عمومیت بیشتری در میان سازندگان این نوع ماشینها دارند. شکل ۳-۲ و ۳-۳ دو نما از این دو شکل طراحی به همراه سیکل کاری آنها را نمایش می دهد (Askilrud, 1996).

اساس کار ماشین تونلزنی تمام مقطع را می توان در چهار مرحله به صورت زیر خلاصه کرد

(Bickel et al, 1996; whittaker et al, 1990) :

مرحله اول : در این مرحله، ماشین در جلو جبهه کار تونل مستقر می شود. دیوارگیرهای موجود در قسمت عقب و جلو ماشین کاملاً باز شده و به دیواره تونل تکیه می کنند. در این حالت جک

1 -Double gripper type

2 -Main beam type

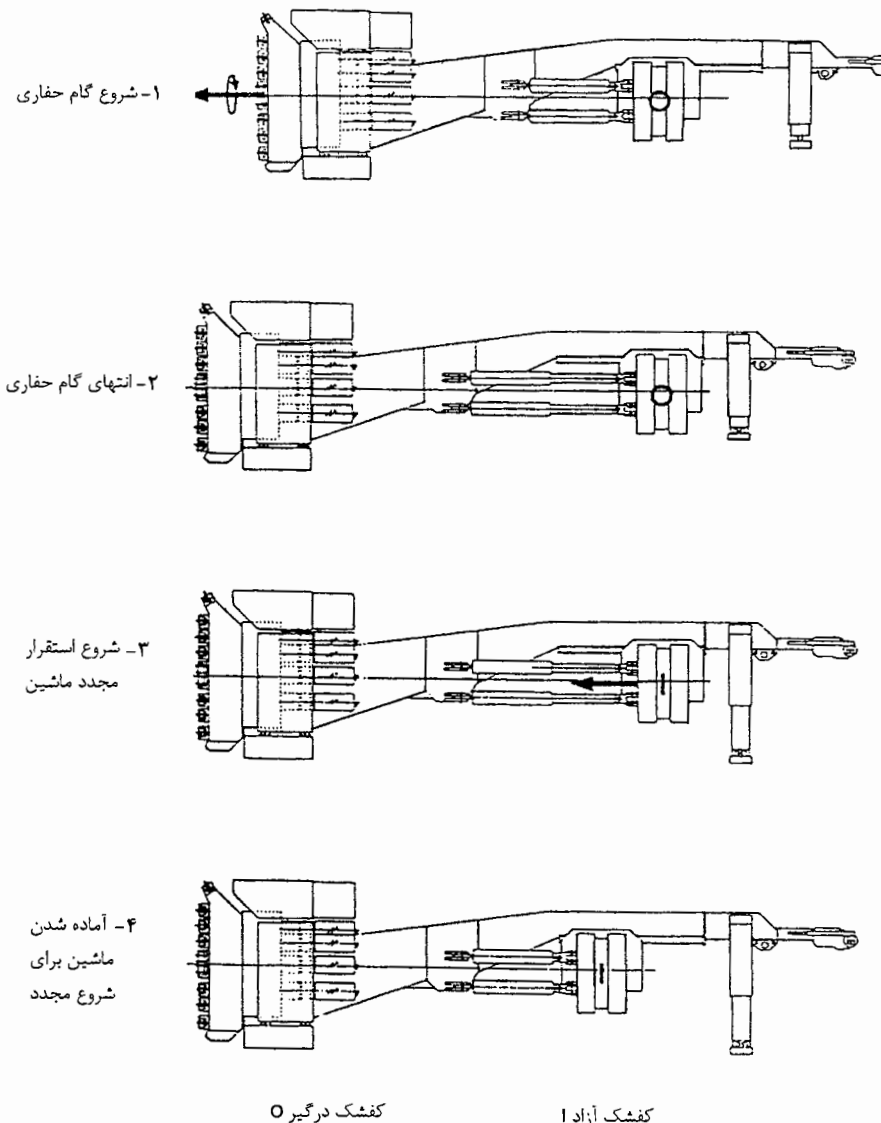
نگهدارنده عقب دستگاه آزاد است و ماشین تونل‌زنی برای انجام عملیات حفاری آماده است. یک سری از جکهای هل دهنده در پشت سر حفار ماشین وجود دارد و در حین حفاری تونل، سرحفار ماشین تونل‌زنی را به جلو هل می‌دهند.

مرحله دوم: عملیات حفاری تونل بطور پیوسته، تا جایی که جکهای هل دهنده سر حفار ماشین کاملاً باز شوند ادامه می‌یابد. میزان پیشروی سر حفار در ماشینهای مختلف تونل‌زنی متفاوت است و به طول جکهای هل دهنده سرحفار بستگی دارد.

مرحله سوم: در این مرحله، جکهای نگهدارنده عقبی ماشین و بازوی نگهدارنده سرحفار ماشین باز می‌شوند و کفشکهای ماشین جمع می‌شوند. در این حالت ماشین بر روی جکهای نگهدارنده عقبی و بازوی نگهدارنده سر حفار ماشین قرار گرفته است. حال جکهای هل دهنده قسمت عقب ماشین باز شده و بدنه ماشین تونل‌زنی را به جلو هل می‌دهند. همچنین جکهای هل دهنده سرحفار ماشین نیز جمع می‌شوند.

مرحله چهارم: در این حالت سر حفار ماشین تونل‌زنی دوباره به سینه کار تونل رسیده است. دیوارگیرهای ماشین باز شده و به دیواره تونل تکیه می‌کنند، جک نگهدارنده عقبی و بازوی نگهدارنده سرحفار ماشین جمع شده و ماشین برای انجام مجدد عملیات تونل‌زنی آماده است.

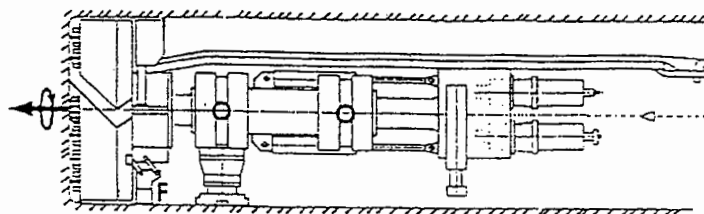
قبل از شروع سیکل جدید در صورتیکه در اثر چرخش ماشین حول محورش انحرافی ایجاد شده باشد و تصحیحاتی در جهت عمودی افقی و پیچشی ماشین در مسیر تونل نیاز باشد، توسط قاب در برگیرنده کفشکها و سیلندرهای تنظیم جهت ماشین، انجام می‌گیرد.



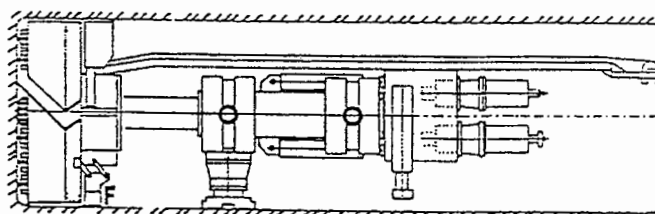
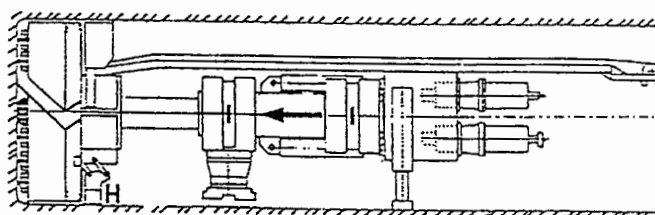
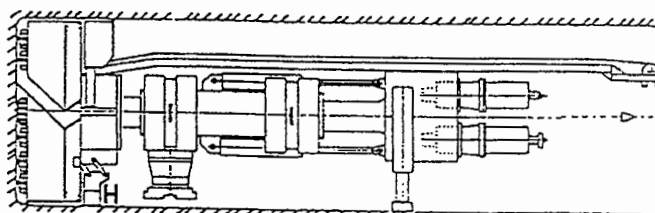
شکل ۲-۳- سیکل کامل حفاری ماشین تونل‌زنی تمام مقطع بدون سپر  
نوع محور اصلی (Askilsrud, 1996)

لازم به ذکر است که همزمان با عملیات حفاری ماشین نصب نگهداری موقت همانند مش و شاتکریت، بولت و یا قاب (در صورت نیاز) انجام می‌پذیرد. سیکل فوق الذکر برای تمام ماشینهای تونل‌زنی تمام مقطع بدون سپر صادق است، منتهی تفاوت‌های جزئی در انجام تصحیحات یا ایجاد قوسهای افقی یا عمودی در طول مسیر بین ماشینهای محور اصلی و دو کفشکه وجود دارد.

۱- شروع گام حفاری



۲- انتهای گام حفاری

۳- شروع استقرار  
مجدد ماشین۴- آماده شدن  
ماشین برای  
شروع مجدد

جک نگهدارنده آزاد F

جک نگهدارنده درگیر H

کفشک درگیر O

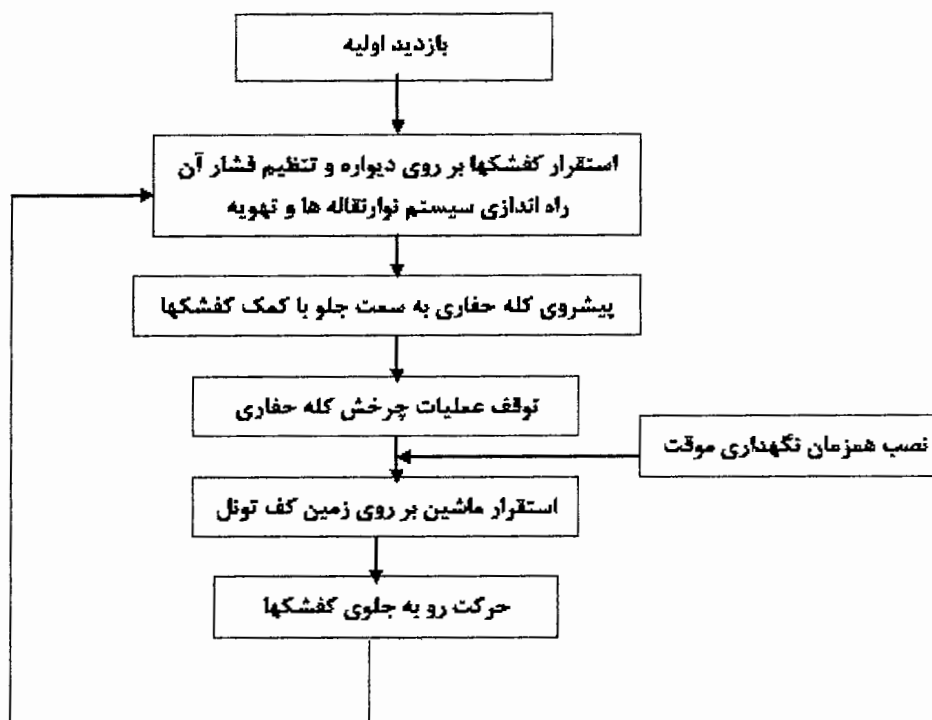
کفشک آزاد I

شکل ۳-۳- سیکل کامل حفاری ماشین تونل‌زنی تمام مقطع بدون سپر

نوع دو کفشکه (Askilsrud, 1996)

در نوع اول به دلیل وجود یک دست کفشک، تصحیحات در حین سیکل انجام می‌گیرد. لیکن در نوع دوم، قبل از شروع سیکل، مسیر تنظیم شده و در طول هر سیکل، یک کورس مستقیم که در طول خط محوری ماشین است، حفر می‌شود (مؤسسه حرا، ۱۳۸۲). شکل ۳-۴ فلوجارت سیکل پیشروی این ماشینها را به طور خلاصه نشان می‌دهد.





شکل ۳-۴- فلوچارت کلی سیکل پیشروی ماشین تونلزنی تمام مقطع بدون سپر (مؤسسه حرا، ۱۳۸۲)

همانطور که قبلاً گفته شد، چون در حین عملیات تونلزنی با این ماشین، دیوارگیرهای ماشین به دیواره تونل تکیه می‌کنند، در نتیجه سنگهای موجود در دیواره تونل باید ظرفیت باربری کافی برای تحمل نیروی عکس العمل کفشکها را داشته باشند. لذا در شرایطی که توده سنگ میزبان مقاومت فشاری پایینی دارد، استفاده از این ماشین تونلزنی دارای محدودیت است. از سوی دیگر با پیشرفتهای صورت گرفته در تکنولوژی ساخت انواع سرمت‌های مورد استفاده در این ماشینهای تونلزنی، می‌توان سنگهای بسیار سخت و مقاوم را به کمک این ماشینهای تونلزنی حفاری کرد (Bickel et al, 1996; whittaker et al, 1990).

مهمترین مزیت ماشینهای تونلزنی تمام مقطع بدون سپر نسبت به سپردارها، امکان دستیابی به سرعتهای بالای حفاری می‌باشد. این ماشینها، عمل حفاری و نصب نگهداری موقت را تقریباً همزمان انجام می‌دهند و به همین جهت سرعت بالایی در اجرا دارند. در پروژه‌هایی که امکان حذف آستر بتنی

نهایی و یا اجرای سریع آن وجود دارد و شرایط سنگ نیز مناسب است، این ماشین ارجح و انتخاب اول است.

### ۳-۲-۳- ماشین تونلزنی تمام مقطع سپردار

کشور ژاپن بعنوان یکی از پیشگامان تکنیک تونلزنی سپری<sup>۱</sup> است. البته در کشورهای اروپایی از جمله در کشور آلمان نیز پیشرفتهایی در این زمینه صورت گرفته است. بطور کلی می‌توان گفت ماشین تونلزنی تمام مقطع سپردار برای حفاری تونلهای به طول زیاد در زمینهای سست و ریزشی که ضخامت روباره تونل کم است کاربرد دارد. با به کار بردن ماشین تونلزنی تمام مقطع سپردار برای حفاری تونل، می‌توان از به هم ریختگی ایجاد شده در توده سنگ اطراف تونل جلوگیری کرد و در نتیجه در این شرایط می‌توان وقوع نشست در سطح زمین را به حداقل مقدار خود رساند (Maidl et al, 1989; Maidl et al, 1996).

محدوده کاربرد ماشین تونلزنی سپردار بسیار گسترده است. در زمینهای خاکی و بسیار سست تا زمینهای سنگی شکسته و ریزشی می‌توان از ماشین تونلزنی سپردار استفاده کرد. کلیه تجهیزات یک ماشین تونلزنی تمام مقطع (شامل تجهیزات حفاری، تجهیزات انتقال مواد از سینه کارتونل به پشت ماشین، تجهیزات مربوط به نصب پوشش حائل تونل و ...) درون یک استوانه فولادی قرار گرفته است. همزمان با عملیات حفاری تونل، پوشش حائل تونل تحت حفاظ سپر و در پشت ماشین تونلزنی نصب می‌شود. در نتیجه بدنه سپر به صورت یک محافظ بین سینه کار تونل و پوشش حائل نصب شده در پشت ماشین عمل می‌کند و لذا یک فضای ایمن برای پرسنل حفار و همچنین

1 -Shield tunneling

تجهیزات موجود در حین اجرای عملیات تونل‌زنی ایجاد می‌شود. همزمان با عملیات حفاری تونل، جکهای هل دهنده ماشین، بدنه سپر را به جلو هل می‌دهند و به این ترتیب به جلو پیشروی می‌کند (Friant et al, 1993; Maidl et al, 1989).

مزایای ماشین تونل‌زنی تمام مقطع سپردار، عبارتند از (Maidl et al, 1989):

- ۱- به علت مکانیزه بودن عملیات و امکان نصب پوشش حائل تونل همزمان با عملیات تونل‌زنی، سرعت پیشروی عملیات تونل‌زنی بسیار زیاد است.
  - ۲- به علت ایجاد به هم ریختگی کمتر در توده سنگ میزبان تونل، خطرات وارده به ساختمان و تاسیسات موجود در سطح زمین کمتر است.
  - ۳- در حین عملیات تونل‌زنی، ایمنی پرسنل موجود در تونل حفظ می‌شود.
  - ۴- از نظر مسائل و مشکلات زیست محیطی<sup>۱</sup> مثل آب زیرزمینی و سر و صدا، ماشینهای تونل‌زنی سپردار دارای بهترین عملکرد می‌باشند.
  - ۵- پوشش حائل نصب شده دارای بهترین کیفیت و عملکرد می‌باشد و همچنین از نظر اقتصادی نیز مناسب تر است.
- در مقابل مزایای گفته شده در بالا، استفاده از ماشینهای تونل‌زنی تمام مقطع سپردار با محدودیت هایی نیز همراه است. عمده محدودیت های استفاده از این ماشینهای تونل‌زنی عبارتند از:
- ۱- مدت زمان زیادی جهت آماده سازی، ساخت و مونتاژ دستگاه لازم است.
  - ۲- آماده سازی محل احداث تونل اغلب وقت گیر است.

1 -Environmental problem

۳- استفاده از این ماشینهای تونلزنی، تنها در مواردی که طول تونل از یک مقدار حداقلی بیشتر است، اقتصادی است.

۴- در مواردی که ویژگیهای زمین شناسی محل مورد حفاری بسیار متغیر است استفاده از این ماشینهای تونلزنی می تواند با ریسک زیادی همراه باشد.

۵- ماشینهای تونلزنی تمام مقطع سپردار عمدتاً تنها قادر به حفر تونلهای دایره ای شکل می باشند و از این نظر دارای محدودیت می باشند.

۶- تغییر مقدار سطح مقطع تونل، مثلاً افزایش قطر تونل، با این ماشینها بسیار محدود است.

۷- در بعضی از ماشینهای تونلزنی سپردار، در حین طراحی پوشش حائل تونل، باید به مقدار نیروی ناشی از جکهای هل دهنده ماشین نیز توجه شود. در مواردی پوشش حائل تونل ممکن است قادر به تحمل نیروی عکس العمل جکهای هل دهنده ماشین نباشد.

امروزه با پیشرفت تکنولوژی، انواع بسیار متنوعی از ماشینهای تونلزنی سپردار به بازار عرضه شده است. ماشینهای تونلزنی سپردار انواع مختلفی دارند که تعدادی از آنها در محیطهای سنگی قابل استفاده می باشد. در ادامه به بررسی این ماشینها پرداخته می شود.

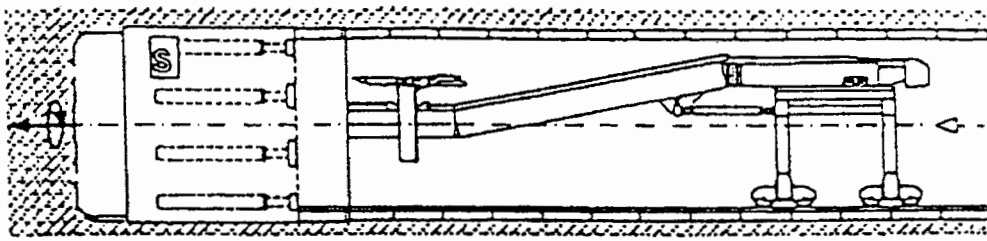
### ۳-۲-۱- ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد

این ماشین تونلزنی تمام مقطع، به صورت یک سپر استوانه ای کامل است و در شرایطی که لازم است تونل بطور کامل نگهداری شود، کاربرد دارد. پوشش حائل مورد استفاده با این ماشین تونلزنی عمدتاً قطعات پیش ساخته می باشد که در حین عملیات تونلزنی از قسمت دنباله سپر، در دیواره تونل نصب می شوند. پیشروی ماشین تونلزنی بوسیله جکهای هل دهنده ای که در انتهای ماشین به حلقه

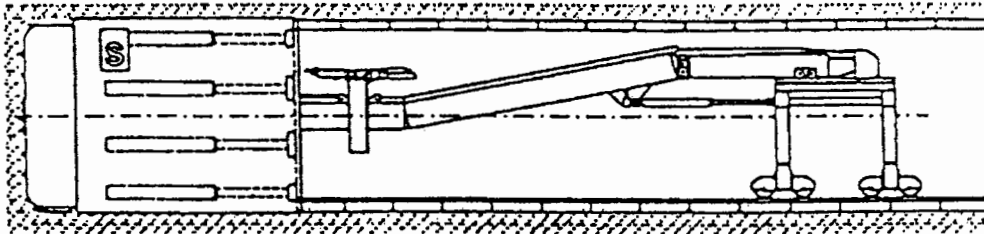
نگهداری نصب شده تکیه می‌کنند، صورت می‌گیرد (Whittaker&Frith, 1990). نوع سرمت‌ها و ترتیب قرارگیری آنها روی سر حفار ماشین، مشابه سایر ماشینهای تونل‌زنی تمام مقطع است. امروزه طرحهای مختلفی از ماشینهای تونل‌زنی تمام مقطع سپری منفرد به بازار عرضه می‌شود که هر کدام در شرایط خاص زمین‌شناسی کاربرد دارند. در این ماشینهای تونل‌زنی، نرخ پیشروی عملیات به سرعت نصب پوشش حائل در پشت ماشین بستگی دارد. سینه کار این ماشینها به هر دو صورت باز و بسته می‌تواند طراحی شود که این مورد بیشتر به میزان آب ورودی از جبهه کار بستگی دارد. در شکل ۳-۵ نمایی از این ماشین به همراه سیکل حفاری و سگمنت گذاری آن ارائه شده است.

سیکل عملیات حفاری این ماشینها به ترتیب زیر می‌باشد (مؤسسه حرا، ۱۳۸۲):

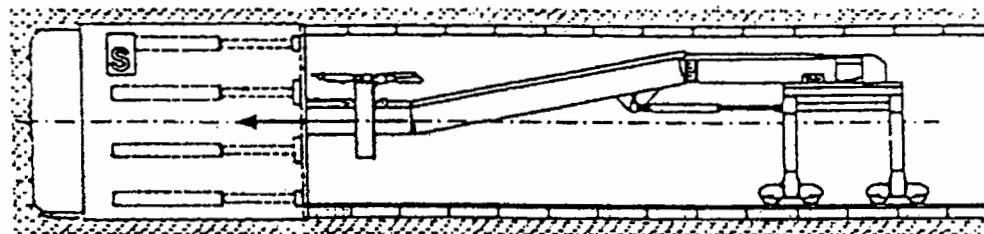
- ۱- بازدید اولیه : بازدید کله، مته‌ها، و دیسکهای حفاری و سایر قسمت‌های مکانیکی دستگاه.
- ۲- شروع چرخش کله حفاری : پس از شروع کار سیستم تخلیه ماشین (نوار نقاله) و آمادگی سیستم تخلیه تونل، چرخش کله حفاری آغاز می‌شود.
- ۳- انجام حفاری و پیشروی همزمان ماشین به جلو : پس از اینکه کله حفاری، شروع به چرخش کرد، با اعمال فشار از طریق سیلندرهای پیش برنده بر روی سگمنت‌هایی که قبلاً در پشت دستگاه نصب شده‌اند، عملیات حفاری انجام شده و ماشین نیز همزمان به جلو رانده می‌شود.
- ۴- توقف بازوهای هیدرولیک پیش برنده : با پایان یافتن کورس بازوهای هیدرولیک، در واقع سیکل پیشروی نیز پایان می‌یابد.
- ۵- تخلیه مواد باقیمانده در سینه کار : پس از اتمام کورس بازوهای هیدرولیک، کله حفاری برای چند ثانیه به چرخش خود ادامه می‌دهد، تا کلیه مواد خرده شده، از جلوی سینه کار تخلیه شوند.



۱- شروع گام حفاری

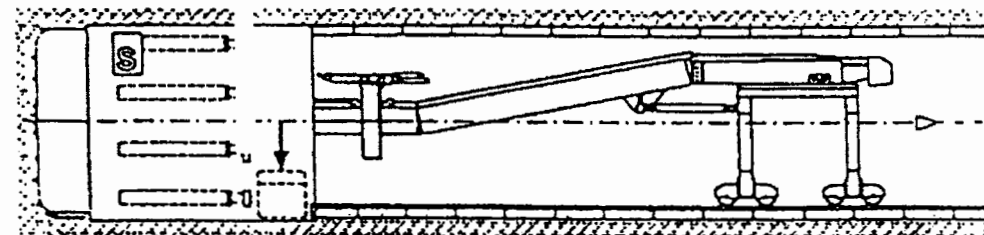


۲- انتهای گام حفاری



۳- شروع استقرار

مجدد ماشین

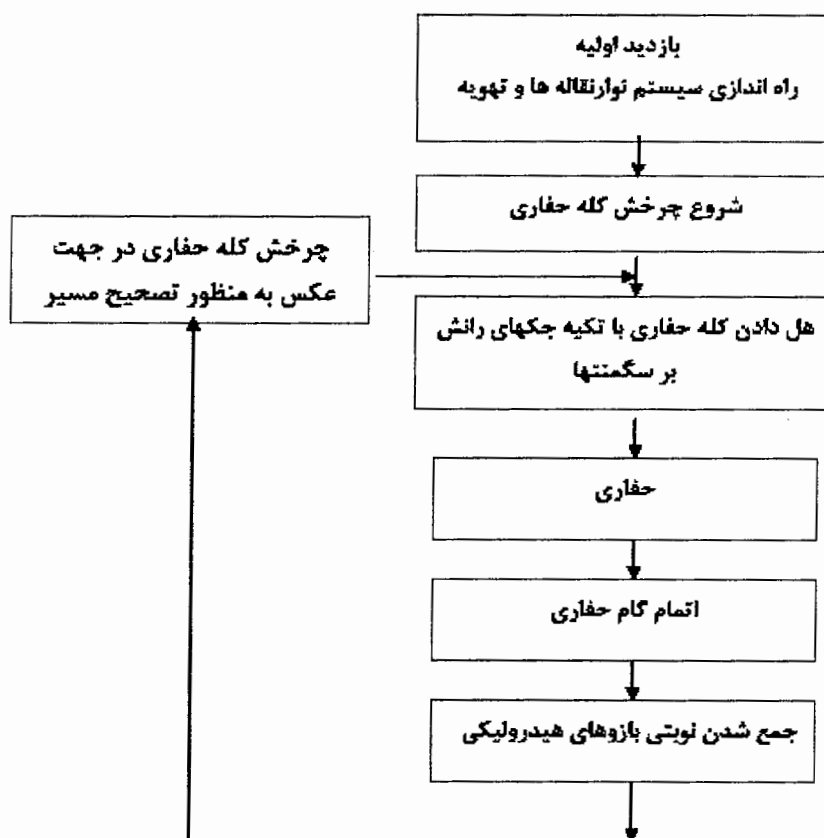
۴- آماده شدن ماشین برای شروع مجدد  
تثبیت کننده سپر در حالت آزاد S

شکل ۳-۵- سیکل کامل حفاری ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد (Askilsrud, 1996)

۶- نصب سگمنت : با توجه به اینکه فشار بازوهای هیدرولیک بر سگمنت نگهداری، نیروی پیش برنده دستگاه را فراهم می‌کند، نصب سگمنتها را می‌توان جزئی از سیکل عملیات حفاری به حساب آورد. پس از توقف چرخش کله حفاری، بازوهای هیدرولیکی که یک یا چند عدد از آنها روی هر قطعه از

سگمنتها قرار گرفته‌اند، رها شده و پس از نصب قطعه، با اعمال فشار ناچیزی، سگمنت را نگهداری می‌کند. در این حالت سایر بازوها، در محل قبلی خود باقی می‌مانند تا نوبت قطعه تحت فشار آنها برسد.

در ماشینهای تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد به دلیل عدم وجود کفشک، تصحیحات چرخش حول محور، از طریق چرخش عکس کله در هر سیکل تأمین می‌شود. بدین ترتیب که در یک سیکل کله در جهت عقربه‌های ساعت و در سیکل بعدی در خلاف جهت عقربه‌های ساعت چرخش می‌کند. شکل ۳-۶، فلوچارت کلی سیکل پیشروی (حفاری و سگمنت گذاری) این ماشین را می‌دهد.



شکل ۳-۶- فلوچارت کلی سیکل پیشروی ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد  
(مؤسسه حرا، ۱۳۸۲)

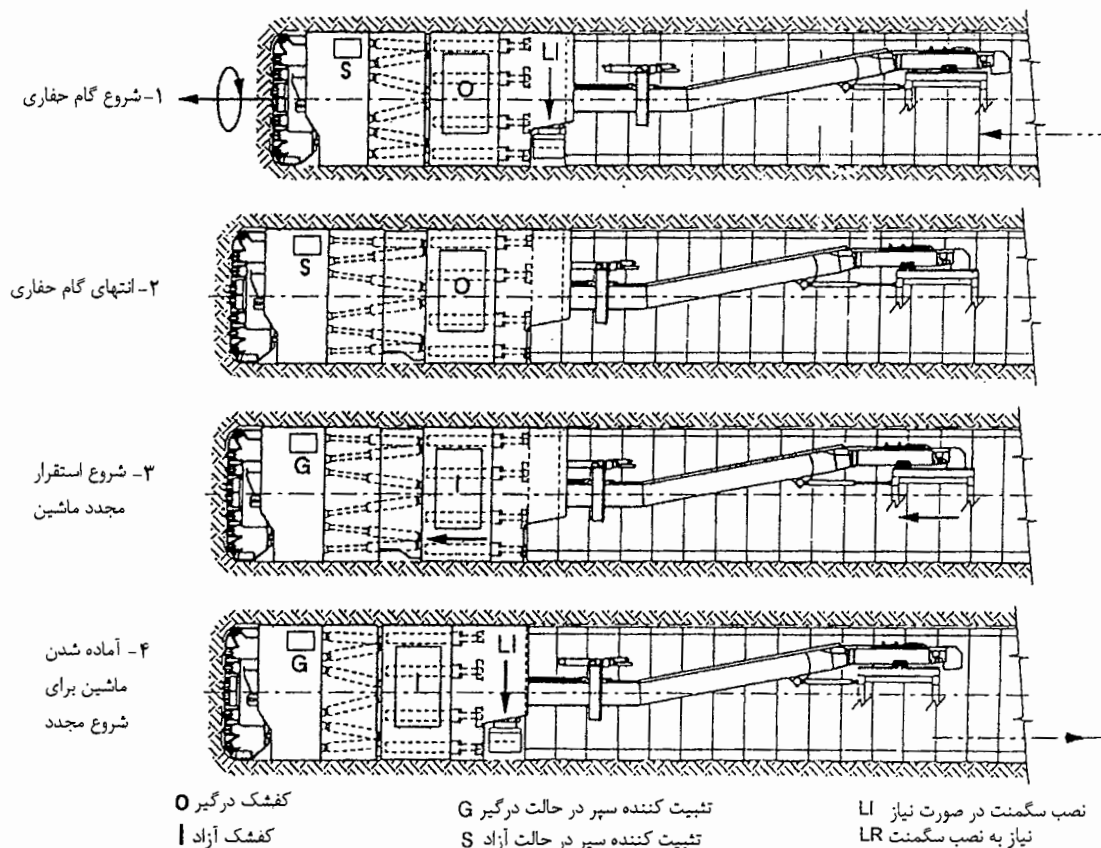
## ۳-۲-۳- ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف

برای اولین بار شرکت پیمانکاری SELI از ایتالیا که سابقه‌ای طولانی در پروژه‌های حفاری مکانیزه تونلها دارد، ایده ساخت ماشینی با توانایی کار هم در زمینهای بسیار خرد شده و ضعیف و هم در زمینهای نیمه خرد شده و سخت را مطرح کرد و این ماشین تحت عنوان Double Shiled TBM توسط شرکت Robbins آمریکا ساخته شد. این ماشین دارای دو سپر جلو و عقب است و هم مجهز به کفشک (همانند ماشینهای Open TBM) و هم مجهز به جکهای رانش (همانند ماشینهای Single shield TBM) می‌باشد. به همین دلیل توانایی کار هم در زمینهای ریزشی و هم در زمینهای با مقاومت مناسب برای کفشک را دارد. در حالتی که زمین مقاومت مناسب را برای ایجاد رانش با کمک کفشک دارد، ماشین می‌تواند به حفاری و سگمنت گذاری مستقل و همزمان بپردازد و به همین دلیل سرعت حفاری ماشینهای تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف به طور تئوریک دو برابر ماشینهای تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد و در عمل در پروژه های مشابه، ۳۰ درصد بیشتر است (Askilrud, 1996). شکل ۳-۷ نمایی از سیکل کاری این ماشین در زمینهای با مقاومت مناسب برای کفشک زدن را نمایش می‌دهد.

شکل ۳-۸ نیز فلوچارت سیکل عملیات حفاری در زمینهای با مقاومت مناسب را نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در هنگام حفاری در این حالت، از جکهای رانش استفاده نمی‌شود. در زمینهای ریزشی و خرد شده که امکان کفشک زدن وجود ندارد، ماشین تونلزنی تمام مقطع سپردار مضاعف (D.S.TBM) دقیقاً همانند یک ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد (S.S.TBM) پیشروی می‌کند؛ یعنی عمل حفاری با کمک ایجاد نیروی رانش توسط جکهای انتهایی سپر و سپس



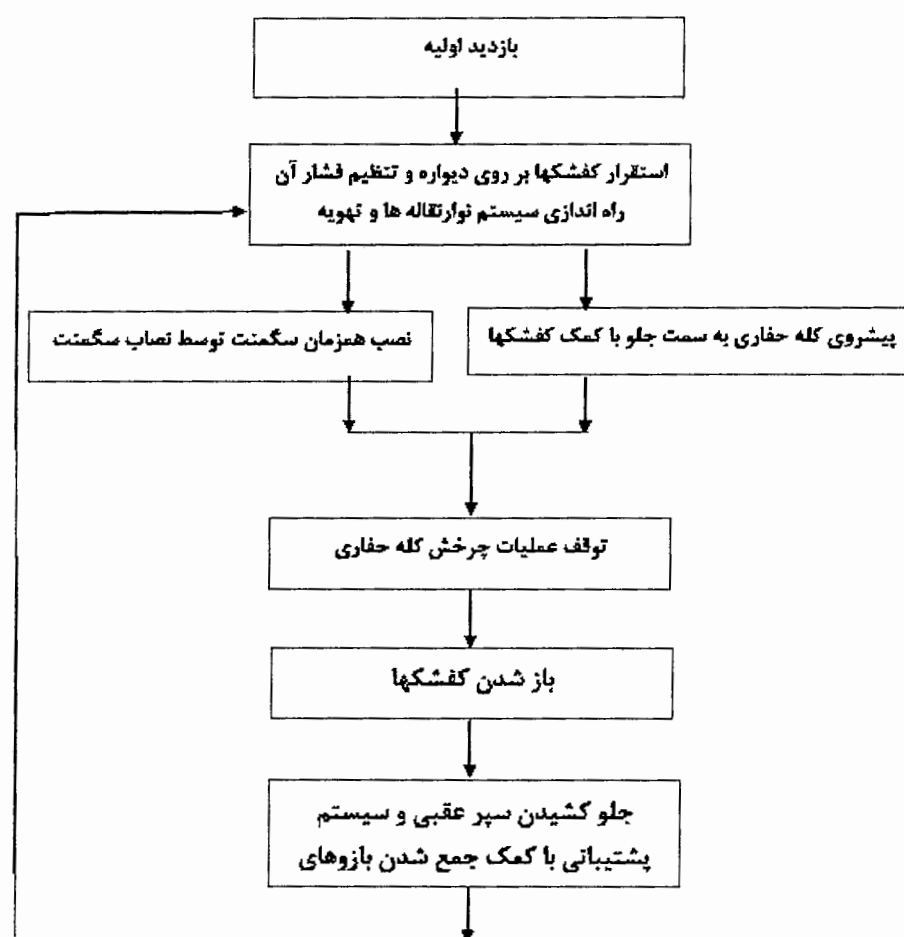
نصب سگمنت پس از جمع شدن بازوها و جکهای هیدرولیکی، انجام می‌شود. شکل ۳-۹ نمایی از سیکل پیشروی این ماشین در سنگهای سست و ریزشی را ارائه می‌دهد.



شکل ۳-۷- سیکل حفاری D.S.TBM در زمینهای نیمه خرد شده یا مناسب در حالت کاری Double (Askilrud, 1996)

### ۳-۳-۳- ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری تعادلی با فشار زمین

پیشروی در ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری تعادلی با فشار زمین، در اوایل دهه هفتاد در ژاپن شروع شد. اولین ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری تعادلی با فشار زمین، برای حفاری یک تونل به طول ۱۹۰۰ متر و به قطر ۳/۷۲ متر در شهر توکیو بکار گرفته شد. در سالهای اخیر، انواع مختلفی از این ماشینهای تونلزنی توسط کارخانه‌های مختلف ماشین سازی در سراسر دنیا ساخته و با نامهای مختلفی به بازار عرضه شده است (Maidl et al, 1989).

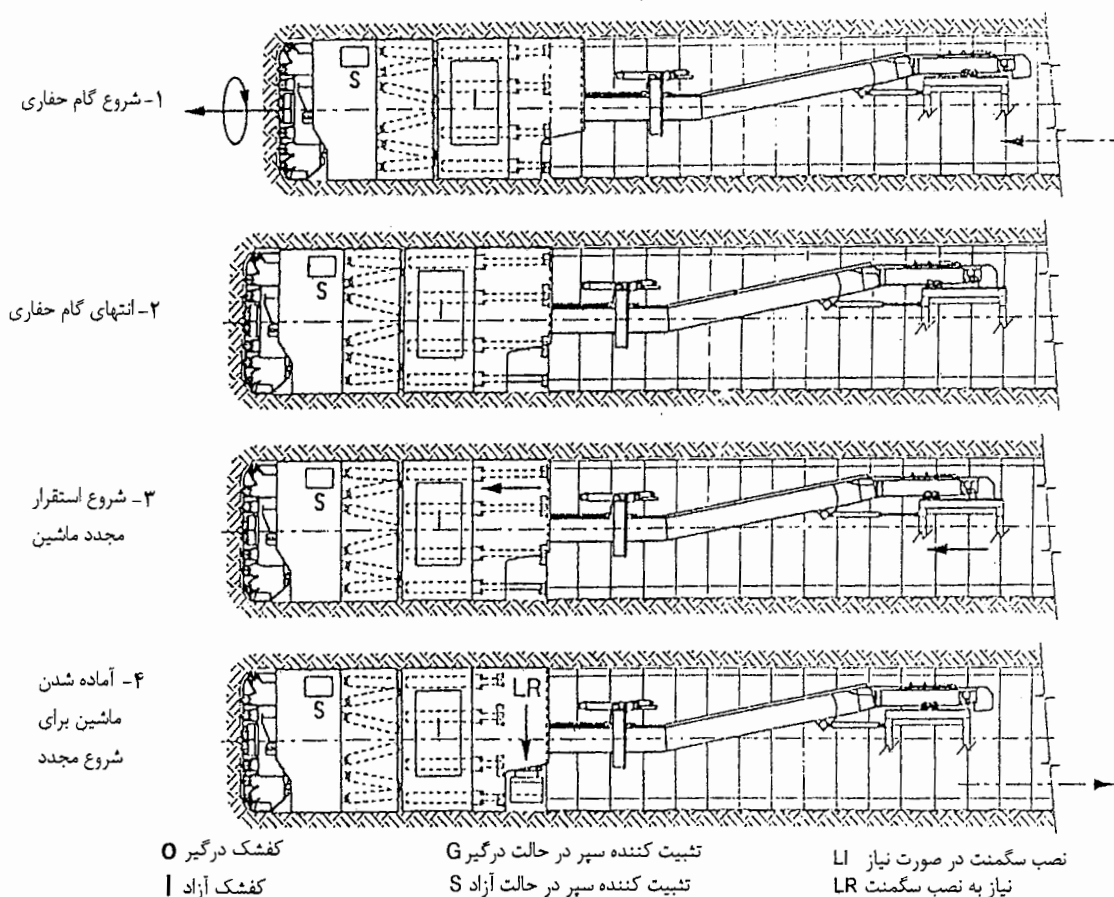


شکل ۳-۸- فلوجارت کلی سیکل پیشروی ماشین D.S.TBM در زمینهای با مقاومت مناسب  
(مؤسسه حرا، ۱۳۸۲)

این ماشین تونلزنی در رده ماشینهای تونلزنی سپر بسته<sup>۱</sup> قرار می گیرد. با این ماشین تونلزنی علاوه بر کنترل سینه کار تونل، می توان فشار هیدرواستاتیک آب زیرزمینی را کنترل کرد. عمده هدف از استفاده ماشین تونلزنی سپری تعادلی با فشار زمین کنترل سینه کار تونل بوسیله فشار ناشی از مواد حفاری شده در جلو سینه کار تونل است. در حقیقت در این ماشین تونلزنی، مواد حفاری شده درون اتاقک حفاری<sup>۲</sup> در جلو سینه کار تونل انباشته می شوند و فشار لازم را به سینه کار تونل اعمال می کنند.

1 -Closed Face Machine

2 -Excavation Chamber



شکل ۳-۹- سیکل کامل حفاری D.S.TBM در زمینهای بسیار خرد شده و ریزشی

در حالت کاری Single (Askilrud, 1996)

برای آنکه مواد حفاری شده و انباشته شده در اتاقک حفاری بتوانند فشار لازم را به سینه کار تونل اعمال کنند، لازم است این مواد پس از حفاری، یکدستی<sup>۱</sup> و خصوصیات پلاستیکی مناسبی داشته باشند. در غیر اینصورت لازم است با تزریق مواد افزودنی مثل گل بنتونیت، کف و... ویژگی‌های پلاستیکی مواد حفاری بهبود یابد. خارج کردن و انتقال مواد حفاری شده از جلو سینه کار تونل به پشت ماشین تونل‌زنی بوسیله یک دستگاه نوار نقاله حلزونی<sup>۲</sup> صورت می‌گیرد. این نوار نقاله حلزونی همچنین در کنترل میزان فشار موجود در اتاقک حفاری ماشین نیز موثر است. محدوده

1 -Consistency

2 -Screw conveyor

کاربری ماشینهای تونلزنی تمام مقطع سپری تعادلی با فشار زمین بسیار گسترده است. این ماشین تونلزنی هم در محیطهای سنگی بسیار سخت (با بکارگیری سرمت‌های دیسکی و غلطکی روی سرحفار ماشین) و هم در خاکهای بسیار سست و ریزشی کاربرد دارد. به ویژه در حفاری تونلهای کم عمق در مناطق حساس، که وقوع نشست در سطح زمین بسیار مهم است، استفاده از این ماشین تونلزنی بهترین گزینه می‌باشد (منصوری بروجنی، ۱۳۸۲).

### ۳-۴- انتخاب ماشین تونلزنی

یکی از حساسترین مسائلی که در رابطه با اجرای مکانیزه تونلها مطرح است، انتخاب صحیح نوع ماشین حفار می‌باشد که با بررسی فنی، بسته به شرایط زمین شناسی و برنامه زمانبندی پروژه، انتخاب می‌شود. شرایط زمین شناسی و ژئوتکنیک سنگ در برگیرنده و نوع مصالح تشکیل دهنده آن یکی از مهمترین مواردی بوده که همواره اجرای تونلها را تحت الشعاع قرار داده است. علاوه بر این وضعیت ناپیوستگی‌ها، تغییرات لایه‌ها، میزان نفوذ آب و بسیاری موارد دیگر نیز مسائل مهمی هستند که در تصمیم گیری برای انتخاب نوع ماشین باید روشن شده باشند. برنامه زمانبندی پروژه نیز به خودی خود بر روی نوع ماشین تأثیرگذار خواهد بود. مثلاً در انتخاب یک ماشین تونلزنی تمام مقطع سپردار مضاعف جهت اجرای تونل، نرمهای معمول بتن ریزی و آستر بتنی نهایی تونل در داخل هر کشور نیز موثر است. بنابراین مورد مذکور نیز باید به دقت بررسی شود تا ماشین توانایی اجرای به موقع پروژه، را داشته باشد. برخی پارامترهای ژئوتکنیکی و زمین شناسی لازم برای انتخاب ماشین همراه با مقادیر کمی در جدول ۳-۱ گردآوری شده است.

جدول ۳-۱- پارامترهای ژئوتکنیکی و زمین شناسی (مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

| واحد<br>زمین<br>شناسی<br>مهندسی | $\sigma_c$<br>(MPa) | چگالی<br>متوسط<br>( $t/m^3$ ) | فاصله داری*<br>(m) | RQD<br>(%)  | $\sigma_m$<br>(MPa) | متوسط<br>روباره<br>(m) |
|---------------------------------|---------------------|-------------------------------|--------------------|-------------|---------------------|------------------------|
| Gta1                            | 30                  | 2.6                           | <0.25              | 15-50 (25)  | 1.192               | 200                    |
| Gta2                            | 75                  | 2.6                           | <0.4               | 30-60 (50)  | 5.223               | 350                    |
| Gta3                            | 100                 | 2.6                           | <0.6               | 60-80 (50)  | 17.285              | 350                    |
| Gta4                            | 150                 | 2.6                           | <3                 | 90-100 (95) | 42.897              | 500                    |
| Sts1                            | 120                 | 2.6                           | <2                 | 50-75 (70)  | 19.066              | 150                    |
| Sts2                            | 150                 | 2.55                          | <1                 | 75-100 (90) | 36.281              | 250                    |
| Tsh                             | 50                  | 2.6                           | <2                 | 40-60 (50)  | 3.286               | 150                    |
| Mdg                             | 90                  | 2.8                           | <1                 | >70 (70)    | 15.557              | 100                    |
| Cz                              |                     | 2.6                           | <0.06              | <25 (15)    | 0.327               | 300                    |

\* بزرگترین فاصله داری ناپیوستگیها در هر واحد در نظر گرفته شده است.

مچاله شوندگی<sup>۱</sup> در حین حفر تونل یکی از مسائل مهمی است که می‌بایست بررسی شود. مچاله شوندگی حین حفاری از جنبه برنامه زمانبندی پروژه و هزینه‌ای می‌تواند مشکلاتی را برای پروژه ایجاد کند. لذا در این بخش، ابتدا به بررسی رفتار مچاله شوندگی برای انواع واحدهای زمین شناسی مهندسی مسیر تونل (Gta1، Gta2 و...) پرداخته می‌شود. بنا به تعریف انجمن بین المللی مکانیک سنگ (ISRM) به تغییر شکلهای بزرگ و وابسته به زمان که در سنگهای در برگیرنده تونل اتفاق افتاده و ضرورتاً مرتبط با رفتار خزشی ناشی از افزایش تنش برشی محدود شده در سنگ می‌باشد، رفتار مچاله شوندگی گفته می‌شود (Barla, 1995). برای کمی کردن رفتار مچاله شوندگی روشهای مختلفی وجود دارد از میان روشها، روش نیمه تجربی هوک و مارینوس ۲۰۰۰، انتخاب شده است (Hoek&Marinos, 2000).

1 -Squeezing

در سال ۲۰۰۰ هوک و مارینوس خاطر نشان کردند که برای تعیین میزان پتانسیل مچاله شوندگی زمین می‌توان از کرنش تونل<sup>۱</sup>  $\varepsilon_t$  بر حسب شاخص سازگاری<sup>۲</sup> استفاده کرد. منظور از کرنش، نسبت میزان جابجایی شعاعی تونل به شعاع اولیه تونل است یعنی:

$$\varepsilon_t = \frac{\Delta R}{R_0} \quad (۱-۳)$$

$\Delta R$ : تغییرات ایجاد شده در شعاع تونل در اثر وقوع پدیده مچاله شوندگی

$R_0$ : شعاع اولیه تونل

همچنین منظور از شاخص سازگاری، نسبت مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ به تنش روباره می‌باشد. یعنی:

$$N_c = \frac{\sigma_{cm}}{P_o} = \frac{\sigma_{cm}}{\gamma H} \quad (۲-۳)$$

$\sigma_{cm}$ : مقاومت فشاری تک محوری توده سنگ

$P_o$ : میزان تنش درجا در عمق

$\gamma$ : وزن واحد حجم سنگ

$H$ : عمق تونل

هوک در سال ۲۰۰۰ به کمک مطالعات صورت گرفته به روش اجزاء محدود در حالت تقارن محوری<sup>۳</sup> و در مقادیر گسترده‌ای از توده سنگ‌های مختلف، در مقادیر مختلفی از تنش درجا و فشار داخلی حائل ( $P_i$ ) رابطه تقریبی زیر را برای محاسبه مقدار کرنش تونل ارائه کرد (Hoek&Marinos, 2000):

$$\varepsilon_t = 0.15 \left( 1 - \frac{P_i}{P_o} \right) \frac{\sigma_{cm}^{-(3P_i/P_o + 1) / (3.8P_i/P_o + 0.54)}}{P_o} \quad (۳-۳)$$

که در این رابطه  $P_i$  فشار داخلی ناشی از حائل نصب شده در دیوار تونل می‌باشد و سایر پارامترها قبلاً تعریف شده است.

1 -Tunnel strain  
2 -Competency factor  
3 -Axi-symmetric

در حین حفاری تونل و قبل از نصب هر گونه پوشش حائل داخلی، مقدار کرنش تونل  $\varepsilon_t$  را می‌توان بصورت زیر برآورد کرد (Hoek&Marinos, 2000):

$$\varepsilon_t = 0.15 \frac{\sigma_{cm}^{-1.852}}{P_o} \quad (4-3)$$

بر اساس مطالعات صورت گرفته و پروژه‌های مختلف بررسی شده توسط هوک، زمین از نظر خاصیت مچاله شوندگی مطابق جدول ۲-۳ تقسیم بندی شده است (Hoek&Marinos, 2000).

جدول ۲-۳- تقسیم بندی زمین از نظر خاصیت مچاله شوندگی (Hoek&Marinos, 2000)

| شماره طبقه | میزان مچاله شوندگی                       | کرنش تونل (%) |
|------------|------------------------------------------|---------------|
| 1          | No squeezing (Few support problem)       | $\leq 1$      |
| 2          | Light squeezing (Minor squeezing)        | 1 - 2.5       |
| 3          | Fair squeezing (Sever squeezing)         | 2.5 - 5       |
| 4          | Heavy squeezing (Very sever squeezing)   | 5 - 10        |
| 5          | Very Heavy squeezing (Extreme squeezing) | $\geq 10$     |

بنابراین با استفاده از رابطه ۴-۳ و با جدول ۲-۳ می‌توان رفتار مچاله شوندگی حین حفاری تونل برای انواع واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل را محاسبه نمود. جدول ۳-۳ مقادیر کمی و کیفی شرایط مچاله شوندگی را برای انواع واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل نشان می‌دهد.

بنابراین با برآورد تقریبی رفتار مچاله شوندگی حین حفاری برای هر یک از واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل، وجود پتانسیل مچاله شوندگی در طول مسیر تونل منتفی می‌باشد. با این وجود برای اطمینان بیشتر (به خاطر تقریبی بودن محاسبات)، پیشنهاد می‌شود در صورت استفاده از ماشین تونل‌زنی سپردار و به منظور جلوگیری از گیر کردن ماشین در اثر همگرایی تونل به ویژه در ناحیه‌های خرد شده (واحد زمین‌شناسی مهندسی Cz) حتی المقدور از تعطیلی بلند مدت کارگاه جلوگیری

شود. البته در صورت ایجاد مشکل راه حل‌هایی همچون تزریق بنتونیت در پشت سپر و حفاری فضای اطراف آن با روشهای دستی جهت کاستن از اصطکاک وجود دارد ولی بهترین و موثرترین راه مقابله، جلوگیری از تعطیلی کارگاه با تعمیر و نگهداری منظم و رفع به موقع مشکلات مالی و فنی مرتبط با ماشین است.

جدول ۳-۳- مقادیر کمی و کیفی مچاله شوندگی در طول مسیر

| واحد زمین شناسی<br>مهندسی | کرنش تونل<br>(%) | توضیحات      |
|---------------------------|------------------|--------------|
| Gta1                      | 0.021            | No squeezing |
| Gta2                      | 0.001            | No squeezing |
| Gta3                      | 0.00008          | No squeezing |
| Gta4                      | 0.00001          | No squeezing |
| Sts1                      | 0.00016          | No squeezing |
| Sts2                      | 0.00003          | No squeezing |
| Tsh                       | 0.00425          | No squeezing |
| Mdg                       | 0.00033          | No squeezing |
| Cz                        | 0.15242          | No squeezing |

ماشینهای مختلف تونل‌زنی در حفاری سنگها، با مقاومت فشاری تک محوری خاصی دارای بهترین عملکرد هستند. از سوی دیگر در بعضی مقادیر مقاومت فشاری تک محوری ماده سنگ، ممکن است استفاده از یک ماشین تونل‌زنی بسیار محدود و حتی غیر ممکن باشد. لازم است ابتدا محدوده‌هایی از مقاومت فشاری تک محوری ماده سنگ، که هر یک از ماشینهای تونل‌زنی مورد نظر در آن محدوده از مقاومت فشاری تک محوری بهترین عملکرد را دارند، تعیین شود. ماشین تونل‌زنی تمام مقطع بدون سپر در حفاری تونل در سنگهای با مقاومت فشاری تک محوری بیش از 40 MPa به کار گرفته می‌شود. این نوع ماشین در زمینهای با مقاومت کم بسیار حساس هستند، به طوری که در زمینهای با



مقاومت فشاری تک محوری کمتر از 40 MPa لازم است میزان ظرفیت تاب آوری سنگ در محل دیوارگیرهای ماشین به نحوی افزایش یابد که حین تکیه کردن کفشکهای ماشین به دیواره تونل، سنگ دچار خرابی و گسیختگی نشود. همچنین حین استفاده از این ماشین ها در حفاری تونل در سنگهای با مقاومت فشاری تک محوری بسیار زیاد، لازم است پارامترهای مربوط به قابلیت حفاری ماشین به دقت طراحی شوند (منصوری بروجنی، ۱۳۸۲).

بنا به نظر گروه تحقیقاتی DAUB یک ماشین تونلزنی تمام مقطع بدون سپر در محدوده مقاومت فشاری تک محوری بین ۵۰ تا ۳۰۰ مگاپاسکال کاربرد دارد. در مقادیر بالاتر مقاومت فشاری تک محوری ماده سنگ، استفاده از این ماشینها دارای محدودیت اقتصادی است (منصوری بروجنی، ۱۳۸۲).

بنا به نظر گروه تحقیقاتی DAUB ماشینهای تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد در سنگهای شکننده و ناپایدار با مقاومت فشاری تک محوری بین ۵ تا ۵۰ مگاپاسکال کاربرد دارند. در حقیقت در سنگهای با مقاومت فشاری تک محوری بیشتر از ۵۰ مگاپاسکال این ماشین تونلزنی می تواند بکار گرفته شود ولی به علت مشکل بودن تعویض سرتمه ها، اغلب عملیات حفاری با این نوع ماشینها در سنگهای با مقاومت فشاری تک محوری بالا بسیار وقت گیر است (منصوری بروجنی، ۱۳۸۲).

ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف، چون به صورت ترکیبی از ماشین تونلزنی تمام مقطع کفشک دار و ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد است، در نتیجه مزایا و محدودیت های هر دو ماشین فوق را دارا می باشد. در زمینهای نرم مشکل فرو رفتن کفشک های ماشین را دارد و در زمینهای با مقاومت فشاری تک محوری بسیار زیاد تعویض سرتمه ها بسیار وقتگیر است ولی در این ماشین چون پوشش حائل تونل مستقل از عملیات حفاری ماشین نصب می شود و عملیات نصب

پوشش حائل تونل تحت حفاظ سپر اجرا می‌شود، در نتیجه در شرایط خاص کاربرد زیادی دارد. می‌توان گفت محدوده کاربری مناسب این ماشین تونل‌زنی در مقاومت فشاری تک محوری بین ۲۰ تا ۱۲۰ مگاپاسکال است. چون کفشکهای این نوع ماشین از کفشکهای بکار گرفته شده در ماشین تونل‌زنی تمام مقطع بدون سپر، بزرگتر هستند در نتیجه در زمین‌های با مقاومت فشاری کمتر نیز کاربرد دارند (منصوری بروجنی، ۱۳۸۲).

همچنین ماشینهای تونل‌زنی در دامنه‌های خاصی از ضریب کیفیت سنگ (RQD) عملکرد بهتری دارند. به طور کلی ماشینهای تونل‌زنی تمام مقطع بدون سپر، در محدوده مقدار ضریب کیفیت سنگ بین ۵۰ تا ۱۰۰ درصد عملکرد مناسبی دارند. در مقادیر کمتر مقدار ضریب کیفیت سنگ (RQD)، که کیفیت سنگ افت می‌کند، لازم است پایداری سینه کار تونل کنترل شود. در مقادیر ضریب کیفیت سنگ بین ۱۰ تا ۵۰ درصد، انواع ماشینهای تونل‌زنی تمام مقطع سپردار مناسب می‌باشند. البته در شرایط خاص، لازم است تدابیر خاصی در طراحی ماشین منظور شود (منصوری بروجنی، ۱۳۸۲).

یکی از عوامل اساسی که در انتخاب نوع ماشین تونل‌زنی بسیار موثر است، فاصله داری درزه‌ها می‌باشد. در زمینهایی که فاصله داری ناپیوستگی‌های موجود در محل کمتر از ۶۰ سانتی متر است، عمدتاً ماشین تونل‌زنی تمام مقطع بدون سپر، مشکلاتی در محل کفشکهای ماشین خواهد داشت. ولی ماشین تونل‌زنی تمام مقطع سپری مضاعف چون کفشکهای بزرگتری دارد بروز این مشکلات کمتر است (منصوری بروجنی، ۱۳۸۲).

زمانبندی کلی مورد نظر کارفرما برای پروژه (۷۰ ماه) و همچنین برنامه‌ریزی های زمانبندی انجام پروژه، از مهمترین مسائلی می باشد که باید مورد توجه قرار گیرد. در صورت استفاده از ماشین تمام مقطع بدون سپر و با توجه به قطر کم تونل برای بتن ریزی بر جای همزمان با اجرا و نرمهای پایین بتن ریزی در کشور (حدود ۱۲۰ متر در ماه)، برای آستر بتنی این تونل نیاز به زمانی حدود ۱۳۴ ماه از یک جبهه کار و حتی اگر امکان کار از  $K'$  (نقطه ورودی تونل) باشد، با دو جبهه کار، این زمان به ۶۷ ماه کاهش خواهد یافت که با توجه به مدت زمان ۷۰ ماهه برای کل پروژه از زمانبندی کارفرما خارج خواهد شد. شایان ذکر است که به دلیل مشکلات راههای دسترسی و فضای محدود در  $K'$  و همچنین مشکلات احتمالی ناشی از آبهای زیرزمینی، امکان تجهیز کارگاه مکانیزه دوم در نقطه  $K'$  وجود ندارد. همچنین با توجه به برنامه های زمانبندی پروژه، کل مسیر می بایست در مدت ۴۳ ماه حفاری و سگمنت گذاری شود. با فرض ۲۵ روز کاری در ماه و نرم مورد نیاز ۳۷۲ متر در ماه یا ۱۵ متر در روز می بایست ماشینی با سرعت بالا انتخاب کرد تا با احتمال برخورد با برخی مشکلات در طول مسیر و توقفهای ناخواسته و همچنین طول زیاد تونل، بتوان با سرعت بیشتری حفاری کرد (مؤسسه حرا، ۱۳۸۲).

برای انتخاب مناسب ماشینهای تونلزنی تمام مقطع می بایست، سرعت حفاری مد نظر قرار بگیرد. بطور کلی، سرعت حفاری ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف به طور تئوریک دو برابر ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد و در عمل بر اساس آمار پروژه های مشابه، ۳۰ درصد بیشتر است. ماشین تونلزنی بدون سپر نیز همین برتری را بر ماشین تونلزنی سپری منفرد دارد با این تفاوت که ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف به دلیل نصب همزمان سگمنت در پایان حفاری، اجرای

تونل را تکمیل می کند ولی پس از حفاری با ماشین تونلزنی تمام مقطع بدون سپر، تونلسازی تمام نشده و فعالیت بتن ریزی آغاز می شود و به این ترتیب زمان بتن ریزی بر زمان اجرای تونل افزوده خواهد شد. همچنین با استناد به پروژه های مشابه در جهان استفاده از ماشین تونلزنی سپری منفرد در طولهای بطور متوسط ۳/۵ کیلومتر رایج می باشد و طولانی ترین طول کار شده با توجه به اطلاعات موجود، ۸ کیلومتر در ترکیه بوده است. درحالیکه این طول متوسط برای ماشین تونلزنی سپری مضاعف حدود ۱۰ کیلومتر می باشد و سابقه اجرای تونل با طول بیش از ۱۵ کیلومتر از یک دهانه با این ماشین وجود داشته است (مؤسسه حرا، ۱۳۸۲).

با توجه به خارج بودن بازه زمانی انجام آستر بتنی از کل زمان محدود انجام پروژه (۷۰ ماه) و عدم توانایی کفشک زدن در واحدهای زمین شناسی مهندسی Gta1 و Cz بدلیل فاصله داری اندک دسته درزه ها ( $\text{Spacing} \leq 60\text{cm}$ )، پایین بودن مقاومت فشاری تک محوری ( $\sigma_c < 40\text{MPa}$ ) و ضریب کیفیت سنگ ( $\text{RQD} < 50\%$ )، استفاده از ماشین تونلزنی تمام مقاطع بدون سپر در این پروژه رد می شود.

وجود زونهای خرد شده (Cz) و زونهای با فاصله داری اندک دسته درزه ها (Gta1) در طول مسیر، احتمال ریزش فضای حفر شده بلافاصله پس از حفاری را محتمل می سازد. به این ترتیب استفاده از سپر به منظور نگهداری فضای حفاری شده، قبل از نصب قطعات پیش ساخته بتنی امری لازم و اجتناب ناپذیر است، همچنین بدلیل منتفی بودن پتانسیل مچاله شوندگی درطول مسیر، محدودیتی از لحاظ همگرایی و گیرکردن بدلیل مچاله شوندگی برای انتخاب ماشین تونلزنی تمام مقطع سپردار وجود ندارد. در بین سه نوع ماشین تونلزنی تمام مقطع سپردار، استفاده از ماشین سپری تعادلی با فشار زمین بدلیل کاربرد خاص آن در زمینهای خاکی و ریز دانه (شکل ۳-۱) و با

توجه به شرایط لیتولوژیکی مسیر تونل برای پروژه منتفی می باشد. در نهایت بین دو ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف و ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد بنا به مجموعه دلایل زیر، ماشین تونلزنی سپری مضاعف (D.S.TBM) علیرغم هزینه سرمایه گذاری بالاتر و پیچیدگی اجرای بیشتر آن نسبت به ماشین تونلزنی سپری منفرد (S.S.TBM) برای حفاری و سگمنت گذاری قطعه اول تونل انتقال آب از سد امیرکبیر به تصفیه خانه ششم تهران، انتخاب می شود:

۱- امکان کفشک زدن برای ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف (D.S.TBM) در طول زیادی از مسیر (نواحی با مقاومت فشاری تک محوری  $20 \text{ MPa} < \sigma_c < 120 \text{ MPa}$ ).

۲- صرف زمان زیاد برای حفاری به خاطر مشکل بودن تعویض سرمته ها در ماشین تونلزنی تمام مقطع سپرداری منفرد (S.S.TBM) هنگام عبور از زونهای با مقاومت بالاتر از ۵۰ مگا پاسکال در طول مسیر (Gta3، Gta4 و ...).

۳- نیاز به سرعت بیشتر حفاری برای امکان پذیری اتمام پروژه در موعد مقرر (۴۳ ماه).

۴- ترجیح ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف نسبت به ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد به دلیل متراژ زیاد تونل (حدود ۱۶ کیلومتر).

شایان ذکر است مشکلاتی همانند وجود رگه های کوارتزی و سینه کار مختلط که باعث سایش سریع دیسکهای حفاری می شود و همچنین نفوذ آب زیرزمینی به داخل تونل، از دیگر مشکلاتی است که در صورت بروز باعث ایجاد توقفهای ناخواسته در کار تونلسازی خواهد شد. این مشکلات بین همه انواع TBM مشترک است ضمن اینکه کنترل آبهای ورودی به تونل در ماشینهای سپردار با امکان کار در جبهه کار بسته آسانتر از ماشینهای باز (بدون سپر) می باشد.

# فصل چهارم

پیش بینی سرعت نفوذ و سرعت پیشروی ماشین

درمسیرتونل کرج بر اساس روش تجربی QTBM

## ۴-۱- مقدمه

سرعت تونلسازی با TBM بر حسب شرایط زمین شناسی می تواند از ۱۵ کیلومتر در سال تا ۱۵ متر در سال (یا حتی کمتر) تغییر کند (Barton&Itoh, 2000). مشکل حفاری با TBM هنگامی است که شرایط زمین خیلی نامطلوب یا خیلی خوب (توده سنگ مقاوم بدون درزه و یکپارچه) باشد. در واقع در دو حالت حدی به لحاظ شرایط زمین شناسی، ممکن است گزینه های دیگر تونلسازی نظیر آتشباری نتیجه ای بهتر از TBM بدهد (Barton&Itoh, 2000). به عنوان مثال در سال ۱۹۶۷ میلادی در یک پروژه تونلسازی که با TBM ساخت Robbins اجرا می شد، ۷/۵ کیلومتر از تونل در مدت ۴ ماه (که یک رکورد محسوب می شود)، اجرا شده است. در همین پروژه، ۲۷۰ متر از تونل که از مصالح رسوبات یخچالی عبور می کرد، طی مدت ۷ ماه اجرا شد. کاهش سرعت پیشروی از ۲/۵ متر در ساعت به ۰/۰۵ متر در ساعت در این پروژه، دلیلی بر تأثیر شرایط زمین شناسی است (Barton&Itoh, 2000). بنابراین کسب اطلاعات دقیق از شرایط زمین قبل از شروع حفاری اجتناب ناپذیر می باشد. با آگاهی از شرایط زمین و ارزیابی صحیح نحوه عملکرد عوامل موثر بر کارکرد TBM می توان تا حدود زیادی کارکرد TBM در شرایط مورد نظر را پیش بینی کرد. در این فصل بعد از شرح مفاهیم اساسی کارکرد TBM (نظیر سرعت نفوذ، سرعت پیشروی، ضریب بهره وری) و عوامل

مؤثر بر سرعت نفوذ با استفاده از روش تجربی  $Q_{TBM}$ ، سرعت نفوذ و سرعت پیشروی TBM در واحدهای زمین شناسی مهندسی مختلف مورد ارزیابی قرار می‌گیرد.

#### ۲-۴- مفاهیم اساسی کارکرد TBM

در کار تونلسازی مکانیزه برای بیان کارکرد TBM از پارامترهای نظیر سرعت نفوذ، ضریب بهره‌وری و سرعت پیشروی استفاده می‌شود که در زیر شرح داده شده‌اند:

##### ۲-۴-۱- سرعت نفوذ<sup>۱</sup>

این پارامتر بیانگر سرعت نفوذ ماشین TBM در سنگ به هنگام حفاری است و از مشخصات ماشین و برخی خواص سنگ بکر (اغلب مقاومت فشاری تک محوری) و پارامترهای توده سنگ (نظیر جهت داری و فاصله داری ناپیوستگی‌ها و ...) تأثیر می‌پذیرد.

##### ۲-۴-۲- بهره‌وری<sup>۲</sup> TBM

نرخ بهره‌وری یک ماشین حفار در واقع زمان واقعی حفاری در یک توده سنگ خاص می‌باشد که معمولاً به صورت درصدی از شیف‌ت کاری بیان می‌شود. به عبارت دیگر ضریب بهره‌وری عبارتست از زمان خالص حفاری به کل زمان کاری. بهره‌وری یک TBM به تأخیرات ناشی از نصب سیستم نگهدارنده، تعمیرات ماشین، تعویض تیغه‌های برش و همچنین مدیریت سایت بستگی دارد.

1 Penetration rate

2 Utilization



۴-۲-۳- سرعت پیشروی<sup>۱</sup>

این پارامتر، در اصل به دو فعالیت اساسی تونلسازی شامل حفاری سنگ و نصب سیستم نگهدارنده و سایر فعالیت های زمان بر بستگی دارد. نصب سیستم نگهدارنده و فعالیتهای زمان بر دیگر (نظیر برنامه نگهداری و تعمیرات) و تأخیرات ناخواسته (نظیر قطع برق، تأخیر در تخلیه، خرابی ماشین و ...) متوسط سرعت نفوذ را تا حد زیادی کاهش می دهند. این کاهش تحت عنوان بهره وری متوسط ماشین TBM تعریف می شود. بنابراین با آگاهی از سرعت نفوذ واقعی می توان سرعت پیشروی متوسط را از طریق کاهش سرعت نفوذ واقعی، بر اساس مقدار بهره وری TBM بدست آورد. در واقع حاصل ضرب سرعت نفوذ در ضریب بهره وری را سرعت پیشروی می نامند یعنی (Barton, 2000) :

$$AR = PR \times U(\%)$$

رابطه (۴-۱)  
که در آن :  
AR : سرعت پیشروی (m/hr)  
PR : سرعت نفوذ (m/hr)  
U : ضریب بهره وری در یک مدت زمان معین بر حسب درصد

## ۴-۳- عوامل موثر در سرعت نفوذ TBM

مطالعات گسترده نشان داده است که بیشتر پارامترهای مهم که در بررسی کارکرد ماشین TBM بکار می رود به دو دسته اصلی "شرایط زمین" و "ویژگیهای ماشین" تقسیم می شود.

## ۴-۳-۱- شرایط زمین

پارامترهای مرتبط با ویژگی های ماده سنگ و توده سنگ در این دسته قرار می گیرند که در زیر به آنها اشاره شده است (Ramezanzadeh et al, 2003).

---

1 Advance rate

## الف) ویژگی ماده سنگ

- مقاومت ماده سنگ ( مقاومت فشاری تک محوری "UCS"، مقاومت کششی برزیلی "BTS"، شاخص بار نقطه ای "I<sub>50</sub>" )
- سفتی<sup>۱</sup> (شاخص نفوذ پانچ<sup>۲</sup>، شاخص شکست سفتی<sup>۳</sup>)
- سختی<sup>۴</sup> و قابلیت چالخوری<sup>۵</sup>
- شکنندگی<sup>۶</sup>
- ساینده‌گی<sup>۷</sup>
- دیگر پارامترها ( نسبت پواسون<sup>۸</sup> "ν"، مدول الاستیک<sup>۹</sup> "E"، زاویه اصطکاک داخلی<sup>۱۰</sup> "φ"، تخلخل<sup>۱۱</sup>، اندازه ذرات بافت<sup>۱۲</sup> و...).
- نتایج تعیین پارامترهای مختلف ماده سنگ در فصل دوم ارائه شده است. از این نتایج برای پیش‌بینی کارکرد TBM توسط روش تجربی Q<sub>TBM</sub> استفاده خواهد شد.

## ب) ویژگی توده سنگ

- وجود رگه های کوارتز و سایر کانیهای ساینده
- عملکرد گسلها و زونهای برشی عمده
- وجود تناوب سنگهای سخت و نرم در سینه کار
- درجه خرد شدگی و نوع درزه

---

1 Toughness  
 2 Punch Penetration index  
 3 Fracture Toughness index  
 4 -Hardness  
 5 -Drillability  
 6 -Brittleness  
 7 -Abrasion  
 8 -Poisson  
 9 -Elasticity module  
 10 I-nternal friction angle  
 11 -Porosity  
 12 -Grain size

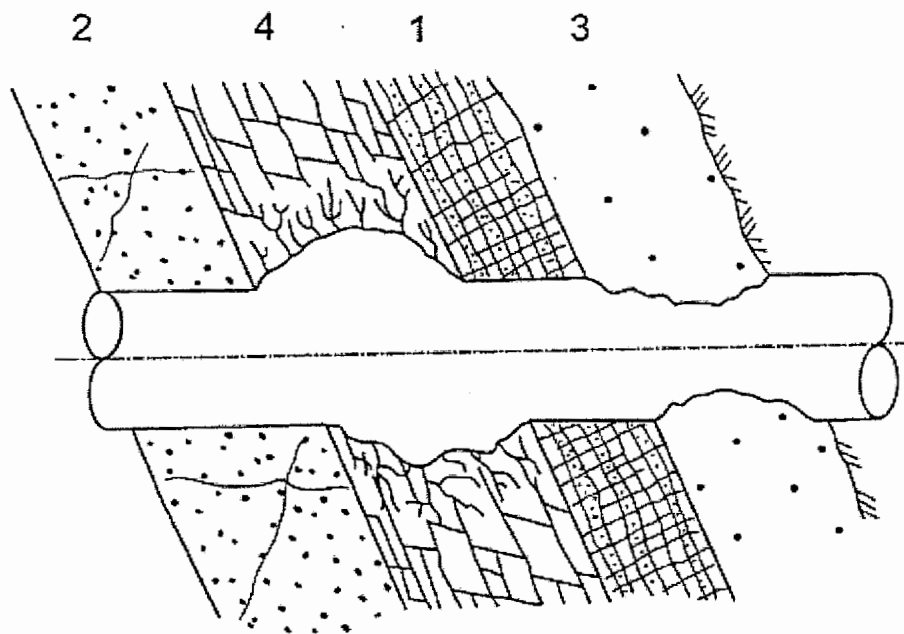
• شیب و جهت شیب درزه ها و ارتباط آنها با محور تونل

• مقاومت و خواص دگر شکلی پذیری توده سنگ

• فاصله ناپیوستگی، RQD

دسته درزه های توده سنگ می توانند در کارکرد ماشین نقش اساسی داشته باشند. معمولاً کمتر شدن فاصله بین شکستگیها به منزله تأثیر بیشتر در سرعت نفوذ ماشین است. شرایط زمین شناسی مثل گسل ها و آب زیر زمینی نیز نقش اساسی در انتخاب ماشین، کاربرد آن، عملکرد دستگاه و نرخ تولید آن دارد. آنالیز عملکرد اجرایی TBM های مختلف در پروژه های گوناگون با ویژگیهای زمین‌شناسی متفاوت، مبنای برآورد عملکرد واقعی دستگاه می باشد. به طور خلاصه می توان توده سنگ را بر حسب شرایط زمین‌شناسی آنها و رفتار آنها در پروژه های تونلسازی به چهار رده عمده شامل سنگ های درزه‌دار، سنگهای توده ای سخت، سنگهای مچاله شونده و سنگهای گسلش یافته تقسیم بندی نمود. کارکرد TBM در هر یک از این گونه توده سنگ ها ویژگیهای خاص خود را داراست. شکل ۴-۱ این تقسیم بندی را نشان می دهد.

در پروژه تونل انتقال آب کرج، شرایط توده سنگ در بخشهای مختلف مسیر متفاوت می باشد به طوریکه با توجه به شکل ۴-۱ احتمال برخورد با سه کلاس از کلاس بندی فوق وجود دارد. به عنوان مثال بخش زیادی از توده سنگهای توفی مسیر تونل (واحد Gta2، Gta3، Sts1) را می توان در کلاس ۱ (سنگهای درزه دار) قرار دارد. پیش بینی می شود که با توجه به خصوصیات فیزیکی و مکانیکی این سنگها حفاری در آنها با استفاده از TBM چندان دشوار نباشد. زونهای خرد شده وگسله های موجود در مسیر تونل را می توان در کلاس ۴ طبقه بندی کرد.



شکل ۴-۱ چهار رده عمده شرایط زمین در بحث تونلسازی (Bradly, 1978)

- ۱- سنگهای متخلخل درزه دار: حفاری آن آسان است، بار زیادی بر پوشش بتنی وارد نمی شود.
- ۲- سنگهای توده ای سخت: حفاری آن مشکل است و اغلب نیاز به تعویض تیغه های برش وجود دارد. بار وارد بر پوشش بتنی تونل حداقل است.
- ۳- سنگهای تحت تنش زیاد فشارنده: استفاده از ماشین در این سنگها مشکلاتی به همراه دارد و نیاز به اضافه حفاری دارد (برای اینکه بعد از همگرایی تونل، ماشین گیر نکند) فشار وارد بر پوشش بتنی زیاد است.
- ۴- سنگهای گسله ای: حفاری در این سنگها اضافه حفاری ناخواسته به همراه دارد. سایش ناخنهای دستگاه زیاد است. برای انجام زهکشی بایستی توقفات زیادی داشت. نیاز به تزریق و بهسازی زمین است. بار وارد بر پوشش بتنی بسیار زیاد است.

مسلماً در این زونها اضافه حفاری های ناخواسته رخ خواهد داد. هجوم آب از دیگر مشکلاتی است که به ویژه در زونهای خرد شده پتانسیل وقوع خواهد داشت. در هر دو صورت احتمال زیاد وقفه در حفاری تونل پیش بینی می شود. تزریق مقدماتی<sup>۱</sup> هنگام رسیدن به این زونها از جمله کارهایی است که می تواند به کارگرفته شود. برای شناسایی محل دقیق این زونها لازم است با استفاده از نتایج مطالعات زمین شناسی مهندسی، در نزدیکی این زونها، حفاری پیشرو<sup>۲</sup> صورت گیرد. رفتار واحدهای

1 -Pre-injection  
2 -Probe drilling

سنگی Sts2 و Gta4 که طول زیادی از مسیر تونل را در بر می گیرند را می توان تا حدودی مشابه سنگهای رده ۲ دانست. به دلیل فاصله داری زیاد درزه ها و استحکام بالای سنگها، حفاری آنها با استفاده از TBM دشوار بوده و مصرف کاترها بیشتر از سایر بخشها خواهد بود. سرعت نفوذ ماشین در این واحدها حداقل پیش بینی می شود. اما با توجه به پایداری سنگها در دیواره تونل بهره وری ماشین می تواند بیشتر از سایر بخشها باشد.

#### ۴-۳-۲- ویژگی های ماشین

کلیه پارامترهای فنی ماشین TBM می تواند در این دسته در نظر گرفته شود که مهمترین آنها به شرح زیر می باشد (Ramezanzadeh et al, 2003).

- نیروی رانش
  - گشتاور
  - RPM (دور بر دقیقه کله حفاری)
  - توان
  - مشخصات دیسک از قبیل:
    - ♦ تعداد دیسک ها در کله حفاری (و فاصله شان)
    - ♦ هندسه دیسک (قطر، عرض ناخن، زاویه نوک ناخن)
    - ♦ ویژگی مکانیکی دیسک (ماکزیمم ظرفیت بارگذاری، سرعت مجاز)
- برای حفاری تونل انتقال آب کرج از ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف ساخت شرکت Herrenknecht استفاده خواهد شد که در جدول ۴-۱ مشخصات فنی ماشین آورده شده است.

## جدول ۴-۱- مشخصات فنی ماشین تونل‌زنی تمام مقطع سپری مضاعف

ساخت شرکت Herrenknecht (مؤسسه حرا، ۱۳۸۴)

| مشخصات فنی ماشین                | واحد              | اندازه/ تعداد |
|---------------------------------|-------------------|---------------|
| قطر حفاری                       | m                 | ۴/۶۶          |
| توان کله حفاری                  | KW                | ۱۲۵۰          |
| نیروی رانش پیشروی               | KN                | ۱۵۴۶۳         |
| گشتاور پیچشی اسمی               | KNm               | ۱/۰۲۹(11rpm)  |
| سرعت دوران کله حفاری            | rpm               | ۰ - ۱۱        |
| فاصله اسمی دیسکها               | mm                | ۹۰            |
| قطر دیسکهای (استاندارد و مرکزی) | mm                | ۴۳۲           |
| تعداد کلی دیسکها                | کمی               | ۳۰ عدد        |
| حداکثر توان نصب شده             | KW                | ۲۲۵۰          |
| عرض نوار نقاله                  | mm                | ۶۵۰           |
| سرعت نوار نقاله                 | m/s               | ۲             |
| ظرفیت نوار نقاله                | m <sup>3</sup> /h | ۲۰۰           |

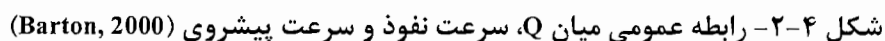
۴-۴- پیش‌بینی کارکرد ماشین توسط روش تجربی Q<sub>TBM</sub>

در این بخش از روش جدیدی برای پیش‌بینی سرعت نفوذ (PR) و سرعت پیشروی (AR) در

پروژه تونل انتقال آب کرج استفاده می‌شود. این روش بر اساس نگارش جدید از سیستم رده بندی Q

توسط بارتن بنا نهاده شده است (Barton, 2000).

رده بندی Q بر مبنای تونل هایی که توسط آتشیباری حفر شده اند در سال ۱۹۴۷ توسط بارتن و همکارانش پیشنهاد شده است (Bieniawski, 1974). در حال حاضر این رده بندی، سنگها را به شش رده تقسیم می کند. مقدار Q از ۰/۰۰۱ در سنگهای شدیداً ضعیف تا ۱۰۰۰ در سنگهای سخت و بدون درزه متغیر است. رابطه عمومی Q با سرعت نفوذ در سرعت پیشروی واقعی که در دوره های طولانی مدت اندازه گیری شده در شکل ۴-۲ ارائه شده است. همانطور که از این شکل مشخص است، مقدار Q می تواند تا حدی در تخمین مقادیر سرعت نفوذ و سرعت پیشروی استفاده شود، اما این پارامتر بدون تصحیح و اضافه کردن پارامترهای اندرکنش سنگ و ماشین کفایت لازم برای انجام این کار را ندارد.



بنابراین بارتن روش Q<sub>TBM</sub> را در سال ۲۰۰۰ از تحلیل ۱۴۵ تونل ارائه داد (Barton, 2000). در

روش Q<sub>TBM</sub> برای تخمین سرعت نفوذ و پیشروی ماشین، جهت‌داری درزه‌ها، بافت، مقاومت فشاری،

شاخص بار نقطه‌ای و مقاومت کششی سنگ در نظر گرفته شده‌اند.

همچنین شاخص عمر تیغه (CLI) (بر اساس اندیس عمر تیغه برش دانشگاه Trondheim)،

درصد کانیهای ساینده، متوسط بار تیغه، مقاومت توده سنگ و سطح تنش سنگ نیز در نظر گرفته

شده‌اند. در واقع نامبرده در رابطه اصلی روش Q (بارتون ۱۹۷۴، رابطه ۴-۲) اصلاحاتی را انجام داده و

رابطه اصلی Q<sub>TBM</sub> (رابطه ۴-۳) را به صورت زیر ارائه کرده است (Barton, 2000).

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad \text{رابطه (۴-۲)}$$

$$Q_{TBM} = \frac{RQD_0}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \times \frac{SIGMA}{F^{10}/20^9} \times \frac{20}{CLI} \times \frac{q}{20} \times \frac{\sigma_\theta}{5} \quad \text{رابطه (۴-۳)}$$

که در آن :

RQD<sub>0</sub> : شاخص کیفی توده سنگ در جهت محور تونل

J<sub>n</sub> : عدد مربوط به دسته درزه

J<sub>r</sub> : عدد مربوط به زبری سطح درزه

J<sub>a</sub> : عدد مربوط به هوازدگی و دگرسانی درزه‌ها

J<sub>w</sub> : عدد مربوط به وضعیت آب درزه‌ها

SRF : ضریب کاهش تنش

F : نیروی رانش متوسط به ازای هر تیغه

SIGMA : معرف مقاومت فشاری توده سنگ

CLI : شاخص عمر تیغه

q : درصد کوارتز

σ<sub>θ</sub> : تنش مماسی ایجاد شده در سینه کار تونل (بر حسب MPa) است که برای عمق ۱۰۰ متر نرمال شده است.

پارامتر σ<sub>θ</sub> از جنس تنشهای حول دیواره استوانه‌ای تونل می‌باشد و بستگی زیادی به K (نسبت تنش

افقی به قائم) دارد. این پارامتر برای دیواره سینه کار فضاهای زیر زمینی از رابطه زیر بدست می‌آید.

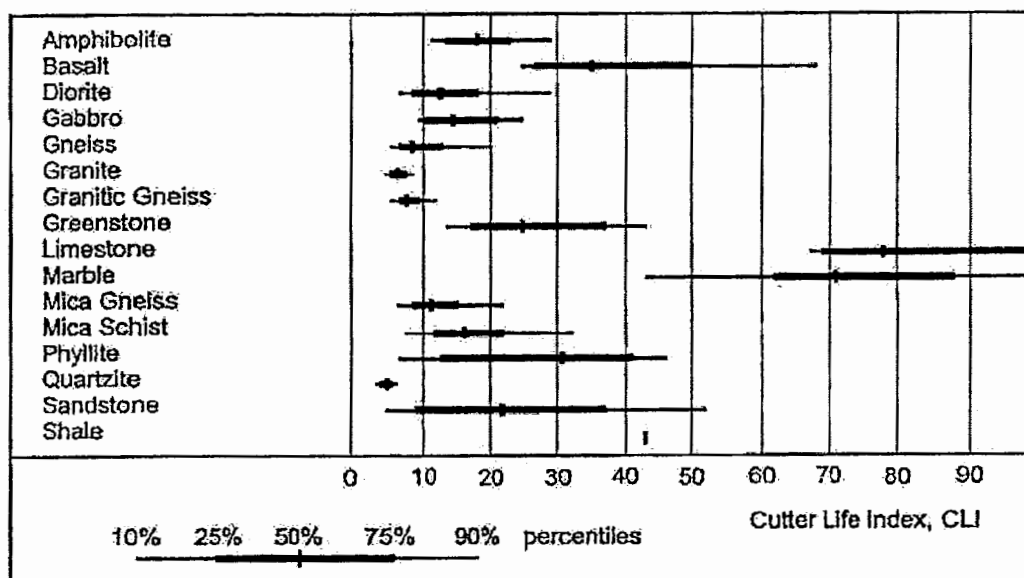


$$\sigma_\theta = (3 - K) \times \sigma_v \quad \text{رابطه (۴-۴)}$$

که در آن  $\sigma_v$  تنش عمودی است که تابع عمق تونل و چگالی سنگها می باشد (فاروق حسینی، ۱۳۷۹).

در محاسبه  $\sigma_v$  مقادیر وزن مخصوص متوسط سنگهای روباره و نسبت تنش افقی به قائم به ترتیب  $۲۶ \text{ KN/m}^3$  و ۱ انتخاب شده اند.

در رابطه  $Q_{TBM}$ ، پارامترهای  $J_r$  و  $J_a$  براساس ناپیوستگی بحرانی (ناپیوستگی که بیشترین کمک را در جهت تسهیل حفاری می کند) نمره‌دهی می شوند (Barton, 2000). بعلت تأثیر زیاد فاصله‌داری ناپیوستگی ها در سرعت حفاری، در بین ناپیوستگی های موجود در هر واحد زمین شناسی مهندسی، ناپیوستگی با کمترین فاصله داری به عنوان ناپیوستگی بحرانی، قلمداد شده است. مقدار پارامتر CLI با توجه به عدم امکان انجام آزمایشات لازم از طریق شکل ۴-۳ قابل تخمین می باشد.



شکل ۴-۳- دامنه تغییرات شاخص عمر تیغه در سنگهای مختلف (مؤسسه مهندسی مشاور ساحل، ۱۳۸۴)

مقاومت توده سنگ (SIGMA) را می‌توان با استفاده از دانسیته سنگ و مقدار  $Q$ ، بر اساس رابطه

Singh ( $SIGMA = 5.7 \cdot Q^{\frac{1}{3}}$ ) محاسبه کرد (به شرطی که در محاسبه مقدار  $Q$ ، از  $RQD_0$  استفاده شده

باشد). در رابطه Singh مقدار  $Q$  براساس مقاومت تک محوری سنگ ( $\sigma_c$ ) نسبت به ۱۰۰ MPa

(با رابطه  $Q_c = Q(\frac{\sigma_c}{100})$ ) و براساس اندیس بارنقطه ای ( $I_{50}$ ) نسبت به ۴ MPa

(با رابطه  $Q_i = Q(\frac{I_{50}}{4})$ ) نرمالیزه می شود (Barton, 2000).

رابطه (۵-۴) برای جهت داری نامطلوب  $SIGMA = SIGMA_{cm} = 5.\gamma.Q_c^{1/3}$

رابطه (۶-۴) برای جهت داری مطلوب  $SIGMA = SIGMA_{tm} = 5.\gamma.Q_i^{1/3}$

انتخاب  $SIGMA_{cm}$  و  $SIGMA_{tm}$  به جهت‌داری ناپیوستگی‌ها بستگی دارد (Barton, 2000).

در واقع موقعی که عملیات حفاری بر مقاومت فشاری غلبه کند از رابطه (۵-۴) و موقعی که

عملیات حفاری بر مقاومت کششی غلبه کند از رابطه (۶-۴) برای بدست آوردن مقاومت توده سنگ

استفاده می شود (Barton, 2000). جهت‌داری ناپیوستگی‌ها از جنبه نفوذ تیغه غلتان به داخل سنگ

می تواند به عنوان مطلوبترین جهت‌داری (سطوح ناپیوستگی با سطح سینه کار موازی باشند  $\beta = 0^\circ$ ) و

نامطلوبترین جهت‌داری (سطوح ناپیوستگی بر سطح سینه کار عمود باشند  $\beta = 90^\circ$ ) قلمداد شود.

شکلهای ۴-۴ و ۵-۴ به ترتیب روند برش از طریق نفوذ تیغه غلتان و روند کلی مورد انتظار برای

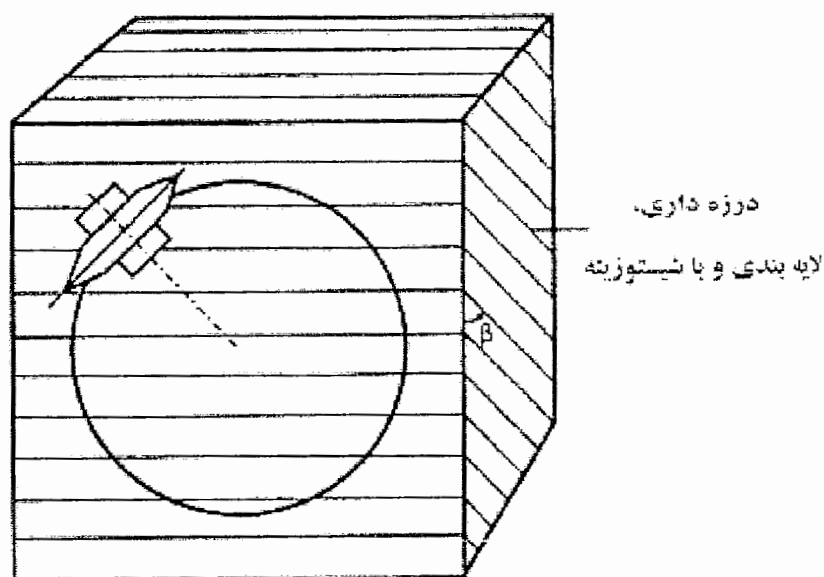
سرعت نفوذ با توجه به جهت‌داری بافت و نسبت سرسختی سنگ  $\frac{\sigma_c}{I_{50}}$  را نشان می دهند.

بنابراین برای مشخص کردن میزان مطلوبیت جهت داری ناپیوستگی‌های فی ما بین دو حالت حدی،

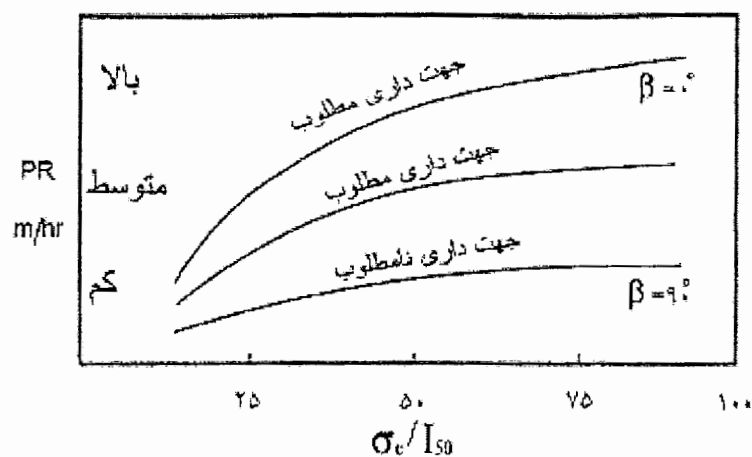
زوایای  $\beta \leq 45^\circ$  به عنوان جهت داری مطلوب و  $\beta > 45^\circ$  به عنوان جهت داری نامطلوب در نظر گرفته

شده اند. برای سادگی محاسبات جهت داری دو مسیر قوسی ( $P1-P2$  و  $P3-P4$ ) تونل به صورت

مستقیم فرض شده اند.



شکل ۴-۴- نفوذ تیغه غلتان وقتی  $\beta = 90^\circ$  باشد کمترین کارایی را دارد که به شدت به ناهمسانی شاخص مقاومت بار نقطه ای سنگ وابستگی دارد (Barton, 2000).



شکل ۴-۵- روند کلی مورد انتظار برای سرعت نفوذ نسبت به جهت‌داری

بافت و نسبت سر سختی سنگ ( $\frac{\sigma_c}{I_{50}}$ ) (Barton, 2000).

#### ۴-۴-۲- روابط کلی بین سرعت نفوذ و سرعت پیشروی با Q<sub>TBM</sub>

بارتن (۲۰۰۰) براساس سعی و خطا مبتنی بر پردازش اطلاعات پروژه های اجرا شده قبلی رابطه

بین سرعت نفوذ و Q<sub>TBM</sub> را بصورت زیر ارائه کرده است :

$$PR \approx 5 \cdot Q_{TBM}^{-\frac{1}{5}} \quad \text{رابطه (۷-۴)}$$

همچنین تحلیل پروژه های گذشته نشان می‌دهد که بهره‌وری TBM با گذر زمان، بصورت لگاریتمی یکنواخت (رابطه ۸-۴) کاهش می‌یابد (Barton, 2000).

$$U = T^m \quad \text{رابطه (۸-۴)}$$

که در آن:

T : زمان بر حسب ساعت

m : ضریبی است که بصورت منفی در فرمول فوق وارده می شود و از رابطه ۹-۴ ارائه شده توسط بارتن بدست می آید (Barton, 2000).

$$m = m_1 \left( \frac{D}{5} \right)^{0.2} \left( \frac{20}{CLI} \right)^{0.15} \left( \frac{q}{20} \right)^{0.1} \left( \frac{n}{2} \right)^{0.05} \quad \text{رابطه (۹-۴)}$$

که در آن:

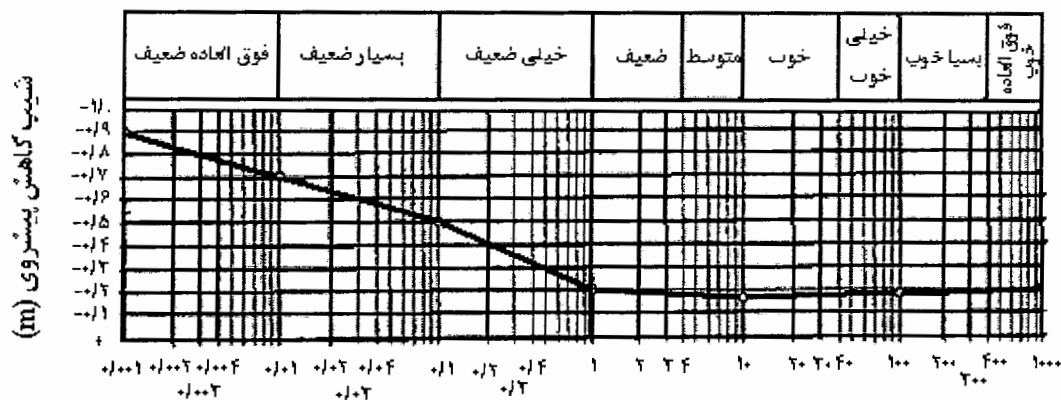
CLI : شاخص عمر تیغه

D : قطر تونل (m)

n : در صد تخلخل (%)

q : در صد کوارتز (%)

$m_1$  : گرادیان منفی که مقدار آن را می توان با توجه به شکل ۶-۴ بدست آورد.  
اگر n و q صفر باشند مقدار آنها ۰/۰۵ لحاظ می شود (Barton, 2000).



$$Q = \left( \frac{RQD}{J_r} \right) \times \left( \frac{J_c}{J_r} \right) \times \left( \frac{J_{sr}}{SRF} \right)$$

شکل ۶-۴- تعیین مقدار شیب  $m_1$  با استفاده از مقدار Q (Barton, 2000).

بنابراین با در نظر گرفتن رابطه ۴-۱ بین سرعت پیشروی (AR) و  $Q_{TBM}$  رابطه زیر برقرار است:

$$AR = 5 \cdot Q_{TBM}^{-0.2} \cdot T^m \quad \text{رابطه (۴-۱۰)}$$

میان سرعت نفوذ و زمان مورد نیاز برای حفر تونلی به طول L نیز رابطه ۴-۱۱ برقرار است

(Barton, 2000):

$$T = \left( \frac{L}{PR} \right)^{\frac{1}{1+m}} \quad \text{رابطه (۴-۱۱)}$$

همچنین رابطه عمومی میان معیار  $Q_{TBM}$  و پارامترهای سرعت نفوذ و سرعت پیشروی در شکل

۴-۷ ارائه شده است. توصیفات ارائه شده در بالای این شکل، صعوبت و سهولت حفاری در زمین مورد

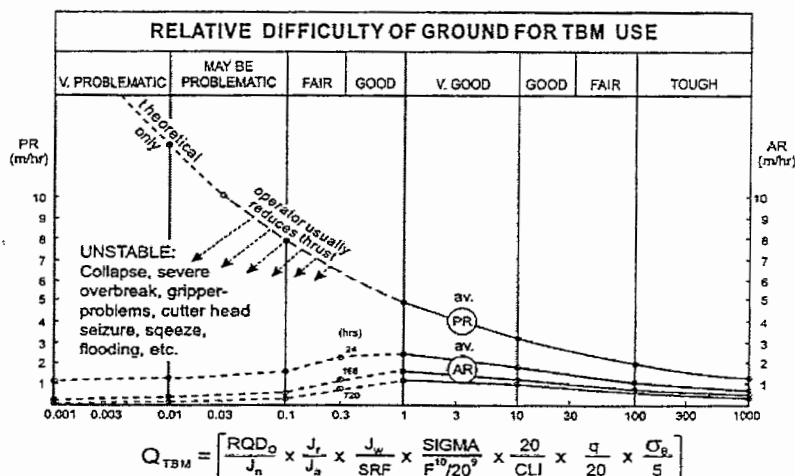
نظر را نشان می‌دهند. با معلوم بودن مقادیر  $Q_{TBM}$  می‌توان از طریق شکل ارائه شده ۴-۷ یا روابط

فوق سرعت نفوذ و سرعت پیشروی TBM را در واحدهای زمین‌شناسی مختلف پیش‌بینی نمود.

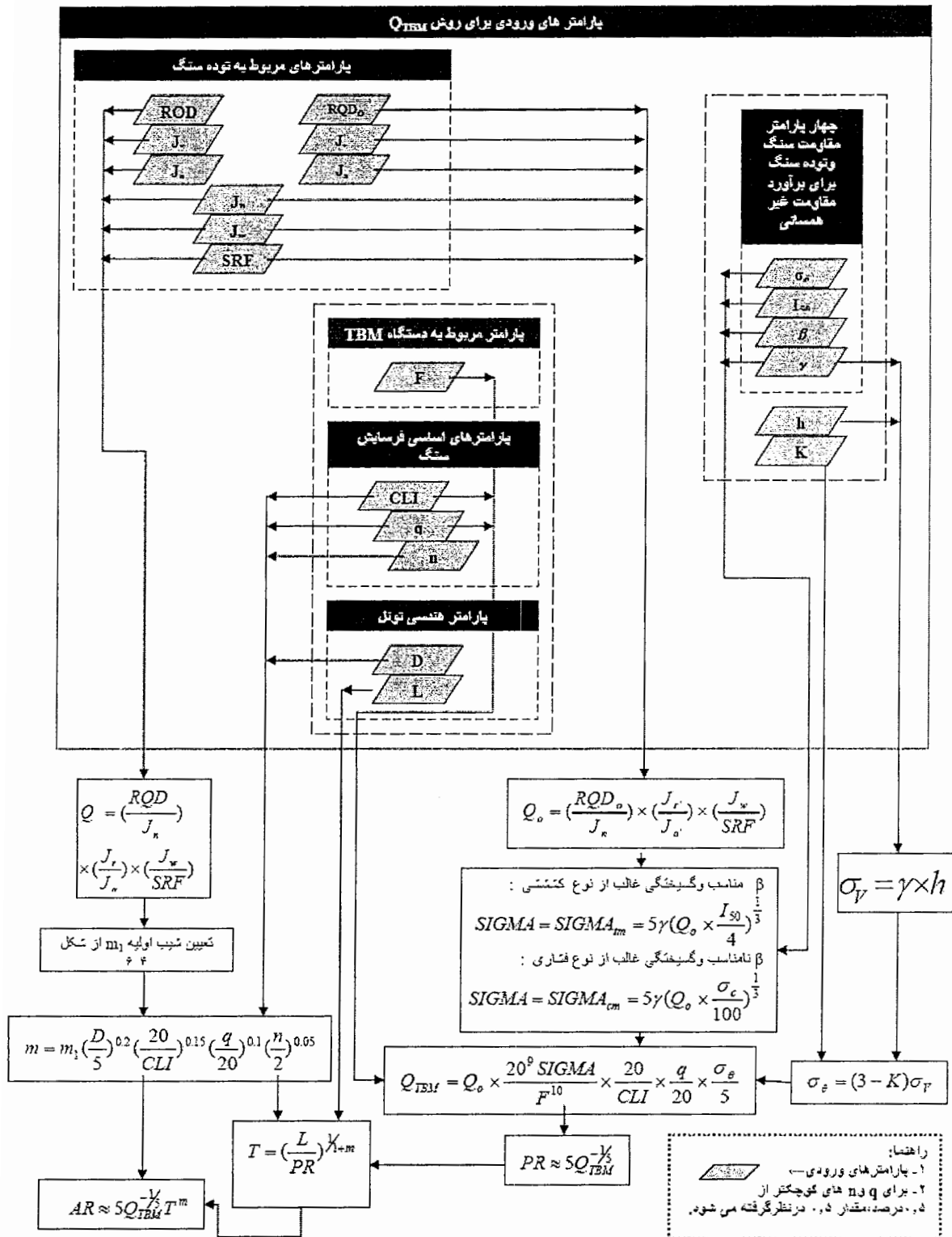
شکل ۴-۸، فلوجارت کلی روش  $Q_{TBM}$  را بر اساس کلیه پارامترهای ورودی نشان می‌دهد. این

فلوجارت برگرفته شده از مطالب ارائه شده توسط بارتن برای استفاده از روش  $Q_{TBM}$  می‌باشد که

برای سادگی استفاده از این روش تنظیم شده است.



شکل ۴-۷- رابطه پیشنهادی بین سرعت نفوذ و سرعت پیشروی و  $Q_{TBM}$  (Barton, 2000)

شکل ۴-۸- فلوچارت کلی روش Q<sub>TBM</sub>

RQD: ضریب کیفیت سنگ، RQD<sub>o</sub>: ضریب کیفیت سنگ در جهت حفر تونل،  $J_R$ : عدد زبری،  $J_n$ : عدد هوازدگی،  $J_w$ : عدد زبری برای درزه ای که مؤثر در نفوذ تیغه است،  $J_a$ : عدد هوازدگی برای درزه ای که مؤثر در نفوذ تیغه است،  $J_n$ : عدد دسته درزه،  $J_w$ : شاخص آب درزه، SRF: فاکتور کاهش تنش،  $\sigma_c$ : مقاومت فشاری تک محوری (MPa)،  $I_{50}$ : شاخص بار نقطه ای،  $\beta$ : زاویه سطح مقطع تونل با صفحه ناپیوستگی،  $\gamma$ : چگالی ( $gr/cm^3$ )، h: ارتفاع روباره (عمق تونل)، k: نسبت تنش افقی به قائم، F: نیروی رانش به ازای هر تیغه (tnf)، CLI: شاخص عمر تیغه، q: در صدکوارتز، n: در صد تخلخل، D: قطر تونل (m)، L: طول مشخص از تونل (m).

## ۴-۵- شرایط زمین‌شناسی مسیر تونل

براساس مطالعات زمین‌شناسی و زمین‌شناسی مهندسی مسیر قطعه اول (ET-K') تونل انتقال آب کرج از درون سنگهای آذر آواری مانند توف، توفیت، آگلومرا، ماسه سنگهای توفی، توفهای ماسه ای و شیلی و ... ، که در سازند آذر آواری کرج قرار دارند، عبور می‌کند و قسمتی از آن نیز از سنگهای آذرین نفوذی مانند مونزودیوریت، مونزوگابرو و ... ، که آثار فعالیت های آذرین مربوط به الیگوسن می‌باشند، عبور می‌کند. در فصل دوم (بخش ۲-۴) جداول پارامترهای ژئومکانیکی واحدهای زمین‌شناسی مسیر تونل ارائه شده است.

۴-۶- محاسبات پیش‌بینی عملکرد TBM توسط  $Q_{TBM}$ 

داده‌های مربوط به مقادیر  $Q$ ،  $Q_0$ ،  $RQD$  و  $RQD_0$  با توجه به شرایط ژئومکانیکی حاکم بر مسیر تونل در واحدهای زمین‌شناسی مهندسی مختلف در جدول ۴-۲ نشان داده شده است. امتیازدهی پارامترهای  $Q$  از طریق جداول تهیه شده توسط Barton & Grimstad (۱۹۹۴ میلادی) انجام می‌شود (به ضمیمه الف مراجعه شود). در ضمن به علت عدم اطلاعات کافی و احتمال زیاد خطا در تخمین، شاخص کیفی سنگ در جهت حفر تونل ( $RQD_0$ ) مقدارش برابر  $RQD$  فرض شده است ( $RQD=RQD_0$ ). در واقع تفاوت  $Q$  و  $Q_0$  در پارامترهای  $J_r$  و  $J_a$  می‌باشد. در  $Q_0$ ، پارامترهای  $J_r$  و  $J_a$  برای ناپیوستگی موثر بر حفاری نمره دهی می‌شوند. همچنین پارامتر  $SIGMA$  که معرف مقاومت توده سنگ مسیرتونل می‌باشد، با استفاده از روابط ۴-۵ و ۴-۶ و توجه به جهت‌داری ناپیوستگی در مسیر تونل محاسبه شده و در جدول ۴-۳ ارائه شده است. زاویه  $\beta$  با در دست داشتن مشخصات صفحات ناپیوستگی (شیب و جهت شیب) و امتداد و شیب محور تونل، توسط نرم افزار StereoNet

محاسبه شده است. جزئیات محاسبات مربوط به جهتداری در جدول ب-۱ همراه با نمره دهی پارامترهای  $J_a$  و  $J_r$  ناپیوستگی موثر در حفاری در متر از های مختلف مسیر تونل به صورت ضمیمه آورده شده است (ضمیمه ب).

جدول ۴-۲- داده های مربوط به مقادیر  $Q$  و  $RQD$  در جهت تونل

| واحد های زمین شناسی<br>مهندسی مسیر | شیب کاهش پیشروی غیر اصلاحی<br>( $m_1$ ) | $Q$   | $RQD_0$ | $Q_0$ |
|------------------------------------|-----------------------------------------|-------|---------|-------|
| Gta1                               | -۰/۴۲                                   | ۰/۱۷  | ۲۵      | ۰/۱   |
| Gta2                               | -۰/۲                                    | ۰/۹۸  | ۵۰      | ۰/۲۴  |
| Gta3                               | -۰/۱۹                                   | ۲/۰۵  | ۷۰      | ۱/۳۷  |
| Gta4                               | -۰/۱۷                                   | ۲۱/۱  | ۹۵      | ۲۱/۱  |
| Sts1                               | -۰/۲                                    | ۱/۰۳  | ۷۰      | ۱/۳۷  |
| Sts2                               | -۰/۱۶                                   | ۱۵    | ۹۰      | ۱۵    |
| Sts2-3                             | -۰/۱۶                                   | ۱۵    | ۹۰      | ۱۵    |
| Tsh                                | -۰/۴۴                                   | ۰/۱۴  | ۵۰      | ۰/۳۷  |
| Mdg                                | -۰/۱۷                                   | ۶/۱۶  | ۷۰      | ۶/۱۶  |
| Cz                                 | -۰/۸                                    | ۰/۰۰۳ | ۱۵      | ۰/۰۰۳ |

جدول ۴-۳- نتایج حاصل از محاسبه پارامتر  $SIGMA$  برای واحدهای زمین شناسی مختلف.

| واحد های<br>زمین<br>شناسی<br>مهندسی | $\gamma$<br>( $gr/cm^3$ ) | UCS<br>(Mpa) | $I_{50}$ (Mpa) | $Q_c$  | $Q_t$  | با توجه به زاویه $\beta$<br>مطلوبیت جهتداری | $SIGMA_{cm}$ | $SIGMA_{tm}$ | $SIGMA$ |
|-------------------------------------|---------------------------|--------------|----------------|--------|--------|---------------------------------------------|--------------|--------------|---------|
| Gta1                                | ۲/۶                       | ۳۰           | —              | ۰/۰۳   | —      | نا مطلوب                                    | ۴/۱۸         | —            | ۴/۱۸    |
| Gta2                                | ۲/۶                       | ۷۵           | —              | ۰/۱۸   | —      | نا مطلوب                                    | ۷/۳۸         | —            | ۷/۳۸    |
| Gta3                                | ۲/۶                       | ۱۰۰          | —              | ۱/۳۷   | —      | نا مطلوب                                    | ۱۴/۴۳        | —            | ۱۴/۴۳   |
| Gta4                                | ۲/۶                       | ۱۵۰          | —              | ۳۱/۶۷  | —      | نا مطلوب                                    | ۴۱/۱۲        | —            | ۴۱/۱۲   |
| Sts1                                | ۲/۶                       | ۱۲۰          | —              | ۱/۶۴   | —      | نا مطلوب                                    | ۱۵/۳۳        | —            | ۱۵/۳۳   |
| Sts2                                | ۲/۵۵                      | ۱۵۰          | ۴/۷            | ۲۲/۵   | ۱۷/۶۲۵ | نا مطلوب                                    | ۳۵/۹۹        | ۳۳/۱۸        | ۳۵/۹۹   |
| Sts2-3                              | ۲/۵۵                      | ۱۵۰          | ۴/۷            | ۲۲/۵   | ۱۷/۶۲۵ | مطلوب                                       | ۳۵/۹۹        | ۳۳/۱۸        | ۳۳/۱۸   |
| Tsh                                 | ۲/۶                       | ۵۰           | —              | ۰/۱۸   | —      | نا مطلوب                                    | ۷/۳۸         | —            | ۷/۳۸    |
| Mdg                                 | ۲/۸                       | ۹۰           | —              | ۵/۵۴   | —      | نا مطلوب                                    | ۲۴/۷۷        | —            | ۲۴/۷۷   |
| Cz                                  | ۲/۶                       | ۱۵           | —              | ۰/۰۰۰۵ | —      | نا مطلوب                                    | ۱/۰۰۹۹       | —            | ۱/۰۰۹۹  |



نیروی رانش به ازای هر تیغه (F) بر حسب تن نیرو (tnf) با توجه به مقاومت توده سنگ (شرایط حفاری سنگ) برای واحدهای زمین شناسی مختلف مسیر تونل به صورت نشان داده شده در جدول ۴-۴ پیش بینی می شود.

جدول ۴-۴- نیروی رانش به ازای هر تیغه برای واحدهای مختلف

| نیروی وارد بر هر تیغه (F)<br>بر حسب تن نیرو | SIGMA  | واحد های زمین شناسی مهندسی |
|---------------------------------------------|--------|----------------------------|
| ۱۲                                          | ۴/۱۸   | Gta1                       |
| ۱۵                                          | ۷/۳۸   | Gta2                       |
| ۲۰                                          | ۱۴/۴۳  | Gta3                       |
| ۲۵                                          | ۴۱/۱۲  | Gta4                       |
| ۲۰                                          | ۱۵/۳۳  | Sts1                       |
| ۲۵                                          | ۳۵/۹۹  | Sts2                       |
| ۲۵                                          | ۳۳/۱۸  | Sts2-3                     |
| ۱۵                                          | ۷/۳۸   | Tsh                        |
| ۲۲                                          | ۲۴/۷۷  | Mdg                        |
| ۱/۵                                         | ۱/۰۰۹۹ | Cz                         |

اپراتور TBM معمولاً نیروی وارده را با توجه به نوع سنگ تنظیم می کند و بیشترین میزان نیرو را در هنگامی که سنگ حداقل قابلیت حفاری را دارد به کار می برد (Barton, 2000). بنابراین مقادیر پیش بینی شده نیروی تیغه (F) در جدول ۴-۴ منطقی به نظر می رسد. افزایش نیروی تیغه در مناطق گسلی و خرد شده احتمال خطر بسیار بالایی دارد چرا که ناحیه گسل دار به طور تقریبی هیچ زمان ایستایی ندارد (وقتی  $0/01$  تا  $0/01$  Q)، و به احتمال زیاد دستگاه گیر می کند یا تونل ریزش می کند. شاید تنها روش قابل اطمینان حرکت نسبتاً آهسته در سنگ گسل دار تقویت شده باشد (Barton, 2000).

بنابراین پیش بینی نیروی تیغه اعمالی از طرف اپراتور برابر  $1/5 \text{tnf}$ ، در واحد زمین شناسی Cz قابل قبول می باشد. شایان توجه است که در این واحد زمین شناسی (Cz) در مسیر تونل حتماً باید تزریق مقدماتی انجام شود در غیر اینصورت ضریب بهره وری به شدت افت خواهد کرد. در ادامه با توجه به نتایج بدست آمده تغییراتی در پارامترهای سیستم طبقه بندی توده سنگ Q در این واحد (Cz) مبنی بر در نظر گرفتن افزایش کیفیت توده سنگ در اثر تزریق مقدماتی صورت می گیرد. با توجه به نیروی رانش به ازای هر تیغه فرض شده در جدول ۴-۴ و رابطه ۴-۳، مقدار  $Q_{TBM}$  محاسبه می گردد که مقادیر محاسبه شده در جدول ۴-۵ نشان داده شده است.

جدول ۴-۵- محاسبه  $Q_{TBM}$  بر اساس پارامترهای تعیین شده و نیروی رانش به ازای تیغه.

| واحد های زمین شناسی مهندسی | SIGMA  | نیروی وارد بر هر تیغه بر حسب تن نیرو (F) | CLI | q (%) | $\sigma_\theta$ (Mpa) | $Q_{TBM}$  |
|----------------------------|--------|------------------------------------------|-----|-------|-----------------------|------------|
| Gta1                       | ۴/۱۸   | ۱۲                                       | ۲۵  | ۱۵    | ۱۰/۲۰                 | ۴/۷۱       |
| Gta2                       | ۷/۳۸   | ۱۵                                       | ۲۵  | ۱۵    | ۱۷/۸۵                 | ۳/۴۳       |
| Gta3                       | ۱۴/۴۳  | ۲۰                                       | ۲۵  | ۱۵    | ۱۷/۸۵                 | ۲/۱۲       |
| Gta4                       | ۴۱/۱۲  | ۲۵                                       | ۲۵  | ۱۵    | ۲۵/۵۱                 | ۱۴/۲۷      |
| Sts1                       | ۱۵/۳۳  | ۲۰                                       | ۳۰  | ۲۵    | ۷/۶۵                  | ۱/۳۴       |
| Sts2                       | ۳۵/۹۹  | ۲۵                                       | ۳۰  | ۲۵    | ۱۲/۵۱                 | ۶/۰۴       |
| Sts2-3                     | ۳۳/۱۸  | ۲۵                                       | ۳۰  | ۲۵    | ۱۲/۵۱                 | ۵/۵۷       |
| Tsh                        | ۷/۳۸   | ۱۵                                       | ۴۵  | ۲۵    | ۷/۶۵                  | ۲/۰۴       |
| Mdg                        | ۲۴/۷۷  | ۲۲                                       | ۱۵  | ۲/۵   | ۵/۴۹                  | ۰/۵۴       |
| Cz                         | ۱/۰۰۹۹ | ۱/۵                                      | ۱۵  | ۵     | ۱۵/۳۰                 | ۲۸۵۸۶۸۸۶/۱ |

برای بدست آوردن پارامتر سرعت پیشروی لازم است تا ضریب  $m$  برای واحدهای سنگی مختلف تونل کرج با توجه به رابطه ۴-۹ محاسبه شود. پارامترهای مربوط به  $m$  برای تونل کرج با قطر حفاری ۴/۶ متر تعیین شده است که نتایج آن در جدول ۴-۶ آورده شده است. در جدول ۴-۶ برای محاسبه  $m$  مقادیر  $m_1$  با استفاده از نمودار شکل ۴-۶ و با توجه به مقدار  $Q$  و شاخص عمر تیغه با توجه به شکل ۴-۳ بدست آمده است. در نهایت توسط روابط ۴-۷، ۴-۸، ۴-۱۰، ۴-۱۱ و با توجه به مشخصات ماشین و خواص توده سنگ مسیر، سرعت نفوذ، سرعت پیشروی و ضریب بهره‌وری محاسبه شده است. نتایج آن در جدول ۴-۷ نشان داده شده است.

جدول ۴-۶- محاسبه گرادیان منفی با توجه به روابط بیان شده و شکل ۴-۶.

| واحد های زمین شناسی مهندسی | شیب کاهش پیشروی غیر اصلاحی ( $m_1$ ) | تخلخل (%) ( $n$ ) | شیب کاهش پیشروی اصلاحی ( $m$ ) |
|----------------------------|--------------------------------------|-------------------|--------------------------------|
| Gta1                       | -۰/۴۲                                | ۱۲/۵              | -۰/۴۲۵۴                        |
| Gta2                       | -۰/۲                                 | ۷/۵               | -۰/۱۹۷۵                        |
| Gta3                       | -۰/۱۹                                | ۷/۵               | -۰/۱۸۷۶                        |
| Gta4                       | -۰/۱۷                                | ۷/۵               | -۰/۱۶۷۸                        |
| Sts1                       | -۰/۲                                 | ۷/۵               | -۰/۲۰۲۲                        |
| Sts2                       | -۰/۱۶                                | ۱۲/۵              | -۰/۱۶۵۹                        |
| Sts2-3                     | -۰/۱۶                                | ۱۲/۵              | -۰/۱۶۵۹                        |
| Tsh                        | -۰/۴۴                                | ۵                 | -۰/۴۱۰۲                        |
| Mdg                        | -۰/۱۷                                | ۲/۵               | -۰/۱۴۳۴                        |
| Cz                         | -۰/۸                                 | ۱۲/۵              | -۰/۷۸۳۷                        |

| واحد های<br>زمین شناسی<br>مهندسی | طول<br>(m) | $Q_{TBM}$  | سرعت نفوذ<br>(m/hr) | سرعت پیشروی<br>(m/hr) | ضریب بهره وری<br>% |
|----------------------------------|------------|------------|---------------------|-----------------------|--------------------|
| Gta1                             | ۲۱۱۰       | ۴/۷۱       | ۳/۶۷                | ۰/۰۳۳                 | ۱                  |
| Gta2                             | ۱۹۹۰       | ۳/۴۳       | ۳/۹۱                | ۰/۸۴۲                 | ۲۲                 |
| Gta3                             | ۱۲۰۰       | ۲/۱۲       | ۴/۳۰                | ۱/۱۷۳                 | ۲۷                 |
| Gta4                             | ۳۲۸۰       | ۱۴/۲۷      | ۲/۹۴                | ۰/۷۱۴                 | ۲۴                 |
| Sts1                             | ۶۲۰        | ۱/۳۴       | ۴/۷۲                | ۱/۳۷                  | ۲۹                 |
| Sts2                             | ۳۲۲۰       | ۶/۰۴       | ۳/۴۹                | ۰/۸۹۷                 | ۲۶                 |
| Sts2-3                           | ۴۵۰        | ۵/۵۷       | ۳/۵۵                | ۱/۳۵۳                 | ۳۸                 |
| Tsh                              | ۱۳۶۰       | ۲/۰۴       | ۴/۳۳                | ۰/۰۸                  | ۲                  |
| Mdg                              | ۶۳۰        | ۰/۵۴       | ۵/۶۶                | ۲/۵۷۱                 | ۴۵                 |
| Cz                               | ۱۱۲۰       | ۲۸۵۸۶۸۸۶/۱ | ۰/۱۶                | ۰/.....۲              | .                  |

1 -Grouting  
2 -Pre-support  
3 -Pre-treatment

ثابت تری جبران می‌شود (Barton, 2000). بنابراین انجام تزریق مقدماتی در واحد زمین شناسی مهندسی Cz برای افزایش بهره‌وری ضروری می‌باشد. با انجام عملیات تزریق مقدماتی کیفیت توده سنگ افزایش می‌یابد. چون تغییر شکل تونل به نحو نزدیکی با نسبت  $(\frac{\text{دهانه}}{Q})$  و نیاز به نگهداری مستقیماً به  $Q^{\frac{-1}{3}}$  متصل است، نتیجه اجتناب ناپذیر (که با ثبت و انعکاس سرعت لرزه‌ای و آزمایش تغییر شکل پذیری بدان رسیده خواهد شد) این است که مقدار مؤثر Q با انجام تزریق مقدماتی افزایش یافته است (Barton, 2000). این تغییرات را می‌توان از طریق تغییرات شش مولفه پارامتر Q نشان داد ولیکن جواب دقیق همواره نامعلوم است (Barton, 2000). می‌توان تصور کرد تغییرات پارامترهای Q در واحد زمین شناسی مهندسی Cz بعد از تزریق مقدماتی به صورت نشان داده شده در جدول ۴-۸ باشد.

جدول ۴-۸- تغییرات پارامترهای Q قبل و بعد از تزریق مقدماتی در واحد زمین شناسی Cz

| پارامترهای سیستم Q |                |                |                |                |     | Q     | وضعیت                |
|--------------------|----------------|----------------|----------------|----------------|-----|-------|----------------------|
| SRF                | J <sub>w</sub> | J <sub>a</sub> | J <sub>r</sub> | J <sub>n</sub> | RQD |       |                      |
| ۱۵                 | ۰/۵            | ۴              | ۰/۵            | ۲۰             | ۱۵  | ۰/۰۰۳ | قبل از تزریق مقدماتی |
| ۱۵                 | ۰/۶۶           | ۱              | ۲              | ۹              | ۲۵  | ۰/۲۴۴ | بعد از تزریق مقدماتی |

بهبودی که در مقدار Q بدست آمده (جدول ۴-۸) یک مطلب غیر واقعی نیست و در عمل ممکن است ۱۰ تا ۱۰۰ برابر حالت اولیه تغییر کند (Barton, 2000). با توجه به Q تعیین شده توسط پارامترهای تغییر یافته بعد از تزریق در جدول ۴-۸، این نسبت ۷۸ می‌باشد. بنابراین Q بدست آمده قابل قبول می‌باشد.

در صورت فرض افزایش کم وزن مخصوص ( $\gamma$ ) در اثر تزریق مقدماتی می‌توان در نظر گرفت SIGMA از  $1/01 \text{ MPa}$  تا  $4/32 \text{ MPa}$  افزایش یافته است. بنابراین می‌توان نیروی رانش به ازای هر تیغه را در واحد زمین شناسی Cz به مقدار  $12 \text{ tnf}$  پیش‌بینی کرد. جدول ۴-۹ نتایج نهایی پیش‌بینی نیروی تیغه برای واحدهای زمین شناسی مهندسی مسیر تونل را نشان می‌دهد.

جدول ۴-۹- نیروی رانش را به ازای هر تیغه برای واحدهای زمین شناسی مهندسی مسیر تونل بعد از در نظر گرفتن تزریق مقدماتی در Cz

| واحد های زمین شناسی مهندسی | SIGMA | نیروی وارد بر هر تیغه (F) بر حسب تن نیرو |
|----------------------------|-------|------------------------------------------|
| Gta1                       | ۴/۱۸  | ۱۲                                       |
| Gta2                       | ۷/۳۸  | ۱۵                                       |
| Gta3                       | ۱۴/۴۳ | ۲۰                                       |
| Gta4                       | ۴۱/۱۲ | ۲۵                                       |
| Sts1                       | ۱۵/۳۳ | ۲۰                                       |
| Sts2                       | ۳۵/۹۹ | ۲۵                                       |
| Sts2-3                     | ۳۳/۱۸ | ۲۵                                       |
| Tsh                        | ۷/۳۸  | ۱۵                                       |
| Mdg                        | ۲۴/۷۷ | ۲۲                                       |
| Cz                         | ۴/۳۲  | ۱۲                                       |

با این حساب شیب  $m_1$  ضریب بهره‌وری، سرعت نفوذ و سرعت پیشروی در واحد زمین شناسی مهندسی Cz (سنگ خرد شده) اصلاح می‌شود و نتایج آنرا می‌توان همراه با مقایسه با حالت قبل از تزریق مقدماتی در جدول ۴-۱۰ مشاهده کرد.

جدول ۴-۱۰- سرعت نفوذ، سرعت پیشروی، ضریب بهره‌وری و شیب منفی  $m$  برای واحد زمین‌شناسی مهندسی  $Cz$  (سنگ خرد شده) با در نظر گرفتن تزریق مقدماتی.

| وضعیت                   | طول<br>(m) | $Q_{TBM}$  | سرعت نفوذ<br>(m/hr) | سرعت پیشروی<br>(m/hr) | ضریب<br>بهره‌وری % | شیب منفی<br>$m$ |
|-------------------------|------------|------------|---------------------|-----------------------|--------------------|-----------------|
| قبل از تزریق<br>مقدماتی | ۱۱۲۰       | ۲۸۵۸۶۸۸۶/۱ | ۰/۱۶                | ۰                     | ۰                  | -۰/۸            |
| بعد از تزریق<br>مقدماتی | ۱۱۲۰       | ۸/۹۰۷      | ۳/۲۳                | ۰/۱۱۵                 | ۴                  | -۰/۳۶۲          |

نتایج نهایی محاسبه سرعت نفوذ و سرعت پیشروی برای واحدهای مختلف زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل کرج در جدول ۴-۱۱ و شکل ۴-۹ نشان داده شده است. متوسط وزنی سرعت نفوذ و سرعت پیشروی برای تمام طول مسیر تونل کرج در جدول ۴-۱۲ نشان داده شده است. در ضمیمه ج جداولی که مقدار پارامترهای ورودی مورد نیاز برای روش  $Q_{TBM}$  و نتایج محاسبات آن برای هر مقطع با توجه به مترائش را نشان می‌دهند، آورده شده است.

باتوجه به نتایج بدست آمده کمترین سرعت نفوذ مربوط به واحد  $Gta4$  (در برگیرنده ۲۰ درصد از کل مسیر تونل با توجه به شکل ۴-۱۰) و بیشترین سرعت نفوذ مربوط به واحد  $Mdg$  (در برگیرنده ۴ درصد از کل مسیر تونل با توجه به شکل ۴-۱۰) می‌باشد. سرعت نفوذ متوسط برای کل مسیر تونل ۳/۷ متر بر ساعت پیش‌بینی شده است. همچنین کمترین سرعت پیشروی مربوط به واحد  $Gta1$  (در برگیرنده ۱۳ درصد از کل مسیر تونل با توجه به شکل ۴-۱۰) و بیشترین سرعت پیشروی مربوط به واحد  $Mdg$  (در برگیرنده ۴ درصد از کل مسیر تونل با توجه به شکل ۴-۱۰) می‌باشد. سرعت پیشروی در واحدهای  $Gta1$  و  $Tsh$  (طولی برابر ۲۱ درصد از کل مسیر تونل) به علت پایین بودن کیفیت توده سنگ، بسیار کم پیش‌بینی شده است.

جدول ۴-۱۱- نتایج پیش‌بینی عملکرد TBM با استفاده از روش  $Q_{TBM}$ 

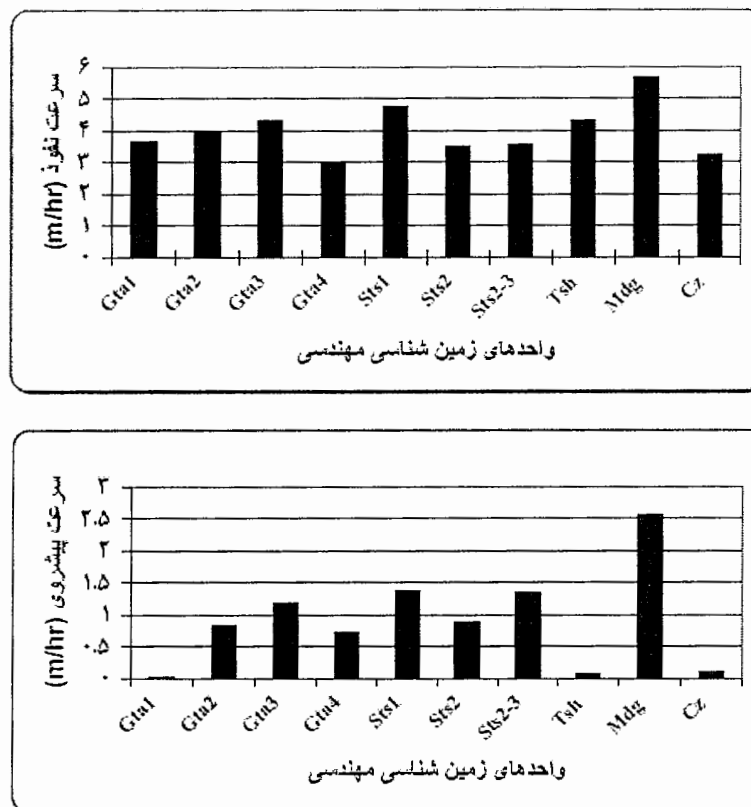
| واحد های<br>زمین شناسی<br>مهندسی | طول<br>(m) | $Q_{TBM}$ | سرعت نفوذ<br>(m/hr) | سرعت پیشروی<br>(m/hr) | ضریب بهره وری<br>% |
|----------------------------------|------------|-----------|---------------------|-----------------------|--------------------|
| Gta1                             | ۲۱۱۰       | ۴/۷۱      | ۳/۶۷                | ۰/۰۳۳                 | ۱                  |
| Gta2                             | ۱۹۹۰       | ۳/۴۳      | ۳/۹۱                | ۰/۸۴۲                 | ۲۲                 |
| Gta3                             | ۱۲۰۰       | ۲/۱۲      | ۴/۳۰                | ۱/۱۷۳                 | ۲۷                 |
| Gta4                             | ۳۲۸۰       | ۱۴/۲۷     | ۲/۹۴                | ۰/۷۱۴                 | ۲۴                 |
| Sts1                             | ۶۲۰        | ۱/۳۴      | ۴/۷۲                | ۱/۳۷                  | ۲۹                 |
| Sts2                             | ۳۲۲۰       | ۶/۰۴      | ۳/۴۹                | ۰/۸۹۷                 | ۲۶                 |
| Sts2-3                           | ۴۵۰        | ۵/۵۷      | ۳/۵۵                | ۱/۳۵۳                 | ۳۸                 |
| Tsh                              | ۱۳۶۰       | ۲/۰۴      | ۴/۳۳                | ۰/۰۸                  | ۲                  |
| Mdg                              | ۶۳۰        | ۰/۵۴      | ۵/۶۶                | ۲/۵۷۱                 | ۴۵                 |
| Cz                               | ۱۱۲۰       | ۸/۹۰۷     | ۳/۲۳                | ۰/۱۱۶                 | ۴                  |

جدول ۴-۱۲- متوسط سرعت نفوذ و سرعت پیشروی

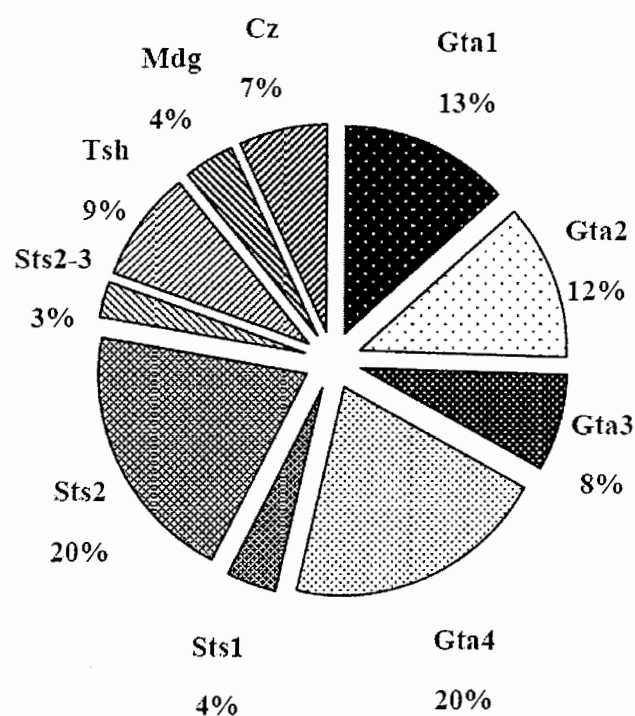
| سرعت نفوذ متوسط<br>(m/hr) | سرعت پیشروی متوسط<br>(m/hr) |
|---------------------------|-----------------------------|
| ۳/۷                       | ۰/۷۳۲                       |

در واحد Cz به دلیل تزریق مقدماتی به نوعی شرایط کیفی سنگ بهبود یافته و سرعت پیشروی افزایش یافته (از تقریباً صفر "توقف") است. اما این مقطع همواره پتانسیل خطر توقف را دارد و می‌بایست با احتیاط بیشتری نسبت به دیگر مقاطع حفاری شود. متوسط سرعت پیشروی برابر ۰/۷۳۲ متر بر ساعت پیش‌بینی شده است که با احتساب ۲۰ ساعت کاری در روز و ۲۶ روزکاری در ماه زمان حفاری کل تونل حدوداً ۴۱ ماه پیش‌بینی می‌شود.





شکل ۴-۹- هیستوگرام تغییرات سرعت نفوذ و سرعت پیشروی  $Q_{TBM}$  در واحدهای زمین شناسی مهندسی مسیر تونل با استفاده از مدل  $Q_{TBM}$



شکل ۴-۱۰- درصد طول واحدهای زمین شناسی مهندسی مسیر تونل.

# فصل پنجم

طراحی سیستم ترابری حین اجرای تونل

## ۵-۱- مقدمه

قطعه اول تونل انتقال آب از پایین دست سد کرج به تصفیه خانه شماره ۶ تهران (قطعه ET-K)، به طول حدود ۱۵۹۸۰ متر با استفاده از یک دستگاه حفر تمام مقطع تونل (TBM) حفاری و سگمنت گذاری می‌شود. با توجه به مشخصات زمین و مشخصات پروژه، دستگاه حفر تونل از نوع سپری مضاعف (D.S.TBM) انتخاب شده است. همچنین با توجه به مطالب بررسی شده در فصل سوم، متوسط راندمان تونلسازی با این دستگاه حدوداً ۴۰۰ متر در ماه پیش بینی شده است. بر این اساس سرعت متوسط پیشروی حدود ۱۵ متر در روز به دست می‌آید. عملاً در ماه‌های آغازین کار که پرسنل اجرائی آشنائی کامل به دستگاه پیدا نکرده‌اند، تونلسازی با سرعت کمتر انجام شده و به تدریج راندمان کاری افزایش می‌یابد و در ماه‌های آخر نیز با توجه به افزایش عمق تونل، به طور طبیعی سرعت پیشروی کاهش می‌یابد. علاوه بر این مواجهه با شرایط خاص زمین‌شناسی (احتمالاً در واحد زمین‌شناسی مهندسی Cz) و یا بروز مشکلات اجرائی نیز در طول دوره اجرا می‌تواند باعث کاهش راندمان یا حتی توقف عملیات اجرائی شود. عملاً سرعت پیشروی روزانه در روزهای مختلف از صفر (توقف کار) تا سرعت‌های بالاتر از ۱۵ متر در روز متغیر خواهد بود به نحوی که متوسط آن در طول دوره حدود ۱۵ متر در روز می‌باشد. بنابراین طراحی روش اجرا و به ویژه سیستم

ترابری بر اساس سرعت متوسط ۱۵ متر در روز در نظر گرفته می شود. به هر حال سیستم ترابری حین اجرا بایستی به گونه ای طراحی و اجرا شود که اولاً امکان بهره برداری از حداکثر قابلیت دستگاه D.S.TBM را فراهم نماید. به عبارت دیگر به صورت عامل محدود کننده سرعت تونلسازی مطرح نشود و ثانیاً در طراحی ترابری، بیشینه سازی طول پیشروی در هر سیکل در نظر گرفته شود. بر این اساس در این فصل به بررسی و طراحی سیستم حمل و نقل پرداخته شده است.

## ۵-۲- انتخاب نوع سیستم حمل و نقل

سیستم های مختلفی جهت حمل و نقل حین اجرای پروژه های تونلی مورد استفاده قرار می گیرند که بسته به شرایط هر یک از آنها از اولویت خاصی برخوردار می باشد. سیستم های حمل و نقل را از جنبه های مختلفی می توان تقسیم بندی کرد. براساس یکی از این دسته بندی ها، سیستم حمل و نقل به دو دسته کلی پیوسته و ناپیوسته تقسیم می شوند. سیستم های حمل و نقل پیوسته شامل نوار نقاله و پمپاژ، و سیستم های حمل و نقل ناپیوسته شامل حمل و نقل ریلی و حمل و نقل کامیونی می باشند. هر یک از روشهای مورد اشاره مزایا و معایب خاص خود را دارند و بسته به شرایط ممکن است در هر پروژه خاص هر یک از آنها ارجحیت پیدا کند. به طور معمول در تونل های بلند از نوار نقاله برای تخلیه سنگهای خرد شده حاصل از حفاری و از سیستم ترابری ریلی برای سایر نیازهای حمل و نقل استفاده می شود. استفاده از پمپ عمده‌تاً در شرایطی مطرح می شود که مواد حاصل از حفاری آبدار هستند و امکان انتقال مواد آبدار به روش پمپاژ مقدور می باشد. استفاده از حمل و نقل جاده ای نیز عمده‌تاً در تونل های کوتاه و با مقطع بزرگ مقرون به صرفه است. در مورد پروژه انتقال آب از پایین دست سد کرج تا تصفیه خانه شماره ۶ تهران (قطعه ET-K)، استفاده از ترابری ریلی برای

حمل و نقل سگمنت، تجهیزات (ریل، لوله و ...)، نفرات، مواد و مصالح (سیمان، شن نخودی و...) لازم و ضروری است. برای انتقال سنگهای خرد شده حاصل از حفاری می توان از سیستم ریلی یا نقاله استفاده کرد. با توجه به ملاحظات فنی و اقتصادی، سیستم ترابری ریلی به گونه ای طراحی شده که علاوه بر حمل مواد مورد نیاز به داخل تونل، امکان تخلیه مواد حاصل از حفاری نیز توسط آن وجود داشته باشد و نیازی به استفاده از نوار نقاله نباشد.

### ۵-۳- مبانی طراحی سیستم ترابری

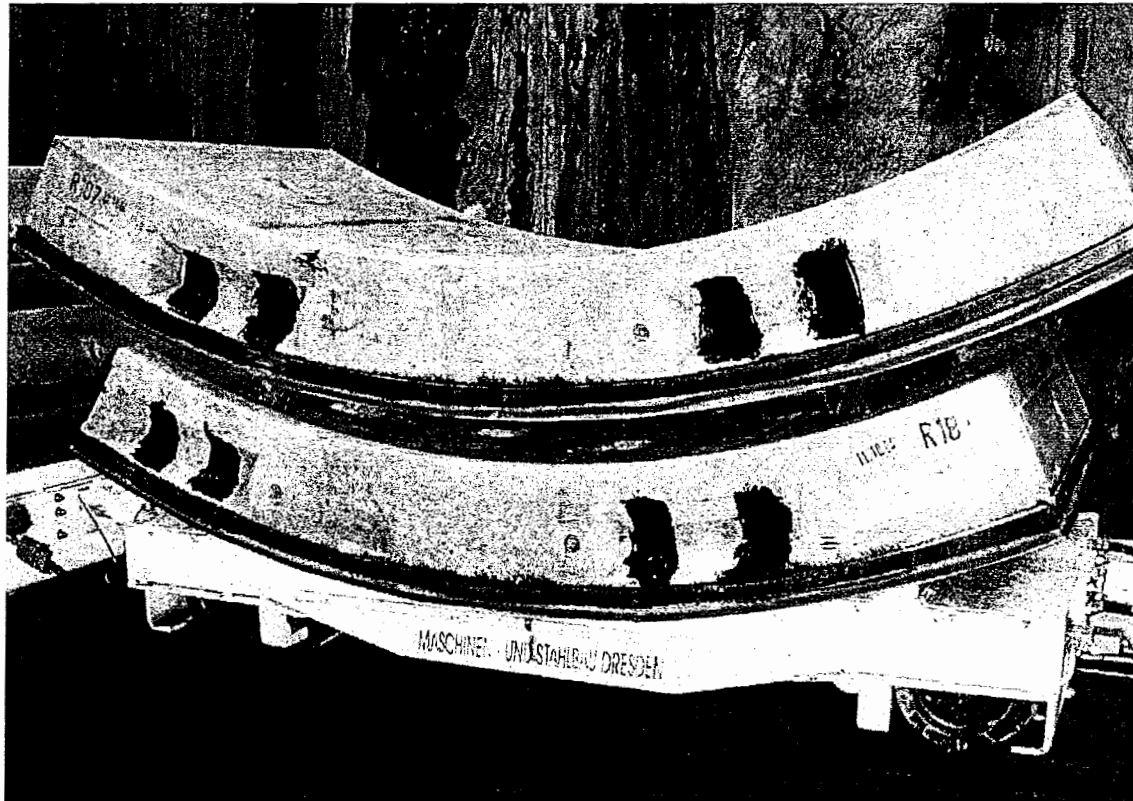
مشخصات هندسی مقطع، شیب طولی تونل، مشخصات هندسی و وزن سگمنت و سایر اجزاء پوشش، محل دپو، سرعت پیشروی روزانه و ساعتی، مشخصات فیزیکی سنگهای خرد شده حاصل از حفاری، محدودیت های احتمالی در انتخاب نوع و مشخصات ریل، لوکوموتیو، واگنها و... مهمترین مواردی هستند که در بررسی مبانی طراحی سیستم ترابری ریلی بایستی به آنها توجه شود.

### ۵-۳-۱- تعیین طول پیشروی در هر سیکل حفاری

طول پیشروی در هر سیکل حفاری دقیقاً برابر طول یک رینگ سگمنتی می باشد. هر رینگ سگمنتی از ۶ قطعه (سگمنت) تشکیل شده است. سگمنت ها می بایست از محوطه ترانشه حمل و به سیستم پشتیبانی<sup>۱</sup> تحویل داده شوند. بنابراین نحوه قرارگیری سگمنت ها بر روی واگن حمل سگمنت در تعیین طول یک رینگ سگمنتی نقش مهمی دارد. طرز قرارگیری سگمنتها بر روی واگن حمل سگمنت به گونه ایست که طول آنها در جهت طولی واگن و عرض آنها (که همان طول یک رینگ

1 -Back up

سگمندی می باشد) در جهت عرضی واگن قرار می گیرد. شکل ۵-۱ نحوه قرارگیری سگمنت را بر روی واگن حمل سگمنت نشان می دهد.



شکل ۵-۱- نحوه قرارگیری سگمنتها بر روی واگن حمل سگمنت

با توجه به مطالب مذکور و شکل ۵-۱ واضح است طول رینگ سگمندی با عرض قابل عبور و مرور در تونل، ارتباط مستقیمی دارد. به عبارت دیگر عرض قابل عبور و مرور در تونل در تعیین عرض سگمنت که همان طول یک رینگ سگمندی می باشد، موثر است. پس نخستین گام تعیین عرض قابل عبور و مرور در تونل می باشد. لازم به ذکر است که موارد زیر در محاسبات در نظر گرفته خواهند شد.

۱- سیستم پشتیبانی براساس طراحی انجام شده، سفارش داده خواهد شد. به عبارت دیگر سیستم پشتیبانی عامل محدود کننده در تعیین عرض قابل عبور و مرور نخواهد بود.

۲- محاسبات برای تعیین طول رینگ سگمنتی تنها با توجه به مسائل اجرایی (نحوه حمل و سپس نصب) انجام می گیرد و فرض می شود سگمنت با هر عرضی، طوری طراحی و ساخته خواهد شد که در برابر نیروهایی که در هنگام حمل و نصب به آن اعمال می شود مقاوم خواهد بود و دچار گسیختگی و شکست نخواهد شد.

۳- لوکوموتیو بزرگترین وسیله عبوری از لحاظ ارتفاعی می باشد.

### ۵-۳-۱-۱- عرض قابل عبور و مرور در تونل

برای انجام ترابری حین اجرای تونل، نیاز به دو مسیر رفت و برگشت می باشد. ولی به دلیل محدودیت فضا در داخل تونل نمی توان از دو خط مجزا برای عبور و مرور قطارها استفاده کرد. بنابراین در کل طول تونل از یک خط ریل استفاده می شود. اما در مترážهایی از تونل لازم است دو قطار از کنار هم عبور کنند و بهترین راه حل برای رفع این مشکل، استفاده از سوئیچ کالیفرنیا می باشد. با توجه به دایره ای بودن مقطع تونل، سوئیچ کالیفرنیا با بالا آوردن سطح تراز خط ریل، عرض عبوری تونل را افزایش می دهد (سطح تراز در تونل به منزله وتر دایره می باشد که با بالا آمدن تا ارتفاعی معین وتر بزرگتر می شود). طراحی عرض قابل عبور و مرور در داخل تونل می بایست با توجه به کلیه محدودیت های موجود، صورت گیرد. مطمئناً در کل طول مسیر تونل، نقاطی که سوئیچ کالیفرنیا قرار دارد و دو قطار از کنار هم عبور می کنند، بحرانی می باشند و می بایست در چنین شرایطی این طراحی صورت گیرد. به سادگی با در نظر گرفتن مقطعی از تونل در نقطه بحرانی (سوئیچ کالیفرنیا) و انجام محاسبات هندسی می توان عرض قابل عبور و مرور را محاسبه کرد. با توجه

به شکل ۵-۲ و روابط هندسی موجود، عرض قابل عبور و مرور را می توان از طریق رابطه ۵-۱ بدست آورد.

$$W = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left[H + L_v + D_v - \left(\frac{D}{2}\right)\right]^2} - L_w - \frac{1}{2}L_t \quad \text{رابطه (۵-۱)}$$

که در آن:

$W$ : عرض قابل عبور و مرور

$D$ : قطر داخلی تونل

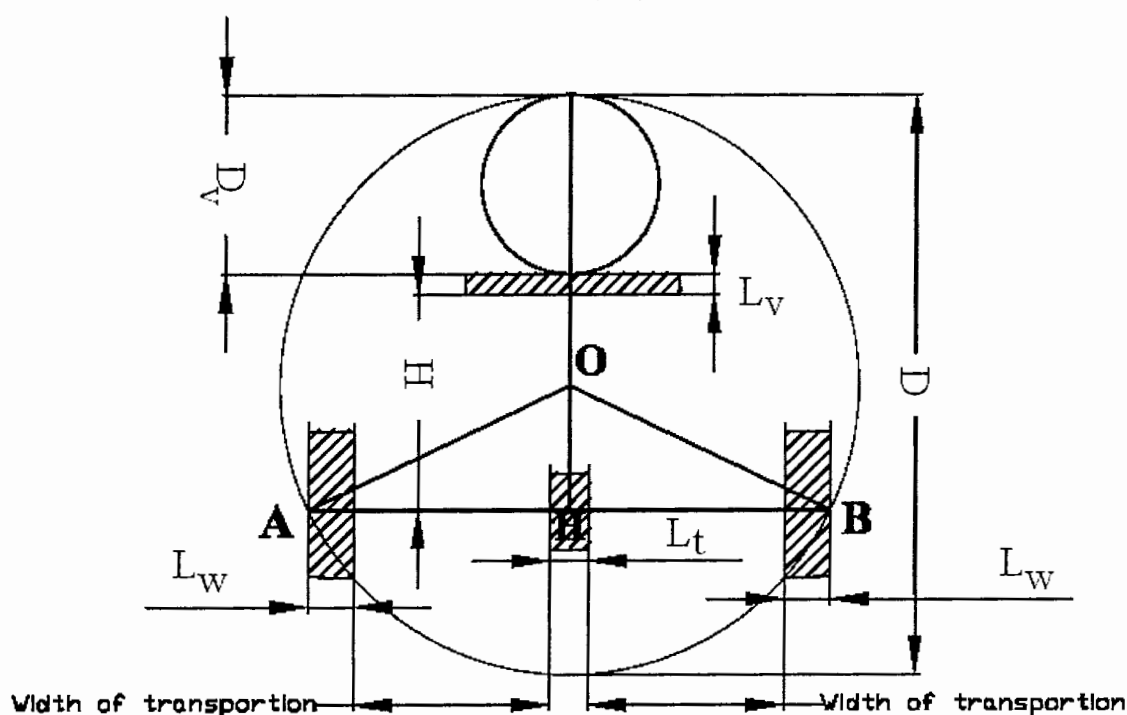
$D_v$ : قطر لوله تهویه

$H$ : ارتفاع بدنه لوکوموتیو (به غیر از چرخهای آن)

$L_w$ : حداقل فاصله ایمنی از دیواره تونل

$L_v$ : حداقل فاصله ایمنی از لوله تهویه

$L_t$ : حداقل فاصله ایمنی بین دو قطار (در کنار هم)



شکل ۵-۲- مقطعی فرضی از تونل در محل نصب سوئیچ کالیفرنیا

در این پروژه، قطر داخلی تونل ۳۹۰ سانتیمتر، قطر لوله تهویه ۱۲۰ سانتیمتر، ارتفاع بدنه لوکوموتیو

(به غیر از چرخهای آن) ۱۵۷/۵ سانتیمتر، حداقل فاصله ایمنی از دیواره تونل ۱۳/۱ سانتیمتر، حداقل



فاصله ایمنی از لوله تهویه ۱۵ سانتیمتر و حداقل فاصله ایمنی بین دو قطار (درکنار هم) ۱۱/۵۵ سانتیمتر می باشد لذا با توجه به رابطه ۵-۱، عرض قبل عبور و مرور ۱۵۰ سانتیمتر خواهد بود. با فرض انتخاب لوکوموتیو ۲۵ تنی با حداکثر ارتفاع ۱۷۵ سانتیمتر و توجه به قطر چرخهایش (۳۵ سانتیمتر)، به عنوان یک پیش فرض، ارتفاع بدنه لوکوموتیو بدست آمده است. بدیهی است در صورت تغییر مشخصات لوکوموتیو انتخابی مجدداً محاسبات از سرگرفته خواهد شد.

گام بعدی توجه به محدودیت ناشی از ابعاد سگمنت هنگام چرخش آن و قرارگیری بر روی تغذیه کننده نصاب<sup>۱</sup> می باشد. ضمن توجه به این نکته که عرض سگمنت ( $W_{seg}$ ) حداکثر می تواند با عرض قابل عبور و مرور در تونل ( $W$ ) برابر باشد.

۵-۳-۱-۲- محدودیت ناشی از ابعاد سگمنت هنگام چرخش و قرارگیری بر روی تغذیه

#### کننده نصاب

در ابتدا می بایست طرز بلند کردن سگمنت از روی واگن حمل سگمنت و حمل آن تا قرارگیری آن روی تغذیه کننده نصاب شرح داده شود. تخلیه سگمنتها توسط جرثقیل طراحی شده در سیستم پشتیبانی صورت می گیرد. قلاب جرثقیل به پیچی که بر روی سگمنت (سمت محدب آن) و درست در مرکز آن پیچ شده است، متصل می شود. در واقع سگمنت از یک نقطه (در مرکز ثقل) توسط جرثقیل بلند می شود. مراحل تخلیه سگمنت از واگن حمل سگمنت و قرار دادن آن بر روی تغذیه کننده نصاب به شرح زیر می باشد:

مرحله ۱- قلاب جرثقیل به پیچی که به سگمنت پیچ شده متصل می شود.

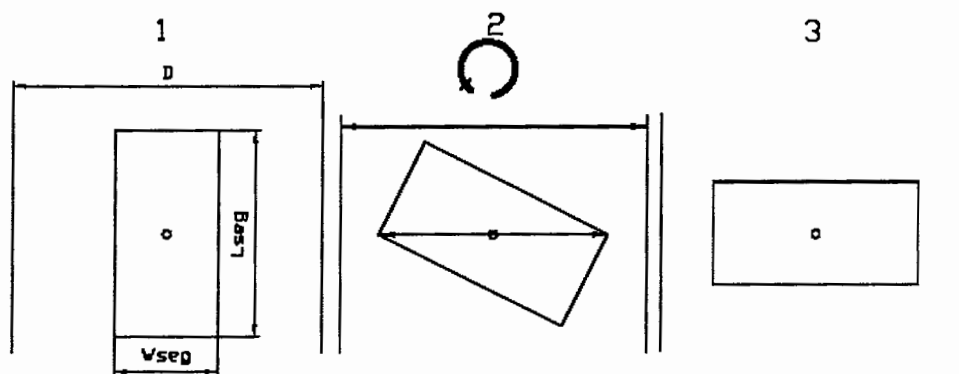
1 - Feeder elector

مرحله ۲- جرثقیل به حالت عمودی سگمنت را از روی واگن بلند کرده و به طور افقی به عقب (یعنی به سمت تغذیه کننده نصاب) حرکت می کند و در محل مورد نظر قرار می گیرد.

مرحله ۳- توسط کارگر سگمنت حول نقطه اتصال قلاب به پیچ، گردانده می شود تا عرض سگمنت در راستای طول پیشروی قرار گیرد.

مرحله ۴- جرثقیل به طور عمودی به سمت پایین حرکت می کند و سگمنت روی تغذیه کننده نصاب قرار می گیرد و قلاب آزاد می شود.

شایان ذکر است تمامی مراحل حرکتی جرثقیل در سیستم پشتیبانی توسط اپراتور مربوطه صورت می گیرد. همچنین فرض بر این است که ابعاد تجهیزات مربوط به جرثقیل واقع در سیستم پشتیبانی دارای ارتفاعی کمتر از شعاع داخلی تونل است. حال اگر به سگمنت از نمای بالا نگاه شود به شکل یک مستطیل می باشد که عرض آن در واقع عرض سگمنت و طول آن طول سگمنت می باشد. نکته قابل توجه اینجاست که ابعاد سگمنت (عرض و طول) باید در حدی باشند که امکان چرخش حول نقطه اتصال برای سگمنت میسر باشد. این زمانی تحقق می یابد که وتر مستطیل مذکور از قطر داخلی تونل کوچکتر باشد. شکل ۳-۵ که نشان دهنده نحوه چرخش سگمنت از نمای بالا در داخل تونل می باشد، مطالب مذکور را روشنتر می سازد.



شکل ۳-۵- وضعیت چرخش سگمنت از نمای بالا هنگام قرارگیری بر روی تغذیه کننده نصاب

مطلب بالا با توجه به روابط هندسی موجود به صورت رابطه ۲-۵ تعریف می شود در واقع ابعاد سگمنت می بایست به گونه ای باشد که شرط زیر برقرار باشد.

$$\sqrt{W_{seg}^2 + L_{seg}^2} < D \quad \text{رابطه (۲-۵)}$$

که در آن:

$W_{seg}$ : عرض سگمنت

$L_{seg}$ : طول سگمنت

$D$ : قطر داخلی تونل

با توجه به اینکه نهایتاً عرض سگمنت و عرض قابل عبور و مرور می توانند برابر باشند ( $W_{seg}=W$ ) رابطه فوق به رابطه ۳-۵ تبدیل می شود.

$$\sqrt{W^2 + L_{seg}^2} < D \quad \text{رابطه (۳-۵)}$$

که در آن  $W$  عرض قابل عبور و مرور می باشد.

در صورت برقراری رابطه فوق، می توان تنها با توجه به این شرط، نتیجه گرفت حداکثر عرضی را که می توان برای سگمنت در نظر گرفت برابر عرض قابل عبور و مرور می باشد و در صورت عدم برقراری، می توان با مجهول قرار دادن عرض سگمنت ( $W_{seg}$ ) در رابطه ۲-۵ آنرا بدست آورد. اما عرض بدست آمده از روابط فوق می بایست با محدودیتی که ظرفیت لوکوموتیو ایجاد می کند، مقایسه شود. در واقع گام آخر توجه به محدودیتی است که لوکوموتیو به لحاظ ابعادی در نتیجه افزایش ظرفیت باربری ایجاد می کند.

با توجه به عرض قابل عبور و مرور بدست آمده ( $150\text{Cm}$ ) و طول حداکثر سگمنت ( $260\text{Cm}$ ) و قرارگیری این مقادیر در رابطه ۳-۵ شرط برقرار می باشد. اما با در نظر گرفتن این عرض سگمنت

(۱۵۰ Cm) نیاز به یک لوکوموتیو ۳۰ تنی می باشد که از نظر ارتفاعی، قابلیت عبور و مرور در داخل تونل را نخواهد داشت. با در نظر گرفتن یک لوکوموتیو ۲۵ تنی، عرض ۱۳۰ سانتی متر برای سگمنت یا طول رینگ سگمنتی بدست می آید. با توجه به اینکه لوکوموتیو ۲۵ تنی قابلیت عبور و مرور در داخل تونل را دارد، این عرض برای سگمنت انتخاب می شود.

#### ۵-۳-۱-۳- اختلاف ارتفاعی که لازم است سوئیچ کالیفرنیا ایجاد کند

با توجه به شکل ۵-۲ و اختلاف ارتفاعی که خط ریل ایجاد می کند و عرض قابل عبور و مرور (W) و روابط هندسی حاکم می توان رابطه زیر را ارائه کرد:

$$H_C = D - (D_v + L_v + H_{LOCO}) - hr \quad \text{رابطه (۴-۵)}$$

که در آن :

$H_C$  : اختلاف ارتفاعی که باید سوئیچ کالیفرنیا برای رسیدن به عرض مورد نظر ایجاد کند

$H_{LOCO}$  : ارتفاع لوکوموتیو

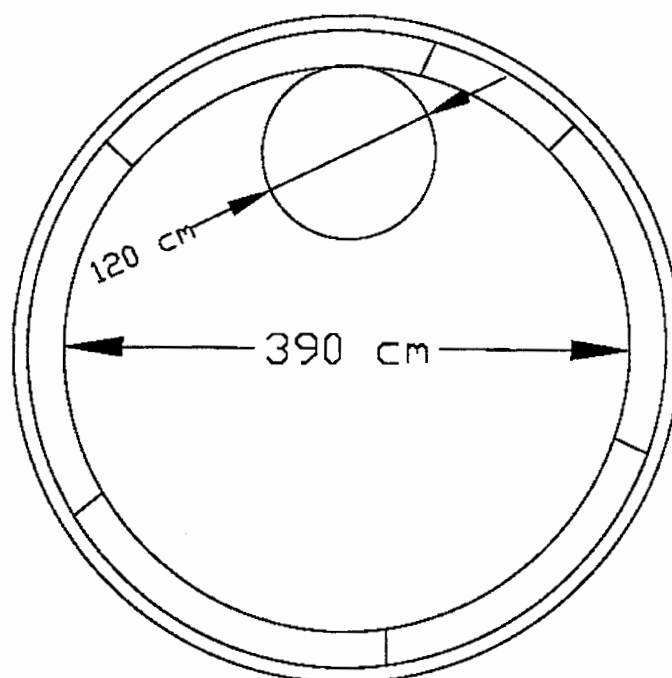
$hr$  : اختلاف ارتفاعی که خط ریل نسبت به کف تونل ایجاد می کند.

بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده است.

با توجه به آن که قطر داخلی تونل ۳۹۰ سانتیمتر، قطر لوله تهویه ۱۲۰ سانتیمتر، حداقل فاصله ایمنی از لوله تهویه ۱۵ سانتیمتر، ارتفاع لوکوموتیو ۱۷۵ سانتیمتر و اختلاف ارتفاعی که خط ریل نسبت به کف تونل ایجاد کند ۴۰ سانتیمتر می باشد، اختلاف ارتفاعی را که سوئیچ کالیفرنیا ایجاد می کند ۴۰ سانتیمتر خواهد بود.

### ۵-۳-۲- شیب تونل، مشخصات هندسی مقطع و مشخصات فیزیکی سنگهای خرد شده

شیب طولی تونل ۰/۱۳۷ درصد ( $1/3$  میلیمتر در هر متر) می باشد. جهت شیب به گونه ایست که واگن های پر از مواد حاصل از حفاری درسرازیری و واگن های پر از سگمنت و شن نخودی در سر بالایی حرکت می کنند. مقطع حفاری تونل، دایره ای به قطر ۴/۶۵ متر می باشد که سطح مقطع آن ۱۷/۰۹ متر مربع خواهد شد. شکل ۴-۵ مشخصات هندسی مقطع حفاری تونل را به همراه سیستم نگهداری و جانمایی لوله تهویه نمایش می دهد. بنابراین حجم برجای سنگهای خرد شده حاصل از حفاری یک سیکل پیشروی (یک رینگ به طول  $1/3$  متر) در حدود  $22/3$  مترمکعب خواهد بود. با احتساب ضریب تورم حجمی  $1/6$  برای سنگهای خرد شده نابرجا به سنگهای خرد شده برجا، حجم نابرجای سنگهای خرد شده مورد اشاره حدود  $35/5$  متر مکعب می شود. با توجه به وزن مخصوص  $2/6$  تن بر متر مکعب برای سنگ برجا، وزن این مقدار مواد حدود  $57/75$  تن می باشد.



شکل ۴-۵- مشخصات هندسی مقطع عرضی تونل

جنس سنگهایی که تونل در آن حفاری می شود، در بخش عمده مسیر از سازند آذر آواری کرج (شامل انواع سنگهای آذرآواری مانند توف، توفیت، آگلومرا، ماسه سنگهای توفی، توفهای ماسه ای و شیلی و ...) و در بخش محدودی نیز از توده های نفوذی (از جنس مونزودیوریت و گابرو) تشکیل شده است. وزن مخصوص سنگهای خرد شده برجا در تمام این سنگ ها به طور متوسط در حدود  $2/6$  تن بر متر مکعب می باشد. اگر چه در بخشهایی از مسیر احتمال وجود آب زیرزمینی وجود دارد لیکن جنس سنگهای خرد شده سنگی به گونه ایست که در آب حل نمی شوند و پیش بینی می شود سنگهای خرد شده ای که توسط سیستم ترابری حمل می شود به صورت گل و لای نباشد.

### ۵-۳-۳- مشخصات پوشش تونل

پوشش تونل به صورت قطعات بتنی پیش ساخته می باشد که همزمان با پیشروی، در داخل سپر انتهایی دستگاه، نصب می شود. شکل قطعات بتنی از نمای بالا به صورت مستطیل و ضخامت آنها ۲۵ سانتی متر می باشد. تعداد سگمنت ها در هر رینگ ۶ عدد  $(5+1)$  می باشد که به کمک قطعه ششم (کلید) در محل نصب می شود. طول رینگ سگمنتی با توجه به محاسبات بخش ۵-۳-۱،  $1/3$  متر می باشد و با توجه به شکل خاص آنها به ازای هر  $1/3$  متر پیشروی، یک رینگ کامل نصب می شود. قطر خارجی رینگ سگمنتی  $4/4$  متر و قطر داخلی  $3/9$  متر می باشد. در طراحی سیستم حمل و نقل، شکل، ابعاد هندسی، وزن قطعات سگمنت و همچنین تنوع سگمنت ها در هر رینگ تأثیرگذار است. وزن هر یک از سگمنت های پنجگانه به غیر از قطعه کلید حدود ۱۹۸۰ کیلوگرم و وزن قطعه کلید حدود ۶۲۵ کیلوگرم می باشد. عرض سگمنت که در تعیین عرض واگن مؤثر است، برابر طول یک رینگ سگمنتی یعنی  $1/3$  متر می باشد (بخش ۵-۲-۱). طول حداکثر سگمنت که تعیین کننده طول

واگن کفی حمل سگمنت است در حدود ۲/۶ متر می باشد. حجم فضای خالی پشت سگمنت ها حدود ۱/۴ متر مکعب در هر متر طول تونل می باشد. بنابراین پیش بینی می شود به ازای هر متر طول پیشروی، ۱/۴ متر مکعب شن نخودی در پشت سگمنت تزریق شود. البته بدیهی است که در شرایط خاص ممکن است تغییراتی در این مقادیر پیش آید.

### ۵-۳-۴- تقسیم بندی عملیات اجرایی و مقادیر کمی مواد و سنگهای خرد شده برای حمل

به طور معمول در پروژه های تونلی که از دستگاه TBM برای حفاری استفاده می شود، عملیات اجرایی در قالب سه شیفت کاری در شبانه روز انجام می شود که شامل دو شیفت ۱۰ ساعته و یک شیفت ۴ ساعته می باشد. در دو شیفت ده ساعته کار حفاری، سگمنت گذاری و تزریق پشت سگمنت انجام می شود و در یک شیفت ۴ ساعته به سرویس دستگاه و انتقال تاسیساتی مثل آب و برق، تهویه و روشنایی پرداخته می شود. در شیفت کاری ۱۰ ساعته، فعالیت هایی مثل حفاری، نصب سگمنت، جابجایی کفشکها و استقرار دستگاه، تزریق شن نخودی، تزریق دوغاب، تعویض کاتر دیسک (بنا بر ضرورت) و ریل گذاری انجام می شود. سیکل زمانبندی این فعالیت ها (مدت زمان، تقدم و تأخر و ...) در شرایط مختلف متفاوت است و به عوامل متعددی بستگی دارد. با توجه به مشخصات تونل و بر اساس تجارب قبلی، طراحی سیستم ترابری بر این اساس انجام شده که توسط هر قطار، نیازهای حمل و نقل پیشروی ۲ سیکل حفاری و سگمنت گذاری تأمین شود (۲×۱/۳ متر). بنابراین سیستم حمل و نقل می بایست امکان تخلیه سنگهای خرد شده حاصل از حفاری ۲/۶ متر تونل را فراهم کرده و امکان انتقال ۱۲ قطعه سگمنت را به محل سپر انتهایی فراهم نماید. بر این اساس حجم مواد و سنگهای خرد شده ای که توسط هر قطار جابجا می شود محاسبه و در جدول ۵-۱ درج شده است.

جدول ۵-۱- حجم مواد و سنگهای خرد شده مورد نیاز برای پیشروی به اندازه دو رینگ سگمنتی که توسط هر قطار جابجا می شود.

| مقدار                        | واحد           | مواد و سنگهای خرد شده ای که توسط هر قطار حمل می شود |
|------------------------------|----------------|-----------------------------------------------------|
| ۷۱/۱                         | m <sup>3</sup> | سنگ و خاک حاصل از حفاری                             |
| ۱۲                           | عدد            | قطعات سگمنت                                         |
| ۳/۶                          | m <sup>3</sup> | شن نخودی                                            |
| ۱۸۰۰ (۳۶ عدد کیسه ۵۰ کیلویی) | kg             | سیمان کیسه ای                                       |

هر قطار در بیرون تونل (داخل محوطه ترانشه) و در داخل تونل (کنار سیستم پشتیبانی<sup>۱</sup>) برای بارگیری و تخلیه توقف می کند. در بیرون تونل شن نخودی، سیمان کیسه ای، سگمنت و تجهیزات (ریل، لوله و ...) بارگیری شده و واگن های حمل خاک تخلیه می شوند در داخل تونل مواد حاصل از حفاری بارگیری شده و تخلیه سگمنت، شن نخودی، سیمان کیسه ای و تجهیزات (ریل، لوله و ...) انجام می شود. واگن های حمل پرسنل معمولاً در هر دو طرف مسافری خود را پیاده و سوار می کنند.

### ۵-۳-۵- ترابری خارج تونل

مهمترین موارد حمل و نقل در خارج تونل، انتقال سگمنت، شن نخودی، سیمان کیسه ای و تجهیزات به محل های بارگیری در داخل ترانشه و انتقال خاک های حاصل از حفاری تونل از محل واگن برگردان به محل دپوی اصلی می باشد. در شکل ۵-۵ نمای عمومی محوطه ترانشه پرتال واقع در شمال شهرک راه آهن نشان داده شده است. انتقال سگمنت از محل دپوی سگمنت به محوطه ترانشه توسط ریل و وینچ انجام می شود. شن نخودی نیز توسط کامیون از محل تأمین منابع قرضه به داخل ترانشه منتقل شده و در آنجا نیز توسط لودر بر روی تغذیه کننده نوار نقاله مربوط ریخته می شود.

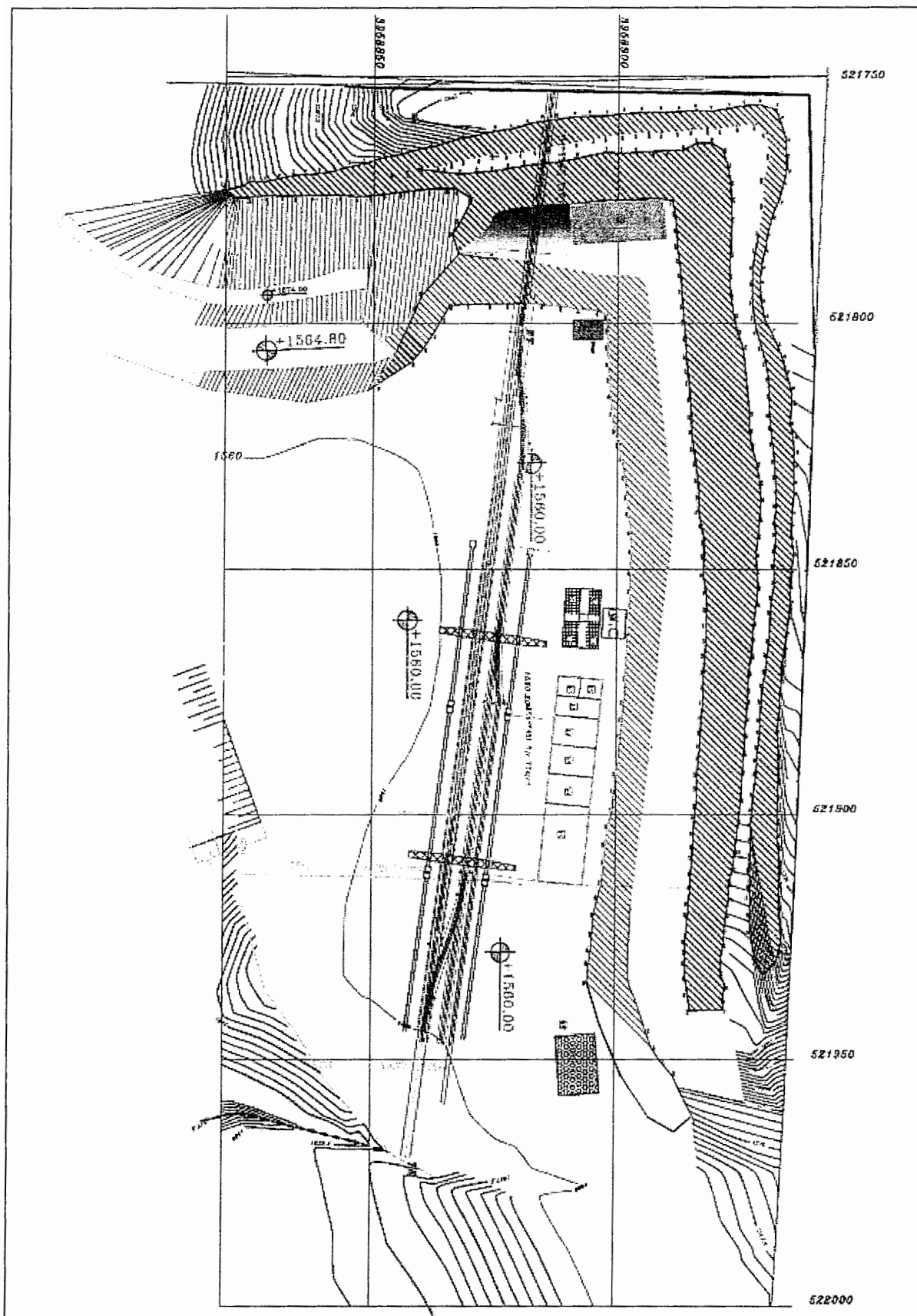
1-Back up



سیمان کیسه ای نیز قبلاً توسط کامیون به سوله مربوطه در محوطه ترانше منتقل شده و در آنجا نیز توسط کارگر یا لیفتراک به بیرون سوله منتقل شده و توسط جرثقیل دروازه ای مستقر در محوطه ترانше بر روی واگن های مخصوص بارگیری می شود. مواد حاصل از حفاری تونل توسط سیستم ریلی به خارج تونل (داخل محوطه ترانше) منتقل شده و در دپوی موقت توسط دستگاه واگن برگردان<sup>۱</sup> تخلیه می شود. مواد مذکور توسط کامیون هایی با ظرفیت ۱۰ متر مکعب (۱۶ تن) از این محل به محل دپوی باطله منتقل و تخلیه می شوند. عملیات بارگیری کامیونها در محل دپوی موقت توسط یک دستگاه لودر صورت می پذیرد. با احتساب متوسط پیشروی ۱۵ متر در روز حجم نابرجای مواد سنگی حاصل از حفاری که توسط کامیون به محل دپوی اصلی منتقل می شود، در حدود ۴۱۰ متر مکعب (۶۶۷ تن) می باشد. ظرفیت کامیون های مورد استفاده ۱۰ متر مکعب می باشد که با احتساب ضریب پرشوندگی ۹۵٪ برای صندوقه کامیون، برای انتقال مواد سنگی حاصل از حفاری حدود ۴۴ سرویس لازم خواهد بود. اگر این مقدار مواد و سنگهای خرد شده ظرف مدت ۸ ساعت حمل شوند، در هر ساعت به طور متوسط ۵/۵ سرویس، خاک حمل خواهد شد. فاصله محل دپو تا ترانше پرتال حدود ۳ کیلومتر است. اگر متوسط سرعت کامیون در رفت و برگشت ۲۵ کیلومتر بر ساعت، زمان بارگیری ۲/۵ دقیقه و زمان تخلیه ۲ دقیقه در نظر گرفته شود، زمان یک سیکل کامل رفت و برگشت کامیون ۱۹ دقیقه خواهد شد. بنابراین هر کامیون در هر ساعت به طور متوسط ۳ سیکل رفت و برگشت خواهد داشت. در نتیجه حداقل ۲ دستگاه کامیون مورد نیاز است. وجود یک دستگاه لودر در محل ترانше برای بارگیری ضروری است و یک دستگاه بلدوزر نیز برای تسطیح خاک ها در محل دپو مورد نیاز می باشد.

---

1 -Muck car tipper



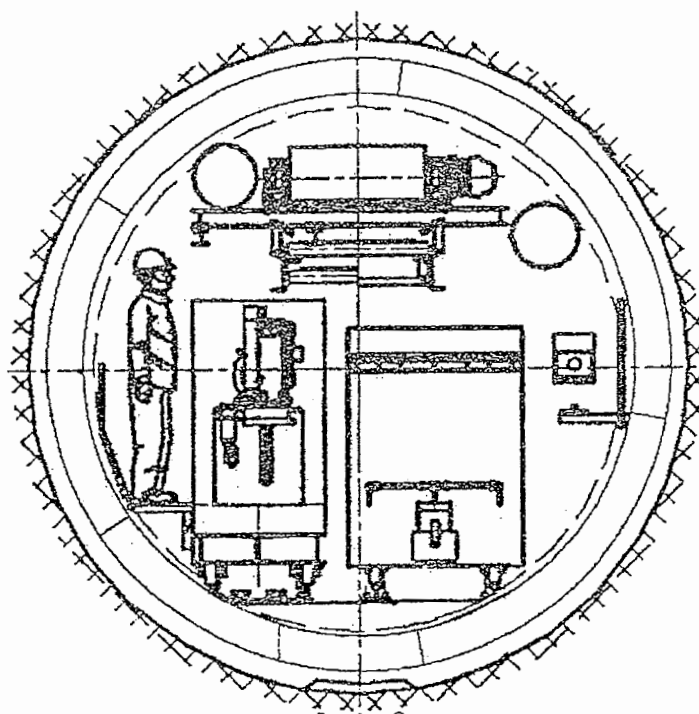
شکل ۵-۵- نمای عمومی ترانشه پرتال و متعلقات سیستم ترابری (مؤسسه حرا، ۱۳۸۵)

## ۵-۳-۶- مشخصات ریل و سوئیچ ها

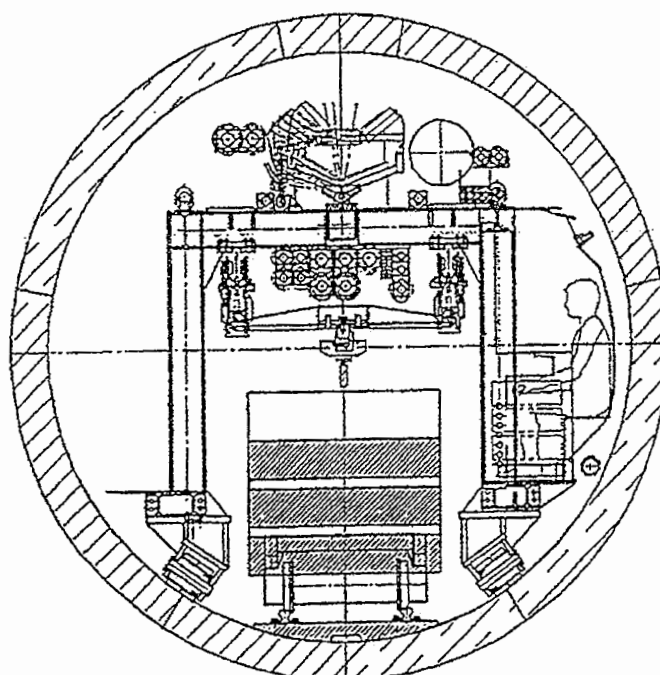
سیستم پشتیبانی دستگاه TBM می تواند به دو صورت متقارن و یا نامتقارن باشد (مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۳).

حالت نامتقارن: در حالت نامتقارن سیستم پشتیبانی به گونه ایست که حدوداً نیمی از فضای مقطع تونل برای نصب سیستم پشتیبانی مصرف شده و قطارهای سیستم ترابری در کنار سیستم پشتیبانی تا نزدیک دستگاه TBM به جلو می روند به نحوی که فاصله نزدیکترین واگن به سینه کار در حدود ۳۵ متر می باشد (با احتساب ۱۰ متر برای طول بخش سپر دستگاه TBM، فاصله آخرین واگن تا انتهای سپر عقبی حدود ۲۵ متر می شود). یاد آور می شود عملکرد مطلوب این نوع سیستم پشتیبانی و مسیر ریل از نظر سایز و اندازه در پروژه های مشابه قبلاً به اثبات رسیده است. در شکل ۵-۶ مقطع عرضی تونل در حالت نامتقارن، در بخشی از سیستم پشتیبانی که سیستم هیدرولیک دستگاه مستقر است، نشان داده شده است. ملاحظه می شود که تقریباً در نیمه سمت چپ مقطع، اجزا سیستم پشتیبانی مستقر بوده و نیمه راست مقطع برای تردد قطارهای سیستم حمل و نقل خالی است.

حالت متقارن: در حالت متقارن سیستم پشتیبانی دو طرف مقطع تونل را اشغال کرده و قطارهای سیستم ترابری از وسط آن عبور می کنند (شکل ۵-۷). نظر به اینکه در حالت متقارن بخش راهروی سیستم پشتیبانی به ناچار باید کم عرض تر در نظر گرفته شود، به کارگیری این سیستم در تونل های با قطر کمتر از حدود ۵ تا ۶ متر باعث مشکل تر شدن رفت و آمد در راهروی سیستم پشتیبانی می شود. با این حال به علت اینکه عملیات نصب ریلها و عبور لوله تهویه ساده تر صورت می پذیرد، این سیستم نیز کاربردی مناسب در عملیات حفر ارائه می دهد.

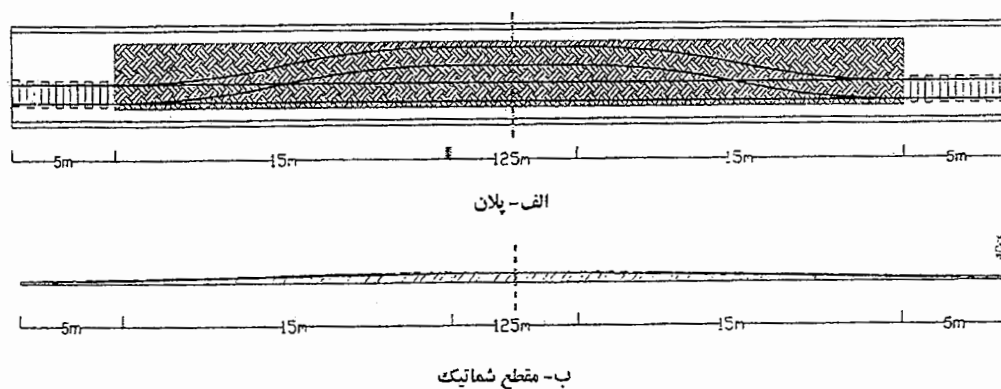


شکل ۵-۶- مقطع عرضی تونل در حالت نامتقارن در محدوده ای از سیستم پشتیبانی  
(مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۳)

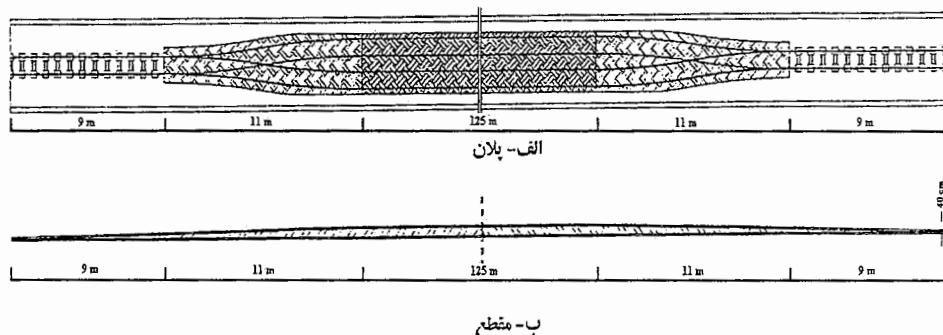


شکل ۵-۷- نمونه ای از مقطع عرضی تونل در حالت متقارن در محدوده ای از سیستم پشتیبانی  
(مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۳)

مسیر ریل داخل تونل یک مسیر تک بانده می باشد بنابراین جهت عبور دو قطار از کنار یکدیگر نیاز به استفاده از پذیرگاه یا سوئیچ می باشد و معمولترین روش مورد استفاده بدین منظور، استفاده از سوئیچ کالیفرنیا می باشد. طول سکوی انتظار این سوئیچ ها کمی بیش از طول قطار بوده و امکان عبور دو قطار از کنار یکدیگر را در داخل تونل فراهم می کنند. همانطور که در بالا اشاره شد بسته به اینکه سیستم ریل گذاری متقارن یا نامتقارن باشد، سوئیچ های کالیفرنیا مربوطه نیز به دو صورت متقارن و یا نامتقارن اجرا می شود. شکل ۵-۸ موقعیت یک سوئیچ کالیفرنیا نامتقارن و شکل ۵-۹ موقعیت یک سوئیچ کالیفرنیا متقارن را در پلان و مقطع نشان می دهد.



شکل ۵-۸- نمونه سوئیچ کالیفرنیا ثابت به کار رفته در داخل تونل در حالت نامتقارن  
(مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۳)

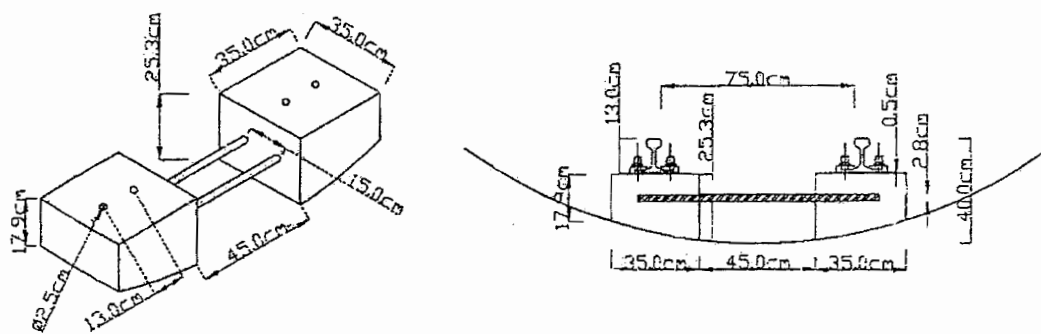


شکل ۵-۹- نمونه سوئیچ کالیفرنیا ثابت به کار رفته در داخل تونل در حالت متقارن  
(مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۳)

در تونل انتقال آب کرج با توجه به مقطع کاملاً دایره ای و شکل سگمنت ها، سیستم ریل گذاری متقارن پیشنهاد می شود مدت زمان ورود و خروج قطارها در سوئیچ کالیفرنای ثابت ۳ دقیقه و برای ورود و خروج در سوئیچ کالیفرنای متحرک کنار سیستم پشتیبانی ۵ دقیقه پیش بینی شده است. شایان ذکر است سوئیچ کالیفرنای متحرک درست پشت سر سیستم پشتیبانی قرار دارد و پیوسته با پیشروی ماشین TBM همراه سیستم پشتیبانی به جلو پیش می رود.

### ۵-۳-۶-۱- ریل گذاری

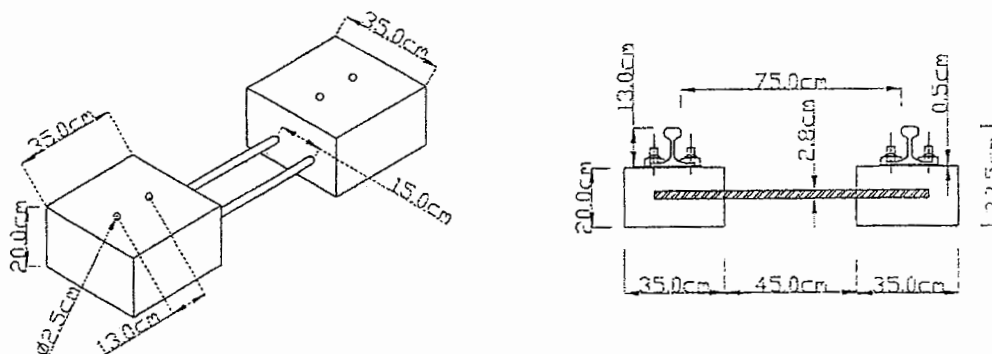
از آنجائیکه در طراحی سگمنت های تونل کرج، محل نصب ریل بر روی سگمنت کف دیده نشده، جهت ریل گذاری، تراورس های مخصوص مورد نیاز است. در سیستم تونل کرج تراورس های بتنی به صورت شکل ۵-۱۰ طراحی شده که ریل بر روی آن نصب می شود. این تراورس ها از دو بلوک سیمانی تشکیل شده اند که توسط آرماتور به هم متصل هستند.



شکل ۵-۱۰- تراورس های طراحی شده و جایگیری آن در کف تونل  
(مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۳)

به ازای هر ۱۲ متر پیشروی دستگاه TBM یک سیکل ریل گذاری انجام می شود. نحوه ریل گذاری به این صورت است که ابتدا در بیرون تونل شاخه های ۱۲ متری ریل بر روی تراورس ها نصب شده و

سپس قطعات ۱۲ متری ریل و تراورس مونتاژ شده توسط واگن کفی به داخل تونل منتقل و در قسمت پشتیبانی دستگاه TBM این قطعات توسط جرثقیل های مخصوص در محل مناسب قرار می گیرند. در صورت نیاز تراورس ها در کف تونل، در فواصل معین به سگمنت کف پیچ می شوند. وزن هر یک از تراورس ها ۶۵ کیلوگرم بوده که به فواصل ۰/۷۵ متر از هم نصب می شوند. بنابراین در طول ۱۲ متر ریل تعداد ۱۶ عدد تراورس جای می گیرد که در نتیجه با در نظر گرفتن اتصالات وزن قطعات ۱۲ متری ریل و تراورس مونتاژ شده (سگمنت راه آهن) به حدود ۳۰۰۰ کیلو گرم خواهد رسید. ریل گذاری در ترانشه به کمک تراورس های مشابه تراورس های تونل انجام می گیرد با این تفاوت که سطح زیر آنها افقی می باشد. شکل ۵-۱۱ مشخصات هندسی این تراورس ها را نشان می دهد.



شکل ۵-۱۱- مشخصات هندسی تراورس های مورد استفاده در ترانشه

(مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، ۱۳۸۳)

### ۵-۳-۷- مشخصات واگن های مورد نیاز

واگن های حمل خاک، سگمنت، تجهیزات (ریل و لوله و...)، مواد و مصالح (سیمان، شن نخودی و...) و پرسنل انواع اصلی واگن مورد نیاز در حین اجرای تونل می باشند. در انتخاب واگنها محدودیت عرضی

۱/۵ متر به خاطر عبور از روی سوئیچ کالیفرنیا و محدودیت ارتفاعی ۱/۵۶ متر به خاطر عبور در سیستم پشتیبانی و همچنین حجم مواد و مصالحی که می بایست توسط هر قطار حمل شود بایستی مورد توجه قرار گیرد. با توجه به تجهیزات رولینگ استوک<sup>۱</sup> ساخت شرکت آلمانی MSD و مطالب مذکور، واگنهایی با مشخصات فنی مربوطه انتخاب شده اند که در ادامه به بیان مشخصات فنی هر کدام پرداخته شده است. همچنین مشخصات فنی کامل تجهیزات رولینگ استوک مربوطه در ضمیمه د آورده شده است.

#### ۵-۳-۷-۱- واگنهای حمل خاک

صندوقه این واگنها ظرفیت حجمی حدود ۸ متر مکعب را دارا می باشد که با احتساب ضریب پرشوندگی ۹۵٪ حجمی حدود ۷/۶ متر مکعب از آن بارگیری می شود. ابعاد هندسی واگن، ۶/۳۵ متر طول، ۱/۵ متر عرض، ۱/۵۵ متر ارتفاع می باشد. وزن واگن بدون بار حدود ۶۰۰۰ کیلوگرم و وزن آن با بار حدود ۱۸۳۵۰ کیلوگرم می باشد. از آنجایی که وزن مخصوص سنگ نابرجا حدود ۲/۶ تن بر متر مکعب بوده و با توجه به اینکه ضریب افزایش حجم سنگ نابرجا به سنگ برجا برابر ۱/۶ در نظر گرفته شده، وزن مخصوص سنگ نابرجا در حدود ۱/۶۲۵ تن بر مترمکعب می شود. بنابراین وزن ۷/۶ متر مکعب مصالح نابرجا در حدود ۱۲۳۵۰ کیلوگرم خواهد بود. با توجه به مقدار حجم حاصل از حفاری دو رینگ یعنی ۷۱/۱ مترمکعب و ظرفیت قابل بارگیری واگن (۷/۶ مترمکعب) تعداد ۱۰ دستگاه واگن حمل خاک در هر قطار لازم می باشد که پشت سر لوکوموتیو قرار می گیرند.

1 -Rolling stock



## ۵-۳-۷-۲- واگن های حمل و نقل پرسنل

طول، عرض و ارتفاع این واگن به ترتیب ۵/۵۲۵، ۱/۵ و ۱/۵۵ متر می باشد. وزن واگن خالی حدود ۳۰۰۰ کیلوگرم بوده و قادر به حمل ۱۰ نفر می باشد. بنابراین با احتساب متوسط وزن هر فرد ۷۵ کیلوگرم، وزن واگن پر به حدود ۳۷۵۰ کیلوگرم خواهد رسید. با توجه به نیازهای سیکل باربری و به منظور رعایت ملاحظات ایمنی واگن حمل پرسنل بلافاصله بعد از لوکوموتیو در قطار قرار می گیرد. در هر قطار یک دستگاه واگن حمل پرسنل جای می گیرد و در مواردی که نیازی به حمل پرسنل نیست، می توان این واگن را از قطار جدا کرد.

۵-۳-۷-۳- واگنهای کفی و مخزن مربوطه جهت حمل شن نخودی<sup>۱</sup>

به ازای هر متر پیشروی تونل حدوداً ۱/۴ متر مکعب شن نخودی مورد نیاز است. از آنجا که هر قطار برای حمل و نقل مورد نیاز دو رینگ پیشروی سرویس دهی می کند، لازم است حدود ۳/۶ متر مکعب شن نخودی توسط هر قطار به سینه کار منتقل شود. شن نخودی به درون یک مخزن به ظرفیت ۳/۶ متر مکعب منتقل می شود. به نحوی که مخزن بر روی واگن قرار گرفته و به درون تونل منتقل می شوند. طول، عرض و ارتفاع مخزن یا سیلوی حمل شن نخودی به ترتیب ۴/۵، ۱/۲ و ۱ متر می باشد. واگن کفی حمل مخزن شن نخودی، ۷/۷۸۰ متر طول و ۱/۵ متر عرض دارد. ارتفاع کلی واگن (کفی + مخزن) ۱/۴۶ متر می باشد و وزن واگن با مخزن در حالت خالی ۵۹۰۰ کیلوگرم می باشد. با توجه به اینکه ۳/۶ متر مکعب شن نخودی در حدود ۵۵۰۰ کیلوگرم وزن دارد و وزن واگن

---

1 -Pea gravel

با مخزن در حالت پر ۱۱۴۰۰ کیلوگرم می باشد. در هر قطار به یک واگن حمل شن نخودی نیاز می باشد.

#### ۵-۳-۴-۷-۴-۵- واگن های حمل سگمنت

توسط هر لوکوموتیو، سگمنت های مورد نیاز جهت دو گام پیشروی (دو رینگ سگمنت) به جبهه کار منتقل می شود. با توجه به اینکه در هر رینگ ۶ قطعه سگمنت (۵ قطعه + ۱ کلید) استفاده می شود، در مجموع ۱۲ عدد سگمنت مورد نیاز است. ابعاد سگمنت ها به گونه ایست که در هر واگن کفی ۳ قطعه سگمنت می توان جای داد. بنابراین در هر قطار از ۴ دستگاه واگن کفی حمل سگمنت (دو دستگاه حامل سه سگمنت دیواره و کف و دو دستگاه حامل دو سگمنت دیواره و کف و یک سگمنت کلید) استفاده می شود. مشخصات واگن حمل سگمنت در جدول ۵-۲ آورده شده است.

جدول ۵-۲- مشخصات فنی واگن های حمل سگمنت.

| مقدار | واحد | مشخصات                                                      |
|-------|------|-------------------------------------------------------------|
| ۳/۱۰۷ | متر  | طول هر واگن                                                 |
| ۶/۵۱۵ | متر  | طول یک سگمنت کار دوتایی                                     |
| ۱/۲   | متر  | عرض                                                         |
| ۱/۵۶  | متر  | ارتفاع (با توجه به قرارگیری ۳ سگمنت)                        |
| ۳     | عدد  | تعداد سگمنتی که توسط هر واگن حمل شود                        |
| ۲۰۰۰  | kg   | وزن واگن کفی خالی                                           |
| ۷۹۴۰  | kg   | وزن واگن کفی پر (شامل سه سگمنت دیواره و کف)                 |
| ۶۵۸۵  | kg   | وزن واگن کفی پر (شامل دو سگمنت دیواره و کف و یک سگمنت کلید) |

هر قطار دارای یک مجموعه کامل از واگن های کفی حمل سگمنت است. هر مجموعه واگن کفی حمل سگمنت شامل ۴ دستگاه واگن کفی (دو دستگاه واگن حمل سگمنت دو تایی) به شرح فوق الذکر می باشد که توانایی حمل ۱۲ عدد سگمنت را دارد. طول کلی یک مجموعه ۱۳/۰۳ متر، وزن خالی در مجموع ۸۰۰۰ کیلوگرم و وزن پر آنها حدود ۲۹۰۵۰ کیلوگرم می باشد.

#### ۵-۳-۷-۵- واگنهای کفی جهت حمل سیمان و وسائل یدکی و قطعات تعویض شده

این واگنها به منظور تأمین سیمان مورد نیاز جهت پیشروی دستگاه با نرخ اشاره شده و همچنین به منظور حمل وسایل یدکی و قطعات تعویض شده در صورت نیاز به کار گرفته می شوند. در هر قطار دو دستگاه از این واگن های کفی به کار گرفته می شود. یکی از این واگنها باید ظرفیت حمل ۳۶ عدد سیمان کیسه ای به وزن ۱۸۰۰ کیلوگرم و دیگری در صورت لزوم ظرفیت حمل حداکثر تا ۱۰۰۰ کیلوگرم قطعات یدکی و تعویضی را داشته باشد. طول، عرض و ارتفاع این واگن های کفی به ترتیب ۷/۷۸، ۱/۵ و ۰/۴۶ متر می باشد. وزن خالی آنها حدود ۲۹۰۰ کیلوگرم می باشد که در یکی با احتساب ۱۸۰۰ کیلوگرم سیمان، وزن پر آن حدود ۴۷۰۰ کیلوگرم و در دیگری با احتساب حداکثر ۱۰۰۰ کیلوگرم قطعات یدکی و تعویضی وزن پر آن حدود ۳۹۰۰ کیلوگرم خواهد شد. واگن کفی خالی جهت حمل قطعات تعویضی و یدکی بعد از واگن حمل پرسنل قرار می گیرد.

#### ۵-۳-۷-۶- واگن های کفی جهت حمل لوله و ریل و تراورس

این واگنها به منظور تأمین ریل و تراورس، کابل و لوله مورد نیاز جهت پیشروی تونل بکار گرفته می شود. در هر قطار نیاز به یک واگن کفی جهت حمل ریل و تراورس می باشد. این واگن می بایست ظرفیت حمل یک مجموعه ریل و تراورس مونتاژ شده به طول ۱۲ متر و وزن ۳۰۰۰ کیلوگرم را داشته

باشد. طول، عرض و ارتفاع واگن حمل ریل و تراورس به ترتیب ۱۲/۵، ۱/۵ و ۰/۵ متر می باشد. وزن خالی واگن حمل ریل و تراورس حدود ۸۰۰۰ کیلوگرم می باشد. و با توجه به وزن یک مجموعه ریل و تراورس مونتاژ شده وزن پر آن حدود ۱۱۰۰۰ کیلوگرم می باشد. از این واگن می بایست جهت حمل لوله و کابل مورد نیاز درطول تونل نیز استفاده شود. تقریباً در هر ۱۲ متر پیشروی یک بار برای حمل لوله و در هر ۲۰۰ تا ۲۵۰ متر پیشروی یک بار برای حمل کابل نیاز است. با در نظرگرفتن یک فاصله یکی در میان با استفاده از همین واگن می توان به نیازهای اشاره شده در زمینه حمل لوله پاسخ داد. علاوه بر این اغلب اوقات در ترکیب قطار، یک واگن کفی خالی به منظور حمل وسائل یدکی و قطعات تعویضی وجود دارد که می توان از آن برای حمل کابل استفاده کرد. در نهایت برای جمع بندی مطالب مذکور، تعداد و وزن پر و خالی هر یک از انواع واگنهای قطار در جدول ۳-۵ درج شده است.

جدول ۳-۵- تعداد و وزن واگنهای هر قطار

| وزن کل<br>واگنها در<br>حالت پر<br>(kg) | وزن کل<br>واگنها در<br>حالت خالی<br>(kg) | تعداد<br>واگن هر<br>قطار | وزن هر واگن پر<br>(kg) |      | وزن هر<br>واگن خالی<br>(kg) | نوع واگن                      |
|----------------------------------------|------------------------------------------|--------------------------|------------------------|------|-----------------------------|-------------------------------|
| ۱۸۳۵۰۰                                 | ۶۰۰۰۰                                    | ۱۰                       | ۱۸۳۵۰                  |      | ۶۰۰۰                        | واگن حمل خاک                  |
| ۳۰۴۰۵                                  | ۸۰۰۰                                     | ۴                        | ۷۹۴۰                   | ۶۵۸۵ | ۲۰۰۰                        | واگن حمل سگمنت                |
| ۱۱۴۰۰/۰۴                               | ۵۹۰۰                                     | ۱                        | ۱۱۴۰۰/۰۴               |      | ۵۹۰۰                        | واگن حمل شن نخودی             |
| ۳۷۵۰                                   | ۳۰۰۰                                     | ۱                        | ۳۷۵۰                   |      | ۳۰۰۰                        | واگن حمل پرسنل                |
| ۱۱۰۰۰                                  | ۸۰۰۰                                     | ۱                        | ۱۱۰۰۰                  |      | ۸۰۰۰                        | واگن کفی حمل ریل<br>و تراورس  |
| ۴۷۲۰                                   | ۲۹۰۰                                     | ۱                        | ۴۷۲۰                   |      | ۲۹۰۰                        | واگن کفی حمل<br>سیمان کیسه ای |
| ۳۹۰۰                                   | ۲۹۰۰                                     | ۱                        | ۳۹۰۰                   |      | ۲۹۰۰                        | واگن کفی حمل<br>قطعات یدکی    |

## ۵-۳-۸- انتخاب نوع لوکوموتیو

حرکت و جابجایی واگنها توسط لوکوموتیو انجام می گیرد. انواع لوکوموتیوها را بر اساس منبع تأمین انرژی دسته بندی می کنند که مهمترین آنها عبارتند از لوکوموتیو دیزلی، لوکوموتیوهای الکتریکی (برقی)، لوکوموتیوهای هوای فشرده. هر یک از انواع لوکوموتیو مزایا و معایب خاص خود را دارند که بسته به شرایط می توان نوع مناسب را انتخاب کرد. مهمترین مزایای لوکوموتیوهای دیزلی عبارتند از:

- آزادی نسبی قطار در مقایسه با لوکوموتیوهای الکتریکی
  - آشنایی پرسنل و سابقه کار با این نوع سیستم
  - قابلیت ذخیره انرژی سوخت، سوختگیری سریع و آسان و امکان طی فواصل نسبتاً طولانی بدون نیاز به سوختگیری های متوالی
  - در دسترس بودن انواع مختلف دیزل با قدرت ها مختلف
  - ایمنی بیشتر نسبت به انواع الکتریکی در رابطه با برق گرفتگی
  - در دسترس بودن لوکوموتیوهای دیزلی با ابعاد و قدرت های متفاوت در بازار
- مهمترین مشکل لوکوموتیوهای دیزلی، آلودگی ناشی از احتراق سوخت موتورهای دیزلی می باشد که در طراحی سیستم تهویه تونل باید به آن توجه شود. به منظور رفع این مشکل سیستم های مناسبی مانند فیلتر (صافی و کاتالیزور) طراحی و ابداع شده اند. همچنین ایجاد تغییراتی در سیستم تخلیه دود مثل صدا خفه کن، امکان کاربرد این لوکوموتیوها در تونل های بلند و کم قطر را فراهم کرده است.

از طرفی استفاده از لوکوموتیو های الکتریکی خالی از خطر نیست و می بایست تمام شرایط ایمنی بطور جدی رعایت شود. هرگاه فاصله ریلها تا سیم سقف (قرار گرفته در بالای تونل) کم باشد احتمال برق گرفتگی افراد وجود دارد. به منظور رعایت مقررات، ارتفاع سیم مسی سقف از کف تونل نبایستی از ۲ متر کمتر باشد (Boky, 1967). در تونل کرج به دلیل قطر کم تونل و قرارگیری لوله تهویه در بالای تونل و استفاده از سوئیچ کالیفرنیا در نقاطی از مسیر تونل، فاصله سیم مسی سقف تا ریلها به کمتر از ۲ متر خواهد رسید. بنابراین به دلیل رعایت ایمنی استفاده از لوکوموتیو الکتریکی در سیستم حمل و نقل ریلی این تونل منتفی می باشد. همچنین لوکوموتیو های هوای فشرده دارای معایب زیر می باشند:

- گرانی تأسیسات مربوط به تهیه هوای فشرده
  - پایین بودن راندمان موتورهای هوای فشرده در مقایسه با سایر روشهای تأمین انرژی و در نتیجه گرانتز شدن کار مکانیکی انجام شده نسبت به سایر روشها
  - سنگینی بیش از حد آنها و کم بودن قدرت به ازای هر تن از وزن آنها
- با توجه به ظرفیت زیاد حمل و نقل در تونل کرج و معایب مذکور، نیاز به لوکوموتیو های هوای فشرده بسیار سنگین با ابعاد بزرگ می باشد که استفاده از آنها علاوه بر تحمیل هزینه سرمایه گذاری بالا برای پروژه، مشکلات عبور و مروری در داخل تونل بخصوص در روی سوئیچ کالیفرنیا را ایجاد می کنند. بنابراین استفاده از لوکوموتیو های فشرده برای سیستم حمل و نقل ریلی این تونل نیز منتفی می باشد.

در نهایت با توجه به مطالب ذکر شده و عدم استفاده از دو نوع لوکوموتیو الکتریکی و هوای فشرده، برای سیستم حمل و نقل ریلی این تونل استفاده از لوکوموتیوهای دیزلی مد نظر قرار گرفته است. در ادامه پس از بررسی روابط بین نیروی کشش، نیروی مقاوم و توان، و بدست آوردن نیروهای مقاوم موجود در طی مسیر، وزن و توان لوکوموتیو محاسبه می‌شود.

### ۵-۳-۹- روابط بین نیروی کشش، نیروی مقاوم و توان

قدرت لازم برای به حرکت در آوردن وسایل پر و یا خالی در مسیرهای مشخص قابلیت باربری سیستم حمل و نقل مواد را مشخص خواهد کرد. وسایل موجود در سیستمهای حمل مواد، برای انتقال خود و باربر مورد نظر می بایست قادر باشند تا به مقاومت‌های استاتیکی و دینامیکی که در طول مسیر در مقابل حرکت آن وسایل وجود دارد غلبه کنند. به عبارت دیگر برای شروع حرکت لازم است تا نیروی کشش وسیله با نیروهای مقاوم برابر باشد.

$$T_e \equiv T_R \quad \text{رابطه (۵-۵)}$$

که در آن:

$T_e$ : نیروی کششی

$T_R$ : نیروهای مقاوم

ارتباط قدرت ( $P$ ) با نیروی کششی وسیله ( $T_e$ ) و سرعت ( $V$ ) آن مطابق رابطه ۵-۶ بیان می شود (Boky, 1967):

$$P = T_e \times V \quad \text{رابطه (۶-۵)}$$

البته در رابطه بالا نیروی کششی مربوط به سیستم های منقطع می باشد. همچنین کل نیروی مقاوم سیستم از رابطه ۵-۷ قابل محاسبه می باشد (Boky, 1967):

$$T_R = R_t \times W_t \quad \text{رابطه (۵-۷)}$$

که در آن:

$T_R$ : کل نیروی مقاوم سیستم (kg)

$W_t$ : وزن ناخالص باربر (ton)

$R_t$ : مجموع ضرایب نیروهای مقاوم (kg/t)

از طرف دیگر، زمانی تمام انرژی (قدرت) یک وسیله حمل و نقل صرف انتقال بار ناخالص می شود که فقط بتواند به نیروی کششی تبدیل شود. این در حالی به وقوع می پیوندد که اصطکاک لغزشی (کششی) بین محیط و وسیله وجود داشته باشد. بنابراین این نیروی کشش وسیله که متناسب با وزن آن و ضریب اصطکاک بین محیط و وسیله مورد نظر می باشد، از رابطه ۵-۸ حاصل می شود (Boky, 1967).

$$T_e = 1000 \times \mu \times W_L \times 9.81 \quad \text{رابطه (۵-۸)}$$

که در آن:

$T_e$ : نیروی کششی قابل اعمال (N)

$W_L$ : وزن وسیله باربر (ton)

$\mu$ : ضریب اصطکاک لغزشی

اگر  $W_L$  افزایش پیدا کند،  $T_e$  به دلیل ثابت بودن  $\mu$ ، می بایست افزایش پیدا کند. وزن عامل چسبندگی وسیله بر روی محیط است به همین دلیل وزن روی محور متحرک را وزن چسبنده می نامند و به ضریب اصطکاک بین چرخ و محیط آن «ضریب چسبندگی» یا «ضریب اصطکاک لغزشی» اطلاق می شود.



## ۵-۳-۱۰- نیروهای مقاوم در طی حرکت قطار

در طی حرکت قطار، نیروهای مقاومی شکل می گیرند که نیروی کشنده باید بر آنها فائق آید. این نیروهای مقاوم از موارد زیر ناشی می شوند (قلیان، ۱۳۷۷).

۱- نیروی اصطکاک در یاتاقانها و نیز نیروی اصطکاک بین چرخها و ریل (مقاومت غلتشی)

۲- مؤلفه ثقلی ایجاد شده در شیب ها، که در سربالایی مثبت و سر پایینی منفی است.

۳- اینرسی (لختی) ناشی از شتاب در شروع حرکت و هنگامی که سرعت ثابت نیست.

۴- مقاومت ایجاد شده به خاطر قوس های خط

در ادامه نحوه محاسبه هر یک از مقاومت های فوق الذکر شرح داده شده است:

## ۵-۳-۱۰-۱- مقاومت غلتشی

این مقاومت شامل مقاومت حرکتی و مقاومت های ایجاد شده ناشی از اصطکاک طوقه چرخ با ریل و

یاتاقانها می باشد. مقدار مقاومت غلتشی برابر است با ضریب مقاومت غلتشی بر حسب (kg/t) در کل

وزن قطار بر حسب تن (Boky, 1967).

$$F_R = R_r \cdot W_t \quad \text{رابطه (۵-۹)}$$

که در آن:

$F_R$ : نیروی مقاومت غلتشی (kg)

$R_r$ : ضریب مقاومت غلتشی (kg/t)

$W_t$ : وزن قطار (ton)

## ۵-۳-۱۰-۲- مقاومت شیب

مقاومت در مقابل حرکت وسائلی که در مسیرهای شیبدار به سمت بالا و یا پایین در حال حرکت هستند با زمانی که آن وسیله در یک مسیر افقی حرکت می کند، متفاوت است. مسیرهای با حرکت به سمت بالا، شیب مثبت، مقاومت حرکتی را افزایش و مسیرهای رو به پایین، شیب منفی، مقاومت حرکتی را کاهش می دهد. نیروی کشش لازم برای مقابله با نیروی مقاومت شیب از رابطه زیر بدست می آید (Boky, 1967):

$$F_g = W_t \times \sin \theta \quad \text{رابطه (۵-۱۰)}$$

که در آن:

$F_g$ : نیروی مقاوم شیب (kg)

$W_t$ : وزن قطار (ton)

$\theta$ : زاویه شیب مسیر

متداول ترین روش بیان شیب به صورت درصد است. یک درصد شیب عبارتست از راهی که در هر ۱۰۰ متر طول افقی آن تنها ۱ متر اختلاف ارتفاع وجود داشته باشد. همچنین می توان  $\sin \theta$  را برای زوایای کوچک معادل با  $\tan \theta$  در نظر گرفت. در این حالت اگر  $G$  را معادل مقدار عددی درصد شیب در نظر بگیریم، رابطه زیر برقرار خواهد بود (Boky, 1967):

$$\sin \theta = \tan \theta = \frac{G}{100} = 0.01G \quad \text{رابطه (۵-۱۱)}$$

اگر مقاومت مخصوص کششی شیب به عنوان نیروی لازم برای کشیدن باری به جرم یک تن، در سطحی با شیب  $G$  در صد تعریف شود. می توان آن را با استفاده از روابط ۵-۱۰ و ۵-۱۱ به صورت رابطه زیر در نظر گرفت:

$$R_g = 1000 \frac{G}{100} = 10G \quad \text{رابطه (۵-۱۲)}$$

که در آن:

$R_g$ : مقاومت مخصوص کششی شیب (kg/t)

با توجه به مقدار  $R_g$  و مطالب اشاره شده، می توان رابطه ۵-۱۰ را به جهت راحتی و سهولت استفاده به رابطه ۵-۱۳ تبدیل کرد.

$$F_g = \pm W_t \times 10 \times G \quad \text{رابطه (۵-۱۳)}$$

که در آن :

$W_t$ : وزن قطار (ton)

$G$ : مقدار عددی درصد شیب

$F_g$ : نیروی مقاومت مخصوص کشش شیب (kg)

علامت مثبت زمانی در نظر گرفته می شود که مسیر حرکت وسیله در جهت افزایش شیب باشد، در غیر این صورت علامت منفی خواهد بود.

### ۵-۳-۱۰-۳- مقاومت لختی یا اینرسی

در حرکت با سرعت ثابت تنها مقاومت استاتیکی در مقابل حرکت وسیله وجود دارد ولی با تغییر سرعت، با شتاب مثبت یا منفی، مقاومت دینامیکی متناسب با آن به وجود می آید. اگر جسمی با جرم  $m$  و شتاب  $a$  به حرکت درآید نیروی لازم برای حرکت آن متناسب با حاصلضرب جرم در شتاب ( $ma$ ) خواهد بود. حال با استفاده از همین رابطه می توان نیروی مورد نظر برای به حرکت درآوردن وسیله ای با وزن کلی  $W_t$  و شتاب  $a$  را به صورت رابطه ۵-۱۴ نوشت (Boky, 1967):

$$F_a = \frac{W_t}{g} \times a \quad \text{رابطه (۵-۱۴)}$$

که در آن:

$F_a$ : نیروی مقاوم اینرسی حرکت (kg)

$W_t$ : وزن قطار (ton)

$g$ : شتاب ثقل ( $g \approx 9.8$ ، بر حسب  $m/s^2$ )

$a$ : شتاب حرکت ( $m/s^2$ )

از آنجا که شتاب جسم بر حسب متر بر مجذور ثانیه می باشد و  $g$  یا شتاب ثقل نیز برابر  $9/81$  متر بر مجذور ثانیه است می توان مقاومت مخصوص شتاب حرکتی را به صورت رابطه ۵-۱۵ فرض کرد:

$$R_a = 1000 \frac{a}{g} = 100a \quad \text{رابطه (۵-۱۵)}$$

که در آن:

$R_a$ : مقاومت مخصوص شتاب حرکتی (kg/t)

$a$ : شتاب حرکت ( $m/s^2$ )

با توجه به رابطه ۵-۱۵ می توان رابطه ۵-۱۴ را به رابطه ۵-۱۶ تبدیل کرد:

$$F_a = \pm 100 \times W_t \times a \quad \text{رابطه (۵-۱۶)}$$

که در آن :

$F_a$ : نیروی مقاوم اینرسی حرکت (kg)

$W_t$ : وزن قطار (ton)

$a$ : شتاب حرکت ( $m/s^2$ )

در رابطه فوق مقدار افزایش یا کاهش جرم یا وزن قطعاتی که در حال چرخش هستند نظیر چرخ، محورهای موتور و دنده ها در نظر گرفته نشده اند. در صورتی که اطلاعات مربوط به طراحی هر یک از قطعات مشخص باشد در آن صورت می توان تأثیر آنها را نیز اندازه گیری کرد. در شرایط عادی

می توان به مقدار جرم جسم ۱۰ درصد آن را نیز اضافه کرد. بنابراین رابطه ۵-۱۶ به صورت رابطه زیر در خواهد آمد (Boky, 1967):

$$F_a = \pm 110 \times W_t \times a \quad \text{رابطه (۵-۱۷)}$$

### ۵-۳-۱۰-۴- مقاومت در قوس ها

نیروی گریز از مرکز عمده ترین نیروی مقاوم حرکت در قوس ها است. اگر سرعت در قوس های با مشخصات زیر هماهنگی داشته باشد مقاومتی در اثر نیروی گریز از مرکز اعمال نمی شود (صدری، ۱۳۸۱).

|                               |                                 |
|-------------------------------|---------------------------------|
| سرعت ۰ تا ۸ کیلومتر در ساعت   | در قوس های با شعاع ۳۰ متر       |
| سرعت ۸ تا ۱۶ کیلومتر در ساعت  | در قوس های با شعاع ۳۰ تا ۶۰ متر |
| سرعت ۱۶ تا ۲۴ کیلومتر در ساعت | در قوس های با شعاع ۶۰ تا ۹۰ متر |

در صورت بیشتر بودن سرعت و شعاع مسیرهای حمل مواد از مقادیر مذکور، برای جلوگیری از اثر نیروی گریز از مرکز لازم است مقدار شیب عرضی را متناسب با سرعت و شعاع قوس در نظر گرفت.

بدلیل تغییر سرعت وسیله در قوس ها و همچنین وجود قطعات متحرک مکانیکی مختلف که در سیستم های حمل و نقل بکار گرفته شده است، ثابت شده که هیچگاه نمی توان اثر ناشی از قرارگیری وسیله در قوس را برطرف نمود. بنابراین همواره در قوسها «نیروی اثر قوس» وجود دارد. مقدار مقاومت مخصوص نیروی اثر قوس از رابطه تجربی زیر بدست می آید (صدری، ۱۳۸۱):

$$R_{ic} = 0.4 \times C_n \quad \text{رابطه (۵-۱۸)}$$

که در آن :

$R_{ic}$  : مقاومت مخصوص نیروی اثر قوس (kg/t)

$C_n$  : عدد قوس می باشد که از رابطه (۵-۱۹) بدست می آید (صدری، ۱۳۸۱):

$$C_n = \frac{1474}{R} \quad \text{رابطه (۵-۱۹)}$$

$R$  : شعاع قوس مورد نظر (m)

علاوه بر نیروی های مقاوم ناشی از گریز از مرکز، در سیستم های ریلی «نیروی مالشی ریل» نیز بصورت نیروی مقاوم در برابر حرکت عمل می نماید. با ثابت بودن محور باربرهای ریلی نسبت به هم و یا ثابت بودن چرخ ها در هر محور همواره مالش ناشی از تماس ریل و چرخ بصورت نیروی مقاوم مالشی وجود دارد. مقاومت مخصوص نیروی مالشی ریل از طریق رابطه تجربی زیر بدست می آید (صدری، ۱۳۸۱):

$$R_{fc} = \frac{130(G+B)}{R} \quad \text{رابطه (۵-۲۰)}$$

که در آن:

$R_{fc}$  : مقاومت مخصوص نیروی مالشی ریل (kg/t)

$G$  : فاصله دو ریل (متر)

$B$  : فاصله دو محور واگن یا لوکوموتیو (متر)

$R$  : شعاع قوس مورد نظر (m)

بنابراین مقاومت مخصوص قوس بصورت رابطه (۵-۲۱)، جمع مقاومت مخصوص مربوط به دو نیروی اثر قوس و نیروی مالشی ریل ها است.

$$R_c = R_{fc} + R_{fc} \quad \text{رابطه (۵-۲۱)}$$

$R_c$  : مقاومت مخصوص قوس (kg/t)

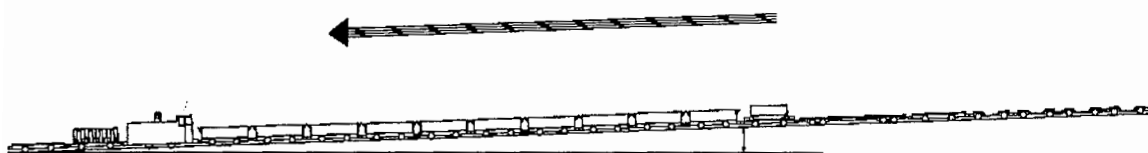
در نهایت مقدار نیروی مقاومت قوس برای وزن کلی قطار بر حسب تن از رابطه ۵-۲۲ بدست می آید:

$$F_c = W_t \cdot R_c \quad \text{رابطه (۵-۲۲)}$$

## ۵-۳-۱۱- تعیین مجموع نیروهای مقاوم در طی حرکت قطار، هنگام برگشت

در تعیین مجموع نیروهای مقاوم هدف انتخاب بیشترین مقاومت ایجاد شده در طی مسیر می باشد. در مسیر تونل هنگام برگشت قطار کلاً سه حالت « قطار در مسیر»، « ورود قطار به سوئیچ کالیفرنیا»، « خروج قطار از سوئیچ کالیفرنیا » وجود دارد که می بایست در محاسبات مربوطه مورد توجه قرار گیرند. چون در حالت خروج از سوئیچ کالیفرنیا نسبت به حالت ورود به سوئیچ کالیفرنیا شیب قسمتی از میسر منفی و در نتیجه مقاومت ناشی از شیب کمتر است، حالت سوم در محاسبات منظور نمی شود. در قطعه اول تونل کرج تنها دو قوس دایره ای با شعاع های ۲۰۰۰ متر و ۵۰۰۰ متر وجود دارد که با توجه به سرعت مجاز قطار در تونل، مقاومت ناشی از قوس بسیار ناچیز بوده که از آن صرف نظر می شود. همچنین در سوئیچ کالیفرنیا قوس دایره ای با شعاع ۴۰ متر وجود دارد ولی چون سرعت در عبور از سوئیچ کالیفرنیا از ۱۰ کیلومتر در ساعت تجاوز نمی کند، در نتیجه مقاومتی ایجاد نخواهد شد. بنابراین در محاسبات مربوط به مجموع نیروهای مقاوم، محاسبه مقاومت ناشی از قوس منتفی می باشد. در ادامه روابط مربوط به دو حالت ممکن ارائه می شود.

**حالت ۱:** تمام طول قطار در شیب تونل قرار گرفته است (شکل ۵-۱۲).



شکل ۵-۱۲- نمایی شماتیک از قرارگیری قطار در شیب مسیر تونل هنگام برگشت.

در این حالت مجموع نیروهای مقاوم از رابطه زیر بدست می آید:

$$F_1 = (R_r - R_g + R_a)W_t \times 9.81 \quad \text{رابطه (۵-۲۳)}$$

که در آن :

$F_t$  : کل نیروی مقاوم در طی حرکت قطار در مسیر تونل در حالت مذکور (N)

$R_t$  : ضریب مقاومت غلتشی (kg/t)

$R_g$  : مقاومت مخصوص کششی شیب (kg/t)

$R_a$  : مقاومت مخصوص اینرسی حرکت (kg/t)

$W_t$  : وزن ناخالص قطار در هنگام برگشت (kg)

حالت ۲: ورود قطار به سوئیچ کالیفرنیا

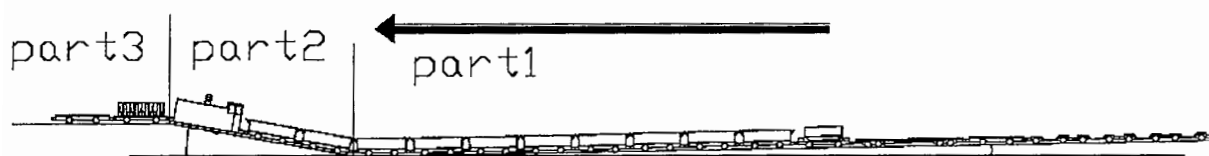
همانطور که در شکل ۵-۱۳ مشاهده می شود در این حالت قسمتی از طول قطار در شیب مسیر

(Part1)، بخشی بر روی شیب سوئیچ کالیفرنیا (Part2) و بخشی دیگر از قطار روی سوئیچ کالیفرنیا

(Part3) قرار می گیرد. بدیهی است بیشترین نیروی مقاوم زمانی حاصل می شود که بیشترین وزن

قطار بر روی شیب سوئیچ کالیفرنیا قرار گیرد (Part2). همچنین ترتیب چیدمان واگنها و لوکوموتیو به

ترتیبی است که در پشت سر لوکوموتیو، واگن های حمل خاک قرار گرفته اند.



شکل ۵-۱۳- نمایی شماتیک از نحوه قرارگیری قطار بر روی شیب مسیر تونل، شیب کالیفرنیا سوئیچ، روی سوئیچ کالیفرنیا در هنگام برگشت.

با در نظر گرفتن این نکته که لوکوموتیو سنگین ترین عضو از قطار و بعد از آن واگن های حمل خاک

جزء سنگین ترین واگن ها هنگام برگشت (زمانی که خاک حمل می کنند) می باشند پس برای



محاسبه بیشترین نیروی مقاوم در این حالت، فرض می شود که در طول شیب سوئیچ کالیفرنیا، در بالاترین نقطه لوکوموتیو و سپس به دنبال آن واگن های حمل خاک قرار می گیرند. در طراحی سوئیچ کالیفرنیا طول مسیر شیبدار حدود ۲۰ متر و شیب آن ۲ درصد منظور شده است. بنابراین در این حالت مجموع نیروهای مقاوم از رابطه زیر بدست می آید:

$$F_2 = [(R_r - R_g)W_1 + (R_r + R_g)W_2 + R_rW_3 + R_aW_t] \times 9.81 \quad (\text{رابطه ۵-۲۴})$$

که در آن :

$F_2$  : کل نیروی مقاوم در برابر قطار با توجه به وضعیت شرح داده شده (N)

$W_1$  : وزن ناخالص قطار در Part1 با توجه به وضعیت شکل ۵-۱۳ در هنگام برگشت (ton)

$W_2$  : وزن ناخالص قطار در Part2 با توجه به وضعیت شکل ۵-۱۳ در هنگام برگشت (ton)

$W_3$  : وزن ناخالص قطار در Part3 با توجه به وضعیت شکل ۵-۱۳ در هنگام برگشت (ton)

$W_t$  : وزن ناخالص کل قطار در هنگام برگشت (ton)

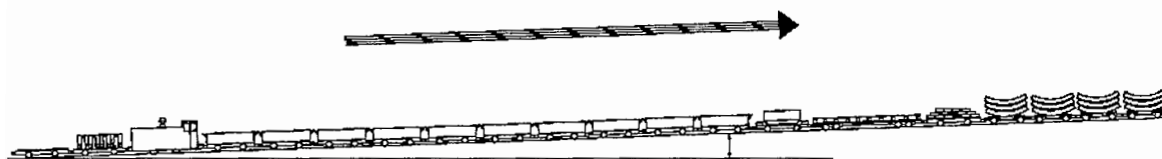
$R_g$  : مقاومت مخصوص کششی شیب (در روی شیب سوئیچ کالیفرنیا) (kg/t)

بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده اند.

### ۵-۳-۱۲- تعیین مجموع نیروهای مقاوم در طی حرکت قطار، در هنگام رفت

در هنگام حرکت قطار به داخل تونل شرایطی مشابه با بخش قبل ایجاد می شود با این تفاوت که جهت شیب تونل تغییر خواهد کرد. روابط دو حالتی که قطار در هنگام رفت با آنها روبرو می باشد همراه با شکل های مربوطه در زیر ارائه شده است:

حالت اول : تمام طول قطار در شیب تونل قرار گرفته است (شکل ۵-۱۴).



شکل ۵-۱۴- نمایی شماتیک از قرارگیری قطار در شیب مسیر تونل هنگام رفت

در این حالت مجموع نیروهای مقاوم از رابطه زیر بدست می آید:

$$F_3 = (R_r + R_g + R_a)W_t \times 9.81 \quad \text{رابطه (۵-۲۵)}$$

$F_3$ : کل نیروی مقاوم در برابر حرکت قطار در طول مسیر (هنگام رفت) (N)

بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده اند.

حالت دوم : ورود قطار به سوئیچ کالیفرنیا (هنگام حرکت قطار به داخل تونل)

در این حالت با توجه به جهت شیب مثبت مسیر تونل و شیب سوئیچ کالیفرنیا بیشترین مقاومت زمانی

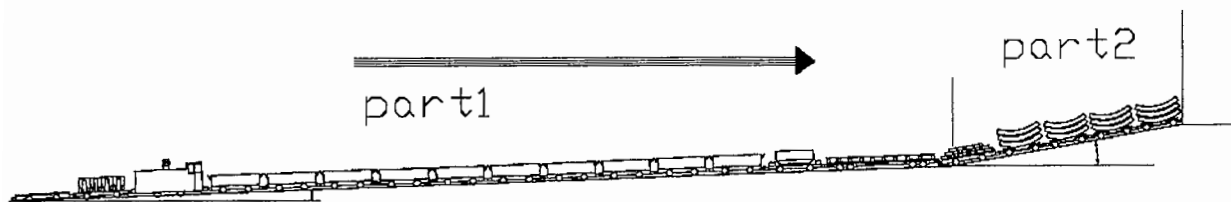
حاصل می شود که واگنهای حمل سگمنت و حدود ۹۰ درصد از طول واگن کفی حمل سیمان بر روی

شیب سوئیچ کالیفرنیا قرار گیرند. شکل ۵-۱۵ وضعیت قطار در حالت مذکور را نشان

می دهد. شایان ذکر است در محاسبات، حداقل شتاب لازم برای قطار در طول مسیر ۰/۰۷ متر بر

مجدور ثانیه و برای عبور از روی سوئیچ کالیفرنیا به دلیل عدم نیاز به سرعت بالا برابر ۰/۰۲ متر بر

مجدور ثانیه در نظر گرفته شده است.



شکل ۵-۱۵ نمایی شماتیک از نحوه قرارگیری قطار بر روی مسیر تونل، شیب سوئیچ کالیفرنیا و روی سوئیچ کالیفرنیا در هنگام رفت.

بنابراین در این حالت مجموع نیروهای مقاوم از رابطه زیر بدست می آید:

$$F_4 = [(R_r + R_g)W'_1 + (R_r + R_g)W'_2 + R_o W'_t] \times 9.81 \quad \text{رابطه (۵-۲۶)}$$

که در آن:

$F_4$ : کل نیروی مقاوم در برابر قطار با توجه به وضعیت شرح داده شده (N)

$W'_1$ : وزن ناخالص قطار در Part1 با توجه به وضعیت شکل ۵-۱۵ در هنگام رفت (ton)

$W'_2$ : وزن ناخالص قطار در Part2 با توجه به وضعیت شکل ۵-۱۵ در هنگام رفت (ton)

$W'_t$ : وزن ناخالص کل قطار در هنگام برگشت (ton)

بقیه پارامترها قبلاً تعریف شده اند.

### ۵-۳-۱۳-تعیین وزن و توان لوکوموتیو

قطار زمانی می تواند حرکت کند که بر کلیه مقاومت های موجود غلبه کند و از آنجا که ماکزیمم

نیروی کشنده لوکوموتیو رابطه مستقیم با وزن آن دارد می بایست وزنی برای لوکوموتیو انتخاب شود

که ماکزیمم نیروی کشنده بزرگتر از نیروی مقاوم در برابر حرکت قطار باشد. برای این منظور وزن

لوکوموتیو مجهول در نظر گرفته می شود و روابط ۵-۲۳ تا ۵-۲۶ با رابطه ۵-۸ برابر قرار می گیرند و

می‌توان حداقل وزن لازم برای لوکوموتیو در حالت‌های مذکور را بدست آورد. چون بیشترین وزن برای مقابله با بیشترین مقاومت بدست می‌آید می‌بایست در میان آنها بیشترین وزن به عنوان وزن لوکوموتیو انتخاب شود. همچنین هنگام کار کردن لوکوموتیو در تونل به دلیل وجود رطوبت و گرد و غبار، ضریب اصطکاک لغزشی کم می‌شود. در عمل ضریب اصطکاک یا چسبندگی بین ۰/۱-۰/۱۸ می‌باشد که در محاسبات ضریب اصطکاک لغزشی ۰/۱۸ منظور شده است. حداقل وزن لازم برای لوکوموتیو برای حالت های اول و دوم در هنگام برگشت و رفت به ترتیب توسط روابط ۵-۲۷ تا ۵-۳۰ بدست می‌آید که در زیر آورده شده اند:

$$W_{L1} = \frac{(R_r - R_g + R_a)W}{1000\mu - (R_r - R_g + R_a)} \quad \text{رابطه (۵-۲۷)}$$

$$W_{L2} = \frac{(R_r - R_g)W_1 + (R_r + R_{g'})W_C + R_r W_3 + R_a W}{1000\mu - (R_r + R_{g'} + R_a)} \quad \text{رابطه (۵-۲۸)}$$

$$W_{L3} = \frac{(R_r + R_g + R_a)W'}{1000\mu - (R_r + R_g + R_a)} \quad \text{رابطه (۵-۲۹)}$$

$$W_{L4} = \frac{(R_r + R_g)W'_1 + (R_r + R_{g'})W'_C + R_a W'}{1000\mu - (R_r + R_g + R_a)} \quad \text{رابطه (۵-۳۰)}$$

که در روابط فوق :

$W_{L1}$  : وزن لازم برای لوکوموتیو در هنگام برگشت در مسیر تونل (ton)

$W_{L2}$  : وزن لازم برای لوکوموتیو در هنگام برگشت و عبور از روی سوئیچ کالیفرنیا (ton)

$W_{L3}$  : وزن لازم برای لوکوموتیو در هنگام رفت در مسیر تونل (ton)

$W_{L4}$  : وزن لازم برای لوکوموتیو در هنگام رفت و عبور از روی سوئیچ کالیفرنیا (ton)

$\mu$ : ضریب اصطکاک لغزشی

$W$ : وزن ناخالص کلیه واگن ها در هنگام برگشت (ton)

$W'$ : وزن ناخالص کلیه واگن ها در هنگام رفت (ton)

$W_1$ : وزن ناخالص واگن هایی که در هنگام برگشت با توجه به وضعیت شرح داده شده

در بخش ۵-۳-۱۱ و شکل ۵-۱۳ روی مسیر تونل قرار دارند (ton)

$W'_1$ : وزن ناخالص واگن هایی که در هنگام رفت با توجه به وضعیت شرح داده شده

در بخش ۵-۳-۱۲ و شکل ۵-۱۴ روی مسیر تونل قرار دارند (ton)

$W_c$ : وزن ناخالص واگن های حمل خاک قرار گرفته روی شیب سوئیچ کالیفرنیا

در هنگام برگشت (ton)

$W'_c$ : وزن ناخالص واگن های حمل خاک قرار گرفته روی شیب سوئیچ کالیفرنیا در هنگام رفت (ton)

$W_3$ : وزن ناخالص واگن هایی که در هنگام برگشت با توجه به وضعیت شرح داده شده

در بخش ۵-۳-۱۱ و شکل ۵-۱۳ روی سوئیچ کالیفرنیا قرار دارند (ton)

در مرحله ای که قطار از خارج تونل به سمت داخل تونل حرکت می کند، واگن های حمل خاک خالی

و سایر واگن ها پر می باشند و در هنگام خروج قطار از تونل، واگن های حمل خاک و واگن حمل

پرسنل پر بوده و سایر واگن ها خالی می باشند. واگن کفی حمل قطعات یدکی در هر حالت پر در نظر

گرفته می شود. وزن قطار در حالت رفت و برگشت به شرح جدول ۵-۴ خواهد بود. همچنین نتایج

بدست آمده از طریق روابط بالا در جدول ۵-۵ آورده شده است.

همانطور که از نتایج بدست آمده در جدول ۵-۵ مشخص است حداقل وزن لازم برای لوکوموتیو در

بدترین شرایط مقاومتی ۲۴/۴۸ تن می باشد. بنابراین انتخاب لوکوموتیو ۲۵ تنی مناسب می باشد و با

بررسی لوکوموتیو های مختلف موجود در بازار، در نهایت لوکوموتیو دیزلی ۲۵ تن

مدل CFL-180DCL ساخت شرکت آلمانی شوما با ۱۴۱ کیلو وات توان انتخاب شد. با توجه به توان

لوکوموتیو انتخابی، سرعت قطار در مسیرهای رفت و برگشت محاسبه شده و به همراه سرعت متوسط حرکت قطار در هنگام رفت و برگشت در جدول ۵-۴ آورده شده است. در مبحث زمانبندی سیکل باربری، سرعت متوسط قطار در هنگام برگشت ۱۰ کیلومتر در ساعت و در هنگام رفت ۱۵ کیلومتر در ساعت در نظر گرفته می شود.

جدول ۵-۴- وزن قطار در رفت و برگشت

| نوع واگن               | وزن هنگام رفت (kg) | وزن هنگام برگشت (kg) |
|------------------------|--------------------|----------------------|
| واگن حمل خاک           | ۱۸۳۵۰۰             | ۶۰۰۰۰                |
| واگن حمل سگمنت         | ۸۰۰۰               | ۳۰۴۰۵                |
| واگن حمل شن نخودی      | ۵۹۰۰               | ۱۱۴۰۰/۰۴             |
| واگن حمل پرسنل         | ۳۷۵۰               | ۳۷۵۰                 |
| واگن حمل ریل و تراورس  | ۸۰۰۰               | ۱۱۰۰۰                |
| واگن حمل سیمان کیسه ای | ۲۹۰۰               | ۴۷۲۰                 |
| واگن حمل قطعات یدکی    | ۳۹۰۰               | ۳۹۰۰                 |
| جمع وزن واگنها         | ۲۱۵۹۵۰             | ۱۲۵۱۷۵               |
| وزن لوکوموتیو          | ۲۵۰۰۰              | ۲۵۰۰۰                |
| جمع وزن قطار           | ۲۴۰۹۵۰             | ۱۵۰۱۷۵               |

جدول ۵-۵- وزن لازم برای لوکوموتیو با توجه به هر یک از حالت های اشاره شده.

| حالت ها                                                           | مجموع مقاومتهای موجود (N) | حداقل وزن لازم (ton) |
|-------------------------------------------------------------------|---------------------------|----------------------|
| لوکوموتیو در هنگام برگشت در مسیر تونل (شکل ۵-۱۳)                  | ۴۳۳۲۶/۹۸                  | ۲۴/۴۸                |
| لوکوموتیو در هنگام برگشت و عبور از روی سوئیچ کالیفرنیا (شکل ۵-۱۴) | ۴۳۳۶۴/۱                   | ۲۴/۴۵                |
| لوکوموتیو در هنگام رفت در مسیر تونل (شکل ۵-۱۵)                    | ۳۱۰۴۰/۶۹                  | ۱۶/۵۹                |
| لوکوموتیو در هنگام رفت و عبور از روی سوئیچ کالیفرنیا (شکل ۵-۱۶)   | ۲۹۳۵۷/۴۵                  | ۱۵/۸۳                |

جدول ۵-۶- سرعت قطار در حالت‌های مختلف با توجه به توان ۱۴۱ کیلو وات

| حالت ها     | سرعت محاسباتی قطار با توجه به توان<br>(km/hr) ۱۴۱ kw | سرعت متوسط حرکت قطار<br>(km/hr) |
|-------------|------------------------------------------------------|---------------------------------|
| هنگام برگشت | ۱۱/۷۲                                                | ۱۰                              |
| هنگام رفت   | ۱۶/۳۵                                                | ۱۵                              |

#### ۵-۴- زمان بندی سیکل عملیات ترابری و محاسبه تعداد تجهیزات مورد نیاز

در بخش قبل مشخصات تجهیزات سیستم ترابری بیان شد. در این بخش ابتدا به بررسی سیکل زمانبندی عملیات ترابری پرداخته و سپس تعداد هر یک از تجهیزات مورد نیاز محاسبه خواهد شد. از آنجا که توسط هر قطار، مواد و مصالح و تجهیزات مورد نیاز برای دو رینگ پیشروی ( $2 \times 1/3$ ) حمل می شود (و با توجه به مشخصاتی که در بخش قبل برای واگن ها بیان شد)، هر قطار شامل ۱۰ واگن حمل خاک، ۴ واگن حمل سگمنت، ۱ واگن حمل شن نخودی، ۱ واگن حمل پرسنل، ۱ واگن کفی حمل سیمان کیسه ای، ۱ واگن کفی حمل ریل و تراورس و کابل و لوله و ۱ واگن کفی حمل قطعات یدکی و تعویضی می باشد. بنابراین تعیین تعداد تجهیزات مورد نیاز وابسته به تعیین تعداد قطارهای فعال در سیستم ترابری و تعداد تجهیزات رزرو برای آنها می باشد. بدیهی است هر چه فاصله سینه کار از دهانه تونل بیشتر شود، مدت زمان لازم برای طی مسیر رفت و برگشت بیشتر شده و تعداد قطارهای مورد نیاز افزایش می یابد. به منظور تعیین تعداد قطارهای مورد نیاز لازم است مدت زمان توقف هر قطار در داخل و خارج تونل برای بارگیری و تخلیه و همچنین سرعت حرکت قطار در مسیر رفت و برگشت تعیین شود. همانطور که قبلاً بیان شد، سیستم ترابری به گونه ای طراحی می شود که امکان بهره برداری از حداکثر توان دستگاه D.S.TBM فراهم باشد. بدین منظور لازم است همواره یک قطار

در بخش پشتیبانی در حال بارگیری و تخلیه باشد و یک قطار دیگر در سوئیچ پشت سیستم پشتیبانی آماده باشد تا به محض خروج قطار فوق الذکر از محدوده سیستم پشتیبانی، جایگزین آن شود. در چنین شرایطی اگر شرایط زمین و شرایط اجرائی کارگاه اجازه دهد می توان در ساعت های متوالی کار حفاری و سگمنت گذاری را انجام داد. لازم به ذکر است مجاورت سوئیچ کالیفرنای متحرک با سیستم پشتیبانی، همچنین پیش بینی چیدمان مناسب برای سیستم پشتیبانی به منظور تخلیه همزمان سگمنت و گراول به موازات پرشدن واگن های حمل مواد حفاری شده امری الزامی بوده و در صورت عدم رعایت این نکته زمان های پیش بینی شده جوابگوی سیکل نبوده و عملیات حفر تونل با مشکل روبرو خواهد شد.

#### ۵-۴-۱- زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی

بارگیری مواد حاصل از حفاری به درون واگن ها توسط نوار نقاله سیستم پشتیبانی انجام می گیرد. در مجموعه پشتیبانی دستگاه سه نوار نقاله مجزا بدین منظور پیش بینی شده است. این نوارها که به طور متوالی نصب شده اند، کار انتقال مواد از پشت کله حفاری به داخل واگن ها را انجام می دهند و مواد حاصل از حفاری به طور پیوسته به واگن ها تحویل داده می شوند. بنابراین لازم است در حین بارگیری مواد، واگن ها به آرامی به سمت جلو (به سمت دهانه تونل) حرکت کنند تا به ترتیب تمام واگن ها در زیر تغذیه کننده انتهای نوار نقاله واقع شوند. در ضمن واگن ها باید به گونه ای طراحی شوند که هنگام پرشدن یک واگن و جایگزین شدن واگن دیگر نیاز به توقف نوار نقاله نباشد و بارگیری کل واگن ها به طور پیوسته انجام شود. برای تعیین زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی می بایست به دو حالت کاری دستگاه D.S.TBM در طول مسیر تونل توجه داشت یعنی



توجه به شرایط زمین شناسی که دستگاه می تواند با اعمال فشار از طریق تکیه به کفشکها به سمت جلو حرکت کند (همزمان با حفاری، سگمنت گذاری نیز انجام شود) و شرایط زمین شناسی که دستگاه تنها با اعمال فشار جک های سپر عقبی به سگمنت های نصب شده به سمت جلو حرکت کند. بنابراین تعیین زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی در دو حالت بررسی خواهد شد:

#### حالت ۱- در شرایط زمین شناسی که امکان کفشک زدن برای دستگاه D.S.TBM وجود دارد:

سیستم ترابری با ظرفیتی معادل دو گام پیشروی  $(2 \times 1/3)$ ، جهت عملیات حمل و نقل در نظر گرفته شده است. بنابراین می بایست یک مجموعه فعالیتهای کاری زیر به صورت همزمان و یا با تقدم و تأخر انجام گیرند تا بارگیری و تخلیه دو گام پیشروی انجام و دستگاه آماده حفاری گام بعدی باشد:

- حفاری سیکل اول
- سگمنت گذاری سیکل اول
- کفشک زنی دستگاه و آماده شدن آن برای شروع حفاری سیکل دوم
- حفاری سیکل دوم
- سگمنت گذاری سیکل دوم
- کفشک زنی دستگاه و آماده شدن آن برای شروع حفاری سیکل سوم
- جابجایی قطار حامل مواد حفاری شده واقع در سیستم پشتیبانی با قطار حامل سگمنت و شن نخودی و سیمان در روی سوئیچ کالیفرنای متحرک پشت سیستم پشتیبانی
- بدیهی است در طی انجام فعالیتهای فوق، فعالیتهایی از قبیل تخلیه شن نخودی، تخلیه سیمان و ریل و تراورس مونتاژ شده، تخلیه لوله و کابل و قطعات یدکی (در صورت وجود بر روی واگنها)، ریل گذاری

و تزریق دوغاب و شن نخودی در پشت سگمنتها انجام می شوند. در واقع فرصت انجام این فعالیتها از ابتدای حفاری و سگمنت گذاری سیکل اول تا اتمام حفاری و سگمنت گذاری سیکل دوم وجود دارد. به عبارت دیگر شناوری آنها بالا می باشد و زمان انجام آنها در زمان کلی بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی تأثیری ندارد. بنابراین برای جلوگیری از شلوعی، در محاسبات و رسم نمودارهای گانت<sup>۱</sup> و CPM منظور نشده اند. همچنین با فعالیتهای زمان بری که منجر به توقف حفاری و سگمنت گذاری می شود از قبیل ::

- تعویض و تعمیر تیغه های برش بعد از چند سیکل پیشروی (بسته به شرایط زمین)
  - تعمیر و نگهداری های کوچک ماشین و سیستم پشتیبانی شامل روغنکاری و گریسکاری دستگاه
  - مشکلات ناشی از زمین و آب زیرزمینی و نیاز به پیش تزریق
- در طی احداث تونل برخورد خواهد شد اما به دلیل غیر مشخص بودن زمان وقوع و در برخی زمان اتمام آنها و پرهیز از محاسبات پیچیده و غیر شفاف، این دسته فعالیت ها در محاسبات زمانبندی سیکل ترابری و رسم نمودارهای گانت و CPM منظور نشده است.
- برای مشخص کردن زمان تخلیه و بارگیری در داخل تونل در محدوده پشتیبانی دستگاه از نمودار گانت و CPM استفاده می شود. بنابراین در ابتدا به زمان اجرای هر یک از فعالیتها اشاره شده و سپس تقدم وتأخر هر یک از فعالیتها نسبت به دیگری مشخص می شود. با مشخص بودن سرعت نفوذ دستگاه TBM و طول یک گام پیشروی (۱/۳ متر) به راحتی زمان حفاری برای یک گام پیشروی بدست می آید. با توجه به واحد های زمین شناسی مهندسی مختلف در مسیر، سرعتهای نفوذ مختلفی در هر واحد سنگی وجود دارد در نتیجه باید برای هر واحد سنگی زمان حفاری مربوط به خودش را

---

1- Gantt Chart

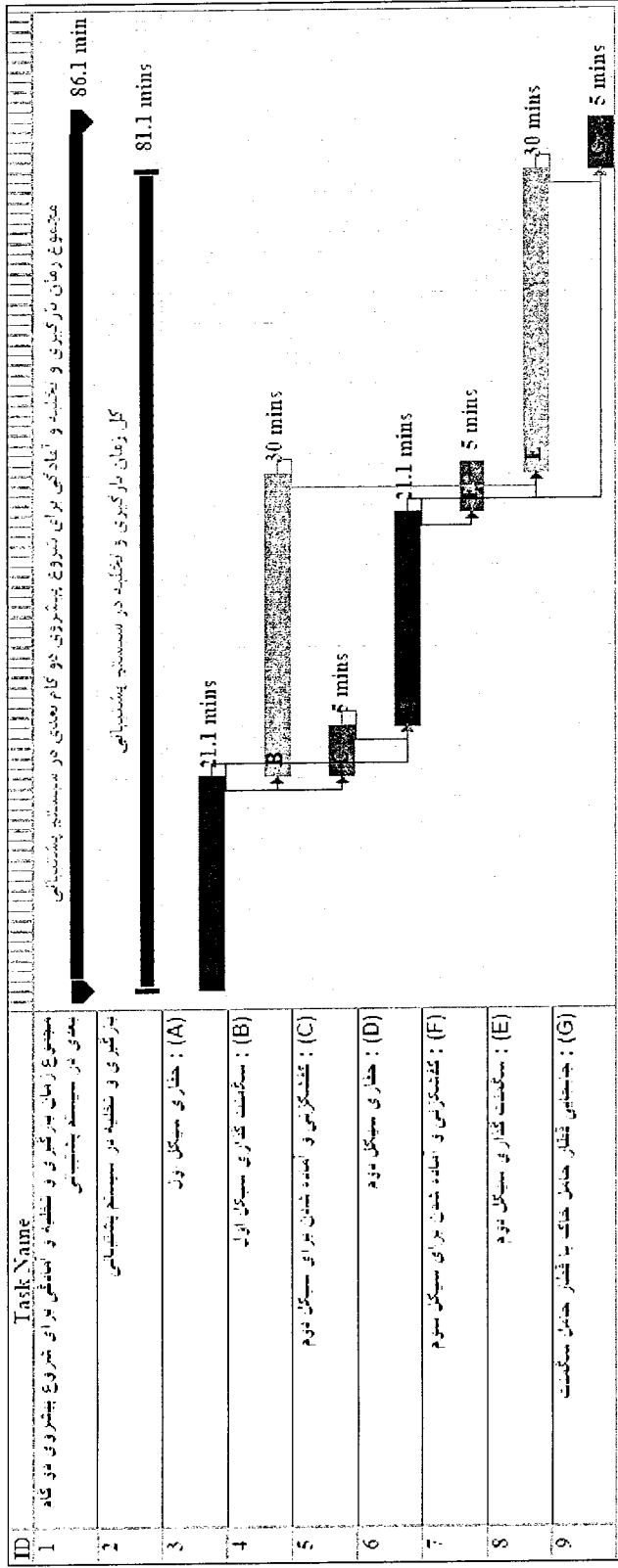
محاسبه کرد و در نمودارها تأثیر داد. برای مثال با توجه به سرعت نفوذ متوسط  $3/7$  متر بر ساعت، زمان حفاری یک گام پیشروی (طولی برابر  $1/3$ ) به طور متوسط حدود  $21/1$  دقیقه به طول می انجامد. جدول ۵-۷ سرعت نفوذ و زمان حفاری یک گام پیشروی را برای واحد های مختلف زمین شناسی مسیر تونل نشان می دهد. زمان لازم برای نصب سگمنت های یک رینگ کامل حدود ۳۰ دقیقه می باشد و زمان لازم برای کفشک زنی مجدد دستگاه و آماده شدن برای حفاری سیکل بعدی ۵ دقیقه فرض می شود. زمان جابجایی قطار پر با خالی نیز ۵ دقیقه به طول می انجامد.

جدول ۵-۷ سرعت نفوذ و زمان حفاری یک گام پیشروی برای

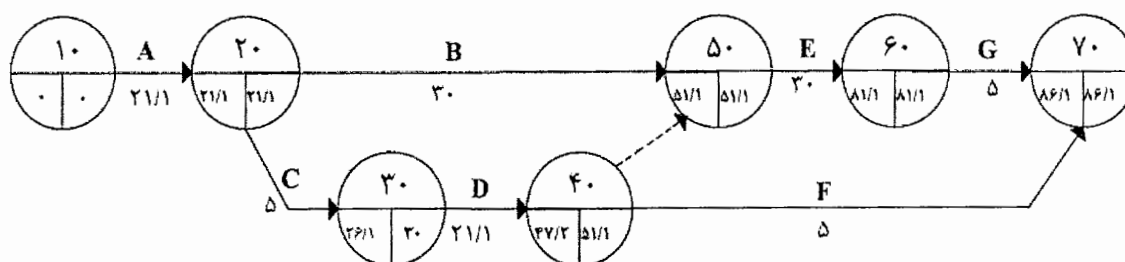
واحدهای زمین شناسی مختلف مسیر تونل.

| واحد زمین شناسی<br>مهندسی | سرعت نفوذ<br>(m/hr) | زمان حفاری یک سیکل<br>(دقیقه) |
|---------------------------|---------------------|-------------------------------|
| Gta1                      | ۳/۶۷                | ۲۱/۳                          |
| Gta2                      | ۳/۹۱                | ۲۰                            |
| Gta3                      | ۴/۳                 | ۱۸/۱                          |
| Gta4                      | ۲/۹۴                | ۲۶/۵                          |
| Sts1                      | ۴/۷۲                | ۱۶/۵                          |
| Sts2                      | ۳/۴۹                | ۲۲/۴                          |
| Sts2-3                    | ۳/۵۵                | ۲۲                            |
| Tsh                       | ۴/۳۳                | ۱۸                            |
| Mdg                       | ۵/۶۶                | ۱۳/۸                          |
| Cz                        | ۳/۲۳                | ۲۴/۲                          |

در حالتی که دستگاه TBM با توجه به شرایط زمین قادر به کفشک زدن باشد، اولین فعالیت، حفاری سیکل اول می باشد. فعالیت کفشک زنی دستگاه و آماده شدن آن برای شروع حفاری سیکل دوم و فعالیت سگمنت گذاری سیکل اول بعد از فعالیت حفاری سیکل اول انجام می شوند. فعالیت حفاری سیکل دوم بعد از فعالیت کفشک زنی دستگاه و آماده شدن آن برای شروع حفاری سیکل دوم انجام می شود. در واقع در حین سگمنت گذاری سیکل اول، حفاری سیکل دوم نیز انجام می شود. پس از اتمام فعالیت سگمنت گذاری سیکل اول و حفاری سیکل دوم، فعالیت سگمنت گذاری سیکل دوم شروع می شود. فعالیت کفشک زنی و آمادگی دستگاه برای شروع سیکل سوم بعد از اتمام فعالیت حفاری سیکل دوم شروع خواهد شد و برای انجام آن تا پایان تمامی فعالیتها زمان وجود دارد. فعالیت جابجایی قطار پر با خالی پس از اتمام فعالیت سگمنت گذاری سیکل دوم شروع می شود و آخرین فعالیت می باشد. شکل ۵-۱۶ و ۵-۱۷ به ترتیب نمودارهای گانت و CPM فعالیتهای مذکور را نشان می دهد. همچنین در جدول ۵-۸ شناوری جمعی و فردی هر یک از فعالیتها مشخص شده است. همانطور که مشاهده می شود زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی داخل تونل به طور متوسط ۸۱/۱ دقیقه محاسبه شده است. اما باید توجه داشت این زمان، با در نظر گرفتن سرعت نفوذ متوسط (۳/۷ متر در ساعت) بدست آمده است. برای دقت بیشتر، زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی داخل تونل با توجه به تغییرات زمان حفاری یک گام پیشروی برای هر یک از واحدهای سنگی مسیر تونل که امکان کفشک زدن برای آنها وجود دارد از طریق نمودارهای گانت و CPM بدست آمده و نتایج آن در جدول ۵-۹ آورده شده است. نمودارهای گانت و CPM آنها در ضمیمه ه آورده شده است.



شکل ۵-۱۶- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن سرعت نفوذ متوسط (حالت ۱)



شکل ۵-۱۷- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن سرعت نفوذ متوسط (حالت ۱)

جدول ۵-۸- زودترین و دیرترین زمان شروع و ختم هر یک از فعالیتهای همراه با مدت زمان اجرای آنها و شناوری جمعی و فردی آنها (حالت ۱).

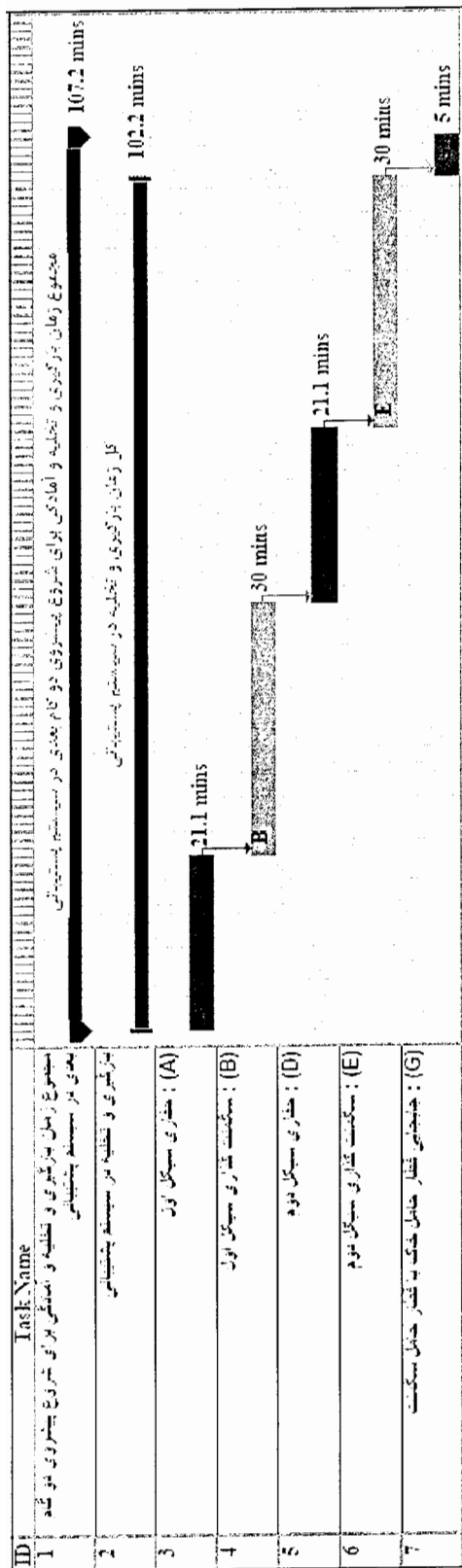
| فعالیت | مدت زمان اجرا (دقیقه) | زمانهای شروع      |                   | زمانهای ختم      |                  | شناوری جمعی | شناوری فردی |
|--------|-----------------------|-------------------|-------------------|------------------|------------------|-------------|-------------|
|        |                       | زودترین زمان شروع | دیرترین زمان شروع | زودترین زمان ختم | دیرترین زمان ختم |             |             |
| A      | ۲۱/۱                  | ۰                 | ۰                 | ۲۱/۱             | ۲۱/۱             | ۰           | ۰           |
| B      | ۳۰                    | ۲۱/۱              | ۲۱/۱              | ۵۱/۱             | ۵۱/۱             | ۰           | ۰           |
| C      | ۵                     | ۲۱/۱              | ۲۵                | ۲۶/۱             | ۳۰               | ۳/۹         | ۰           |
| D      | ۲۱/۱                  | ۲۶/۱              | ۳۰                | ۴۷/۲             | ۵۱/۱             | ۳/۹         | ۳/۹         |
| E      | ۳۰                    | ۵۱/۱              | ۵۱/۱              | ۸۱/۱             | ۸۱/۱             | ۰           | ۰           |
| F      | ۵                     | ۴۷/۲              | ۸۱/۱              | ۵۲/۲             | ۸۶/۱             | ۳۳/۹        | ۳۳/۹        |
| G      | ۵                     | ۸۱/۱              | ۸۱/۱              | ۸۶/۱             | ۸۶/۱             | ۰           | ۰           |

جدول ۵-۹- مدت زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی داخل تونل برای واحدهای زمین شناسی که دستگاه TBM در آنها از طریق تکیه به کفشکها پیشروی می کند.

| نام واحد زمین شناسی مهندسی | زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی داخل تونل (دقیقه) |
|----------------------------|----------------------------------------------------------|
| Gta2                       | ۸۰                                                       |
| Gta3                       | ۷۸/۱                                                     |
| Gta4                       | ۸۸                                                       |
| Sts1                       | ۷۶/۵                                                     |
| Sts2                       | ۸۲/۴                                                     |
| Sts2-3                     | ۸۲                                                       |
| Tsh                        | ۷۸                                                       |
| Mdg                        | ۷۳/۸                                                     |

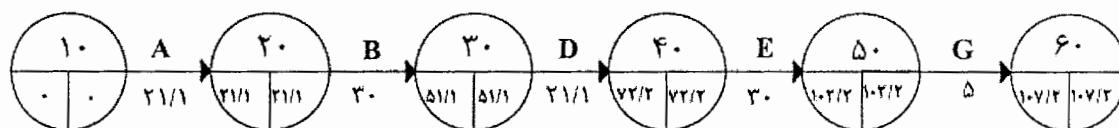
حالت ۲- در شرایط زمین شناسی که امکان کفشک زدن برای دستگاه D.S.TBM وجود ندارد:

در این حالت شرایط زمین به گونه ایست که دستگاه تنها با اعمال فشار جکهای سپر عقبی به سگمنت های نصب شده به سمت جلو حرکت می کند. بنابراین امکان انجام فعالیت کفشک زنی وجود ندارد و تمامی فعالیت های اشاره شده در حالت ۱ به غیر از این فعالیت انجام می شوند تا دو گام پیشروی انجام شود. تقدم و تأخر فعالیتها نسبت به هم در این حالت به این صورت است که ابتدا فعالیت حفاری سیکل اول شروع و بعد از اتمام آن فعالیت سگمنت گذاری همان سیکل انجام می شود. بعد از اتمام فعالیت سگمنت گذاری سیکل اول، فعالیت حفاری سیکل دوم شروع می شود و بعد از اتمام آن فعالیت سگمنت گذاری همان سیکل انجام می شود. فعالیت نهایی جابجایی قطار پر با خالی می باشد. دو شکل ۵-۱۸ و ۵-۱۹ به ترتیب نمودارهای گانت و CPM فعالیت های مذکور را نشان می دهند. جدول ۵-۱۰ نیز شنآوری جمعی و فردی هر یک از فعالیت های حالت فوق را نشان می دهد. زمان سیکل حفاری در نمودارهای شکل ۵-۱۸ و ۵-۱۹ با در نظر گرفتن سرعت نفوذ متوسط دستگاه TBM منظور شده است. همانطور که قبلاً توضیح داده شد برای دقت بیشتر زمان حفاری واحد های زمین شناسی مربوطه جداگانه محاسبه شده و در نمودارهای گانت و CPM منظور گردیده است. نتایج محاسبات زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی در حالت عدم امکان کفشک زدن برای واحد های سنگی Cz و Gta1 در جدول ۵-۱۱ آورده شده است. نمودارهای گانت و CPM آنها نیز در ضمیمه ه آورده شده است.



شکل ۵-۱۸- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن سرعت نفوذ متوسط (حالت ۲)





شکل ۵-۱۹- نمودار CPM فعالیت‌های انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن سرعت نفوذ متوسط (حالت ۲)

جدول ۵-۱۰- زودترین و دیرترین زمان شروع و ختم هر یک از فعالیت‌ها همراه با مدت زمان اجرای آنها و شناوری جمعی و فردی آنها (حالت ۲)

| شناوری فردی | شناوری جمعی | زمانهای ختم      |                  | زمانهای شروع      |                   | مدت زمان اجرا (دقیقه) | فعالیت |
|-------------|-------------|------------------|------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|--------|
|             |             | دیرترین زمان ختم | زودترین زمان ختم | دیرترین زمان شروع | زودترین زمان شروع |                       |        |
| ۰           | ۰           | ۲۱/۱             | ۲۱/۱             | ۰                 | ۰                 | ۲۱/۱                  | A      |
| ۰           | ۰           | ۵۱/۱             | ۵۱/۱             | ۲۱/۱              | ۲۱/۱              | ۳۰                    | B      |
| ۰           | ۰           | ۷۲/۲             | ۷۲/۲             | ۵۱/۱              | ۵۱/۱              | ۲۱/۱                  | D      |
| ۰           | ۰           | ۱۰۲/۲            | ۱۰۲/۲            | ۷۲/۲              | ۷۲/۲              | ۳۰                    | E      |
| ۰           | ۰           | ۱۰۷/۲            | ۱۰۷/۲            | ۱۰۲/۲             | ۱۰۲/۲             | ۵                     | G      |

جدول ۵-۱۱- مدت زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی داخل تونل برای واحدهای زمین شناسی که دستگاه TBM تنها با اعمال فشار جکهای سپر عقبی به سگمنت های نصب شده به سمت جلو حرکت می کند.

| نام واحد زمین شناسی مهندسی | مدت زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی (دقیقه) |
|----------------------------|----------------------------------------------------|
| Gta1                       | ۱۰۲/۶                                              |
| Cz                         | ۱۰۸/۴                                              |

#### ۵-۴-۲- زمان بارگیری و تخلیه در محوطه ترانشه

در خارج تونل عملیات تخلیه خاک های حاصل از حفاری، بارگیری سگمنت، شن نخودی و سیمان کیسه ای انجام می گیرد. قطاری که از تونل خارج می شود، به ترتیب لوکوموتیو در جلو

(سمت خروجی تونل)، واگن های حمل خاک پشت سر آن، واگن شن نخودی، ریل و تراورس، سیمان و سگمنت به ترتیب پشت سر آن قرار دارند. در محوطه ترانشه سه خط ریل گذاری برای سرویس دهی به سیستم ترابری ایجاد می شود (شکل ۵-۵). در یکی از این خطوط، واگن برگردان<sup>۱</sup> قرار دارد. لوکوموتیو از محل واگن بر گردان عبور کرده و واگن ها را تحویل آن می دهد. در همین زمان واگن های سگمنت، شن نخودی و سیمان کیسه ای از مجموعه واگن های حمل خاک جدا می شوند. واگن برگردان به ترتیب یک یک واگن های حمل خاک را به جلو کشیده و تخلیه می کند. در همین حین واگن های حمل شن نخودی، سگمنت و سیمان کیسه ای بارگیری می شوند. پس از اتمام تخلیه واگن های حمل خاک و بارگیری واگن های حمل سگمنت، شن نخودی، سیمان کیسه ای و کفی ریل و لوله، کلیه واگن ها به یکدیگر متصل شده و قطار آماده حرکت به داخل تونل می شود. اگر در مدت زمانی که یک قطار مشغول تخلیه و بارگیری در محوطه ترانشه می باشد، قطار دیگری از تونل خارج شود، این قطار در یک خط ریل منتظر می ماند تا قطار اول به سمت تونل حرکت کرده، از روی خط بارگیری و تخلیه خارج شود. با توجه به تجارب قبلی در پروژه های مشابه پیش بینی می شود مدت زمانی که از لحظه ورود یک قطار به محوطه ترانشه (از داخل تونل) می گذرد تا همین قطار مجدداً آماده حرکت به داخل تونل باشد، حدود ۲۵ دقیقه باشد.

#### ۵-۴-۳- زمانبندی سیستم حمل و نقل از ابتدا تا انتهای تونل

با توجه به اینکه هدف اصلی از زمانبندی به صفر رساندن زمان انتظار دستگاه TBM برای شروع پیشروی می باشد لازم است همواره یک قطار در بخش پشتیبانی در حال بارگیری و تخلیه و یک قطار

1 -Muck car tippler

دیگر در سوئیچ کالیفرنیا متحرک پشت سیستم پشتیبانی آماده باشد تا به محض خروج قطار فوق الذکر از محدوده پشتیبانی جایگزین آن شود. لذا در متراژهای اولیه حداقل به دو دستگاه نیاز است اما با افزایش طول پیشروی و در نتیجه افزایش متراژ، دیگر دو قطار جوابگو نخواهد بود و لازم است به مجموعه ترابری قطار اضافه شود. همچنین به تبع آن برای جلوگیری از تداخل و ترافیک بین آنها نیاز به نصب سوئیچ کالیفرنیا ثابت در نقاطی از مسیر می باشد. بطور معمول در سیستم های ترابری به ویژه ترابری معدنی برای بدست آوردن تعداد وسایل باربر که توسط وسیله بارکننده بارگیری می شوند از قاعده انتظار صفر استفاده می شود. براساس قاعده انتظار صفر اگر زمان یک سیکل کامل حمل و نقل به زمان بارگیری توسط وسیله بارکننده (در اینجا همان زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی) تقسیم شود حداقل تعداد وسیله باربر (در اینجا قطار) برای سیستم حمل و نقل به نحوی بدست می آید که زمان انتظار وسیله بارکننده برای شروع بارکردن (در اینجا دستگاه TBM برای شروع پیشروی) صفر شود. در پروژه کرج به دلیل استفاده از سوئیچ کالیفرنیا و اینکه لازم است دو قطار حامل خاک و سگمنت هر دو در مقابل سوئیچ کالیفرنیا حاضر شوند و بعد سوئیچینگ صورت گیرد، شرایط متفاوت می شود. چون وسایل باربر که همان قطارها می باشند زمان انتظاری را بر یکدیگر تحمیل می کنند، بنابراین نمی توان از قاعده انتظار صفر استفاده کرد. برای محاسبه تعداد قطار مورد نیاز در هر متراژ، تعداد و جای قرارگیری سوئیچ کالیفرنیا در طول مسیر از ترسیم نمودار گانت و تحلیل آن استفاده شده است. در این قسمت با توجه به مطالب مطرح شده در بخش ۵-۴-۱ پیرامون زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی، زمانبندی سیستم حمل و نقل در دو حالت زیر بررسی می شود:

حالت ۱- برای تمامی واحدهای زمین شناسی مهندسی، زمان متوسط بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی در نظر گرفته شود.

حالت ۲- برای هر یک از واحدهای زمین شناسی مهندسی، زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی مخصوص به خودش در نظر گرفته شود.

#### ۵-۴-۳-۱- زمانبندی با در نظر گرفتن حالت ۱

در ابتدا سیستم ترابری نیازمند به دو دستگاه قطار می باشد. شکل ۵-۲۰ نمودار گانت فعالیتهای لازم برای انجام ترابری در این حالت را نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود جمعاً شش فعالیت کاری برای اتمام یک سیکل کامل ترابری انجام می شود که دو تا از فعالیتها یعنی حرکت قطار حامل خاک از سیستم پشتیبانی به سمت دهانه تونل (فعالیت شماره ۵) و حرکت قطار حامل سگمنت از دهانه تونل به سمت سیستم پشتیبانی (فعالیت شماره ۷) از نظر زمانی متغیر و مابقی ثابت اند. در داخل هر نمودار گانت شماره مربوط به هر قطار نوشته شده است. تقدم و تاخر فعالیتها نیز نشان داده شده است. برای تحقق یافتن هدف طراحی یعنی به صفر رساندن انتظار دستگاه TBM برای شروع پیشروی می بایست قبل از اتمام زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی، قطار حامل سگمنت در پشت سوئیچ متحرک پشتیبانی قرار گرفته باشد تا بلافاصله پس از اتمام بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی، سوئیچنگ دو قطار در روی سوئیچ کالیفرنای متحرک پشت پشتیبانی انجام و به این ترتیب سیکل بعدی ترابری آغاز شود.



بنابراین باتوجه به شکل ۵-۲۰، دو قطار تا زمانی که مجموع زمانی سه فعالیت حرکت قطار حامل خاک از سیستم پشتیبانی به سمت دهانه تونل (فعالیت شماره ۵)، بارگیری و تخلیه قطار حامل خاک در ترانشه (فعالیت شماره ۶)، و حرکت قطار حامل سگمنت از دهانه تونل به سمت پشتیبانی (فعالیت شماره ۷) از زمان اجرای فعالیت بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی تجاوز نکند، جوابگوی نیاز ترابری حین اجرای تونل می باشند. با توجه به سرعت حرکت قطار در رفت و برگشت و مترژی که دستگاه TBM در حال پیشروی از آن می باشد، می توان زمانهای دو فعالیت متغیر را در هر مترژی محاسبه کرد. بر همین اساس محاسبات نشان می دهد، تا مترژ ۵۶۱۰ دو قطار جوابگوی نیازهای سیکل ترابری می باشد. از این مترژ به بعد می بایست یک قطار دیگر به سیستم اضافه شود یعنی به محض خروج قطار از تونل و قرارگیری آن در ترانشه، قطار سوم از دهانه تونل به سمت سیستم پشتیبانی شروع به حرکت کند. شکل ۵-۲۱ بیانگر این مطلب می باشد. همانطور که مشاهده می شود تنها مجموع زمان دو فعالیت متغیر و وابسته به مترژ یعنی فعالیت حرکت قطار حامل خاک از سیستم پشتیبانی به سمت دهانه تونل و حامل سگمنت از دهانه به سمت سیستم پشتیبانی می باشد که نباید از زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی تجاوز کند. با در نظر گرفتن این قاعده تا مترژ ۸۱۱۰ سه قطار جوابگو سیکل ترابری می باشد. از این مترژ به بعد دیگر سه قطار جوابگو نبوده و می بایست به سیستم یک قطار دیگر اضافه کرد. اما اضافه کردن یک قطار دیگر بدون استفاده از سوئیچ کالیفرنیا در این مترژ (۸۱۱۰ متر) بدلیل ایجاد تداخل و ترافیک امکان پذیر نیست.

| ID | Task Name                                               |                         |
|----|---------------------------------------------------------|-------------------------|
| 1  | بک مسکن تراپی                                           | 86.1 min                |
| 2  | سوزیدستان قطار حامل سنگلند روی سوزیج مشورت پشت پشتیبانی | 5 min                   |
| 3  | سوزیدستان قطار حامل خاک روی سوزیج مشورت پشت پشتیبانی    | 5 min                   |
| 4  | بارگیری و تخلیه قطار حامل سنگلند در سیستم پشتیبانی      | 31.1 min                |
| 5  | حرکت قطار حامل خاک از سیستم پشتیبانی به سمت دهانه تونل  | from 33.66 to 48.66 min |
| 6  | بارگیری و تخلیه قطار حامل خاک در تونل                   | from 12.44 to 33.44 min |
| 7  | حرکت قطار حامل سنگلند از دهانه تونل به سمت پشتیبانی     | 25 min                  |

شکل ۵-۲۱- نمودارهای گانت یک سیکل ترابری برای حالت ۱ زمانیکه سه قطار در سیستم تردد می کنند.

ممکن است سؤالی مطرح شود که آیا اضافه کردن تنها سوئیچ کالیفرنیا در این متراژ با همان سه قطار نیازهای ترابری را برآورده می کند؟ جواب منفی می باشد چون تنها به سیکل ترابری زمان سوئیچینگ روی سوئیچ کالیفرنیا ثابت اضافه شده است و تنها در تعداد کمی سیکل ترابری پشت سرهم، سه قطار می توانند جوابگوی ترابری تونل باشند. شکل ۵-۲۲ این مطلب را به وضوح نشان می دهد. بنابراین از این متراژ به بعد هم تعداد قطار به ۴ دستگاه خواهد رسید و هم سوئیچ کالیفرنیا نصب خواهد شد. شکل ۵-۲۳ نحوه افزایش فعالیت های جدید ناشی از سوئیچ کالیفرنیا در این مرحله، تقدم و تأخرشان نسبت به هم را در یک سیکل ترابری نشان می دهد. همانطور که در شکل ۵-۲۳ مشاهده می شود فعالیت های شماره ۳ و ۴ پس از اتمام فعالیت های شماره ۱ و ۲ شروع می شوند. فعالیت شماره ۴ وابسته به فاصله سوئیچ کالیفرنیا ثابت از سیستم پشتیبانی است و با افزایش آن افزایش می یابد. همچنین شرط شروع فعالیت های شماره ۵ و ۶ اتمام فعالیت شماره ۴ و فعالیت حرکت قطار حامل سگمنت از دهانه تونل به سمت سوئیچ کالیفرنیا ثابت، مربوط به سیکل قبل می باشد. در واقع می بایست هم قطار حامل سگمنت و هم حامل خاک در پشت سوئیچ حاضر شوند و بعد سوئیچینگ انجام شود. دو فعالیت شماره ۷ و ۸ پس از اتمام هر دو فعالیت شماره ۵ و ۶ شروع می شوند. فعالیت شماره ۸ متغیر بوده و بستگی به فاصله سوئیچ کالیفرنیا ثابت از سیستم پشتیبانی دارد. فعالیت شماره ۹ پس از فعالیت شماره ۷ شروع می شود. فعالیت شماره ۱۰ پس از اتمام فعالیت بارگیری و تخلیه در ترانشه (مربوط به سیکل قبل) و فعالیت شماره ۷ شروع می شود. در واقع قطار چهارم که حامل سگمنت است پس از خروج قطار حامل خاک از دهانه تونل، وارد تونل می شود.



تمام فعالیتهای مذکور با شرایطی که ذکر شد (رعایت تقدم و تأخر فعالیتهای) در هر سیکل ترابری تکرار می شوند و در این حین زمانهای اجرای دو فعالیت شماره ۸ و ۴ از یک مقدار خیلی کم شروع و با هر گام پیشروی افزایش می یابند. این روال تا جایی می بایست ادامه یابد که مجموع اجرای زمان دو فعالیت مذکور بعلاوه ۳ دقیقه زمان سوئیچینگ دو قطار روی سوئیچ کالیفرنیا ثابت، از زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی (فعالیت شماره ۳) تجاوز نکند. شایان ذکر است لازمه شروع هر سیکل ترابری اتمام زمان اجرای دو فعالیت بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی و حرکت قطار حامل سگمنت از سوئیچ کالیفرنیا به سمت سیستم پشتیبانی می باشد. براساس محاسبات تا متر ۱۵۹۲۰ شرایط به همین صورت می باشد و در ۶۰ متر مابقی با در نظر گرفتن همین روال، تاخیرات کمی در پیشروی TBM ایجاد خواهد شد که با در نظر گرفتن مسائل اقتصادی و اجرایی قابل قبول می باشد در بخش بعدی پس از بررسی حالت ۲ توضیحات کاملی در این زمینه ارائه شده است.

#### ۵-۴-۳-۲- زمان بندی با در نظر گرفتن حالت ۲

با فرض این حالت زمان حفاری در هر واحد زمین شناسی مهندسی متفاوت بوده و در نهایت این تفاوت بسته به متر ۴ حفاری باعث متغیر بودن زمان کلی بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی خواهد شد. بنابراین با زمانهای اجرای مختلف بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی روبرو خواهیم بود که می بایست در محاسبات به آنها توجه شود. در بخش قبلی حالتی که دو قطار، سه قطار و در نهایت ۴ قطار در سیستم تردد می کنند بررسی و ارائه گردید. در این حالت نیز زمان شروع هر فعالیت تقدم و تأخر آنها نسبت به دیگر فعالیت ها مشابه حالت قبل می باشد. قاعده کلی برای تغییر تعداد قطار و قرارگیری سوئیچ کالیفرنیا مشابه حالت قبل می باشد. تنها زمان اجرای فعالیت بارگیری و تخلیه در

سیستم پشتیبانی باعث تغییر در نتیجه شده است. شکل های ۵-۲۴ و ۵-۲۵ و ۵-۲۶ نمودارهای گانت فعالیتها را به ترتیب در حالتی که ۲ قطار، ۳ قطار و ۴ قطار در سیستم تردد می کنند، نشان می دهند. بر اساس محاسبات در این حالت تا مترائ ۵۳۱۰ دو قطار و از آن تا مترائ ۷۶۵۰ به سه قطار نیاز می باشد. همچنین از مترائ ۷۶۵۰ تا مترائ ۱۵۱۵۰ به ۴ قطار همراه با نصب سوئیچ کالیفرنیا در مترائ ۷۶۵۰ نیاز است. از این مترائ به بعد از نظر محاسباتی دیگر ۴ قطار همراه با یک سوئیچ کالیفرنیا جوابگو نبوده و می بایست به سیستم ترابری قطار اضافه کرد اما بنا به دلایلی که قبلاً در مورد ۴ قطار با سوئیچ ذکر شد در اینجا نیز به نصب سوئیچ کالیفرنیا ثابت دوم در مترائ ۱۵۱۵۰ نیاز می باشد. شکل ۵-۲۷ نمودار گانت فعالیتهای لازم برای انجام یک سیکل ترابری در این حالت را نشان می دهد. در شکل ۵-۲۷ دو فعالیت شماره ۴ و ۵ پس از اتمام فعالیتهای شماره ۲ و ۳ شروع می شوند. فعالیت شماره ۵ از نظر زمان اجرا وابسته به فاصله سوئیچ کالیفرنیا ثابت دوم از سیستم پشتیبانی می باشد. همچنین شرط شروع دو فعالیت شماره ۶ و ۷ (سوئیچینگ روی سوئیچ ثابت دوم)، اتمام زمان اجرای فعالیت شماره ۵ و فعالیت حرکت قطار حامل سگمنت از سوئیچ کالیفرنیا اول به سمت سوئیچ کالیفرنیا دوم (مربوط به سیکل قبلی) می باشد یعنی سوئیچینگ روی کالیفرنیا ثابت دوم زمانی انجام می شود که هم قطار حامل سگمنت و هم حامل خاک در مقابل سوئیچ حاضر شده باشند. پس از اتمام فعالیت های شماره ۶ و ۷ دو فعالیت شماره ۸ و ۹ شروع می شوند. فعالیت های شماره ۸ از نظر اجرا متغیر بوده و به فاصله سوئیچ ثابت دوم از سیستم پشتیبانی بستگی دارد.

| ID | Task Name                                           | Task Name           | Task Name                            |
|----|-----------------------------------------------------|---------------------|--------------------------------------|
| 1  | پیک سیکل تراوری                                     | 83.1 min            |                                      |
| 2  | سوزیدینگ قطار حاضر سنگت روی سوارچ مشوک سنگت بشیریان | 5 min               |                                      |
| 3  | سوزیدینگ قطار حاضر خاک روی سوارچ مشوک سنگت بشیریان  | 5 min               |                                      |
| 4  | بارگیری و تخلیه قطار حاضر سنگت در سیستم بشیریان     | 78.1 min            |                                      |
| 5  | حرف قطار حاضر خاک از سیستم بشیریان به سمت دکل تونل  | from 0 to 31.86 min | Depend on measure of tunnel's length |
| 6  | بارگیری و تخلیه قطار حاضر خاک در تونل               | 25 min              |                                      |
| 7  | حرف قطار حاضر دکل تونل به سمت بشیریان               | from 0 to 21.24 min | Depend on measure of tunnel's length |

شکل ۵-۲۴ - نمودارهای گانت یک سیکل تراوری برای حالت ۲ زمانی که دو قطار در سیستم تردد می کنند.

|    |                                                         |                                                                            |
|----|---------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------|
| ID | Task Name                                               |                                                                            |
| 1  | یک سیکل ترابری                                          | 81.5 mins                                                                  |
| 2  | سوئیچینگ قطار حامل سنگت روی سونچ متحرک<br>پشت پستیانی   | 5 mins                                                                     |
| 3  | سوئیچینگ قطار حامل خاک روی سونچ متحرک پشت<br>پستیانی    | 5 mins                                                                     |
| 4  | بارگیری و تخلیه قطار حامل سنگت در سیستم<br>پستیانی      | 76.5 mins                                                                  |
| 5  | حرکت قطار حامل خاک از سیستم پستیانی به سمت<br>دخانه نول | from 31.86 to 45.9 mins<br>train 2<br>Depend on measure of tunnel's length |
| 6  | بارگیری و تخلیه قطار حامل خاک در ترانسه                 | train 2<br>25 mins                                                         |
| 7  | حرکت قطار حامل سنگت از دخانه نول به سمت<br>پستیانی      | from 21.24 to 30.6 mins<br>train 3<br>Depend on measure of tunnel's length |

شکل ۵-۲۵- نمودارهای گانت یک سیکل ترابری برای حالت ۲ زمانی که سه قطار در سیستم تردد می کنند.

| Track Name |                                                                      |
|------------|----------------------------------------------------------------------|
| ID         |                                                                      |
| 1          | سوئیچرنگ قطار سنگنت روی سوئیچ سنگنت پشت پشتیشانی                     |
| 2          | سوئیچرنگ قطار حامل خاک روی سوئیچ سنگنت پشت پشتیشانی                  |
| 3          | بارگیری و تخلیه قطار حامل سنگنت در سیستم پشتیبانی                    |
| 4          | حرکت قطار حامل خاک از سیستم پشتیبانی به سمت سوئیچ کالیفرنیا ثابت اول |
| 5          | سوئیچرنگ قطار حامل خاک روی سوئیچ ثابت اول                            |
| 6          | سوئیچرنگ قطار حامل سنگنت روی سوئیچ ثابت اول                          |
| 7          | حرکت قطار حامل خاک از سوئیچ کالیفرنیا ثابت به سمت دهانه نوبل         |
| 8          | حرکت قطار حامل سنگنت از سوئیچ کالیفرنیا ثابت به سمت سیستم پشتیبانی   |
| 9          | بارگیری و تخلیه قطار حامل خاک در نوبل                                |
| 10         | حرکت قطار حامل سنگنت از دهانه نوبل به سمت پشتیبانی                   |

شکل ۵-۲۶- نمودارهای گانت یک سیکل ترازبری برای حالت ۲ زمانیکه سوئیچ کالیفرنیا نصب و چهار قطار در سیستم تردد می کنند

| ID | Task Name                                          |       |
|----|----------------------------------------------------|-------|
| 1  | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 2  | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 3  | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 4  | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 5  | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 6  | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 7  | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 8  | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 9  | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 10 | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 11 | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 12 | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 13 | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 14 | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |
| 15 | سوئیچ قطار حامل سگمنت روی سوئیچ متحرک پشت پشتیبانی | 5 min |

شکل ۵-۲۷- نمودارهای گانت یک سیکل ترابری برای حالت ۲ زمانیکه سوئیچ کالیفرنیا دوم نصب و پنج قطار در سیستم تردد می کنند

شرط شروع دو فعالیت شماره ۱۰ و ۱۱ یعنی سوئیچینگ روی سوئیچ ثابت اول زمانی است که دو فعالیت شماره ۹ و فعالیت حرکت قطار حامل سگمنت از دهانه تونل به سمت سوئیچ کالیفرنیا اول (مربوط به سیکل قبلی) به اتمام رسیده باشند. بعد از اتمام دو فعالیت شماره ۹ و ۱۰ فعالیت‌های شماره ۱۲ و ۱۳ انجام می‌شوند. فعالیت‌های شماره ۱۴ بعد از اتمام فعالیت شماره ۱۳ شروع می‌شود. فعالیت شماره ۱۵ پس از اتمام فعالیت بارگیری و تخلیه در ترانشه (مربوط به سیکل قبل) و فعالیت شماره ۱۳ شروع می‌شود. در واقع قطار پنجم که حامل سگمنت است پس از خروج قطار حامل خاک از دهانه تونل وارد تونل می‌شود. تمام فعالیت‌های مذکور با شرایطی که ذکر شد (رعایت تقدم و تأخر فعالیت‌ها) در هر سیکل ترابری تکرار می‌شوند و در این حین زمان‌های اجرای دو فعالیت شماره ۵ و ۸ از یک مقدار خیلی کم شروع و با هر گام پیشروی افزایش می‌یابند. این روال می‌بایست تا جایی ادامه یابد که مجموع زمان اجرای دو فعالیت مذکور بعلاوه ۳ دقیقه زمان سوئیچینگ دو قطار روی سوئیچ کالیفرنیا ثابت دوم، از زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی (فعالیت شماره ۴) تجاوز نکند. شایان ذکر است لازمه شروع هر سیکل ترابری اتمام زمان اجرای دو فعالیت بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی و حرکت قطار حامل سگمنت از سوئیچ کالیفرنیا به سمت سیستم پشتیبانی می‌باشد. با بررسی چند سیکل ترابری پشت سر هم مشکلی بروز می‌کند که ناشی از قرارگیری سوئیچ کالیفرنیا در متراژ ۱۵۱۵۰ بوده و می‌بایست تصحیح شود. شکل ۵-۲۸ نمودارهای گانت فعالیت‌های چهار سیکل ترابری پشت سر هم زمانی که ۵ قطار در سیستم تردد می‌کنند را نشان می‌دهد.

| ردیف | نام                                                             |
|------|-----------------------------------------------------------------|
| 1    |                                                                 |
| 2    | سنگدست روی سولنج متحرک به سمت پشتیبانی                          |
| 3    | خاک روی سولنج متحرک به سمت پشتیبانی                             |
| 4    | اهل سنگدست در سیستم پشتیبانی                                    |
| 5    | ت از سیستم پشتیبانی به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم            |
| 6    | خاک روی سولنج ثابت دوم                                          |
| 7    | سنگدست روی سولنج ثابت دوم                                       |
| 8    | ت از سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم به سمت سیستم پشتیبانی            |
| 9    | از سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت اول   |
| 10   | خاک روی سولنج ثابت اول                                          |
| 11   | سنگدست روی سولنج ثابت اول                                       |
| 12   | ت از سولنج کالیبره‌ای ثابت اول به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم |
| 13   | از سولنج کالیبره‌ای ثابت اول به سمت دهانه تونل                  |
| 14   | ترافیک                                                          |
| 15   | سنگدست از دهانه به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت اول                |
| 16   |                                                                 |
| 17   | سنگدست روی سولنج متحرک به سمت پشتیبانی                          |
| 18   | خاک روی سولنج متحرک به سمت پشتیبانی                             |
| 19   | اهل سنگدست در سیستم پشتیبانی                                    |
| 20   | ت از سیستم پشتیبانی به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم            |
| 21   | خاک روی سولنج ثابت دوم                                          |
| 22   | سنگدست روی سولنج ثابت دوم                                       |
| 23   | ت از سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم به سمت سیستم پشتیبانی            |
| 24   | از سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت اول   |
| 25   | خاک روی سولنج ثابت اول                                          |
| 26   | سنگدست روی سولنج ثابت اول                                       |
| 27   | ت از سولنج کالیبره‌ای ثابت اول به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم |
| 28   | از سولنج کالیبره‌ای ثابت اول به سمت دهانه تونل                  |
| 29   | ترافیک                                                          |
| 30   | ت از دهانه به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت اول                     |
| 31   |                                                                 |
| 32   | سنگدست روی سولنج متحرک به سمت پشتیبانی                          |
| 33   | خاک روی سولنج متحرک به سمت پشتیبانی                             |
| 34   | اهل سنگدست در سیستم پشتیبانی                                    |
| 35   | ت از سیستم پشتیبانی به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم            |
| 36   | خاک روی سولنج ثابت دوم                                          |
| 37   | سنگدست روی سولنج ثابت دوم                                       |
| 38   | ت از سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم به سمت سیستم پشتیبانی            |
| 39   | از سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت اول   |
| 40   | خاک روی سولنج ثابت اول                                          |
| 41   | سنگدست روی سولنج ثابت اول                                       |
| 42   | ت از سولنج کالیبره‌ای ثابت اول به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم |
| 43   | از سولنج کالیبره‌ای ثابت اول به سمت دهانه تونل                  |
| 44   | ترافیک                                                          |
| 45   | ت از دهانه به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت اول                     |
| 46   |                                                                 |
| 47   | سنگدست روی سولنج متحرک به سمت پشتیبانی                          |
| 48   | خاک روی سولنج متحرک به سمت پشتیبانی                             |
| 49   | اهل سنگدست در سیستم پشتیبانی                                    |
| 50   | ت از سیستم پشتیبانی به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم            |
| 51   | خاک روی سولنج ثابت دوم                                          |
| 52   | سنگدست روی سولنج ثابت دوم                                       |
| 53   | ت از سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم به سمت سیستم پشتیبانی            |
| 54   | از سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت اول   |
| 55   | خاک روی سولنج ثابت اول                                          |
| 56   | سنگدست روی سولنج ثابت اول                                       |
| 57   | ت از سولنج کالیبره‌ای ثابت اول به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت دوم |
| 58   | از سولنج کالیبره‌ای ثابت اول به سمت دهانه تونل                  |
| 59   | ترافیک                                                          |
| 60   | ت از دهانه به سمت سولنج کالیبره‌ای ثابت اول                     |



با دقت به فعالیتهای شماره ۲۱ و ۲۲ در سیکل دوم، ۳۶ و ۳۷ در سیکل سوم، ۵۱ و ۵۲ در سیکل چهارم متوجه می شویم که زمان سوئیچینگ روی سوئیچ کالیفرنای ثابت دوم بدلیل تاخیر در رسیدن قطار حامل سگمنت به پشت سوئیچ کالیفرنای ثابت دوم (فعالیت شماره ۱۲ برای سیکل دوم، فعالیت شماره ۲۷ برای سیکل سوم، فعالیت شماره ۴۲ برای سیکل چهارم) همواره در هر سیکل نسبت به سیکل قبل بیشتر به تأخیر می افتد. در واقع بعد از چندین سیکل ترابری پشت سر هم قطار حامل سگمنتی که بعد از سوئیچینگ روی سوئیچ ثابت دوم به سمت سیستم پشتیبانی حرکت می کرد و در پشت سوئیچ کالیفرنای متحرک حاضر می گردید، دیگر بعد از اتمام زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی در پشت سوئیچ متحرک حاضر می گردد و در نهایت منجر به افزایش زمان انتظار برای دستگاه TBM می شود. چنین مشکلی بخاطر بزرگتر بودن مجموع زمانهای رفت و برگشت قطارها بین دو سوئیچ کالیفرنای ثابت بعلاوه مجموع زمانهای سوئیچینگ روی دو سوئیچ کالیفرنای ثابت اول و دوم از جمع زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی در همان سیکل و زمان سوئیچینگ روی سوئیچ کالیفرنای متحرک، رخ داده است. در واقع برای رفع این مشکل باید مجموع زمان فعالیت های مذکور کوچکتر مساوی مجموع هر دو زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی و زمان سوئیچینگ روی سوئیچ کالیفرنای متحرک باشد. از بین فعالیت های مذکور تنها زمان اجرای دو فعالیت رفت و برگشت قطار بین دو سوئیچ کالیفرنای ثابت را می توان کاهش داد. پس با تصحیح محل نصب سوئیچ دوم و قرار دادن آن در مترژی که شرط بالا برقرار شود این مشکل به راحتی حل می شود. شایان ذکر است ریشه اصلی این مشکل، کاهش زمان بارگیری و تخلیه در سیستم پشتیبانی از ۷۸ به ۷۳/۸ دقیقه در مترژهای بعد از نصب سوئیچ کالیفرنای ثابت دوم است. همچنین این زمان (۷۳/۸ دقیقه)، ۷۷

درصد از طول مسیر بعد از سوئیچ کالیفرنیا ثابت دوم (۸۲۷ متر) را در بر می گیرد. بر اساس محاسبات مبتنی بر شرط مذکور سوئیچ کالیفرنیا ثابت در متراژ ۱۴۹۳۰ قرار می گیرد. شکل ۵-۲۹ نمودار گانت فعالیتهای لازم برای انجام یک سیکل ترابری با ۵ قطار را بعد از تصحیح نشان می دهد. همچنین شکل ۵-۳۰ نمودارهای گانت فعالیتهای چهار سیکل ترابری پشت سر هم زمانیکه پنج قطار در سیستم تردد می کنند را بعد از تصحیح نشان می دهد. نتایج مربوط به محاسبات زمانبندی در حالت ۱ و ۲ به ترتیب در جداول ۵-۱۲ و ۵-۱۳ به صورت خلاصه نشان داده شده است. همچنین جزئیات کامل محاسبات آنها در دو فایل Excel موجود در CD ضمیمه پایان نامه، ارائه شده است.

همانطور که در جدول ۵-۱۲ دیده می شود از ابتدای تونل تا متراژ ۵۶۱۰ به دو دستگاه، از متراژ ۵۶۱۰ تا ۸۱۱۰ به سه دستگاه، از متراژ ۸۱۱۰ تا ۱۵۹۲۰ به ۴ دستگاه و از متراژ ۱۵۹۲۰ تا آخر یعنی برای ۶۰ متر باقی مانده به پنج قطار نیاز است. همچنین لزوم قرارگیری دو سوئیچ کالیفرنیا در متراژ ۸۱۱۰ و ۱۵۹۲۰ را نشان می دهد. از طرفی نتایج جدول ۵-۱۳ نشان می دهد تا متراژ ۵۳۱۰ به دو دستگاه، از متراژ ۵۳۱۰ تا ۷۶۵۰ به سه دستگاه، از متراژ ۷۶۵۰ تا ۱۴۹۳۰ به چهار دستگاه و از متراژ ۱۴۹۳۰ به بعد به پنج دستگاه قطار نیازی باشد. همچنین جدول ۵-۱۳ لزوم قرارگیری دو سوئیچ کالیفرنیا در متراژ ۷۶۵۰ و ۱۴۹۳۰ را نشان می دهد. اما قرار دادن سوئیچ کالیفرنیا دوم و اضافه کردن یک قطار (قطار پنجم) برای ۶۰ متر انتهای تونل در حالت ۱ و ۱۰۵۰ متر انتهای تونل در حالت ۲ با توجه به قیمت خرید بالای هر سوئیچ کالیفرنیا و لوکوموتیو که به ترتیب در حدود ۲۲۰ و ۱۵۰ هزار یورو است برای کل پروژه غیر اقتصادی و غیر منطقی می باشد.

جدول ۵-۱۳- زمانبندی سیکل کامل ترابری، حداقل تعداد قطار و سوئیچ کالیفرنیا، ثابت مورد نیاز بعد از تصحیح در حالت ۲.

[illegible]

بنابراین پیش بینی می شود تنها به یک سوئیچ کالیفرنیا فی ما بین متراژ ۷۵۰۰ و ۸۰۰۰ نیاز است. اما برآورد دقیق متراژ آن مستلزم انجام پروژه و پیشروی حداقل تا کیلومتر ۶ می باشد تا با نتایج بدست آمده از حفاریات و با به هنگام کردن محاسبات، تصمیم گیری دقیقتری برای تعیین محل سوئیچ کالیفرنیا انجام گیرد. بنابراین برای انجام پروژه کرج کلاً به چهار دستگاه قطار نیاز است. پیش بینی می شود تا کیلومتر ۵ تنها به دو دستگاه قطار، از کیلومتر ۵ تا ۸ به سه دستگاه قطار و از کیلومتر ۸ تا انتهای پروژه به ۴ دستگاه قطار نیاز است به گونه ای که این تعداد قطارها به راحتی جوابگوی نیازهای عملیات حفاری و پیشروی در فواصل مذکور خواهند بود.

#### ۵-۴-۴- تعداد تجهیزات مورد نیاز

با توجه به مطالب طرح شده در این فصل مهمترین تجهیزات مورد نیاز برای سیستم حمل و نقل حین اجرای تونل را می توان به صورت جدول ۵-۱۴ خلاصه کرد. علاوه بر تجهیزات فوق الذکر موارد جزئی مثل انواع اتصالات، سوزن ها و ... نیز مورد نیاز است. همچنین تجهیزات مورد نیاز برای تعمیر لوکوموتیو و واگن ها، تأمین و پس از نصب در تعمیرگاه های داخل محوطه ترانشه مورد بهره برداری قرار خواهند گرفت. چال سرویس مخصوص تعمیر لوکوموتیو نیز در محوطه ترانشه اجرا می شود. ریل های مسیر داخل تونل با پیچ و مهره و بغل بندها نصب می شوند.

جدول ۵-۱۴- لیست تجهیزات ترابری مورد نیاز پروژه کرج

| تجهیزات                                   | تعداد مورد نیاز<br>تا پایان پروژه | ملاحظات                                                  |
|-------------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------------------------------|
| لوکوموتیو ۲۵ تنی                          | ۴                                 | ۱۴۱ کیلو وات، مدل CFL-180DCL                             |
| واگن حمل خاک                              | ۴۰                                | ۸ مترمکعب                                                |
| واگن حمل پرسنل                            | ۴                                 | ۱۰ نفره                                                  |
| واگن حمل سگمنت                            | ۱۶                                | -                                                        |
| واگن کفی حمل سیمان                        | ۴                                 | -                                                        |
| واگن کفی حمل قطعات یدکی                   | ۴                                 | -                                                        |
| واگن کفی حمل ریل و تراورس،<br>لوله و کابل | ۴                                 | -                                                        |
| واگن حمل شن نخودی                         | ۴                                 | ۳/۶ مترمکعب                                              |
| سوئیچ کالیفرنای متحرک                     | ۱                                 | طول مفید ۱۲۵ متر                                         |
| سوئیچ کالیفرنای ثابت                      | ۱                                 | طول مفید ۱۲۵ متر درمترازی بین<br>۷۵۰۰ تا ۸۰۰۰ متر        |
| ریل ۳۳ کیلوگرمی                           | ۲۸۳۰                              | ۱۷ کیلومتر                                               |
| سوزن (سوئیچ)                              | ۸                                 | -                                                        |
| تراورس بتنی                               | ۲۲۶۴۰                             | متشکل از دو بلوک بتنی به ابعاد<br>(۱۸-۲۵)×۳۵×۳۵ سانتیمتر |
| واگن برگردان                              | ۱                                 | -                                                        |
| لودر ۱۲۰                                  | ۱                                 | -                                                        |
| بولدوزر D۸                                | ۱                                 | -                                                        |
| کامیون (مایلر)                            | ۲                                 | ۱۰ مترمکعب                                               |

## ۵-۴-۵- عملیات بارگیری و تخلیه در محوطه ترانشه

عملیات بارگیری سگمنت، شن نخودی و سیمان کیسه ای در واگن های مربوطه و تخلیه واگن های حمل خاک در محل واگن برگردان از جمله فعالیت های مرتبط با سیستم حمل و نقل هستند که در محوطه ترانشه انجام می شود. سوار و پیاده شدن پرسنل در واگن مربوطه، بارگیری ریل، لوله و سایر تجهیزات مورد استفاده درون تونل، سوختگیری لوکوموتیوها، آماده شدن آنها برای انتقال به محل تعمیر و غیره از دیگر فعالیت های مرتبط با حمل و نقل ریلی هستند که در محوطه ترانشه انجام می شود. بدیهی است هر یک از این فعالیت ها در یک بازه زمانی انجام خواهند شد و برای آنکه این گونه فعالیت ها در حداقل زمان ممکن انجام شوند و بلافاصله پس از خروج یک قطار از تونل بتوان یک قطار آماده را به داخل تونل فرستاد، لازمست حداقل دو خط ریل در محوطه ترانشه وجود داشته باشد. با توجه به تجارب بدست آمده از پروژه های مشابه سه خط ریل بدین منظور در نظر گرفته شده است. این سه خط به موازات هم و در جنب یکدیگر اجرا می شوند. هر قطار پس از خروج از تونل، روی خطی که واگن برگردان در آن واقع است آمده و کار بارگیری و تخلیه آغاز می شود. البته اگر کار تخلیه و بارگیری مواد به هر دلیلی به تعویق افتاده باشد به نحوی که هنگام خروج قطار پر از بار هنوز قطار تخلیه شده آماده ورود به داخل تونل نباشد، قطار خارج شده، به روی خط شماره ۲ هدایت شده و منتظر خروج قطار قبلی از روی خط شماره ۱ و ورود آن به داخل تونل خواهد ماند و سپس جایگزین آن می شود. مراحل بارگیری و تخلیه قطارها در محوطه تراشه به صورت زیر می باشد:

الف) مرحله اول : خروج قطار پر از داخل تونل و قرارگرفتن آن در محل های تخلیه و بارگیری داخل ترانشه و شروع عملیات تخلیه مواد حاصل از حفاری، در حالی که اولین واگن حمل مواد در محل

تخلیه وارد شده است، واگن های حمل سگمنت و شن نخودی از قطار جدا شده در محل بارگیری قرار می گیرند.

ب) مرحله دوم : بارگیری واگن های حمل سگمنت و شن نخودی به پایان رسیده و تخلیه واگن های مواد حفاری شده ادامه دارد.

ج) مرحله سوم : در این مرحله تخلیه واگن های حمل خاک و بارگیری واگن های حمل سگمنت، شن نخودی و سیمان کیسه ای قطار اول به پایان رسیده و آماده ورود به داخل تونل می شود. این قطار در خط انتظار ۲ قرار می گیرد تا قطار بعدی از تونل خارج و در خط ۱ قرار گیرد.

د) مرحله چهارم : قطار بعدی از تونل خارج و در خط ۱ قرار می گیرد تا عملیات تخلیه و بارگیری صورت گیرد. قطار ۱ مستقر در خط ۲ آماده ورود به تونل می باشد.

و) مرحله پنجم : قطار ۱ وارد تونل می شود و عملیات تخلیه و بارگیری قطار ۲ ادامه دارد.

# فصل ششم

## نتیجه گیری و پیشنهادات



## ۶-۱- نتیجه گیری

در این تحقیق برای اجرای تونل کرج، روشهای چالزنی و آتشیاری و روشهای حفاری تمام مکانیزه (ماشین تونلزنی کله گاوی و ماشین تونلزنی تمام مقطع تونل) مورد بررسی قرار گرفت. استفاده از دو روش چالزنی و آتشیاری و ماشین تونلزنی کله گاوی به دلیل نیاز به ایجاد دسترسی های متعدد برای احداث تونل، قرارگیری این دسترسیها در توپوگرافی نامناسب، احتمال قرارگیری برخی از دهانه ها در زمینهای ارتش و ایجاد مشکلات تملیک، کم بودن سرعت متوسط حفاری و محدودیت زمان انجام پروژه (۷۰ ماه) برای احداث تونل کرج رد شدند. لذا ماشین تونلزنی تمام مقطع (TBM) برای حفر تونل مذکور انتخاب گردید. رفتار مچاله شوندگی در حین حفر تونل یک مسئله با اهمیت می باشد که قبل از انتخاب نوع ماشین تونلزنی تمام مقطع تونل، در واحدهای زمین شناسی مهندسی مسیر تونل توسط روش نیمه تجربی هوک و مارینوس ۲۰۰۰ مورد بررسی قرار گرفت. نتایج بدست آمده عدم پتانسیل مچاله شوندگی در طول مسیر تونل را نشان داده است. بنابراین محدودیتی از لحاظ همگرایی و گیرکردن به دلیل مچاله شوندگی برای انتخاب ماشین تونلزنی تمام مقطع سپردار وجود ندارد.

همچنین با توجه به خارج بودن بازه زمانی انجام آستر بتنی از کل زمان محدود انجام پروژه (۷۰ ماه) و عدم توانایی کفشک زدن در واحدهای زمین شناسی مهندسی Gta1 و Cz به دلیل فاصله داری اندک دسته درزه ها ( $\text{Spacing} \leq 60\text{cm}$ )، پایین بودن مقاومت فشاری تک محوری ( $\sigma_c < 40\text{MPa}$ ) و کم بودن ضریب کیفیت سنگ ( $\text{RQD} < 50\%$ )، استفاده از ماشین تونلزنی تمام مقاطع بدون سپر در این پروژه منتفی است.

در بین سه نوع ماشین تونلزنی تمام مقطع سپردار، استفاده از ماشین سپری تعادلی با فشار زمین برای حفر تونل کرج به دلیل کاربرد خاص آن در زمینهای خاکی و ریزدانه و با توجه به شرایط لیتولوژیکی مسیر منتفی است. در نهایت از بین دو نوع ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری مضاعف و ماشین تونلزنی تمام مقطع سپری منفرد، ماشین نوع اول برای حفاری تونل کرج به دلیل توانایی کفشک زنی در طول زیادی از مسیر، سرعت حفاری بیشتر و کاربرد بیشتر در تونلهای بلند انتخاب شده است.

در مرحله بعد با در نظر گرفتن جهتداری درزه ها، مقاومت فشاری، شاخص بار نقطه ای و مقاومت کششی سنگ، شاخص عمر تیغه، درصد کانیهای ساینده، متوسط بار تیغه، مقاومت توده سنگ و سطح تنش سنگ، به کمک روش تجربی  $Q_{\text{TBM}}$  سرعت نفوذ و پیشروی دستگاه TBM برای هر واحد زمین شناسی مهندسی پیش بینی شده است. با توجه به نتایج بدست آمده می بایست در واحد زمین شناسی مهندسی Cz اصلاح مقدماتی انجام شود، در غیر این صورت ضریب بهره وری به شدت افت خواهد کرد. بدین منظور بایستی عملیات تزریق انجام شود که در نتیجه پارامترهای سیستم طبقه بندی مهندسی توده سنگ (Q) تغییر و کیفیت توده سنگ افزایش خواهد یافت.

با پیش‌بینی سرعت نفوذ و پیشروی برای هر یک از واحد‌های زمین‌شناسی مهندسی مسیر تونل، کمترین و بیشترین سرعت نفوذ به ترتیب مربوط به واحدهای Gta4 و Mdg می‌باشد. همچنین کمترین و بیشترین سرعت پیشروی به ترتیب مربوط به واحدهای Gta1 و Mdg می‌باشد. سرعت نفوذ متوسط و سرعت پیشروی متوسط برای کل مسیر تونل به ترتیب  $3/7$  و  $0/732$  متر بر ساعت پیش‌بینی شده است. طول پیشروی در هر سیکل حفاری دقیقاً برابر طول یک رینگ سگمندی می‌باشد. با توجه به طرز قرارگیری سگمنته‌ها بر روی واگن حمل سگمنت، طول رینگ سگمندی با عرض قابل عبور و مرور در تونل ارتباط مستقیم دارد و حداکثر می‌تواند با عرض قابل عبور و مرور در تونل برابر باشد. با بررسی محدودیت‌های ناشی از فضای تونل، حداکثر عرض قابل عبور و مرور در داخل تونل  $150$  سانتی متر خواهد بود. در نهایت به دلیل محدودیت‌های ناشی از ابعاد سگمنت هنگام چرخش و قرارگیری بر روی تغذیه‌کننده نصاب و ظرفیت لوکوموتیو به لحاظ ابعادی، طول پیشروی در هر سیکل حفاری  $130$  سانتی متر در نظر گرفته شده است.

در انتخاب واگن‌ها محدودیت عرضی  $150$  سانتیمتر به خاطر عبور از روی سوئیچ کالیفرنیا و محدودیت ارتفاعی  $156$  سانتیمتر به خاطر عبور در سیستم پشتیبانی و همچنین حجم مواد و مصالحی که می‌بایست توسط هر قطار حمل شود، مورد توجه قرار گرفته است. برای هر قطار  $10$  دستگاه واگن حمل خاک،  $4$  دستگاه واگن حمل سگمنت به انضمام یک دستگاه از واگن‌های حمل شن نخودی، حمل پرسنل، کفی حمل ریل و تراورس، کفی حمل سیمان کیسه‌ای، کفی حمل قطعات یدکی در نظر گرفته شده است.

با بررسی کلیه مقاومتهای موجود در مسیر رفت و برگشت تونل در نهایت لوکوموتیو ۲۵ تنی مدل CFL-180DCL ساخت شرکت آلمانی شوما با ۱۴۱ کیلو وات توان انتخاب گردید.

بر اساس زمانبندی سیکل باربری، برای انجام پروژه تونل کرج به چهار دستگاه قطار نیاز است. پیش بینی می شود تا کیلومتر ۵ تنها به دو دستگاه قطار، از کیلومتر ۵ تا ۸ به سه دستگاه قطار و از کیلومتر ۸ تا انتهای پروژه به ۴ دستگاه قطار نیاز خواهد بود به گونه ای که این تعداد قطارها به راحتی جوابگوی نیازهای عملیات حفاری و پیشروی در فواصل مذکور خواهند بود.

همچنین پیش بینی می شود تنها به یک سوئیچ کالیفرنیا در مترائ ۷۵۰۰ تا ۸۰۰۰ نیاز است. اما برآورد دقیق مترائ آن مستلزم انجام پروژه و پیشروی حداقل تا کیلومتر ۶ می باشد تا با نتایج بدست آمده از حفاریات و با به هنگام کردن محاسبات، تصمیم گیری دقیقتری برای تعیین محل سوئیچ کالیفرنیا انجام گیرد.

## ۶-۲- پیشنهادات

با انجام این تحقیق پیشنهاداتی به شرح زیر ارائه می شود:

۱- در بحث انتخاب روش حفر تونل با توجه به ازدیاد عوامل تأثیرگذار در انتخاب بهتر است از

روشهای تصمیم گیری چند معیاره برای انتخاب روش مناسب حفاری استفاده شود.

۲- با توجه به اهمیت عملکرد TBM در طراحی سیستم ترابری بهتر است از چند روش برای پیش-

بینی عملکرد استفاده شود و سپس با مقایسه آنها با هم عملکرد (سرعت نفوذ و پیشروی) مناسب

انتخاب شود.

۳- برای داشتن یک زمانبندی مناسب و اجرایی برای سیکل ترابری می بایست دائماً تغییرات زمانی فعالیتها با مقدار پیش‌بینی شده مطابقت داده شود و در صورت تغییر تصحیحات لازم صورت گیرد. به عبارت دیگر مبحث زمانبندی با پیشروی تونل به هنگام شود.

## فهرست منابع :

- صدری، عبدالله، (۱۳۸۱)، ترابری و حمل و نقل در معادن، جزوه درسی، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- منصوری بروجنی، حشمت الله، (۱۳۸۲)، انتخاب ماشین حفاری با توجه به شرایط ژئومکانیکی موجود در خط شمالی - جنوبی تونل قطار شهری اصفهان، پایان نامه کاشناسی ارشد، دانشکده مهندسی معدن، متالورژی و نفت، دانشگاه صنعتی امیرکبیر.
- فاروق حسینی، محمد، (۱۳۷۹)، در آمدی بر مکانیک سنگ، (مؤلف: وتوکوری، وی اس، کاتسویاما، ک)، مرکز خدمات فرهنگی سالکان، ص ۱۸۴-۱۸۹.
- قلیان، حسین، (۱۳۷۷)، مهندسی راه آهن، (مؤلف: پروفلیدیس، و. ا.)، مرکز انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
- مؤسسه حرا، (۱۳۸۲)، اسناد فنی شرکت در مناقصه برای تونل کرج.
- مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، (۱۳۸۴)، گزارش زمین شناسی مهندسی مسیر تونل.
- مؤسسه مهندسين مشاور ساحل، (۱۳۸۳)، طراحی سیستم ترابری حین اجرای تونل.
- Askilsrud, O.G., (1996), "**Hard Rock Tunnel Boring Machine-Mechanical Tunnelling**", Short Course in Colorado School of Mines, Atlas Copco Robbins Inc., Colorado, USA.
- Barla, G., (1995), "**Squeezing Rocks in Tunnels**", ISRM News Journal, 3/4, PP: 44-49.
- Barton, N., (2000), "**TBM Tunneling in Jointed and Faulted Rock**", A.A.Balkema/Rotterdam/Brookfield, Holland.
- Barton, N. and Itoh, J., (2000), "**TBM Performance Estimation in Rock Using  $Q_{TBM}$** ", Fuji Reseach Institute Corporation.
- Bickel, J.O., Kuesel, T.R., (1996), "**Tunnel Engineering Handbook**", Second Edition, Chapman & Hall Publication.
- Bieniawski Z.T., (1974), "**Geomechanics classification of Rock Masses and Its Application in Tunneling**", proc. 3<sup>rd</sup> Int. cong. ISRM, vol.2, Part A, PP: 27-32.
- Boky, B., (1967), "**Mining**", Translated from the Russian by Scott, J., Mir Publishers, Mscow, PP: 623- 633.

Bradly, W.B., (1978), **“Failure of Inclined Boreholes”**, Trans. of ASME, Vol. 101, PP: 232-239.

Friant, J. and Ozdemir, L., (1993), **“Tunnel Boring Technology – Present and Future”**, 1993 RETC Proceeding, PP: 869 – 888

Herrenknecht, M. and Bappler, K., (2001), **“The Latest Developments in Tunnelling Technology”**, AITES-ITA 2001, World Tunnel Congress, PP: 162-170.

Hoek, F., and Marinos, P., (2000), **“Prediction of Tunnel Squeezing Problems in Weak Heterogeneous Rock Masses”**, Tunnel and Tunneling International, Part One, PP: 45-51 and Part Two, PP: 33-36.

Maidl B. and Herrenknecht M., (1996) **“Mechanized Shield Tunnelling”**, Ernst & Sohn VCH Publishing Group.

Maidl, R. and Handke, D. (1989), **“Application Areas For Modern Boom-Type Roadheaders of Various Power Classes in Tunnelling”**, 2<sup>nd</sup> International Tunneling Symposium, World Tunneling, April 1989, PP: 222-230.

Ramezanzadeh, A., Rostami, J. and Kastner, R., (2003), **“Performance Prediction Models for Hard Rock Tunnel Boring Machines”**, 6<sup>th</sup> Tunnelling Congress, Tehran, Iran, PP: 575-589.

Whittaker B.N. and Frith R.C., (1990), **“Tunneling: Design, Stability and Construction”**, Institution of Mining and Metallurgy.

ضمان



# ضمیمه الف

جداول تعیین پارامترهای سیستم طبقه بندی

مهندسی توده سنگ (Q)

جدول الف-۱- ضریب کیفیت سنگ RQD (Barton, 2000)

| شرایط | RQD%                |
|-------|---------------------|
| A     | خیلی ضعیف<br>۰-۲۵   |
| B     | ضعیف<br>۲۵-۵۰       |
| C     | نسبتاً خوب<br>۵۰-۷۵ |
| D     | خوب<br>۷۵-۹۰        |
| E     | عالی<br>۹۰-۱۰۰      |

توجه:

۱- جایی که RQD کمتر از ۱۰ (حتی صفر) اندازه گیری شده و یا بدست آمده است، برای ارزیابی Q مقدار اسمی ۱۰ به کار می‌رود.

۲- گامهای تغییرات RQD ، به مقدار ۵ می باشد. یعنی ۱۰۰ ، ۹۵ ، ۹۰ ، و... به مقدار کافی دقیق می باشند.

جدول الف-۲ - عدد دسته درزه  $J_n$  (Barton, 2000)

| $J_n$ | شرایط                                                                         |
|-------|-------------------------------------------------------------------------------|
| A     | توده ای، بدون درزه و یا حاوی تعداد کمی درزه<br>۱-۰/۵                          |
| B     | یک دسته درزه<br>۲                                                             |
| C     | یک دسته درزه همراه با درزه های نا منظم<br>۳                                   |
| D     | دو دسته درزه<br>۴                                                             |
| E     | دو دسته درزه همراه با درزه های نا منظم<br>۶                                   |
| F     | سه دسته درزه<br>۹                                                             |
| G     | سه دسته درزه همراه با درزه های نا منظم<br>۱۲                                  |
| H     | چهار دسته درزه یا بیشتر، درزه های نا منظم، شدیداً درزه دار ، "حبه قندی"<br>۱۵ |
| I     | سنگ خرد شده ، خاک مانند<br>۲۰                                                 |

توجه: ۱- در تقاطع ها از  $J_n$  ۳ استفاده شود. ۲- برای ورودیهای تونل از  $J_n$  ۲ استفاده شود.

جدول الف-۳- عدد زبری درزه  $J_r$  (Barton, 2000).

| $J_r$                                                                                   | شرایط                                                                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|
| (الف) تماس سنگ دیواره و (ب) تماس سنگ دیواره قبل از ۱۰ سانتی متر برش                     |                                                                                  |
| ۴                                                                                       | A درزه نا پیوسته                                                                 |
| ۳                                                                                       | B زبر یا نا منظم، موجدار                                                         |
| ۲                                                                                       | C صاف، موجدار                                                                    |
| ۱/۵                                                                                     | D آینه ای، موجدار                                                                |
| ۱/۵                                                                                     | E زبر یا منظم، صفحه ای                                                           |
| ۱                                                                                       | F صاف، صفحه ای                                                                   |
| ۰/۵                                                                                     | G آینه ای، صفحه ای                                                               |
| یادداشت:<br>توضیحات فوق به ترتیب خود مربوط به ترکهای کوچک مقیاس و متوسط مقیاس می باشند. |                                                                                  |
| (ج) فاقد تماس سنگ دیواره هنگام برش                                                      |                                                                                  |
| ۱                                                                                       | H منطقه حاوی مواد رسی و با ضخامت کافی برای جلوگیری از تماس سنگ                   |
| ۱                                                                                       | I ماسه ای، شنی، یا منطقه خرد شده و با ضخامت کافی برای جلوگیری از تماس سنگ دیواره |

توجه:

- ۱- اگر متوسط فاصله داری دسته درزه مورد نظر بیش از ۳ متر باشد، ۱ اضافه می شود.
- ۲- برای درزه های صیقلی و صفحه ای که سطحی خط خطی دارند از  $J_r=0/5$  استفاده شود، به شرط آن که خطوط ایجاد شده در جهت مقاومت حداقل قرار گرفته باشند و در این جهت چرخیده باشند.
- ۳- طبقه بندی  $J_r$  و  $J_a$  به دسته درزه ها یا نا پیوستگی هایی اعمال می شود که برای پایداری درزه هم از نقطه نظر جهت یافتگی و هم از جهت مقاومت برشی  $\tau = \sigma_n \tan \frac{J_r}{J_a}$  (از کمترین مطلوبیت برخوردارند).

جدول الف-۴ - عدد دگرگونی (هوازدگی) درزه  $J_a$  (Barton, 2000).

| وضعیت                                                                       | $\Phi_r$ (درجه) | $J_a$                                                                                                                                                                                                 |
|-----------------------------------------------------------------------------|-----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| الف - دیواره های سنگی در تماسند (بدون پرشدگی، صرفاً پوشش)                   |                 |                                                                                                                                                                                                       |
| A                                                                           |                 | شدیدا جوش خورده، سخت، سست نمی شود، پرکننده نفوذ ناپذیر مثل کوارتز یا اپیدوت                                                                                                                           |
| B                                                                           | ۲۵-۳۵           | ۱ دیواره های درزه فاقد هوازدگی می باشند، رنگ سطوح فقط اندکی تغییر کرده است                                                                                                                            |
| C                                                                           | ۲۵-۳۵           | ۲ دیواره های درزه اندکی هوازده اند. کانیهای که نرم نمی شوند سطح را می پوشانند، ذرات ماسه ای، سنگ تجزیه شده بدون رس                                                                                    |
| D                                                                           | ۲۰-۲۵           | ۳ پوشاننده های از جنس رس سیلتی یا ماسه ای، قسمت کوچکی از جنس رس (که نرم شونده نیست)                                                                                                                   |
| E                                                                           | ۸-۱۶            | ۴ کانیهای پوشاننده از جنس رس با اصطکاک کم یا نرم شونده است مثل کا ئو لینیت، میکا، کلریت، تالک، ژپس، گرافیت و... و مقادیر کمی از رسهای تورمی (پوشاننده های نا پیوسته با ضخامت ۱ تا ۲ میلی متر یا کمتر) |
| ب - دیواره های سنگی بعد از ۱۰ سانتی متر برش تماس پیدا می کنند (پرشدگی نازک) |                 |                                                                                                                                                                                                       |
| F                                                                           | ۲۵-۳۰           | ۴ ذرات ماسه ای، سنگهای تجزیه شده بدون رس و...                                                                                                                                                         |
| G                                                                           | ۱۶-۲۴           | ۶ پوشاننده های از جنس رس بسیار تحکیم یافته و سست نشونده (پیوسته با ضخامت کمتر از ۵ میلی متر)                                                                                                          |
| H                                                                           | ۱۲-۱۶           | ۸ پوشاننده های رسی با بیش تحکیمی کم یا متوسط (پیوسته با ضخامت کمتر از ۵ میلیمتر)                                                                                                                      |
| J                                                                           | ۶-۱۲            | ۸-۱۲ پرکننده های از جنس رس تورمی مثل مونتموریلونیت (پیوسته با ضخامت کمتر از ۵ میلیمتر). مقدار $J_a$ به درصد ذرات رسی و دسترسی به آب و غیره بستگی دارد.                                                |
| ج - دیواره های سنگی در برش هیچ تماسی پیدا نمی کنند (پرشدگی ضخیم)            |                 |                                                                                                                                                                                                       |
| K, L, M                                                                     | ۶-۲۴            | ۸ و ۶ یا ۸-۱۲ نواحی یا نوارهایی از سنگ خرد شده ورس (برای توصیف شرایط رس به G, H, J مراجعه شود)                                                                                                        |
| N                                                                           | -               | ۵ نواحی یا نوارهایی از رس ماسه ای یا سیلتی، مقدار کمی از ذرات رسی (غیر نرم شونده)                                                                                                                     |
| O, P, R                                                                     | ۶-۲۴            | ۱۰ و ۱۳ یا ۲۰-۱۳ مناطق یا نوارهایی پیوسته و ضخیم از رس (برای توصیف شرایط رس به G, H, J مراجعه شود)                                                                                                    |

توجه: اگر محصولات هوازده وجود داشته باشد، مقادیر  $\Phi_r$  فقط یک راهنمای تقریبی در مورد خصوصیات کانی شناسی و مینرالوژی این محصولات می باشند.

جدول الف-۵- فاکتور کاهش تنش SRF (Barton, 2000).

| شرایط                                                                                       |                                                                                                                                  | SRF |
|---------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| الف- مناطق ضعیف تونل را قطع می نماید و ممکن است در حین حفر تونل باعث سست شدن توده سنگ شوند. |                                                                                                                                  |     |
| A                                                                                           | نواحی ضعیف چند بار ظاهر می شوند این نواحی ضعیف حاوی رس یا سنگ از نظر شیمیایی غیر یکپارچه یا سنگ بسیار سست (در هر عمقی) می باشند. | ۱۰  |
| B                                                                                           | نواحی ضعیف منفرد که شامل رس یا سنگی است که از نظر شیمیایی یکپارچه نیست (عمق حفاری کمتر یا مساوی ۵۰ متر).                         | ۵   |
| C                                                                                           | نواحی ضعیف منفرد که شامل رس یا سنگی است که از نظر شیمیایی یکپارچه نیست (عمق حفاری بیشتر یا مساوی ۵۰ متر).                        | ۲/۵ |
| D                                                                                           | مناطق برشی متناوب در سنگ مقاوم ( فاقد رس)، سنگ در برگزیده سست می باشد (در هر عمقی).                                              | ۷/۵ |
| E                                                                                           | نواحی برشی منفرد در سنگ مقاوم ( فاقد رس) (عمق کمتر یا مساوی ۵۰ متر)                                                              | ۵   |
| F                                                                                           | نواحی برشی منفرد در سنگ مقاوم ( فاقد رس) (عمق بیشتر یا مساوی ۵۰ متر)                                                             | ۲/۵ |
| G                                                                                           | درزه های باز و ضعیف، سنگ شدیداً درزه دار یا حبه قندی و غیره (در هر عمقی).                                                        | ۵   |
| ب- سنگ مقاوم: مشکلات ناشی از تنش در سنگ                                                     |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |
|                                                                                             |                                                                                                                                  |     |

## یادداشت:

۱- اگر نواحی برشی مورد نظر حفاری را قطع نمی کنند و فقط بر آن تأثیر می گذارند، مقدار SRF مربوط ۲۵-۵۰ در صد کاهش داده شود.

۲- درجایی که وضعیت تنش شدیداً ناهمسان یا غیر ایزوتروپ است (اگر اندازه گیری شده است) که  $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$  می باشد،  $\sigma_c$  به  $0.75\sigma_c$  کاهش داده می شود. اگر  $\sigma_1/\sigma_3 > 10$  باشد،  $\sigma_c$  به  $0.5\sigma_c$  کاهش داده میشود،  $\sigma_c$  مقاومت فشاری تک محوری است و  $\sigma_1$  و  $\sigma_3$  به ترتیب تنشهای اصلی کوچکتر و بزرگتر می باشند.

۳- نمونه های اندکی در مورد این که عمق تاج تونل در زیر سطح زمین کمتر از عرض دهانه باشد، ثبت شده است. در چنین مواردی پیشنهاد می شود که مقدار SRF از  $2/5$  به  $5$  افزایش یابد (به H مراجعه شود).

۴- شرایط زمین فشارنده و مچاله شونده ممکن است در عمق  $H > 350Q^{\frac{1}{3}}$  رخ دهد (Singh و همکارانش ۱۹۹۲ میلادی). مقاومت فشاری توده سنگ را می توان از  $q \approx 0.7Q^{\frac{1}{3}}$  (به MPa) حدس زد که در آن  $\gamma$  = وزن مخصوص سنگ به  $\text{KN/m}^3$  است (Singh ۱۹۹۳ میلادی).

جدول الف-۶- شاخص آب درزه  $J_w$  (Barton, 2000).

| شرایط                                                                              | فشار آب<br>(MPa) | $J_w$        |
|------------------------------------------------------------------------------------|------------------|--------------|
| A حفاری خشک یا کمترین جریان یعنی به طور موضعی ۵ لیتر در دقیقه                      | $< 0.1$          | ۱            |
| B جریان متوسط و یا گه گاهی فشار باعث شسته شدن پرکننده درزه ها می شود.              | $0.1 - 0.25$     | $0.66$       |
| C جریان زیاد و یا فشار زیاد در سنگهای مقاوم با درزه های پر نشده                    | $0.25 - 1$       | $0.5$        |
| D جریان زیاد یا فشار بالا، پر کنندگی درزه ها به مقدار قابل ملاحظه ای شسته شده است. | $> 1$            | $0.33$       |
| E جریان یا فشار آب فوق العاده زیاد در زمان آتشفباری که با زمان کاهش پیدا می کند    | $> 1$            | $0.1 - 0.2$  |
| F جریان یا فشار آب فوق العاده زیاد که بدون هیچ کاهشی ادامه پیدا می کند.            | $> 1$            | $0.05 - 0.1$ |

توجه:

۱- فاکتور های C تا F تخمینهای حدودی هستند، اگر ملاحظات زهکشی انجام گرفته است،  $J_w$  کاهش داده شود.

۲- مشکلات خاصی که در اثر تشکیل یخ ایجاد می شود مورد نظر نمی باشد.

# فصل پنجم

جدول مربوط به جهت‌داری ناپیوستگی‌های مؤثر در حفاری،

سطح سینه کار و زاویه بین آنها

جدول ب-۱- جهت‌داری نایبوستگیهای مؤثر در حفاری، سطح سینه کار و زاویه بین آنها.

| Description (β°) | β°    | Jn°  | Jn' | شرایط سطح ناپیوستگی |          |                | جهت‌داری سطح سینه کار |         | جهت‌داری میانگین تا پیوستگی |               | نایبوستگی | طول (m) | (m) متر از    |       | مسیر  | واحد زمین شناسی مهندسی | ردیف |
|------------------|-------|------|-----|---------------------|----------|----------------|-----------------------|---------|-----------------------------|---------------|-----------|---------|---------------|-------|-------|------------------------|------|
|                  |       |      |     | درجه هوازنگی        | موج‌داری | زبری           | شیب                   | جهت شیب | شیب                         | مؤثر در حفاری |           |         | مؤثر در حفاری |       |       |                        |      |
| Unsuitable       | ۵۱.۶۹ | ۳    | ۲   | متوسط               | موج‌دار  | صاف تا کمی زبر | ۲۷۷.۶                 | ۸۹.۹۲   | ۲۲۷.۵                       | ۷۵            | ا۱        | ۴۴۰     | ۴۴۰           | ۰     | ET-P۱ | Glat۱                  | ۱    |
| Unsuitable       | ۵۵.۵۵ | ۴    | ۰.۵ | زیاد                | مسطح     | صیقلی          | ۵۵.۵۵                 | ۵۵.۵۵   | ۵۵.۵۵                       | ۵۵.۵۵         | ۵۵.۵۵     | ۱۲۰     | ۵۶۰           | ۴۴۰   | ET-P۱ | Cz                     | ۲    |
| Unsuitable       | ۵۱.۶۹ | ۳    | ۲   | متوسط               | موج‌دار  | صاف تا کمی زبر | ۲۷۷.۶                 | ۸۹.۹۲   | ۲۲۷.۵                       | ۷۵            | ا۱        | ۱۶۷۰    | ۲۲۲۰          | ۵۶۰   | ET-P۱ | Glat۱                  | ۳    |
| Unsuitable       | ۵۵.۵۵ | ۴    | ۰.۵ | زیاد                | مسطح     | صیقلی          | ۲۷۷.۶                 | ۸۹.۹۲   | ۵۵.۵۵                       | ۵۵.۵۵         | ۵۵.۵۵     | ۵۰      | ۲۲۸۰          | ۲۲۲۰  | ET-P۱ | Cz                     | ۴    |
| Unsuitable       | ۸۸.۱۴ | ۲    | ۱   | اندک تا متوسط       | مسطح     | کمی زبر        | ۲۷۷.۶                 | ۸۹.۹۲   | ۱۸۵                         | ۴۷.۵          | ج۲        | ۵۲۰     | ۲۸۰۰          | ۲۲۸۰  | ET-P۱ | Gtar                   | ۵    |
| Unsuitable       | ۵۵.۵۵ | ۴    | ۰.۵ | زیاد                | مسطح     | صیقلی          | ۵۵.۵۵                 | ۵۵.۵۵   | ۵۵.۵۵                       | ۵۵.۵۵         | ۵۵.۵۵     | ۲۶۰     | ۲۰۶۰          | ۲۸۰۰  | ET-P۱ | Cz                     | ۶    |
| Unsuitable       | ۸۸.۱۴ | ۲    | ۱   | اندک تا متوسط       | مسطح     | کمی زبر        | ۲۷۷.۶                 | ۸۹.۹۲   | ۱۸۵                         | ۴۷.۵          | ج۲        | ۷۸۵     | ۲۸۴۵          | ۲۰۶۰  | ET-P۱ | Gtar                   | ۷    |
| Unsuitable       | ۵۵.۵۵ | ۴    | ۰.۵ | زیاد                | مسطح     | صیقلی          | ۵۵.۵۵                 | ۵۵.۵۵   | ۵۵.۵۵                       | ۵۵.۵۵         | ۵۵.۵۵     | ۵۰      | ۲۸۹۵          | ۲۸۴۵  | ET-P۱ | Cz                     | ۸    |
| Unsuitable       | ۸۸.۱۴ | ۲    | ۱   | اندک تا متوسط       | مسطح     | کمی زبر        | ۲۷۷.۶                 | ۸۹.۹۲   | ۱۸۵                         | ۴۷.۵          | ج۲        | ۵۲۷     | ۴۴۲۲          | ۲۸۹۵  | ET-P۱ | Gtar                   | ۹    |
| Unsuitable       | ۷۹.۸۷ | ۲    | ۱   | اندک تا متوسط       | مسطح     | کمی زبر        | ۲۸۸.۹                 | ۸۹.۹۲   | ۱۸۵                         | ۴۷.۵          | ج۲        | ۱۵۸     | ۴۵۸۰          | ۴۴۲۲  | P۱-P۲ | Gtar                   | ۱۰   |
| Unsuitable       | ۵۵.۵۵ | ۴    | ۰.۵ | زیاد                | مسطح     | صیقلی          | ۵۵.۵۵                 | ۵۵.۵۵   | ۵۵.۵۵                       | ۵۵.۵۵         | ۵۵.۵۵     | ۲۲۰     | ۴۸۰۰          | ۴۵۸۰  | P۱-P۲ | Cz                     | ۱۱   |
| Unsuitable       | ۶۳.۲۲ | ۱    | ۲   | اندک                | موج‌دار  | کمی زبر تا زبر | ۲۸۸.۹                 | ۸۹.۹۲   | ۲۲۷.۵                       | ۷۰            | ا۱        | ۴۰۷     | ۵۲۰۷          | ۴۸۰۰  | P۱-P۲ | Gtar                   | ۱۲   |
| Unsuitable       | ۷۲.۶۴ | ۱    | ۲   | اندک                | موج‌دار  | کمی زبر تا زبر | ۲۰۰.۱                 | ۸۹.۹۲   | ۲۲۷.۵                       | ۷۰            | ا۱        | ۷۹۳     | ۶۰۰۰          | ۵۲۰۷  | P۲-P۲ | Gtar                   | ۱۳   |
| Unsuitable       | ۸۰.۱۲ | ۱    | ۲   | اندک                | موج‌دار  | کمی زبر        | ۲۰۰.۱                 | ۸۹.۹۲   | ۲۲۰                         | ۸۵            | ا۱        | ۱۲۲۰    | ۷۲۲۰          | ۶۰۰۰  | P۲-P۲ | Sist-۱                 | ۱۴   |
| Unsuitable       | ۸۳.۴۵ | ۰.۷۵ | ۱   | هوازده              | مسطح     | صاف            | ۲۰۰.۱                 | ۸۹.۹۲   | ۲۰                          | ۴۰            | B-F       | ۶۲۰     | ۷۸۵۰          | ۷۲۲۰  | P۲-P۲ | Sist۱                  | ۱۵   |
| Unsuitable       | ۸۹.۰۲ | ۰.۷۵ | ۱   | هوازده              | مسطح     | صاف            | ۳۰۰.۱                 | ۸۹.۹۲   | ۲۵                          | ۱۰            | B-F       | ۸۶۰     | ۸۷۱۰          | ۷۸۵۰  | P۲-P۲ | Tsh-۱                  | ۱۶   |
| Unsuitable       | ۸۴.۹۲ | ۱    | ۲   | اندک                | موج‌دار  | کمی زبر        | ۲۰۰.۱                 | ۸۹.۹۲   | ۲۰۵                         | ۸۵            | ا۱        | ۲۷۴     | ۹۰۸۴          | ۸۷۱۰  | P۲-P۲ | Sist-۲                 | ۱۷   |
| Unsuitable       | ۸۰.۲۵ | ۱    | ۲   | اندک                | موج‌دار  | کمی زبر        | ۳۰۴.۷                 | ۸۹.۹۲   | ۲۰۵                         | ۸۵            | ا۱        | ۸۰۱     | ۹۸۸۵          | ۹۰۸۴  | P۲-P۴ | Sist-۲                 | ۱۸   |
| Unsuitable       | ۷۵.۷۶ | ۱    | ۲   | اندک                | موج‌دار  | کمی زبر        | ۳۰۹.۲                 | ۸۹.۹۲   | ۲۰۵                         | ۸۵            | ا۱        | ۱۲۵     | ۱۰۰۱۰         | ۹۸۸۵  | P۲-K' | Sist-۲                 | ۱۹   |
| Unsuitable       | ۵۵.۵۵ | ۴    | ۰.۵ | زیاد                | مسطح     | صیقلی          | ۵۵.۵۵                 | ۵۵.۵۵   | ۵۵.۵۵                       | ۵۵.۵۵         | ۵۵.۵۵     | ۲۵۰     | ۱۰۲۶۰         | ۱۰۰۱۰ | P۴-K' | Cz                     | ۲۰   |
| Unsuitable       | ۷۵.۷۶ | ۱    | ۲   | اندک                | موج‌دار  | کمی زبر        | ۳۰۹.۲                 | ۸۹.۹۲   | ۲۰۵                         | ۸۵            | ا۱        | ۶۹۰     | ۱۰۹۵۰         | ۱۰۲۶۰ | P۴-K' | Sist-۲                 | ۲۱   |
| Unsuitable       | ۷۹.۶۴ | ۰.۷۵ | ۲   | هوازده              | موج‌دار  | کمی زبر تا زبر | ۳۰۹.۲                 | ۸۹.۹۲   | ۲۲۰                         | ۷۵            | ا۱        | ۳۲۸۰    | ۱۴۲۲۰         | ۱۰۹۵۰ | P۴-K' | Gtar                   | ۲۲   |
| suitable         | ۴۰.۶۲ | ۱    | ۲   | اندک                | موج‌دار  | کمی زبر        | ۳۰۹.۲                 | ۸۹.۹۲   | ۱۵۵                         | ۵۷.۵          | ا۱        | ۴۵۰     | ۱۴۶۸۰         | ۱۴۲۲۰ | P۴-K' | Sist-۲                 | ۲۳   |
| Unsuitable       | ۸۳.۰۵ | ۰.۷۵ | ۱   | هوازده              | مسطح     | صاف            | ۳۰۹.۲                 | ۸۹.۹۲   | ۳۰                          | ۴۷.۵          | B-F       | ۲۰۰     | ۱۴۸۸۰         | ۱۴۶۸۰ | P۴-K' | Tsh-۲                  | ۲۴   |
| Unsuitable       | ۵۵.۵۵ | ۴    | ۰.۵ | زیاد                | مسطح     | صیقلی          | ۵۵.۵۵                 | ۵۵.۵۵   | ۵۵.۵۵                       | ۵۵.۵۵         | ۵۵.۵۵     | ۵۰      | ۱۴۹۲۰         | ۱۴۸۸۰ | P۴-K' | Cz                     | ۲۵   |
| Unsuitable       | ۸۳.۰۵ | ۰.۷۵ | ۱   | هوازده              | مسطح     | صاف            | ۳۰۹.۲                 | ۸۹.۹۲   | ۲۰                          | ۴۷.۵          | ا۱        | ۷۰۰     | ۱۵۱۲۰         | ۱۴۹۲۰ | P۴-K' | Tsh-۲                  | ۲۶   |
| Unsuitable       | ۵۵.۵۵ | ۴    | ۰.۵ | زیاد                | مسطح     | صیقلی          | ۵۵.۵۵                 | ۵۵.۵۵   | ۵۵.۵۵                       | ۵۵.۵۵         | ۵۵.۵۵     | ۱۰۰     | ۱۵۲۲۰         | ۱۵۱۲۰ | P۴-K' | Cz                     | ۲۷   |
| Unsuitable       | ۷۵.۹۲ | ۱    | ۲   | اندک                | موج‌دار  | زبر            | ۳۰۹.۲                 | ۸۹.۹۲   | ۲۲۵                         | ۶۴            | ا۱        | ۶۲۰     | ۱۵۹۶۰         | ۱۵۲۲۰ | P۴-K' | Mdg                    | ۲۸   |
| Unsuitable       | ۵۵.۵۵ | ۴    | ۰.۵ | زیاد                | مسطح     | صیقلی          | ۵۵.۵۵                 | ۵۵.۵۵   | ۵۵.۵۵                       | ۵۵.۵۵         | ۵۵.۵۵     | ۲۰      | ۱۵۹۸۰         | ۱۵۹۶۰ | P۴-K' | Cz                     | ۲۹   |



# ضمیمه ج

مقادیر پارامترهای ورودی مورد نیاز برای روش QTBM

و نتایج محاسبات برای هر مقطع

| واحد زمین شناسی مهندسی                         |  |                             |  | Gfa                 |  | مترار تونل (m) |  | از                               |  | تا |  | ۴۴۰ |  |
|------------------------------------------------|--|-----------------------------|--|---------------------|--|----------------|--|----------------------------------|--|----|--|-----|--|
| عدد هوازدگی                                    |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| شرح                                            |  | متوسط                       |  | عدد                 |  | شرح            |  | صاف تا کمی زیر، موجدار           |  |    |  |     |  |
| رتبه                                           |  | ۳                           |  | رتبه                |  | رتبه           |  | ۲                                |  |    |  |     |  |
| شاخص آب                                        |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| شرح                                            |  | حفاری خشک                   |  | فاکتور کاهش         |  | شرح            |  | نواحی ضعیف چند بار تکرار می شوند |  |    |  |     |  |
| رتبه                                           |  | ۱                           |  | تنش (SRF)           |  | رتبه           |  | ۱۰                               |  |    |  |     |  |
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر                  |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| تونل RQD <sub>0</sub> (%)                      |  | ۲۵                          |  | عدد دسته            |  | شرح            |  | ۴ دسته درزه+تصادفی               |  |    |  |     |  |
| رتبه                                           |  |                             |  | درزه (Jn)           |  | رتبه           |  | ۱۵                               |  |    |  |     |  |
| مقاومت فشاری سنگ (MPa)                         |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| ۳۰                                             |  | فطر حفاری (m)               |  | ۴۶                  |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| شاخص بار نقطه ای (Mpa)                         |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
|                                                |  | نیروی رانش (F)              |  | ۱۲                  |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| چگالی سنگ (gr/cm <sup>3</sup> )                |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| ۲۶                                             |  | درصد تخلخل (%)              |  | ۱۲.۵                |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| شاخص عمر تیغه (CLT)                            |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| ۲۵                                             |  | درصد کوارتز (%)             |  | ۱۵                  |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| متوسط ارتفاع روباره (m)                        |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| ۲۰۰                                            |  | نسبت تنش افقی به عمودی (K)  |  | ۱                   |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| شیب اولیه (m)                                  |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| -۰.۴۲                                          |  | مقدار Q                     |  | ۰.۱۶۷               |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| زاویه سطح نایبوستگی بحرانی با سطح شیبه کار (β) |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| ۵۱۶۹                                           |  | اندازه                      |  | ۵۱۶۹                |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
|                                                |  | شیب                         |  | نا مناسب برای حفاری |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| محاسبات                                        |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| طول مستقیم (m)                                 |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| ۴۴۰                                            |  | تنش مماسی دیواره تونل (MPa) |  | ۱۰.۴                |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| Q <sub>0</sub>                                 |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| ۰.۱۱۱۱۱۱۱۱                                     |  | SIGMA <sub>cm</sub>         |  | ۴.۱۸۳۷۸۷۳۳۳         |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
|                                                |  | SIGMA <sub>tm</sub>         |  | ۰                   |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
|                                                |  | SIGMA                       |  | ۴.۱۸۳۷۸۷۳۳۳         |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
|                                                |  | Q <sub>TBM</sub>            |  | ۴.۷۹۷۳۲۵۳۹۷         |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
|                                                |  | m                           |  | -۰.۴۲۵۳۷۳۵۴۹        |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
|                                                |  | U (%)                       |  | ۲.۸۸۲۳۸۴۳۵۳         |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت)                        |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| ۳.۶۵۴۰۱۴                                       |  | سرعت پیشروی (متر بر ساعت)   |  | ۰.۱۰۵۳۲۳            |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| پیشروی روزانه (hr/Day)                         |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |
| ۲.۱۰۶۴۵۴                                       |  |                             |  |                     |  |                |  |                                  |  |    |  |     |  |

| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  | Cz |  | میزان توبل (III) |  | از | ۴۴۰ | تا | ۵۶۰ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----|--|------------------|--|----|-----|----|-----|
| <div> <div> عدد هوازدگی<br/>(Ja') </div> <div> شرح<br/>رتبه </div> <div> عدد زیاد </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> عدد هوازدگی<br/>(Ja') </div> <div> شرح<br/>رتبه </div> <div> عدد زیاد </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> شاخص آب<br/>درزه (Jw) </div> <div> شرح<br/>رتبه </div> <div> جریان زیاد </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> شاخص آب<br/>درزه (Jw) </div> <div> شرح<br/>رتبه </div> <div> جریان زیاد </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> شاخص کثیف توده سنگ در جهت حفر<br/>توبل (RQDo (%)) </div> <div> عدد دسته<br/>درزه (Jn) </div> <div> شرح<br/>رتبه </div> <div> سنگ خرد شده </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> مقاومت فشاری سنگ (σc) MPa </div> <div> عدد حفری (m) </div> <div> شرح<br/>رتبه </div> <div> سنگ خرد شده </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> شاخص بار نقطه ای (I50) Mpa </div> <div> عدد رانش (mf (F)) </div> <div> شرح<br/>رتبه </div> <div> سنگ خرد شده </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> چگالی سنگ (γ) gr/cm³ </div> <div> درصد تخلخل (%) (n) </div> <div> شرح<br/>رتبه </div> <div> سنگ خرد شده </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> شاخص عمر تخته CLI </div> <div> درصد توارتن (%) (q) </div> <div> شرح<br/>رتبه </div> <div> سنگ خرد شده </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> متوسط ارتفاع روباره (III) </div> <div> نسبت تنش افقی به عمودی (K) </div> <div> شرح<br/>رتبه </div> <div> سنگ خرد شده </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> شیب اولیه (III) </div> <div> مقدار Q </div> <div> شرح<br/>رتبه </div> <div> سنگ خرد شده </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> زاویه سطح لابیوستگی بحرانی با سطح شیبه کار (β°) </div> <div> اندازه<br/>شرح </div> <div> سنگ خرد شده </div> <div> سنگ خرد شده </div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |
| <div> <div> طول سوراخ (m) = ۱۲۰ </div> <div> تنش مناسی دیواره توبل (σσ) MPa = ۱۵.۶ </div> <div> Qo = ۰.۰۰۳۱۲۵ </div> <div> SIGMAcm = ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴ </div> <div> SIGMAtm = ۰ </div> <div> SIGMA = ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴ </div> <div> QTBM = ۰.۰۲۷۱۳۹۲۵۸ </div> <div> m = -۰.۷۸۳۷۴۷۸۵۴ </div> <div> U(%) = ۰.۰۱۳۵۸۹۲۵۳ </div> <div> سرعت نفوذ (متر بر ساعت) = ۱۰.۲۸۶۰۹ </div> <div> سرعت پیشروی (متر بر ساعت) = ۰.۰۰۱۳۹۸ </div> <div> سرعت رورانه (hr/Day) = ۰.۰۲۷۹۵۶ </div> </div> |  |    |  |                  |  |    |     |    |     |

| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                |  |  |  |  |  | Gta1 |  | متر از بول (m) |  | ۵۶۰ |  | ۲۲۳۰ |  |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|--|------|--|----------------|--|-----|--|------|--|
| <div> <div>عدد هوازگی</div> <div>شرح</div> <div>متوسط</div> <div>عدد</div> <div>شرح</div> <div>صاف تا کمی زیر، موجود</div> </div>                     |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>Ja<sup>1</sup></div> <div>رتبه</div> <div>۳</div> <div>رتبه</div> <div>۲</div> </div>                                                      |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>شاخص آب</div> <div>شرح</div> <div>حفاری خشک</div> <div>فاکتور کاهش</div> <div>شرح</div> <div>نواحی ضعیف چند بار تکرار می شوند</div> </div> |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>درزه (Jn)</div> <div>رتبه</div> <div>۱</div> <div>نسبت (SRF)</div> <div>رتبه</div> <div>۱۰</div> </div>                                    |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر</div> <div>۲۵</div> <div>عدد دسته</div> <div>شرح</div> <div>۴ دسته درزه + تصادفی</div> </div>                |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>بول (RQD<sub>0</sub> (%))</div> <div>رتبه</div> <div>۱۵</div> <div>درزه (Jn)</div> <div>رتبه</div> <div>۱۵</div> </div>                    |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>مقاومت فشاری سنگ (MPa (G))</div> <div>۳۰</div> <div>قطر حفاری (m)</div> <div>۴۶</div> </div>                                               |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>شاخص بار نقطه ای (MPa (I50))</div> <div>۱۲</div> <div>نیروی رانش (inf. I)</div> <div>۱۲</div> </div>                                       |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>چگالی سنگ (γ) gr/cm<sup>3</sup></div> <div>۲۶</div> <div>در صد تخلخل (%) (n)</div> <div>۱۲.۵</div> </div>                                  |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>شاخص همگرایی (CLI)</div> <div>۲۵</div> <div>در صد کوارتز (%) (q)</div> <div>۱۵</div> </div>                                                |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>متوسط ارتفاع دیواره (m)</div> <div>۲۰۰</div> <div>نسبت تنش افقی به عمودی (K)</div> <div>۱</div> </div>                                     |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>شیب اولیه (m)</div> <div>-۰.۴۲</div> <div>مقدار Q</div> <div>۰.۱۶۷</div> </div>                                                            |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح سست کار (β°)</div> <div>۵۱.۶۹</div> <div>تأثیر</div> <div>تا مناسب برای حفاری</div> </div>               |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>طول مسیر (m)</div> <div>۱۶۷۰</div> </div>                                                                                                  |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>تنش معیسی دیواره بول (MPa (σθ))</div> <div>۱۰.۴</div> </div>                                                                               |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>Q<sub>0</sub></div> <div>۰.۱۱۱۱۱۱۱۱</div> </div>                                                                                           |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>SIGMA<sub>cm</sub></div> <div>۴.۱۸۳۷۸۷۳۳۳</div> </div>                                                                                     |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>SIGMA<sub>tm</sub></div> <div>۰</div> </div>                                                                                               |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>SIGMA</div> <div>۴.۱۸۳۷۸۷۳۳۳</div> </div>                                                                                                  |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>Q<sub>IBM</sub></div> <div>۴.۷۹۷۳۲۵۳۹۷</div> </div>                                                                                        |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>m</div> <div>-۰.۴۲۵۳۷۲۵۴۹</div> </div>                                                                                                     |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>U (%)</div> <div>۱.۰۷۳۸۵۴۶۳۸</div> </div>                                                                                                  |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>سرعت نفوذ (متر بر ساعت)</div> <div>۳.۶۵۴۰۱۴</div> </div>                                                                                   |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>سرعت پیروی (متر بر ساعت)</div> <div>۰.۳۹۲۳۹</div> </div>                                                                                   |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |
| <div> <div>پیروی روزانه (hr/Day)</div> <div>۰.۷۸۴۷۷۶</div> </div>                                                                                     |  |  |  |  |  |      |  |                |  |     |  |      |  |



| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                                         |      |               |      |     |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|---------------|------|-----|--|
| ۲۲۸۰                                                                                                                                                                           | ۲۲۳۰ | مراز بونل (m) | Cz   |     |  |
| <div> <div> عدد هواز دگی<br/>(Ja<sup>۱</sup>) </div> <div>شرح</div> </div> <div> <div>زیاد</div> <div>عدد</div> </div> <div> <div>شرح</div> <div>صیقلی، مسطح</div> </div>      |      |               |      |     |  |
| ۴                                                                                                                                                                              | رتبه | رتبه          | رتبه | ۰.۵ |  |
| <div> <div>شاخص آب</div> <div>شرح</div> </div> <div> <div>جریان زیاد</div> <div>فاکتور کاهش</div> </div> <div> <div>شرح</div> <div>فشار ناشی از مجاله شوندگی زیاد</div> </div> |      |               |      |     |  |
| ۰.۵                                                                                                                                                                            | رتبه | تستی (SRF)    | رتبه | ۱۵  |  |
| <div> <div>شاخص کیفی توده سنگ در جهت خطر</div> <div>۱۵</div> </div> <div> <div>عدد دسته</div> <div>شرح</div> </div> <div> <div>سنگ خرد شده</div> <div>رتبه</div> </div>        |      |               |      |     |  |
| ۱۵                                                                                                                                                                             | رتبه | دوره (Jn)     | ۲۰   |     |  |
| <div> <div>مقاومت فشاری سنگ (σ<sub>c</sub>) MPa</div> <div>۱۵</div> </div> <div> <div>قطر حفاری (m)</div> <div>۴۶</div> </div>                                                 |      |               |      |     |  |
| <div> <div>شاخص بار نقطه ای (150) MPa</div> <div>۱۲</div> </div> <div> <div>نیروی رانش (F) mF</div> <div>۱۲</div> </div>                                                       |      |               |      |     |  |
| <div> <div>چگالی سنگ (γ) gr/cm<sup>3</sup></div> <div>۲.۶</div> </div> <div> <div>در صد تخلخل (%) (n)</div> <div>۱۲.۵</div> </div>                                             |      |               |      |     |  |
| <div> <div>شاخص عمر تیغه GLI</div> <div>۱۵</div> </div> <div> <div>در صد کوارتز (%) (q)</div> <div>۵</div> </div>                                                              |      |               |      |     |  |
| <div> <div>متوسط ارتفاع روباره (m)</div> <div>۳۰۰</div> </div> <div> <div>نسبت تنش اکتی به عمودی (K)</div> <div>۱</div> </div>                                                 |      |               |      |     |  |
| <div> <div>شیب اولیه (m)</div> <div>۰.۸</div> </div> <div> <div>مقدار Q</div> <div>۰.۰۰۳</div> </div>                                                                          |      |               |      |     |  |
| <div> <div>زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی یا سطح سیمه کار (β°)</div> <div>۹۰</div> </div> <div> <div>اندازه</div> <div>۹۰</div> </div>                                             |      |               |      |     |  |
| <div> <div>شرح</div> <div>نا مناسب برای حفاری</div> </div>                                                                                                                     |      |               |      |     |  |
| <div> <div>طول مسیر (m)</div> <div>۵۰</div> </div> <div> <div>تنش مناسبی دروازه بونل (σ<sub>0</sub>) MPa</div> <div>۱۵.۶</div> </div>                                          |      |               |      |     |  |
| <div> <div>Q<sub>0</sub></div> <div>۰.۰۰۳۱۲۵</div> </div>                                                                                                                      |      |               |      |     |  |
| <div> <div>SIGMA<sub>cm</sub></div> <div>۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</div> </div>                                                                                                              |      |               |      |     |  |
| <div> <div>SIGMA<sub>tm</sub></div> <div>۰</div> </div>                                                                                                                        |      |               |      |     |  |
| <div> <div>SIGMA</div> <div>۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</div> </div>                                                                                                                           |      |               |      |     |  |
| <div> <div>Q<sub>IBM</sub></div> <div>۰.۰۲۷۱۳۹۲۵۸</div> </div>                                                                                                                 |      |               |      |     |  |
| <div> <div>m</div> <div>۰.۷۸۳۷۴۷۸۵۴</div> </div>                                                                                                                               |      |               |      |     |  |
| <div> <div>U (%)</div> <div>۰.۳۲۴۴۶۵۹۷۹</div> </div>                                                                                                                           |      |               |      |     |  |
| <div> <div>سرعت نفوذ (متر بر ساعت)</div> <div>۱۰.۲۸۶۰۹</div> </div>                                                                                                            |      |               |      |     |  |
| <div> <div>سرعت بیسروی (متر بر ساعت)</div> <div>۰.۰۳۳۳۷۵</div> </div>                                                                                                          |      |               |      |     |  |
| <div> <div>بیسروی روزانه (Y-lir/Day)</div> <div>۰.۶۶۷۴۹۷</div> </div>                                                                                                          |      |               |      |     |  |

|                        |  |      |                |      |      |
|------------------------|--|------|----------------|------|------|
| واحد زمین شناسی مهندسی |  | Gta2 | میزان تونل (m) | ۲۲۸۰ | ۲۸۰۰ |
|------------------------|--|------|----------------|------|------|

|             |      |               |           |      |              |
|-------------|------|---------------|-----------|------|--------------|
| عدد هوازدگی | شرح  | اندک تا متوسط | عدد       | شرح  | کمی زیر، سطح |
| (Ja')       | رتبه | ۲             | دری (Ja') | رتبه | ۱            |

|           |      |             |             |      |                                  |
|-----------|------|-------------|-------------|------|----------------------------------|
| شاخص آب   | شرح  | جریان متوسط | فاکتور کاهش | شرح  | فشار ناشی از مجله شونده می ملایم |
| درزه (Jw) | رتبه | ۰.۶۶        | تشتی (SRE)  | رتبه | ۷.۵                              |

|                                |           |      |           |      |             |
|--------------------------------|-----------|------|-----------|------|-------------|
| شاخص کیفی نوده سنگ در جهت حفار | عدد دسته  | شرح  | عدد دسته  | شرح  | ۳ دسته درزه |
| تونل (RQD <sub>o</sub> (%))    | درزه (Jn) | رتبه | درزه (Jn) | رتبه | ۹           |

|                                         |      |                            |      |
|-----------------------------------------|------|----------------------------|------|
| مقاومت فشاری سنگ (σ <sub>c</sub> ) MPa  | ۷۵   | قطر حفاری (m)              | ۴.۶  |
| شاخص بار نقطه ای (I <sub>50</sub> ) Mpa |      | بیرونی رانش (inf (E))      | ۱۵   |
| چگالی سنگ (γ) gr/cm <sup>3</sup>        | ۲.۶  | درصد تخلخل (%) (n)         | ۷.۵  |
| شاخص عمر تیغه CLI                       | ۲۵   | درصد کوارتز (%) (q)        | ۱۵   |
| متوسط ارتفاع روباره (m)                 | ۲۵۰  | نسبت تنش افقی به عمودی (K) | ۱    |
| شیب اولیه (m)                           | -۰.۲ | مقدار Q                    | ۰.۹۸ |

|                                                |       |                     |
|------------------------------------------------|-------|---------------------|
| زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح مسه کار (β°) | تلاشه | ۸۸.۱۴               |
|                                                | شرح   | نا مناسب برای حفاری |

|                                             |              |
|---------------------------------------------|--------------|
| طول مسیر (m)                                | ۵۲۰          |
| تنش معانی دیواره تونل (σ <sub>θ</sub> ) MPa | ۱۸.۲         |
| Q <sub>o</sub>                              | ۰.۲۴۴۴۴۴۴۴   |
| SIGMA <sub>acm</sub>                        | ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴  |
| SIGMA <sub>tm</sub>                         | ۰            |
| SIGMA                                       | ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴  |
| QTBM                                        | ۳.۵۰۰۶۳۹۱۰۴  |
| m                                           | -۰.۱۹۷۴۵۰۷۳۲ |
| U(%)                                        | ۲۹.۹۸۹۹۱۲۷۷  |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت)                     | ۳.۸۹۱۷۱۱     |
| سرعت پیشروی (متر بر ساعت)                   | ۱.۱۶۷۱۲۱     |
| پیشروی روزانه (hr/Day)                      | ۲۳.۳۴۲۴۱     |

| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |  |  | Cz | میزان تونل (m) | از | ۲۸۰۰ | تا | ۳۰۶۰ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|----|----------------|----|------|----|------|
| <div> <div>عدد هوازدگی</div> <div>شرح</div> <div>زیاد</div> <div>عدد ۱</div> <div>شرح</div> <div>صیقلی، مسطح</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>(Ja')</div> <div>رتبه</div> <div>۴</div> <div>رتبه</div> <div>۰.۵</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>شاخص آب</div> <div>شرح</div> <div>جریان زیاد</div> <div>فاکتور کاهش</div> <div>شرح</div> <div>فشار ناشی از مجاله شونده گی زیاد</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>درزه (Jw)</div> <div>رتبه</div> <div>۰.۵</div> <div>رتبه</div> <div>۱۵</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>شاخص کیفی نوده سنگ در جهت قطر</div> <div>۱۵</div> <div>عدد دسته</div> <div>شرح</div> <div>سنگ خرد شده</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>تونل (RQD) (%)</div> <div>رتبه</div> <div>۲۰</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>مقاومت فشاری سنگ (σc) MPa</div> <div>۱۵</div> <div>قطر حفاری (m)</div> <div>۴۶</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>شاخص بار نقطه ای (I50) MPa</div> <div>۱۲</div> <div>نیروی رانش (inf (I)</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>چگالی سنگ (γ) gr/cm³</div> <div>۲.۶</div> <div>در صد تخلخل (%) (n)</div> <div>۱۲.۵</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>شاخص عمر تیغه CLI</div> <div>۱۵</div> <div>در صد کوارتز (%) (q)</div> <div>۵</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>متوسط ارتفاع روباره (m)</div> <div>۳۰۰</div> <div>نسبت تنش افقی به عمودی (K)</div> <div>۱</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>شیب اولیه (m)</div> <div>-۰.۸</div> <div>مقدار Q</div> <div>۰.۰۰۳</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح سینه کار (β°)</div> <div>۹۰</div> <div>اندازه</div> <div>شرح</div> <div>نا مناسب برای حفاری</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |  |  |    |                |    |      |    |      |
| <div> <div>طول مسیر (m) = ۲۶۰</div> <div>تنش مماسی دیواره تونل (σθ) MPa = ۱۵.۶</div> <div>Q<sub>0</sub> = ۰.۰۰۳۱۲۵</div> <div>SIGMA<sub>cm</sub> = ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</div> <div>SIGMA<sub>tm</sub> = ۰</div> <div>SIGMA = ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</div> <div>Q<sub>IBM</sub> = ۰.۰۲۷۱۳۹۲۵۸</div> <div>m = -۰.۷۸۳۷۴۷۸۵۴</div> <div>U(%) = ۰.۰۰۰۸۲۴۵۳۱</div> <div>سرعت نفوذ (متر بر ساعت) = ۱۰.۲۸۶۰۹</div> <div>سرعت پخشروی (متر بر ساعت) = ۸.۴۸E-۰۵</div> <div>پخشروی روزانه (l/m/Day) = ۰.۰۰۱۶۹۶</div> </div> |  |  |  |    |                |    |      |    |      |



|                                                    |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
|----------------------------------------------------|-----------------------|-------------------------------|-------------|------|---------------------------------|------|--|---------------|--|----|------|---|------|
| واحد زمین شناسی مهندسی                             |                       |                               |             |      |                                 | Gta۲ |  | تشرار طول (m) |  | از | ۳۰۶۰ | ۵ | ۳۸۴۵ |
| شاخص های مکانیکی                                   |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| عدد هوازدگی                                        | شرح                   | اندک تا متوسط                 | عدد         | شرح  | کمی زیر، مسطح                   |      |  |               |  |    |      |   |      |
| (Ja')                                              | رتبه                  | ۲                             | رتبه (Jr')  | رتبه | ۱                               |      |  |               |  |    |      |   |      |
| شاخص آب                                            | شرح                   | جریان متوسط                   | فاکتور کاهش | شرح  | فشار ناشی از مجامه توندگی ملایم |      |  |               |  |    |      |   |      |
| درزه (Jw)                                          | رتبه                  | ۰.۶۶                          | تشن (SRF)   | رتبه | ۷.۵                             |      |  |               |  |    |      |   |      |
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر                      | ۵۰                    | تول (RQD <sub>۵۰</sub> (%))   | عدد دسته    | شرح  | ۳ دسته درزه                     |      |  |               |  |    |      |   |      |
|                                                    |                       |                               | درزه (Jn)   | رتبه | ۹                               |      |  |               |  |    |      |   |      |
| مقاومت فشاری سنگ (σ <sub>c</sub> ) MPa             | ۷۵                    | قطر حفاری (m)                 | ۴۶          |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| شاخص بار نقطه ای (I <sub>50</sub> ) Mpa            | ۱۵ نیروی رانش (E) knf |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| چگالی سنگ (γ) gr/cm <sup>3</sup>                   | ۲.۶                   | در صد تخلخل (%) (n)           | ۷.۵         |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| شاخص عمر تپه CLI                                   | ۲۵                    | در صد کوارتز (%) (q)          | ۱۵          |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| متوسط ارتفاع رویاره (m)                            | ۳۵۰                   | نسبت انبساط افقی به عمودی (K) | ۱           |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| شیب اولیه (m)                                      | -۰.۲                  | مقدار Q                       | ۰.۹۸        |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| زاویه سطح نابینوستکی بحرانی با سطح تپه کار (θ)     |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| ۸۸.۱۴ اندازه                                       |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| نا مناسب برای حفاری شرح                            |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| محاسبات                                            |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| طول مسیر (m) = ۷۸۵                                 |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| تشن معامسی دیواره تول (σ <sub>θ</sub> ) MPa = ۱۸.۲ |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| Q <sub>۰</sub> = ۰.۲۴۴۴۴۴۴۴                        |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| SIGMA <sub>cm</sub> = ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴                  |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| SIGMA <sub>tm</sub> = ۰                            |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| SIGMA = ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴                                |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| Q <sub>IBM</sub> = ۳.۵۰۰۶۳۹۱۰۴                     |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| m = -۰.۱۹۷۴۵۰۷۳۲                                   |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| U(%) = ۲۷.۰۹۹۹۷۱۰۵                                 |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت) = ۳.۸۹۱۷۱۱                 |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| سرعت فشاری (متر بر ساعت) = ۱.۰۵۴۶۵۲                |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |
| نیروی روزانه (T <sub>hr/Day</sub> ) = ۲۱.۰۹۳۰۵     |                       |                               |             |      |                                 |      |  |               |  |    |      |   |      |



|                        |  |    |                |    |      |      |
|------------------------|--|----|----------------|----|------|------|
| واحد زمین شناسی مهندسی |  | Cz | مستاز تونل (m) | از | ۳۸۴۵ | ۳۸۹۵ |
|------------------------|--|----|----------------|----|------|------|

|             |      |     |      |      |             |
|-------------|------|-----|------|------|-------------|
| عدد هوازدگی | شرح  | زیا | عدد  | شرح  | صیقلی، مسطح |
| (Ja')       | رتبه | ۴   | رتبه | رتبه | ۰.۵         |

|           |      |            |             |      |                                |
|-----------|------|------------|-------------|------|--------------------------------|
| شاخص آب   | شرح  | جریان زیاد | فاکتور کاهش | شرح  | فشار ناشی از مجاله شوندگی زیاد |
| درزه (Jw) | رتبه | ۰.۵        | تسین (SRF)  | رتبه | ۱۵                             |

|                               |           |      |             |
|-------------------------------|-----------|------|-------------|
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر | عدد دسته  | شرح  | سنگ خرد شده |
| تونل (RQD <sub>0</sub> (%))   | درزه (Jn) | رتبه | ۲۰          |

|                                        |    |               |    |
|----------------------------------------|----|---------------|----|
| مقاومت فشاری سنگ (σ <sub>c</sub> ) MPa | ۱۵ | قطر حفاری (m) | ۴۶ |
|----------------------------------------|----|---------------|----|

|                                         |  |                      |    |
|-----------------------------------------|--|----------------------|----|
| شاخص بار نقطه ای (I <sub>50</sub> ) Mpa |  | بشروی رانس (inf (F)) | ۱۲ |
|-----------------------------------------|--|----------------------|----|

|                                  |     |                    |      |
|----------------------------------|-----|--------------------|------|
| چگالی سنگ (γ) gr/cm <sup>3</sup> | ۲.۶ | در صد تعلق (%) (n) | ۱۲.۵ |
|----------------------------------|-----|--------------------|------|

|                   |    |                      |   |
|-------------------|----|----------------------|---|
| شاخص عمر تیغه CLI | ۱۵ | در صد کوارتز (%) (q) | ۵ |
|-------------------|----|----------------------|---|

|                         |     |                            |   |
|-------------------------|-----|----------------------------|---|
| متوسط ارتفاع روباره (m) | ۳۰۰ | نسبت تنش افقی به عمودی (K) | ۱ |
|-------------------------|-----|----------------------------|---|

|               |      |         |       |
|---------------|------|---------|-------|
| شیب اولیه (m) | -۰.۸ | مقدار Q | ۰.۰۰۳ |
|---------------|------|---------|-------|

|                                                 |        |                     |
|-------------------------------------------------|--------|---------------------|
| زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی یا سطح سینه کار (β°) | اندازه | ۹۰                  |
|                                                 | شرح    | نا مناسب برای حفاری |

|                                            |              |
|--------------------------------------------|--------------|
| طول مشیز (m)                               | ۵۰           |
| تنس معانی دوزده تونل (σ <sub>0</sub> ) MPa | ۱۵.۶         |
| Q <sub>0</sub>                             | ۰.۰۰۳۱۲۵     |
| SIGMA <sub>cm</sub>                        | ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴  |
| SIGMA <sub>tm</sub>                        | *            |
| SIGMA                                      | ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴  |
| Q <sub>TBM</sub>                           | ۰.۰۲۷۱۳۹۲۵۸  |
| m                                          | -۰.۷۸۳۷۴۷۸۵۴ |
| U(%)                                       | ۰.۳۲۴۴۶۵۹۷۹  |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت)                    | ۱۰.۲۸۶۰۹     |
| سرعت پیشروی (متر بر ساعت)                  | ۰.۰۳۳۳۷۵     |
| بیشروی (روزانه) (hr/Day)                   | ۰.۶۶۷۴۹۷     |

| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  | Gta2 |  | متر از تونل (m) |  | ۳۸۹۵ |  | ۴۴۲۲ |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|------|--|-----------------|--|------|--|------|--|
| <div>عدد هوازدگی</div> <div>شرح</div> <div>اندک تا متوسط</div> <div>عدد</div> <div>شرح</div> <div>کمی زیر، سطح</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>عدد هوازدگی</div> <div>شرح</div> <div>اندک تا متوسط</div> <div>عدد</div> <div>شرح</div> <div>کمی زیر، سطح</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>شاخص آب</div> <div>شرح</div> <div>جریان متوسط</div> <div>فاکتور کاهش</div> <div>شرح</div> <div>فشار ناشی از مجله شوندگی ملایم</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>دوره (Jw)</div> <div>شرح</div> <div>جریان متوسط</div> <div>تشن (SRF)</div> <div>شرح</div> <div>۷.۵</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر</div> <div>۵۰</div> <div>عدد دسته</div> <div>شرح</div> <div>۳ دسته دوره</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>تونل RQD<sub>o</sub> (%)</div> <div>دوره (Jn)</div> <div>شرح</div> <div>۹</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>مقاومت فشاری سنگ (σc) MPa</div> <div>۷۵</div> <div>قطر حفاری (m)</div> <div>۴۶</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>شاخص بار نقطه ای (I50) Mpa</div> <div>۱۵</div> <div>تسری رانش (F) m/s</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>چگالی سنگ (γ) gr/cm<sup>3</sup></div> <div>۲.۶</div> <div>درصد تخلخل (%) (n)</div> <div>۷.۵</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>شاخص عمر تپه CLI</div> <div>۲۵</div> <div>درصد کوارتز (%) (q)</div> <div>۱۵</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>متوسط ارتفاع روپاره (m)</div> <div>۲۵۰</div> <div>نسبت تنش افقی به عمودی (K)</div> <div>۱</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>شیب اولیه m</div> <div>-۰.۲</div> <div>مقدار Q</div> <div>۰.۹۸</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح تپه کار (β°)</div> <div>۸۸.۱۴</div> <div>افتاده</div> <div>نا مناسب برای حفاری</div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |
| <div>طول مسیر (m) = ۵۲۷</div> <div>تنش معنایی دیواره تونل (σθ) MPa = ۱۸.۲</div> <div>Q<sub>o</sub> = ۰.۲۴۴۴۴۴۴۴</div> <div>SIGMA<sub>cm</sub> = ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴</div> <div>SIGMA<sub>tm</sub> = *</div> <div>SIGMA = ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴</div> <div>Q<sub>IBM</sub> = ۳.۵۰۶۳۹۱۰۲</div> <div>m = -۰.۱۹۷۴۵۰۷۳۲</div> <div>U(%) = ۲۹.۸۹۱۴۱۲۸۴</div> <div>سرعت نفوذ (متر بر ساعت) = ۳.۸۹۱۷۱۱</div> <div>سرعت ریشروی (متر بر ساعت) = ۱.۱۶۳۲۸۷</div> <div>ریشروی روزانه (l/day) = ۲۳.۲۶۵۷۵</div> |  |  |  |      |  |                 |  |      |  |      |  |

| تست بتن در شرایط بحرانی                        |              |                            |             |             |                                   |
|------------------------------------------------|--------------|----------------------------|-------------|-------------|-----------------------------------|
| واحد زمین شناسی مهندسی                         | Gta2         | ستوار تونل (m)             | از          | ۴۴۲۲        | ۴۵۸۰                              |
| پارامترهای بتن در شرایط بحرانی                 |              |                            |             |             |                                   |
| عدد هوازدگی                                    | شرح          | اندک تا متوسط              | عدد         | شرح         | کمی زیر، مسطح                     |
| (Ja')                                          | رتبه         | ۲                          | زبری (Jr')  | رتبه        | ۱                                 |
| شاخص آب                                        | شرح          | جریان متوسط                | فاکتور کاهش | شرح         | فشار ناشی از مجامه شونده می ملایم |
| درزه (Jw)                                      | رتبه         | ۰.۶۶                       | نسبت (SRF)  | رتبه        | ۷.۵                               |
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر                  | ۵۰           | عدد دسته                   | شرح         | ۳ دسته درزه |                                   |
| تونل (RQD <sub>o</sub> (%))                    | درزه (JII)   | رتبه                       | ۹           |             |                                   |
| مقاومت فشاری سنگ (σ <sub>c</sub> ) MPa         | ۷۵           | قطر حفاری (m)              | ۴۶          |             |                                   |
| شاخص بار نقطه ای (I <sub>50</sub> ) MPa        |              | پیروی رانش (inf (F))       | ۱۵          |             |                                   |
| چگالی سنگ (γ) gr/cm <sup>3</sup>               | ۲.۶          | درصد تخلخل (%) (n)         | ۷.۵         |             |                                   |
| شاخص عمر تیغه CLT                              | ۲۵           | درصد کوارتز (%) (q)        | ۱۵          |             |                                   |
| متوسط ارتفاع روباره (m)                        | ۳۵۰          | نسبت تنش افقی به عمودی (K) | ۱           |             |                                   |
| شیب اولیه (m)                                  | -۰.۲         | مقدار Q                    | ۰.۹۸        |             |                                   |
| راویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح مسه کار (β°) |              |                            |             |             |                                   |
| ۷۹.۸۷                                          | اندازه       | نا مناسب برای حفاری        | شرح         |             |                                   |
| محاسبات                                        |              |                            |             |             |                                   |
| طول مشبک (m) =                                 | ۱۵۸          |                            |             |             |                                   |
| تنش مماسی دیواره تونل (σ <sub>θ</sub> ) MPa =  | ۱۸.۲         |                            |             |             |                                   |
| Q <sub>o</sub> =                               | ۰.۲۴۴۴۴۴۴۴   |                            |             |             |                                   |
| SIGMA <sub>cin</sub> =                         | ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴  |                            |             |             |                                   |
| SIGMA <sub>tin</sub> =                         | ۰            |                            |             |             |                                   |
| SIGMA =                                        | ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴  |                            |             |             |                                   |
| Q IBM =                                        | ۳.۵۰۰۶۳۹۱۰۴  |                            |             |             |                                   |
| m =                                            | -۰.۱۹۷۴۵۰۷۳۲ |                            |             |             |                                   |
| U (%) =                                        | ۴۰.۲۰۲۹۲۰۴۹  |                            |             |             |                                   |
| سرعت نفوذ (سرور ساعت) =                        | ۳.۸۹۱۷۱۱     |                            |             |             |                                   |
| سرعت پیشرایی (سرور ساعت) =                     | ۱.۵۶۴۵۸۱     |                            |             |             |                                   |
| پیشرایی روزانه (lir/Day) =                     | ۳۱.۲۹۱۶۳     |                            |             |             |                                   |



| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                               |  |  |  | Cz | متر از تونل (m) | از | ۴۵۸۰ | تا | ۴۸۰۰ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|----|-----------------|----|------|----|------|
| <div> <div>عدد هوازگی</div> <div>شرح</div> <div>زیا</div> <div>عدد</div> <div>شرح</div> <div>صیقلی، سطح</div> </div>                                 |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>(J<sub>g</sub>)</div> <div>رتبه</div> <div>۴</div> <div>رتبه</div> <div>۰.۵</div> </div>                                                  |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>شاخص آب</div> <div>شرح</div> <div>جریان زیاد</div> <div>فاکتور کاهش</div> <div>شرح</div> <div>فشار ناشی از مجاله شوندگی زیاد</div> </div> |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>دوره (J<sub>w</sub>)</div> <div>رتبه</div> <div>۰.۵</div> <div>رتبه</div> <div>۱۵</div> </div>                                            |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر</div> <div>۱۵</div> <div>عدد دسته</div> <div>شرح</div> <div>سنگ خرد شده</div> </div>                        |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>تونل (RQD<sub>o</sub> (%))</div> <div>رتبه</div> <div>۲۰</div> </div>                                                                     |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>مقاومت فشاری سنگ (MPa<sub>oc</sub>)</div> <div>۱۵</div> <div>قطر حفاری (m)</div> <div>۴۶</div> </div>                                     |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>شاخص بار نقطه ای (Mpa (I<sub>50</sub>))</div> <div>۱۲</div> <div>نیروی رانش (F) mF</div> </div>                                           |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>چگالی سنگ (γ) gr/cm<sup>3</sup></div> <div>۲.۶</div> <div>درصد تخلخل (%) (n)</div> <div>۱۲.۵</div> </div>                                 |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>شاخص عمر تبغه CLI</div> <div>۱۵</div> <div>درصد توارتن (%) (q)</div> <div>۵</div> </div>                                                  |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>متوسط ارتفاع روباره (m)</div> <div>۲۰۰</div> <div>نسبت تنش افقی به عمودی (K)</div> <div>۱</div> </div>                                    |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>شیب اولیه (m)</div> <div>-۰.۸</div> <div>مقدار Q</div> <div>۰.۰۰۳</div> </div>                                                            |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>زاویه سطح نایبوستگی بحرانی با سطح صلبه کار (β°)</div> <div>۹۰</div> <div>اندازه</div> </div>                                              |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>نا مناسب برای حفاری</div> <div>شرح</div> </div>                                                                                           |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>طول مستقیم (m)</div> <div>۲۲۰</div> </div>                                                                                                |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>تنش معانی دیواره تونل (MPa (σ<sub>θ</sub>))</div> <div>۱۵.۶</div> </div>                                                                  |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>Q<sub>o</sub></div> <div>۰.۰۰۳۱۲۵</div> </div>                                                                                            |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>SIGMA<sub>cm</sub></div> <div>۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</div> </div>                                                                                    |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>SIGMA<sub>tm</sub></div> <div>۰</div> </div>                                                                                              |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>SIGMA</div> <div>۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</div> </div>                                                                                                 |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>Q<sub>TBM</sub></div> <div>۰.۰۲۷۱۳۹۲۵۸</div> </div>                                                                                       |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>m</div> <div>-۰.۷۸۳۷۴۷۸۵۴</div> </div>                                                                                                    |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>U (%)</div> <div>۰.۰۰۱۵۱۰۵۹۴</div> </div>                                                                                                 |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>سرعت نفوذ (متر بر ساعت)</div> <div>۱۰.۲۸۶۰۹</div> </div>                                                                                  |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>سرعت رانشی (متر بر ساعت)</div> <div>۰.۰۰۰۱۵۵</div> </div>                                                                                 |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |
| <div> <div>سرعت ریزش (hr/Day)</div> <div>۰.۰۰۳۱۰۸</div> </div>                                                                                       |  |  |  |    |                 |    |      |    |      |

| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |        |                            | Gta <sup>3</sup> |      | متر از تونل (m) |             | ۴۸۰۰                              |  | ۵۲۰۷ |  |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--------|----------------------------|------------------|------|-----------------|-------------|-----------------------------------|--|------|--|
| <div> <div>عدد مواردگی</div> <div>شرح</div> <div>اندک</div> <div>عدد</div> <div>شرح</div> <div>کمی زیر تا زیر، موجودار</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |        |                            |                  |      |                 |             |                                   |  |      |  |
| (Ja')                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |  | رتبه   | ۱                          | رتبه             |      | رتبه            |             | ۲                                 |  |      |  |
| شاخص آب                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  | شرح    | جریان متوسط                | شاخص گامش        |      | شرح             |             | فشار ناشی از مجامه شونده می ملایم |  |      |  |
| درزه (Jw)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  | رتبه   | ۰.۶۶                       | رتبه             |      | رتبه            |             | ۷.۵                               |  |      |  |
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  | ۷۰     | عدد دسته                   |                  | شرح  |                 | ۳ دسته درزه |                                   |  |      |  |
| تونل (RQD <sub>0</sub> (%))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |        | درزه (Jn)                  |                  | رتبه |                 | ۹           |                                   |  |      |  |
| مقاومت فشاری سنگ (MPa (GC))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  | ۱۰۰    | قطر حفاری (m)              |                  | ۴۶   |                 |             |                                   |  |      |  |
| شاخص بار نقطه ای (Mpa (I50))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |        | نیروی رانش (F) (mi)        |                  | ۲۰   |                 |             |                                   |  |      |  |
| چگالی سنگ (γ) gr/cm <sup>3</sup>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  | ۲.۶    | در صد تخلخل (%) (n)        |                  | ۷.۵  |                 |             |                                   |  |      |  |
| شاخص غیر اتصاف CBI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |  | ۲۵     | در صد کوارتر (%) (q)       |                  | ۱۵   |                 |             |                                   |  |      |  |
| متوسط ارتفاع روباره (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  | ۲۵۰    | نسبت تنش افقی به عمودی (K) |                  | ۱    |                 |             |                                   |  |      |  |
| شیب اولیه (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  | -۰.۱۹  | مقدار Q                    |                  | ۲۰.۵ |                 |             |                                   |  |      |  |
| زاویه سطح تابش استکی بحرانی نا سطح سینه کار (B')                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  | اندازه |                            | ۶۳.۲۳            |      | شرح             |             | نا مناسب برای حفاری               |  |      |  |
| <div> <div>طول مسیر (m)</div> <div>۴۰۷</div> <div>تنش مماسی دیواره تونل (σ<sub>θ</sub>) MPa</div> <div>۱۸.۲</div> <div>Q<sub>0</sub></div> <div>۱.۳۶۸۸۸۸۸۸۹</div> <div>SIGMA<sub>cm</sub></div> <div>۱۴.۴۳۴۴۲۲۶۸</div> <div>SIGMA<sub>tm</sub></div> <div>۰</div> <div>SIGMA</div> <div>۱۴.۴۳۴۴۲۲۶۸</div> <div>Q<sub>TBM</sub></div> <div>۲.۱۵۷۶۹۵۹۹۴</div> <div>m</div> <div>-۰.۱۸۷۵۷۸۱۹۶</div> <div>U (%)</div> <div>۳۴.۹۴۹۲۲۰۳۶</div> <div>سرعت تعداد (متر بر ساعت)</div> <div>۴.۲۸۷۱۸۲</div> <div>سرعت (متر بر ساعت)</div> <div>۱.۴۹۸۳۳۷</div> <div>دینشروی روزانه (hr/Day)</div> <div>۲۹.۹۶۶۷۴</div> </div> |  |        |                            |                  |      |                 |             |                                   |  |      |  |

| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  | Gta <sup>۳</sup> |  | تکرار نول (m) |  | ۵۲۰۷ |  | ۶۰۰۰ |  |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|------------------|--|---------------|--|------|--|------|--|
| <div> <div>عدد هوازدگی</div> <div>شرح</div> <div>انداک</div> <div>عدد</div> <div>شرح</div> <div>کمی زبرتا زیر، موجودار</div> </div>                                                                                                                                 |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>(Ja')</div> <div>رتبه</div> <div>۱</div> <div>زبری (Jr')</div> <div>رتبه</div> <div>۲</div> </div>                                                                                                                                                       |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>شاخص آب</div> <div>شرح</div> <div>جریان متوسط</div> <div>فاکتور کاهش</div> <div>شرح</div> <div>فشار ناتی از مجامه توندگی ملایم</div> </div>                                                                                                              |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>درزه (Jw)</div> <div>رتبه</div> <div>۰.۶۶</div> <div>تنش (SRF)</div> <div>رتبه</div> <div>۷.۵</div> </div>                                                                                                                                               |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر</div> <div>۷۰</div> <div>عدد دسته</div> <div>شرح</div> <div>۳ دسته درزه</div> </div>                                                                                                                                       |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>تول (RQD%)</div> <div>رتبه</div> <div>۹</div> <div>درزه (Jn)</div> <div>رتبه</div> <div>۹</div> </div>                                                                                                                                                   |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>مقاومت فشاری سنگ (σc) MPa</div> <div>۱۰۰</div> <div>قطر حفاری (m)</div> <div>۴.۶</div> </div>                                                                                                                                                            |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>شاخص بار نقطه ای (I50) Mpa</div> <div>۲۰</div> <div>نیروی رانش (F) m</div> <div>۲۰</div> </div>                                                                                                                                                          |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>چگالی سنگ (γ) gr/cm<sup>۳</sup></div> <div>۲.۶</div> <div>در صد تخلخل (%) (n)</div> <div>۷.۵</div> </div>                                                                                                                                                |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>شاخص عمر تپه CLI</div> <div>۲۵</div> <div>در صد کوارتز (%) (q)</div> <div>۱۵</div> </div>                                                                                                                                                                |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>متوسط ارتفاع رویاره (m)</div> <div>۲۵۰</div> <div>نسبت تنش افقی به عمودی (K)</div> <div>۱</div> </div>                                                                                                                                                   |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>نسبت اولیه (m)</div> <div>۰.۱۹</div> <div>مقدار Q</div> <div>۲۰.۵</div> </div>                                                                                                                                                                           |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>زاویه سطح تاببوستگی بحرانی با سطح سینه کار (β)</div> <div>۷۳.۶۴</div> <div>تلاشه</div> <div>۷۳.۶۴</div> </div>                                                                                                                                           |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>نا متناسب برای حفاری</div> <div>شرح</div> <div>۷۳.۶۴</div> </div>                                                                                                                                                                                        |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>طول مسیر (m) = ۷۹۳</div> <div>تنش مقناسی دینواره تول (σ<sub>9</sub>) MPa = ۱۸.۲</div> </div>                                                                                                                                                             |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>Q<sub>0</sub> = ۱.۳۶۸۸۸۸۸۸۹</div> <div>SIGMA<sub>cm</sub> = ۱۴.۴۳۴۴۲۲۶۸</div> <div>SIGMA<sub>im</sub> = ۰</div> <div>SIGMA = ۱۴.۴۳۴۴۲۲۶۸</div> <div>Q<sub>TBM</sub> = ۲.۱۵۷۶۹۵۹۹۴</div> <div>m = -۰.۱۸۷۵۷۸۱۹۶</div> <div>U (%) = ۲۹.۹۶۰۸۵۶۷</div> </div> |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |
| <div> <div>سرعت نفوذ (متر بر ساعت) = ۴.۲۸۷۱۸۲</div> <div>سرعت پیشروی (متر بر ساعت) = ۱.۲۸۴۴۷۷</div> <div>پیشروی روزانه (Y/hr/Day) = ۲۵.۶۸۹۵۳</div> </div>                                                                                                           |  |  |  |                  |  |               |  |      |  |      |  |



| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                     |                            |             | Sts2-1 |                             | مستطیل (m) |  | ۶۰۰۰ |  | ۷۲۳۰ |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------------------------|-------------|--------|-----------------------------|------------|--|------|--|------|--|-------------------------------------------------|----------|------------------------------------------------|-------------|----------------|-----------------------------|-----------------------------|------------|---------------------|-------------|-------|------------|------|-------------|---|-------------|-------|-------------|-----------------------|----------|-------------------------|----------|--------------------------|----------|
| <table border="1"> <tr> <td>عدد هوازدگی</td> <td>شرح</td> <td>اندک</td> <td>عدد</td> <td>شرح</td> <td>کمی زیر، موجودار</td> </tr> <tr> <td>(Ja')</td> <td>رتبه</td> <td>۱</td> <td>ریزی (Jr')</td> <td>رتبه</td> <td>۲</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |                     |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  | عدد هوازدگی                                     | شرح      | اندک                                           | عدد         | شرح            | کمی زیر، موجودار            | (Ja')                       | رتبه       | ۱                   | ریزی (Jr')  | رتبه  | ۲          |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| عدد هوازدگی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | شرح                 | اندک                       | عدد         | شرح    | کمی زیر، موجودار            |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| (Ja')                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | رتبه                | ۱                          | ریزی (Jr')  | رتبه   | ۲                           |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| <table border="1"> <tr> <td>شاخص آب</td> <td>شرح</td> <td>حفری خشک یا کمترین جریان</td> <td>فاکتور کاهش</td> <td>شرح</td> <td>تنش بالا، ساختار بسیار محکم</td> </tr> <tr> <td>درزه (Jw)</td> <td>رتبه</td> <td>۱</td> <td>تنش (SRF)</td> <td>رتبه</td> <td>۲</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |                     |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  | شاخص آب                                         | شرح      | حفری خشک یا کمترین جریان                       | فاکتور کاهش | شرح            | تنش بالا، ساختار بسیار محکم | درزه (Jw)                   | رتبه       | ۱                   | تنش (SRF)   | رتبه  | ۲          |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| شاخص آب                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | شرح                 | حفری خشک یا کمترین جریان   | فاکتور کاهش | شرح    | تنش بالا، ساختار بسیار محکم |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| درزه (Jw)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | رتبه                | ۱                          | تنش (SRF)   | رتبه   | ۲                           |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| <table border="1"> <tr> <td>شاخص کیفی نوده سنگ در جهت حفر</td> <td>عدد دهنه</td> <td>شرح</td> <td>عدد دهنه</td> <td>شرح</td> <td>۲ دسته درزه + تصادفی</td> </tr> <tr> <td>تونل (RQD<sub>o</sub> (%))</td> <td>درزه (Jn)</td> <td>رتبه</td> <td>درزه (Jn)</td> <td>رتبه</td> <td>۶</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  | شاخص کیفی نوده سنگ در جهت حفر                   | عدد دهنه | شرح                                            | عدد دهنه    | شرح            | ۲ دسته درزه + تصادفی        | تونل (RQD <sub>o</sub> (%)) | درزه (Jn)  | رتبه                | درزه (Jn)   | رتبه  | ۶          |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| شاخص کیفی نوده سنگ در جهت حفر                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | عدد دهنه            | شرح                        | عدد دهنه    | شرح    | ۲ دسته درزه + تصادفی        |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| تونل (RQD <sub>o</sub> (%))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | درزه (Jn)           | رتبه                       | درزه (Jn)   | رتبه   | ۶                           |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| <table border="1"> <tr> <td>مقاومت فشاری سنگ (MPa<sub>cc</sub>)</td> <td>۱۵۰</td> <td>قطر حفاری (m)</td> <td>۴۶</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                     |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  | مقاومت فشاری سنگ (MPa <sub>cc</sub> )           | ۱۵۰      | قطر حفاری (m)                                  | ۴۶          |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| مقاومت فشاری سنگ (MPa <sub>cc</sub> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ۱۵۰                 | قطر حفاری (m)              | ۴۶          |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| <table border="1"> <tr> <td>شاخص یار نقطه ای (Mpa (I50))</td> <td>۴.۷</td> <td>نیروی رانش (t)</td> <td>۲۵</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |                     |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  | شاخص یار نقطه ای (Mpa (I50))                    | ۴.۷      | نیروی رانش (t)                                 | ۲۵          |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| شاخص یار نقطه ای (Mpa (I50))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ۴.۷                 | نیروی رانش (t)             | ۲۵          |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| <table border="1"> <tr> <td>چگالی سنگ (gr/cm<sup>3</sup>)</td> <td>۲.۵۵</td> <td>درصد انحلال (%)</td> <td>۱۲.۵</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  | چگالی سنگ (gr/cm <sup>3</sup> )                 | ۲.۵۵     | درصد انحلال (%)                                | ۱۲.۵        |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| چگالی سنگ (gr/cm <sup>3</sup> )                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ۲.۵۵                | درصد انحلال (%)            | ۱۲.۵        |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| <table border="1"> <tr> <td>شاخص عمر تیغه CLI</td> <td>۳۰</td> <td>درصد کوآرتر (%)</td> <td>۲۵</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |                     |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  | شاخص عمر تیغه CLI                               | ۳۰       | درصد کوآرتر (%)                                | ۲۵          |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| شاخص عمر تیغه CLI                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ۳۰                  | درصد کوآرتر (%)            | ۲۵          |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| <table border="1"> <tr> <td>متوسط ارتفاع روباره (m)</td> <td>۲۵۰</td> <td>نسبت تنش افقی به عمودی (K)</td> <td>۱</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |                     |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  | متوسط ارتفاع روباره (m)                         | ۲۵۰      | نسبت تنش افقی به عمودی (K)                     | ۱           |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| متوسط ارتفاع روباره (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ۲۵۰                 | نسبت تنش افقی به عمودی (K) | ۱           |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| <table border="1"> <tr> <td>شیب اولیه m</td> <td>-۰.۱۶</td> <td>مقدار Q</td> <td>۱۵</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |                     |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  | شیب اولیه m                                     | -۰.۱۶    | مقدار Q                                        | ۱۵          |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| شیب اولیه m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | -۰.۱۶               | مقدار Q                    | ۱۵          |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| <table border="1"> <tr> <td>زاویه سطح لایبوسنگی بحرانی با سطح سینه کار (β°)</td> <td>۸۰.۱۲</td> <td>اندازه</td> <td>۱۲.۸</td> </tr> <tr> <td></td> <td>نا مناسب برای حفاری</td> <td>شرح</td> <td></td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |                     |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  | زاویه سطح لایبوسنگی بحرانی با سطح سینه کار (β°) | ۸۰.۱۲    | اندازه                                         | ۱۲.۸        |                | نا مناسب برای حفاری         | شرح                         |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| زاویه سطح لایبوسنگی بحرانی با سطح سینه کار (β°)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ۸۰.۱۲               | اندازه                     | ۱۲.۸        |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | نا مناسب برای حفاری | شرح                        |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| <table border="1"> <tr> <td>طول مسیر (m)</td> <td>۱۲۳۰</td> </tr> <tr> <td>تنش معامنی دیواره تونل (MPa (σ<sub>θ</sub>))</td> <td>۱۲.۸</td> </tr> <tr> <td>Q<sub>o</sub></td> <td>۱۵</td> </tr> <tr> <td>SIGMA<sub>cm</sub></td> <td>۳۵.۹۹۴۶۲۸۱</td> </tr> <tr> <td>SIGMA<sub>tm</sub></td> <td>۳۳.۱۸۰۷۷۷۶۳</td> </tr> <tr> <td>SIGMA</td> <td>۳۵.۹۹۴۶۲۸۱</td> </tr> <tr> <td>QTBM</td> <td>۶.۱۵۹۶۷۴۴۳۶</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>-۰.۱۶۵۹۳۹۱۵</td> </tr> <tr> <td>U (%)</td> <td>۳۱.۱۰۹۸۹۶۸۹</td> </tr> <tr> <td>سرعت نفوذ (سربر ساعت)</td> <td>۳.۴۷۵۸۲۹</td> </tr> <tr> <td>سرعت پیشروی (سربر ساعت)</td> <td>۱.۰۸۱۳۲۷</td> </tr> <tr> <td>پیشروی روزانه (T-hr/Day)</td> <td>۲۱.۶۲۶۵۴</td> </tr> </table> |                     |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  | طول مسیر (m)                                    | ۱۲۳۰     | تنش معامنی دیواره تونل (MPa (σ <sub>θ</sub> )) | ۱۲.۸        | Q <sub>o</sub> | ۱۵                          | SIGMA <sub>cm</sub>         | ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱ | SIGMA <sub>tm</sub> | ۳۳.۱۸۰۷۷۷۶۳ | SIGMA | ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱ | QTBM | ۶.۱۵۹۶۷۴۴۳۶ | m | -۰.۱۶۵۹۳۹۱۵ | U (%) | ۳۱.۱۰۹۸۹۶۸۹ | سرعت نفوذ (سربر ساعت) | ۳.۴۷۵۸۲۹ | سرعت پیشروی (سربر ساعت) | ۱.۰۸۱۳۲۷ | پیشروی روزانه (T-hr/Day) | ۲۱.۶۲۶۵۴ |
| طول مسیر (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ۱۲۳۰                |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| تنش معامنی دیواره تونل (MPa (σ <sub>θ</sub> ))                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ۱۲.۸                |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| Q <sub>o</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | ۱۵                  |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| SIGMA <sub>cm</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱          |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| SIGMA <sub>tm</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ۳۳.۱۸۰۷۷۷۶۳         |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| SIGMA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱          |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| QTBM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ۶.۱۵۹۶۷۴۴۳۶         |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | -۰.۱۶۵۹۳۹۱۵         |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| U (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ۳۱.۱۰۹۸۹۶۸۹         |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| سرعت نفوذ (سربر ساعت)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | ۳.۴۷۵۸۲۹            |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| سرعت پیشروی (سربر ساعت)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | ۱.۰۸۱۳۲۷            |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |
| پیشروی روزانه (T-hr/Day)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | ۲۱.۶۲۶۵۴            |                            |             |        |                             |            |  |      |  |      |  |                                                 |          |                                                |             |                |                             |                             |            |                     |             |       |            |      |             |   |             |       |             |                       |          |                         |          |                          |          |

|                       |  |      |               |                 |
|-----------------------|--|------|---------------|-----------------|
| واحد زمین شناسی هندسی |  | StsI | شمار تونل (m) | از ۷۲۳۰ تا ۷۸۵۰ |
|-----------------------|--|------|---------------|-----------------|

|             |      |         |            |      |           |
|-------------|------|---------|------------|------|-----------|
| عدد هوازدگی | شرح  | هوانزده | عدد        | شرح  | صاف، مسطح |
| (Ja')       | رتبه | ۰.۷۵    | زبری (Ja') | رتبه | ۱         |

|           |      |                         |             |      |                             |
|-----------|------|-------------------------|-------------|------|-----------------------------|
| شاخص آب   | شرح  | جریان زیاد یا فشار بالا | فاکتور کاهش | شرح  | نواحی ضعیف منفرد (مقیاس ۵-) |
| درزه (Jw) | رتبه | ۰.۳۳                    | تنش (SRF)   | رتبه | ۲.۵                         |

|                               |           |      |                  |      |
|-------------------------------|-----------|------|------------------|------|
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر | عدد دسته  | شرح  | عدد دسته         | شرح  |
| تونل RQD <sub>0</sub> (%)     | درزه (Jn) | رتبه | درزه ۳ دسته درزه | رتبه |
| ۷۰                            | ۹         |      |                  |      |

|                         |      |                            |                     |
|-------------------------|------|----------------------------|---------------------|
| مقاومت فشاری سنگ        | ۱۲۰  | قطر حفاری (m)              | ۴.۶                 |
| Mpa (σ <sub>c</sub> )   |      | شعری رانش (m) (F)          | ۲۰                  |
| شاخص بار نقطه ای        |      | در صد تخلخل (%) (n)        | ۷.۵                 |
| Mpa (I <sub>50</sub> )  |      | در صد کوارتز (%) (q)       | ۲۵                  |
| چگالی سنگ               | ۲.۶  | نسبت تنش افقی به عمودی (K) | ۱                   |
| gr/cm <sup>3</sup> (γ)  |      | مقدار Q                    | ۱.۰۳                |
| شاخص عمر تپه            | ۳۰   |                            |                     |
| متوسط ارتفاع روباره (m) | ۱۵۰  |                            |                     |
| شیب اولیه (m)           | -۰.۲ |                            |                     |
|                         |      | اندازه                     | ۸۲.۴۵               |
|                         |      | شرح                        | نا مناسب برای حفاری |

|                                              |              |
|----------------------------------------------|--------------|
| طول مسیر (m)                                 | ۶۲۰          |
| تنش معیاری دیواره تونل MPa (σ <sub>θ</sub> ) | ۷.۸          |
| Q <sub>0</sub>                               | ۱.۳۶۸۸۸۸۸۸۹  |
| SIGMA <sub>cm</sub>                          | ۱۵.۳۳۸۸۶۲۹۵  |
| SIGMA <sub>tm</sub>                          | *            |
| SIGMA                                        | ۱۵.۳۳۸۸۶۲۹۵  |
| Q <sub>TBM</sub>                             | ۱.۳۶۴۸۱۷۹۳۹  |
| m                                            | -۰.۲۰۲۱۹۳۱۴۹ |
| U (%)                                        | ۲۹.۰۱۳۷۹۶۷۳  |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت)                      | ۴.۶۹۸۴۵۵     |
| سرعت پیشروی (متر بر ساعت)                    | ۱.۳۶۳۲       |
| پیشروی روزانه (hr/Day)                       | ۲۷.۲۶۴       |



| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                                     |  |      |  | Tsh-1 |  | متر از تونل (m) |  | ۷۸۵۰ | ۸۷۱۰ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|------|--|-------|--|-----------------|--|------|------|
| <div> <div>عدد مواردگی</div> <div>شرح</div> <div>هوانزده</div> <div>عدد</div> <div>شرح</div> <div>صاف، مسطح</div> </div>                                                   |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| رشته                                                                                                                                                                       |  | ۰.۷۵ |  | رشته  |  | ۱               |  |      |      |
| <div> <div>شاخص آب</div> <div>شرح</div> <div>جریان متوسط</div> <div>فاکتور کاهش</div> <div>شرح</div> <div>نواحی ضعیف چند بار تکرار می شوند</div> </div>                    |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| رشته                                                                                                                                                                       |  | ۰.۶۶ |  | رشته  |  | ۱۰              |  |      |      |
| <div> <div>شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر</div> <div>تونل RQD<sub>0</sub> (%)</div> <div>۵۰</div> <div>عدد دسته</div> <div>شرح</div> <div>۳ دسته درزه + تصادفی</div> </div> |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| رشته                                                                                                                                                                       |  |      |  | رشته  |  | ۱۲              |  |      |      |
| <div> <div>مقاومت فشاری سنگ (σ<sub>c</sub>) MPa</div> <div>۵۰</div> <div>قطر حفاری (m)</div> <div>۴۶</div> </div>                                                          |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>شاخص بار نقطه ای (I<sub>50</sub>) Mpa</div> <div>۱۵</div> <div>میدان رانش (m<sup>2</sup>)</div> </div>                                                          |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>چگالی سنگ (γ) gr/cm<sup>3</sup></div> <div>۲.۶</div> <div>درصد تخلخل (%) (n)</div> <div>۵</div> </div>                                                          |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>شاخص غمر تپه GLI</div> <div>۴۵</div> <div>در صد کوارتز (%) (q)</div> <div>۲۵</div> </div>                                                                       |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>متوسط ارتفاع روباره (m)</div> <div>۱۵۰</div> <div>نسبت تنش افقی به عمودی (K)</div> <div>۱</div> </div>                                                          |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>شیب اولیه (m)</div> <div>-۰.۴۴</div> <div>مقدار Q</div> <div>۰.۱۲۸</div> </div>                                                                                 |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی یا سطح سینه کار (β°)</div> <div>۸۹.۰۲</div> <div>اندازه</div> <div>نا مناسب برای حفاری</div> </div>                                  |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>طول مشیر (m)</div> <div>۸۶۰</div> <div>تنش مناسی دیواره تونل (σ<sub>0</sub>) MPa</div> <div>۷.۸</div> </div>                                                    |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>Q<sub>0</sub></div> <div>۰.۳۶۶۶۶۶۶۷</div> </div>                                                                                                                |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>SIGMA<sub>cm</sub></div> <div>۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴</div> </div>                                                                                                          |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>SIGMA<sub>tm</sub></div> <div>۰</div> </div>                                                                                                                    |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>SIGMA</div> <div>۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴</div> </div>                                                                                                                       |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>Q<sub>TBM</sub></div> <div>۲.۰۸۳۷۱۳۷۵۲</div> </div>                                                                                                             |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>m</div> <div>-۰.۴۱۰۱۷۶۵۸۶</div> </div>                                                                                                                          |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>U (%)</div> <div>۲.۵۱۷۷۷۷۴۹۳</div> </div>                                                                                                                       |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>سرعت نفوذ (سر بر ساعت)</div> <div>۴.۳۱۷۲۰۲</div> </div>                                                                                                         |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>سرعت پیشروی (متر بر ساعت)</div> <div>۰.۱۰۸۶۹۸</div> </div>                                                                                                      |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |
| <div> <div>پیشروی روزانه (hr/Day)</div> <div>۲.۱۷۳۹۵۱</div> </div>                                                                                                         |  |      |  |       |  |                 |  |      |      |

|                        |  |        |  |               |  |    |      |    |      |
|------------------------|--|--------|--|---------------|--|----|------|----|------|
| واحد زمین شناسی مهندسی |  | Sts2-2 |  | سزار تونل (m) |  | از | ۸۷۱۰ | تا | ۹۰۸۴ |
|------------------------|--|--------|--|---------------|--|----|------|----|------|

|                    |      |      |                         |      |                 |
|--------------------|------|------|-------------------------|------|-----------------|
| عدد هوازدگی        | شرح  | اندک | عدد                     | شرح  | کمی زیر، موجدار |
| (Ja <sup>u</sup> ) | رتبه | ۱    | روبر (Jr <sup>u</sup> ) | رتبه | ۲               |

|           |      |                          |             |      |                             |
|-----------|------|--------------------------|-------------|------|-----------------------------|
| شاخص آب   | شرح  | حفری خشک یا کمترین جریان | فاکتور کاهش | شرح  | تنش بالا، ساختار بسیار محکم |
| دوره (Jw) | رتبه | ۱                        | تنش (SRF)   | رتبه | ۲                           |

|                               |           |      |           |      |                      |
|-------------------------------|-----------|------|-----------|------|----------------------|
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر | عدد دسته  | شرح  | عدد دسته  | شرح  | ۲ دسته درزه + تصادفی |
| تونل RQD <sub>0</sub> (%)     | دوره (Jn) | رتبه | دوره (Jn) | رتبه | ۶                    |

|                                         |       |                            |      |
|-----------------------------------------|-------|----------------------------|------|
| مقاومت فشاری سنگ (σ <sub>c</sub> ) MPa  | ۱۵۰   | قطر حفاری (m)              | ۴۶   |
| شاخص بار نقطه ای (I <sub>50</sub> ) Mpa | ۴.۷   | نیروی رانش (F) kn          | ۲۵   |
| چگالی سنگ (γ) gr/cm <sup>3</sup>        | ۲.۵۵  | درصد تخلخل (%) (n)         | ۱۲.۵ |
| شاخص عمر تپه CHI                        | ۳۰    | درصد کوارتز (%) (q)        | ۲۵   |
| متوسط ارتفاع روباره (m)                 | ۲۵۰   | نسبت تنش افقی به عمودی (K) | ۱    |
| شیب اولیه (m)                           | -۰.۱۶ | مقدار Q                    | ۱۵   |

|                                                             |        |       |
|-------------------------------------------------------------|--------|-------|
| زاویه سطح نابوستگی بحرانی با سطح سینه کار (J <sub>1</sub> ) | اندازه | ۸۴.۹۳ |
| نا مناسب برای حفاری                                         | شرح    |       |

|                                             |             |
|---------------------------------------------|-------------|
| طول مسیر (m)                                | ۳۷۴         |
| تنش مقاسی دیواره تونل (σ <sub>θ</sub> ) MPa | ۱۲.۸        |
| Q <sub>0</sub>                              | ۱۵          |
| SIGMA <sub>cm</sub>                         | ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱  |
| SIGMA <sub>tm</sub>                         | ۳۳.۱۸۰۷۷۷۶۳ |
| SIGMA                                       | ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱  |
| Q <sub>TBM</sub>                            | ۶.۱۵۹۶۷۴۴۳۶ |
| m                                           | -۰.۱۶۵۹۳۹۱۵ |
| U (%)                                       | ۳۹.۴۲۴۳۰۸۹۳ |
| سرعت نفوذ (سرعت)                            | ۳.۴۷۵۸۲۹    |
| سرعت پیشروی (متر/ساعت)                      | ۱.۳۷۰۳۲۲    |
| پیشروی روزانه (hr/Day)                      | ۲۷.۴۰۶۴۳    |

| تست‌های مکانیکی و فیزیکی                           |             |                            |                     |                      |
|----------------------------------------------------|-------------|----------------------------|---------------------|----------------------|
| واحد زمین شناسی مهندسی                             | Sts2-2      | سرازیر تونل (m)            | از                  | ۹۰۸۴                 |
| ۹۸۸۵                                               | ۵           | ۹۸۸۵                       | ۵                   | ۹۸۸۵                 |
| تست‌های مکانیکی و فیزیکی                           |             |                            |                     |                      |
| عدد هوازدگی                                        | شرح         | اندک                       | عدد                 | شرح                  |
| (Ja')                                              | رتبه        | ۱                          | ریزی (Jr)           | رتبه                 |
| شاخص آب                                            | شرح         | حفری خشک یا کمترین جریان   | فاکتور کاهش         | شرح                  |
| درزه (Jw)                                          | رتبه        | ۱                          | تشن (SRF)           | رتبه                 |
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر                      | ۹۰          | عدد دسته                   | شرح                 | ۲ دسته درزه + تصادفی |
| تونل (RQD <sub>0</sub> (%))                        |             | درزه (Jn)                  | رتبه                | ۶                    |
| مقاومت فشاری سنگ (σ <sub>c</sub> ) MPa             | ۱۵۰         | قطر حفاری (m)              |                     | ۴۶                   |
| شاخص بار نقطه ای (I <sub>50</sub> ) Mpa            | ۴.۷         | دیروی رانش (F) m           |                     | ۲۵                   |
| چگالی سنگ (γ) gr/cm <sup>3</sup>                   | ۲.۵۵        | درصد تخلخل (n) (%)         |                     | ۱۲.۵                 |
| شاخص عمر تپه CII                                   | ۳۰          | درصد کوارتز (q) (%)        |                     | ۲۵                   |
| متوسط ارتفاع روپاره (m)                            | ۲۵۰         | نسبت تشن افقی به عمودی (K) |                     | ۱                    |
| شیب اولیه (m)                                      | -۰.۱۶       | مقدار Q                    |                     | ۱۵                   |
| زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح شیبه کار (β)     |             |                            |                     |                      |
| اندازه                                             | ۸۰.۳۵       | شرح                        | نا مناسب برای حفاری |                      |
| محاسبات                                            |             |                            |                     |                      |
| طول مسیر (m) = ۸۰۱                                 |             |                            |                     |                      |
| تشن معانی دیواره تونل (σ <sub>0</sub> ) MPa = ۱۲.۸ |             |                            |                     |                      |
| Q <sub>0</sub>                                     | ۱۵          |                            |                     |                      |
| SIGMA <sub>cm</sub>                                | ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱  |                            |                     |                      |
| SIGMA <sub>tm</sub>                                | ۳۳.۱۸۰۷۷۷۶۳ |                            |                     |                      |
| SIGMA                                              | ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱  |                            |                     |                      |
| Q <sub>IBM</sub>                                   | ۶.۱۵۹۶۷۴۴۳۶ |                            |                     |                      |
| m                                                  | -۰.۱۶۵۹۳۹۱۵ |                            |                     |                      |
| U(%)                                               | ۳۳.۸۸۱۱۴۸۰۱ |                            |                     |                      |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت)                            | ۳.۴۷۵۸۲۹    |                            |                     |                      |
| سرعت ریزش (متر بر ساعت)                            | ۱.۱۷۷۶۵۱    |                            |                     |                      |
| ریزش روی روزانه (Yr/Day)                           | ۲۳.۵۵۳۰۲    |                            |                     |                      |



| اطلاعات کلی پروژه                               |                    |                          |                            |       |
|-------------------------------------------------|--------------------|--------------------------|----------------------------|-------|
| واحد زمین شناسی مهندسی                          | Sts2-2             | متر از تونل (m)          | ۹۸۸۵                       | ۱۰۰۱۰ |
| پارامترهای آزمایش                               |                    |                          |                            |       |
| عدد هوازدگی                                     | شرح                | اندک                     | عدد                        | شرح   |
| (Ja')                                           | رتبه               | ۱                        | دوری (Jr')                 | رتبه  |
| شاخص آب                                         | شرح                | حفری خشک یا کمترین جریان | فاکتور کاهش                | شرح   |
| درزه (Jw)                                       | رتبه               | ۱                        | تشن (SRF)                  | رتبه  |
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر                   | تول (RQDo (%))     | ۹۰                       | عدد دسته                   | شرح   |
|                                                 |                    |                          | درزه (Jn)                  | رتبه  |
| مقاومت فشاری سنگ (σc)                           | MPa                | ۱۵۰                      | قطر حفاری (m)              | ۴۶    |
| شاخص بار نقطه ای (I50)                          | Mpa                | ۴.۷                      | نیروی رانش (F)             | ۲۵    |
| چگالی سنگ (γ)                                   | gr/cm <sup>3</sup> | ۲.۵۵                     | درصد تخلخل (n)             | ۱۲.۵  |
| شاخص عمر تبغه                                   | CLT                | ۳۰                       | درصد کوارتز (q)            | ۲۵    |
| متوسط ارتفاع روباره (m)                         |                    | ۲۵۰                      | نسبت تشن افقی به عمودی (K) | ۱     |
| شیب اولیه (m)                                   |                    | -۰.۱۶                    | مقدار Q                    | ۱۵    |
| زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح تبغه کار (B') |                    |                          | تقارن                      | ۷۵.۷۶ |
| نا متاسب برای حفاری                             |                    |                          | شرح                        |       |
| محاسبات                                         |                    |                          |                            |       |
| طول مسیر (m) = ۱۲.۵                             |                    |                          |                            |       |
| تشن معادلی دیواره تونل (σθ) = MPa = ۱۲.۸        |                    |                          |                            |       |
| Q <sub>0</sub> = ۱۵                             |                    |                          |                            |       |
| SIGMA <sub>cm</sub> = ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱                |                    |                          |                            |       |
| SIGMA <sub>am</sub> = ۳۳.۱۸۰۷۷۷۶۳               |                    |                          |                            |       |
| SIGMA = ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱                              |                    |                          |                            |       |
| QTBM = ۶.۱۵۹۶۷۴۴۳۶                              |                    |                          |                            |       |
| m = -۰.۱۶۵۹۳۹۱۵                                 |                    |                          |                            |       |
| U(%) = ۴۹.۰۲۹۵۸۴۵۶                              |                    |                          |                            |       |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت) = ۳.۴۷۵۸۲۹              |                    |                          |                            |       |
| سرعت پیشروی (متر بر ساعت) = ۱.۷۰۴۱۸۵            |                    |                          |                            |       |
| پیشروی روزانه (hr/Day) = ۳۴.۰۸۳۶۹               |                    |                          |                            |       |

| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                |  |  |  | Cz | سباز توپل (m) | از | ۱۰۰۱۰ | تا | ۱۰۲۶۰ |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|----|---------------|----|-------|----|-------|
| <div> <div>عدد هوازدگی</div> <div>شرح</div> <div>زیاد</div> <div>عدد</div> <div>شرح</div> <div>صیقلی، مسطح</div> </div>                               |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>(Ja<sup>4</sup>)</div> <div>رتبه</div> <div>۴</div> <div>رتبه</div> <div>رتبه</div> <div>۰.۵</div> </div>                                  |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>شاخص آب</div> <div>شرح</div> <div>جریان زیاد</div> <div>فاکتور کاهش</div> <div>شرح</div> <div>قشر ناشی از مچاله شونده گی زیاد</div> </div> |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>درزه (Jw)</div> <div>رتبه</div> <div>۰.۵</div> <div>رتبه</div> <div>رتبه</div> <div>۱۵</div> </div>                                        |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>شاخص کیفی نوده سنگ در جهت حفر</div> <div>۱۵</div> <div>عدد دسته</div> <div>شرح</div> <div>سنگ خرد شده</div> </div>                         |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>توپل (RQD<sub>0</sub> (%))</div> <div>رتبه</div> <div>۲۰</div> <div>رتبه</div> </div>                                                      |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>مقاومت فشاری سنگ (σ<sub>c</sub>) MPa</div> <div>۱۵</div> <div>فطر حفاری (m)</div> <div>۴.۶</div> </div>                                    |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>شاخص بار نقطه ای (I<sub>50</sub>) Mpa</div> <div>۱۲</div> <div>سروی رانش (E) m</div> </div>                                                |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>چگالی سنگ (γ) gr/cm<sup>3</sup></div> <div>۲.۶</div> <div>در صد تعلل (%) (n)</div> <div>۱۲.۵</div> </div>                                  |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>شاخص عمر تبعه CLI</div> <div>۱۵</div> <div>در صد کوارتز (%) (q)</div> <div>۵</div> </div>                                                  |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>متوسط ارتفاع رویاره (m)</div> <div>۳۰۰</div> <div>نسبت تنش افقی به عمودی (k)</div> <div>۱</div> </div>                                     |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>شیب اولیه (m)</div> <div>۰.۰۸</div> <div>مقدار Q</div> <div>۰.۰۰۳</div> </div>                                                             |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>زاویه سطح نابوستگی بحرانی با سطح سینه کار (β)</div> <div>۹۰</div> <div>بکاره</div> <div>نا مناسب برای حفاری</div> </div>                   |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>طول مسیر (m)</div> <div>۲۵۰</div> </div>                                                                                                   |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>تنش معانی دیواره توپل (σ<sub>0</sub>) MPa</div> <div>۱۵.۶</div> </div>                                                                     |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>Q<sub>0</sub></div> <div>۰.۰۰۳۱۲۵</div> </div>                                                                                             |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>SIGMA<sub>act</sub></div> <div>۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</div> </div>                                                                                    |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>SIGMA<sub>fm</sub></div> <div>۰</div> </div>                                                                                               |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>SIGMA</div> <div>۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</div> </div>                                                                                                  |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>Q<sub>TBM</sub></div> <div>۰.۰۲۷۱۳۹۲۵۸</div> </div>                                                                                        |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>m</div> <div>۰.۰۷۸۳۷۴۷۸۵۴</div> </div>                                                                                                     |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>U (%)</div> <div>۰.۰۰۰۹۵۰۴۷۳</div> </div>                                                                                                  |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>سرعت نفوذ (متر بر ساعت)</div> <div>۱۰.۲۸۶۰۹</div> </div>                                                                                   |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>سرعت پیسروی (متر بر ساعت)</div> <div>۹.۷۸E-۰۵</div> </div>                                                                                 |  |  |  |    |               |    |       |    |       |
| <div> <div>پیسروی دورانه (1 hr/Day)</div> <div>۰.۰۰۱۹۵۵</div> </div>                                                                                  |  |  |  |    |               |    |       |    |       |

| فهرست مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک               |             |                                |                      |                      |
|-------------------------------------------------|-------------|--------------------------------|----------------------|----------------------|
| واحد زمین شناسی مهندسی                          | Sts2-2      | متر از تونل (m)                | از                   | ۱۰۲۶۰ تا ۱۰۹۵۰       |
| خواص فیزیکی                                     |             |                                |                      |                      |
| عدد هوازدگی                                     | شرح         | اندک                           | عدد                  | شرح                  |
| (Ja')                                           | رتبه        | ۱                              | زبری (Jr')           | رتبه                 |
| شاخص آب                                         | شرح         | خفاری خشک یا کمترین جریان      | فاکتور کاهش          | شرح                  |
| درزه (Jw)                                       | رتبه        | ۱                              | تنش (SRE)            | رتبه                 |
| شاخص کیفی بوده سنگ در جهت حفر                   | ۹۰          | عدد دسته                       | شرح                  | ۲ دسته درزه + تصادفی |
| تونل (RQD) (%)                                  | رتبه        | ۶                              | دوره (Jn)            | رتبه                 |
| مقاومت فشاری سنگ (MPa(oc)                       | ۱۵۰         | قطر حفاری (m)                  | ۴۶                   |                      |
| شاخص بار نقطه ای (Mpa (I50)                     | ۴.۷         | نیروی رانش (F) inf             | ۲۵                   |                      |
| چگالی سنگ (gr/cm <sup>3</sup> (γ)               | ۲.۵۵        | در صد تجزیه (%) (n)            | ۱۲.۵                 |                      |
| شاخص عمر تیغه CLl                               | ۳۰          | در صد کوآرتز (%) (q)           | ۲۵                   |                      |
| متوسط ارتفاع دیواره (m)                         | ۲۵۰         | نسبت تنش افقی به عمودی (K)     | ۱                    |                      |
| شیب اولیه (m)                                   | -۰.۱۶       | مقدار Q                        | ۱۵                   |                      |
| زاویه سطح تابوستگی بحرانی یا سطح شکسته کار (β°) |             |                                |                      |                      |
| اندازه                                          | ۷۵.۷۶       | شرح                            | نا متناسب برای حفاری |                      |
| خواص مکانیکی                                    |             |                                |                      |                      |
| طول مسیر (m)                                    | ۶۹۰         | تنش مماسی دیواره تونل (σθ) MPa | ۱۲.۸                 |                      |
| Qo                                              | ۱۵          | SIGMAcm                        | ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱           |                      |
| SIGMAtm                                         | ۳۳.۱۸۰۷۷۷۶۳ | SIGMA                          | ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱           |                      |
| QTBm                                            | ۶.۱۵۹۶۷۴۴۳۶ | m                              | -۰.۱۶۵۹۳۹۱۵          |                      |
| U(%)                                            | ۳۴.۹۰۱۷۳۳۰۹ | سرعت نفوذ (متر بر ساعت)        | ۳.۴۷۵۸۲۹             |                      |
| سرعت پیستروی (متر بر ساعت)                      | ۱.۲۱۳۱۲۵    | پیستروی روزانه (hr/Day)        | ۲۴.۲۶۲۴۹             |                      |



|                                                |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|------------------------------------------------|--------------|----------------------------|-------------|----------------------|-----------------------------|----|-------|---|-------|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| واحد زمین شناسی مهندسی                         |              | Gta4                       |             | میزان تونل (m)       |                             | از | ۱۰۹۵۰ | ۵ | ۱۴۲۳۰ |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| عدد هوازدگی                                    |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| عدد هوازدگی                                    | شرح          | هوازده                     | عدد         | شرح                  | کمی زیر تا زیر، موجود       |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| (Ja')                                          | رتبه         | ۰.۷۵                       | رتبه        | رتبه (Ja')           | رتبه                        |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| شاخص آب                                        |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| شاخص آب                                        | شرح          | حفری خشک یا کمترین جریان   | فاکتور کاهش | شرح                  | تنش بالا، ساختار بسیار محکم |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| درزه (Jw)                                      | رتبه         | ۱                          | نسبت (SRF)  | رتبه                 | ۲                           |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر                  |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| تونل (RQD <sub>o</sub> (%))                    | ۹۵           | عدد دسته                   | شرح         | ۲ دسته درزه + تصادفی |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| دوره (Jn)                                      | رتبه         | ۶                          | دوره (Jn)   | رتبه                 | ۶                           |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| مقاومت فشاری سنگ (σ <sub>c</sub> ) MPa         |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| مقاومت فشاری سنگ (σ <sub>c</sub> ) MPa         | ۱۵۰          | فشار حفاری (m)             | ۴۶          |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| شاخص یار نقطه ای (I <sub>50</sub> ) MPa        |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| شاخص یار نقطه ای (I <sub>50</sub> ) MPa        |              | ضروی رانش (F) m            | ۲۵          |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| چگالی سنگ (γ) gr/cm <sup>3</sup>               |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| چگالی سنگ (γ) gr/cm <sup>3</sup>               | ۲.۶          | در صد تخلخل (%) (n)        | ۷.۵         |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| شاخص عمر تیغه CLI                              |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| شاخص عمر تیغه CLI                              | ۲۵           | در صد کوارتز (%) (q)       | ۱۵          |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| متوسط ارتفاع رویاره (m)                        |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| متوسط ارتفاع رویاره (m)                        | ۵۰۰          | نسبت تنش افقی به عمودی (K) | ۱           |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| شیب اولیه (m)                                  |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| شیب اولیه (m)                                  | -۰.۱۷        | مقدار Q                    | ۲۱.۱۱       |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح مسه کار (β°) |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح مسه کار (β°) | ۷۹.۶۴        | اندازه                     | شرح         | نا مناسب برای حفاری  |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| طول مسیر (m)                                   |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| طول مسیر (m)                                   | ۳۲۸۰         |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| تنش مناسب دیواره تونل (σ <sub>θ</sub> ) MPa    |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| تنش مناسب دیواره تونل (σ <sub>θ</sub> ) MPa    | ۲۶.۰         |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Q <sub>o</sub>                                 |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Q <sub>o</sub>                                 | ۲۱.۱۱۱۱۱۱۱۱  |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SIGMA <sub>cm</sub>                            |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SIGMA <sub>cm</sub>                            | ۴۱.۱۲۸۶۱۹۸۲  |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SIGMA <sub>cm</sub>                            |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SIGMA <sub>cm</sub>                            | ۰            |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SIGMA                                          |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| SIGMA                                          | ۴۱.۱۲۸۶۱۹۸۲  |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Q <sub>IBM</sub>                               |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| Q <sub>IBM</sub>                               | ۱۴.۵۴۳۸۶۰۳۴  |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| m                                              |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| m                                              | -۰.۱۶۷۸۳۳۱۲۳ |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| U(%)                                           |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| U(%)                                           | ۲۴.۲۶۵۱۳۶۱   |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت)                        |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت)                        | ۲.۹۲۷۰۷۶     |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| سرعت انتشار (متر بر ساعت)                      |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| سرعت انتشار (متر بر ساعت)                      | ۰.۷۱۰۲۵۹     |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| نشتی روزانه (l/hr/Day)                         |              |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| نشتی روزانه (l/hr/Day)                         | ۱۴.۲۰۵۱۸     |                            |             |                      |                             |    |       |   |       |  |  |  |  |  |  |  |  |  |

|                                                |       |                            |             |                             |
|------------------------------------------------|-------|----------------------------|-------------|-----------------------------|
| واحد زمین شناسی مهندسی                         |       |                            |             |                             |
| Sts2-3                                         |       | سرازیر تونل (m)            | از          | ۱۴۲۳۰ تا ۱۴۶۸۰              |
| عدد هوازدگی                                    |       |                            |             |                             |
| شرح                                            | رتبه  | اندک                       | عدد         | کمی زیر، موجدار             |
|                                                | (Ja') |                            | رتبه (Jr')  | ۲                           |
| شاخص آب                                        |       |                            |             |                             |
| شرح                                            | رتبه  | حفری خشک یا کمترین جریان   | فاکتور کافس | تنش بالا، ساختار بسیار محکم |
|                                                | (Jw)  |                            | تنش (SRF)   | ۲                           |
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر                  |       |                            |             |                             |
| تول (RQD) (%)                                  | ۹۰    | عدد دسته                   | شرح         | ۲ دسته درزه + تصادفی        |
|                                                |       | دوره (Jn)                  | رتبه        | ۶                           |
| مقاومت فشاری سنگ (σc) MPa                      |       |                            |             |                             |
| ۱۵۰                                            | ۴۶    | فقر حفاری (m)              | ۴۶          |                             |
| شاخص بار نقطه ای (ISD) Mpa                     |       |                            |             |                             |
| ۴۷                                             | ۲۵    | نیروی رانش (F) m           | ۲۵          |                             |
| چگالی سنگ gr/cm <sup>3</sup> (γ)               |       |                            |             |                             |
| ۲.۵۵                                           | ۱۲.۵  | در صد تحلیل (%) (n)        | ۱۲.۵        |                             |
| شاخص عمر تپه CLI                               |       |                            |             |                             |
| ۳۰                                             | ۲۵    | در صد کوارتز (%) (q)       | ۲۵          |                             |
| متوسط ارتفاع روباره (m)                        |       |                            |             |                             |
| ۲۵۰                                            | ۱     | نسبت تنش افقی به عمودی (K) | ۱           |                             |
| شیب اولیه m)                                   |       |                            |             |                             |
| -۰.۱۶                                          | ۱۵    | مقدار Q                    | ۱۵          |                             |
| زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح تپه کار (β°) |       |                            |             |                             |
| ۴۰.۶۲                                          | ۴۰.۶۲ | اندازه                     | ۴۰.۶۲       |                             |
| زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح تپه کار (β°) |       |                            |             |                             |
| ۴۰.۶۲                                          | ۴۰.۶۲ | شرح                        | ۴۰.۶۲       |                             |
| طول مسیر (m)                                   |       |                            |             |                             |
| ۴۵۰                                            | ۴۵۰   | ۴۵۰                        | ۴۵۰         |                             |
| تنش تناسی دیواره تونل (σθ) MPa                 |       |                            |             |                             |
| ۱۲.۸                                           | ۱۲.۸  | ۱۲.۸                       | ۱۲.۸        |                             |
| Qo = ۱۵                                        |       |                            |             |                             |
| SIGMAcm = ۳۵.۹۹۴۶۲۸۱                           |       |                            |             |                             |
| SIGMAtm = ۳۳.۱۸۰۷۷۷۶۳                          |       |                            |             |                             |
| SIGMA = ۳۳.۱۸۰۷۷۷۶۳                            |       |                            |             |                             |
| QTBM = ۵.۶۷۸۱۴۶۹۴۸                             |       |                            |             |                             |
| m = -۰.۱۶۵۹۳۹۱۵                                |       |                            |             |                             |
| U(%) = ۳۸.۱۲۲۹۶۲۸۱                             |       |                            |             |                             |
| سرعت نفوذ (متر در ساعت) = ۳.۵۳۲۸۷۸             |       |                            |             |                             |
| سرعت پیشروی (متر در ساعت) = ۱.۳۴۶۸۳۸           |       |                            |             |                             |
| پیشروی روزانه (hr/Day) = ۲۶.۹۳۶۷۶              |       |                            |             |                             |



|                                                  |       |                            |                |               |                                  |
|--------------------------------------------------|-------|----------------------------|----------------|---------------|----------------------------------|
| تست‌های استاندارد بتن                            |       |                            |                |               |                                  |
| واحد زمین شناسی مهندسی                           |       | Tsh-2                      |                | تراز تویل (m) |                                  |
| از                                               |       | ۱۴۶۸۰                      |                | تا ۱۴۸۸۰      |                                  |
| تست‌های استاندارد بتن                            |       |                            |                |               |                                  |
| عدد هوازدگی                                      | شرح   | هوازده                     | عدد            | شرح           | صاف، مسطح                        |
| (Ja')                                            | رتبه  | ۰.۷۵                       | دیری (Ja')     | رتبه          | ۱                                |
| شاخص آب                                          | شرح   | جریان متوسط                | فاکتور کامپکتی | شرح           | نواحی ضعیف چند بار تکرار می شوند |
| درزه (Jw)                                        | رتبه  | ۰.۶۶                       | نسبت (SRF)     | رتبه          | ۱۰                               |
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت جفر                    | ۵۰    | RQDo (%)                   | عدد دسته       | شرح           | ۳ دسته درزه + تصادفی             |
| تویل                                             |       |                            | دوره (Jn)      | رتبه          | ۱۲                               |
| مقاومت فشاری سنگ (σc)                            | ۵۰    | قطر حفاری (mm)             |                |               |                                  |
| شاخص بار نقطه ای (I50)                           | Mpa   | نیروی رانش (E) (mm)        |                |               |                                  |
| چگالی سنگ (γ)                                    | ۲.۶   | در صد متخلخل (%) (m)       |                |               |                                  |
| شاخص عمر تیغه                                    | ۴۵    | در صد کوارتز (%) (m)       |                |               |                                  |
| متوسط ارتفاع روبراه (m)                          | ۱۵۰   | نسبت تنش افقی به عمودی (K) |                |               |                                  |
| شیب اولیه (m)                                    | -۰.۴۴ | مقدار Q                    |                |               |                                  |
| زاویه سطح نابینوستگی بحرانی یا سطح سینه کار (β°) |       |                            |                |               |                                  |
| ۸۳.۰۵                                            |       | اندازه                     |                |               |                                  |
| نا مناسب برای حفاری                              |       | شرح                        |                |               |                                  |
| تست‌های استاندارد بتن                            |       |                            |                |               |                                  |
| طول مسیر (m)                                     |       | ۲۰۰                        |                |               |                                  |
| تنش مماسی دیواره تویل (σθ)                       |       | ۷.۸ MPa                    |                |               |                                  |
| Qo                                               |       | ۰.۳۶۶۶۶۶۶۶۷                |                |               |                                  |
| SIGMAcm                                          |       | ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴                |                |               |                                  |
| SIGMAtm                                          |       | ۰                          |                |               |                                  |
| SIGMA                                            |       | ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴                |                |               |                                  |
| QTBM                                             |       | ۲.۰۸۳۷۱۳۷۵۲                |                |               |                                  |
| m                                                |       | -۰.۴۱۰۱۷۶۵۸۶               |                |               |                                  |
| D(%)                                             |       | ۶.۹۴۲۹۷۶۳۳۹                |                |               |                                  |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت)                          |       | ۴.۳۱۷۲۰۲                   |                |               |                                  |
| سرعت ریشروی (متر بر ساعت)                        |       | ۰.۲۹۹۷۴۲                   |                |               |                                  |
| ریشروی روزانه (hr/Day)                           |       | ۵.۹۹۴۸۴۷                   |                |               |                                  |

|                        |  |    |                |    |       |   |       |
|------------------------|--|----|----------------|----|-------|---|-------|
| واحد زمین شناسی مهندسی |  | Cz | میزان تونل (m) | از | ۱۴۸۸۰ | ۵ | ۱۴۹۳۰ |
|------------------------|--|----|----------------|----|-------|---|-------|

|             |      |       |           |      |             |
|-------------|------|-------|-----------|------|-------------|
| عدد هوازدگی | شرح  | ز یاد | عدد       | شرح  | صیقلی، مسطح |
| (Ja')       | رتبه | ۴     | زیری (Jr) | رتبه | ۰.۵         |

|           |      |            |             |      |                                |
|-----------|------|------------|-------------|------|--------------------------------|
| شاخص آب   | شرح  | جریان زیاد | فاکتور کاهش | شرح  | فشار ناشی از مجاله شوندگی زیاد |
| دوره (Jw) | رتبه | ۰.۵        | نسبت (SRF)  | رتبه | ۱۵                             |

|                               |                 |    |           |      |             |
|-------------------------------|-----------------|----|-----------|------|-------------|
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر | تونل (RQDo (%)) | ۱۵ | عدد دسته  | شرح  | سنگ خرد شده |
|                               |                 |    | دوره (Jn) | رتبه | ۲۰          |

|                         |                        |                             |       |
|-------------------------|------------------------|-----------------------------|-------|
| مقاومت فشاری سنگ (σc)   | ۱۵                     | قطر حفاری (m)               | ۴۶    |
| شاخص بار نقطه ای (I50)  | Mpa                    | بیشروی رانش (F)             | ۱۲    |
| چگالی سنگ (γ)           | ۲.۶ gr/cm <sup>3</sup> | در صد تجلجل (n)             | ۱۲.۵  |
| شاخص عمر تیغه           | ۱۵                     | در صد کوارتز (q)            | ۵     |
| متوسط ارتفاع روباره (m) | ۲۰۰                    | نسبت تختی افقی به عمودی (K) | ۱     |
| شیب اولیه (m)           | -۰.۸                   | مقدار Q                     | ۰.۰۰۳ |

|                                                 |    |        |                     |
|-------------------------------------------------|----|--------|---------------------|
| زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی با سطح سینه کار (β°) | ۹۰ | اندازه | ۹۰                  |
|                                                 |    | شرح    | نا مناسب برای حفاری |

|                             |              |
|-----------------------------|--------------|
| طول مسیر (m)                | ۵۰           |
| نشی معیاری دیواره تونل (σθ) | ۱۵.۶ MPa     |
| Q <sub>o</sub>              | ۰.۰۰۳۱۲۵     |
| SIGMA <sub>cm</sub>         | ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴  |
| SIGMA <sub>tm</sub>         | ۰            |
| SIGMA                       | ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴  |
| Q <sub>TBM</sub>            | ۰.۰۲۷۱۳۹۲۵۸  |
| m                           | -۰.۷۸۳۷۴۷۸۵۴ |
| U (%)                       | ۰.۳۲۴۴۶۵۹۷۹  |
| سرعت نفوذ (متر در ساعت)     | ۱۰.۲۸۶۰۹     |
| سرعت پیشروی (متر در ساعت)   | ۰.۰۳۳۳۷۵     |
| بیشروی روزانه (hr/Day)      | ۰.۶۶۷۴۹۷     |

| تیمار: Tsh-2                                     |            |                |                            |                                  |       |
|--------------------------------------------------|------------|----------------|----------------------------|----------------------------------|-------|
| واحد زمین شناسی مهندسی                           | Tsh-2      | مترار تول (mm) | از                         | ۱۴۹۳۰                            | ۱۵۲۳۰ |
| مشخصات فیزیکی و مکانیکی                          |            |                |                            |                                  |       |
| مقدار هوازدگی                                    | شرح        | مقدار          | شرح                        | صافه مسطح                        |       |
| (Ja')                                            | رتبه       | ۰.۷۵           | رتبه                       | ۱                                |       |
| شاخص آب                                          | شرح        | جریان متوسط    | شاخص                       | نواحی ضعیف چند بار تکرار می شوند |       |
| (Jw)                                             | رتبه       | ۰.۶۶           | رتبه                       | ۱۰                               |       |
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر                    | مقدار دسته | ۵۰             | شرح                        | ۳ دسته درزه + تصادفی             |       |
| RQD <sub>0</sub> (%)                             | درزه (Ja)  |                | رتبه                       | ۱۲                               |       |
| مقاومت فشاری سنگ (MPa <sub>(σc)</sub> )          | ۵۰         | ۴۶             | فشرده پذیری (m)            |                                  |       |
| شاخص بار نقطه ای (Mpa (Iso)                      |            | ۱۵             | سرریز زایش (E) m           |                                  |       |
| چگالی سنگ (γ) gr/cm <sup>3</sup>                 | ۲۶         | ۵              | درصد تخلخل (%) (n)         |                                  |       |
| شاخص مخریغه (CLI)                                | ۴۵         | ۲۵             | درصد کوآرتر (%) (q)        |                                  |       |
| متوسط ارتفاع رویاره (m)                          | ۱۵۰        | ۱              | نسبت تنش افقی به عمودی (K) |                                  |       |
| شیب اولیه (m)                                    | -۰.۴۴      | ۰.۱۳۸          | مقدار Q                    |                                  |       |
| زاویه سطح تابینوستگی بحرانی با سطح سنده کار (J') |            |                |                            |                                  |       |
| نتیجه                                            |            |                |                            |                                  |       |
| طول مسیر (m) = ۳۰۰                               |            |                |                            |                                  |       |
| تنش مماسی دیواره تول (σθ) MPa = ۷.۸              |            |                |                            |                                  |       |
| Q <sub>0</sub> = ۰.۳۶۶۶۶۶۶۶۷                     |            |                |                            |                                  |       |
| SIGMA <sub>cm</sub> = ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴                |            |                |                            |                                  |       |
| SIGMA <sub>tm</sub> = ۰                          |            |                |                            |                                  |       |
| SIGMA = ۷.۳۸۵۱۱۳۳۲۴                              |            |                |                            |                                  |       |
| QTBM = ۲.۰۸۳۷۱۳۷۵۲                               |            |                |                            |                                  |       |
| m = -۰.۴۱۰۱۷۶۵۸۶                                 |            |                |                            |                                  |       |
| U(%) = ۵.۲۳۷۰۶۳۳۵۷                               |            |                |                            |                                  |       |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت) = ۴.۳۱۷۲۰۲               |            |                |                            |                                  |       |
| سرعت پیشروی (متر بر ساعت) = ۰.۲۲۶۰۹۵             |            |                |                            |                                  |       |
| پیشروی روزانه (hr/Day) = ۴.۵۲۱۸۹۲                |            |                |                            |                                  |       |



|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------|----------------------------|---------------------|-------------|--------------------------------|----|-------|---|-------|-------------------------------------------------|--------------|----------------------------------|-------------|-------------|--------------------------------|-----------|---------------------|---------|------------|-------|-------------|------|-------------|---|--------------|-------|-------------|-------------------------|----------|---------------------------|----------|------------------------|----------|
| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |              |                            |                     | Cz          | متر از تونل (m)                | از | ۱۵۲۳۰ | ۵ | ۱۵۲۳۰ |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| <table border="1"> <tr> <td>عدد هوازدگی</td> <td>شرح</td> <td>ز یاد</td> <td>عدد</td> <td>شرح</td> <td>صیقلی، مسطح</td> </tr> <tr> <td>(Ja')</td> <td>رتبه</td> <td>۴</td> <td>زیری (Jr')</td> <td>رتبه</td> <td>۰.۵</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       | عدد هوازدگی                                     | شرح          | ز یاد                            | عدد         | شرح         | صیقلی، مسطح                    | (Ja')     | رتبه                | ۴       | زیری (Jr') | رتبه  | ۰.۵         |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| عدد هوازدگی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | شرح          | ز یاد                      | عدد                 | شرح         | صیقلی، مسطح                    |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| (Ja')                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | رتبه         | ۴                          | زیری (Jr')          | رتبه        | ۰.۵                            |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| <table border="1"> <tr> <td>شاخص آب</td> <td>شرح</td> <td>جریان زیاد</td> <td>فاکتور کاهش</td> <td>شرح</td> <td>فشار ناشی از مجاله نمودگی زیاد</td> </tr> <tr> <td>دوره (Jw)</td> <td>رتبه</td> <td>۰.۵</td> <td>تشن (SRF)</td> <td>رتبه</td> <td>۱۵</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       | شاخص آب                                         | شرح          | جریان زیاد                       | فاکتور کاهش | شرح         | فشار ناشی از مجاله نمودگی زیاد | دوره (Jw) | رتبه                | ۰.۵     | تشن (SRF)  | رتبه  | ۱۵          |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| شاخص آب                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | شرح          | جریان زیاد                 | فاکتور کاهش         | شرح         | فشار ناشی از مجاله نمودگی زیاد |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| دوره (Jw)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | رتبه         | ۰.۵                        | تشن (SRF)           | رتبه        | ۱۵                             |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| <table border="1"> <tr> <td>شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر</td> <td>تول (%) RQDo</td> <td>عدد دسته</td> <td>شرح</td> <td>سنگ خرد شده</td> </tr> <tr> <td>۱۵</td> <td></td> <td>دوره (Jn)</td> <td>رتبه</td> <td>۲۰</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       | شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر                   | تول (%) RQDo | عدد دسته                         | شرح         | سنگ خرد شده | ۱۵                             |           | دوره (Jn)           | رتبه    | ۲۰         |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | تول (%) RQDo | عدد دسته                   | شرح                 | سنگ خرد شده |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| ۱۵                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |              | دوره (Jn)                  | رتبه                | ۲۰          |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| <table border="1"> <tr> <td>مقاومت فشاری سنگ (MPa(cc)</td> <td>۱۵</td> <td>قطر حفاری (m)</td> <td>۴.۶</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       | مقاومت فشاری سنگ (MPa(cc)                       | ۱۵           | قطر حفاری (m)                    | ۴.۶         |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| مقاومت فشاری سنگ (MPa(cc)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ۱۵           | قطر حفاری (m)              | ۴.۶                 |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| <table border="1"> <tr> <td>شاخص بار نقطه ای (Mpa (I50)</td> <td></td> <td>نیروی رانش (F) (t)</td> <td>۱۲</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       | شاخص بار نقطه ای (Mpa (I50)                     |              | نیروی رانش (F) (t)               | ۱۲          |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| شاخص بار نقطه ای (Mpa (I50)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |              | نیروی رانش (F) (t)         | ۱۲                  |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| <table border="1"> <tr> <td>چگالی سنگ (gr/cm<sup>3</sup>) (γ)</td> <td>۲.۶</td> <td>در صد تخلخل (%) (n)</td> <td>۱۲.۵</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       | چگالی سنگ (gr/cm <sup>3</sup> ) (γ)             | ۲.۶          | در صد تخلخل (%) (n)              | ۱۲.۵        |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| چگالی سنگ (gr/cm <sup>3</sup> ) (γ)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ۲.۶          | در صد تخلخل (%) (n)        | ۱۲.۵                |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| <table border="1"> <tr> <td>شاخص غیر تیغه (CLI)</td> <td>۱۵</td> <td>در صد کوارتز (%) (q)</td> <td>۵</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       | شاخص غیر تیغه (CLI)                             | ۱۵           | در صد کوارتز (%) (q)             | ۵           |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| شاخص غیر تیغه (CLI)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | ۱۵           | در صد کوارتز (%) (q)       | ۵                   |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| <table border="1"> <tr> <td>متوسط ارتفاع روبراه (m)</td> <td>۳۰۰</td> <td>نسبت تشن افقی به عمودی (K)</td> <td>۱</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       | متوسط ارتفاع روبراه (m)                         | ۳۰۰          | نسبت تشن افقی به عمودی (K)       | ۱           |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| متوسط ارتفاع روبراه (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ۳۰۰          | نسبت تشن افقی به عمودی (K) | ۱                   |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| <table border="1"> <tr> <td>شیب اولیه (m)</td> <td>-۰.۸</td> <td>مقدار Q</td> <td>۰.۰۰۳</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       | شیب اولیه (m)                                   | -۰.۸         | مقدار Q                          | ۰.۰۰۳       |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| شیب اولیه (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    | -۰.۸         | مقدار Q                    | ۰.۰۰۳               |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| <table border="1"> <tr> <td>زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی یا سطح شیبه کار (β°)</td> <td>۹۰</td> <td>اندازه</td> <td>۹۰</td> </tr> <tr> <td colspan="2"></td> <td>شرط</td> <td>نا مناسب برای حفاری</td> </tr> </table>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       | زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی یا سطح شیبه کار (β°) | ۹۰           | اندازه                           | ۹۰          |             |                                | شرط       | نا مناسب برای حفاری |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| زاویه سطح ناپیوستگی بحرانی یا سطح شیبه کار (β°)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  | ۹۰           | اندازه                     | ۹۰                  |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
|                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                  |              | شرط                        | نا مناسب برای حفاری |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| <table border="1"> <tr> <td>طول مستر (m)</td> <td>۱۰۰</td> </tr> <tr> <td>تنش میانی دیواره تونل (σθ) (MPa)</td> <td>۱۵.۶</td> </tr> <tr> <td>Qo</td> <td>۰.۰۰۳۱۲۵</td> </tr> <tr> <td>SIGMAcm</td> <td>۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</td> </tr> <tr> <td>SIGMAtm</td> <td>۰</td> </tr> <tr> <td>SIGMA</td> <td>۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</td> </tr> <tr> <td>QTBM</td> <td>۰.۰۲۷۱۳۹۲۵۸</td> </tr> <tr> <td>m</td> <td>-۰.۷۸۳۷۴۷۸۵۴</td> </tr> <tr> <td>U (%)</td> <td>۰.۰۲۶۳۱۲۷۸۱</td> </tr> <tr> <td>سرعت نفوذ (متر بر ساعت)</td> <td>۱۰.۲۸۶۰۹</td> </tr> <tr> <td>سرعت پیشروی (متر بر ساعت)</td> <td>۰.۰۰۲۷۰۷</td> </tr> <tr> <td>پیشروی روزانه (hr/Day)</td> <td>۰.۰۵۴۱۳۱</td> </tr> </table> |              |                            |                     |             |                                |    |       |   |       | طول مستر (m)                                    | ۱۰۰          | تنش میانی دیواره تونل (σθ) (MPa) | ۱۵.۶        | Qo          | ۰.۰۰۳۱۲۵                       | SIGMAcm   | ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴         | SIGMAtm | ۰          | SIGMA | ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴ | QTBM | ۰.۰۲۷۱۳۹۲۵۸ | m | -۰.۷۸۳۷۴۷۸۵۴ | U (%) | ۰.۰۲۶۳۱۲۷۸۱ | سرعت نفوذ (متر بر ساعت) | ۱۰.۲۸۶۰۹ | سرعت پیشروی (متر بر ساعت) | ۰.۰۰۲۷۰۷ | پیشروی روزانه (hr/Day) | ۰.۰۵۴۱۳۱ |
| طول مستر (m)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | ۱۰۰          |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| تنش میانی دیواره تونل (σθ) (MPa)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | ۱۵.۶         |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| Qo                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | ۰.۰۰۳۱۲۵     |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| SIGMAcm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴  |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| SIGMAtm                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ۰            |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| SIGMA                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴  |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| QTBM                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             | ۰.۰۲۷۱۳۹۲۵۸  |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| m                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | -۰.۷۸۳۷۴۷۸۵۴ |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| U (%)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | ۰.۰۲۶۳۱۲۷۸۱  |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | ۱۰.۲۸۶۰۹     |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| سرعت پیشروی (متر بر ساعت)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | ۰.۰۰۲۷۰۷     |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |
| پیشروی روزانه (hr/Day)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | ۰.۰۵۴۱۳۱     |                            |                     |             |                                |    |       |   |       |                                                 |              |                                  |             |             |                                |           |                     |         |            |       |             |      |             |   |              |       |             |                         |          |                           |          |                        |          |

|                                                    |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
|----------------------------------------------------|-------|----------------------------|-------------|-------------|-----------------------------|-----|----------------|----|-------|-------|
| واحد زمین شناسی مهندسی                             |       |                            |             |             |                             | Mdg | مترار تونل (m) | از | ۱۵۳۳۰ | ۱۵۹۶۰ |
| مشخصات فیزیکی و مکانیکی خاک                        |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| عدد هوازدگی                                        | شرح   | اندک                       | غندم        | شرح         | زبر، موجدار                 |     |                |    |       |       |
| (Ja')                                              | رتبه  | ۱                          | دیری (Jr')  | رتبه        | ۳                           |     |                |    |       |       |
| شاخص آب                                            | شرح   | جریان متوسط                | فاکتور کاهش | شرح         | نواحی ضعیف منفرد (عمق < ۵۰) |     |                |    |       |       |
| درزه (Jw)                                          | رتبه  | ۰.۶۶                       | نسبت (SRF)  | رتبه        | ۲.۵                         |     |                |    |       |       |
| شاخص کیفی نوده سنگ در جهت حفر                      | ۷۰    | عدد دسته                   | شرح         | ۳ دسته درزه |                             |     |                |    |       |       |
| تونل (RQD <sub>0</sub> (%))                        |       | درزه (Jn)                  | رتبه        | ۹           |                             |     |                |    |       |       |
| مقاومت فشاری سنگ (σ <sub>c</sub> ) MPa             | ۹۰    | قطر حفاری (m)              |             | ۴۶          |                             |     |                |    |       |       |
| شاخص بار نقطه ای (I <sub>50</sub> ) Mpa            |       | نیروی رانش (E) inf         |             | ۲۲          |                             |     |                |    |       |       |
| حکالتی سنگ (γ) gr/cm <sup>3</sup>                  | ۲۸    | در صد مخلوط (n) (%)        |             | ۲.۵         |                             |     |                |    |       |       |
| شاخص عمر نیده CL1                                  | ۱۵    | در صد کوارتز: (q) (%)      |             | ۲.۵         |                             |     |                |    |       |       |
| متوسط ارتفاع روباره (m)                            | ۱۰۰   | نسبت بتن افقی به عمودی (K) |             | ۱           |                             |     |                |    |       |       |
| نسبت اولیه m                                       | -۰.۱۷ | مقدار Q                    |             | ۶.۱۶        |                             |     |                |    |       |       |
| زاویه سطح تاببوستگی بحرانی با سطح شیبه کار (β°)    |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| اندازه                                             |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| شرح                                                |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| نا مناسب برای حفاری                                |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| محاسبات                                            |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| طول مسیر (m) = ۶۳۰                                 |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| نسبت مناسب دیواره تونل (σ <sub>0</sub> ) MPa = ۵.۶ |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| Q <sub>0</sub> = ۶.۱۶                              |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| SIGMA <sub>cm</sub> = ۲۴.۷۷۸۱۶۳۲۳                  |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| SIGMA <sub>tm</sub> = ۰                            |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| SIGMA = ۲۴.۷۷۸۱۶۳۲۳                                |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| QTBM = ۰.۵۴۹۲۳۶۹۵                                  |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| m = -۰.۱۴۳۳۷۸۴۲۳                                   |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| U (%) = ۴۵.۴۱۰۷۵۳۳۸                                |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| سرعت نفوذ (متر بر ساعت) = ۵.۶۳۶۶۱۱                 |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| سرعت پیشروی (متر بر ساعت) = ۲.۵۵۹۶۲۷               |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |
| پیشروی روزانه (Y-hr/Day) = ۵۱.۱۹۲۵۵                |       |                            |             |             |                             |     |                |    |       |       |

| واحد زمین شناسی مهندسی                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |  | Cz | مستراز طول (m) | از | تا | ۱۵۹۸۰ |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|--|--|--|----|----------------|----|----|-------|
| <div> <div>عدد هوازدگی</div> <div>شرح</div> <div>ز یاد</div> <div>عدد</div> <div>شرح</div> <div>صیقلی، مسطح</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>(Ja')</div> <div>رتبه</div> <div>۴</div> <div>ریزی (Jr)</div> <div>رتبه</div> <div>۰.۵</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>شاخص آب</div> <div>شرح</div> <div>جریان زیاد</div> <div>فاکتور کاهش</div> <div>شرح</div> <div>فشار ناشی از مجاله شوندگی زیاد</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>درزه (Jw)</div> <div>رتبه</div> <div>۰.۵</div> <div>تنش (SRE)</div> <div>رتبه</div> <div>۱۵</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>شاخص کیفی توده سنگ در جهت حفر</div> <div>۱۵</div> <div>عدد دینه</div> <div>شرح</div> <div>سنگ خرد شده</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>تونل (RQDo (%))</div> <div>درزه (Jn)</div> <div>رتبه</div> <div>۲۰</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                    |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>مقاومت فشاری سنگ (MPa(σc))</div> <div>۱۵</div> <div>قطر حفاری (m)</div> <div>۴۶</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>شاخص بار نقطه ای (Mpa (Is0))</div> <div>۱۲</div> <div>نیروی رانش (F) (m)</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>چگالی سنگ (g/cm<sup>3</sup>) (γ)</div> <div>۲.۶</div> <div>در صد تخلخل (%) (n)</div> <div>۱۲.۵</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>شاخص عمر تیغه CLi</div> <div>۱۵</div> <div>در صد کوارتز (%) (q)</div> <div>۵</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>متوسط ارتفاع دیواره (m)</div> <div>۳۰۰</div> <div>نسبت تنش افقی به عمودی (K)</div> <div>۱</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>شیب اولیه (m)</div> <div>-۰.۸</div> <div>مقدار Q</div> <div>۰.۰۰۳</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>راویه سطح ناپیوستگی مجزائی یا سطح سینه کار (β°)</div> <div>۹۰</div> <div>انباره</div> <div>شرح</div> <div>نا متناسب برای حفاری</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |  |  |  |    |                |    |    |       |
| <div> <div>طول منشور (m) = ۲۰</div> <div>تنش مماسی دیواره تونل (σθ) = MPa ۱۵.۶</div> <div>Q<sub>0</sub> = ۰.۰۰۳۱۲۵</div> <div>SIGMA<sub>acm</sub> = ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</div> <div>SIGMA<sub>tm</sub> = ۰</div> <div>SIGMA = ۱.۰۰۹۸۵۰۵۶۴</div> <div>Q<sub>TBM</sub> = ۰.۰۲۷۱۳۹۲۵۸</div> <div>m = -۰.۷۸۳۷۴۷۸۵۴</div> <div>U(%) = ۸.۹۸۲۴۷۲۷۴۲</div> <div>سرعت نفوذ (متر بر ساعت) = ۱۰.۲۸۶۰۹</div> <div>سرعت پیشروی (متر بر ساعت) = ۰.۹۲۳۹۴۵</div> <div>پیشروی روزانه (m/hr/Day) = ۱۸.۴۷۸۹۱</div> </div> |  |  |  |  |    |                |    |    |       |

ضمیمہ ۱

مشخصات فنی تجهیزات Rolling Stock

شرکت MSD

**MASCHINEN- UND STAHLBAU DRESDEN**

**PROJECT: ROLLING STOCK KARAJ –  
TEHERAN WATER TRANSMISSION TUNNEL**

**MSD-IDENTIFICATION N° 7 0 0331**

**TECHNICAL SPECIFICATION  
Revision A**

Dresden, 01.09.05



---

## 1. TECHNICAL DESCRIPTION OF A MUCK CAR 8 M<sup>3</sup> - SIDE TIPPING AND DISCHARGING DEVICE

(NOT REVISED)

---

See drawing: 7-036-01-000; for discharging device see drawing 7-036-02-000

|                                     |                             |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| <i>Volume:</i>                      | 8 m <sup>3</sup>            |
| <i>Length:</i>                      | 6.350 mm                    |
| <i>Width:</i>                       | 1.500 mm                    |
| <i>Height:</i>                      | 1.550 mm                    |
| <i>Wheel base:</i>                  | 2.500 mm                    |
| <i>Min. Radius of switches:</i>     | 35 m                        |
| <i>Brake:</i>                       | pneumatic (one axle braked) |
| <i>Support of the axes:</i>         | suspension bearing          |
| <i>Diameter of the wheels:</i>      | 350 mm                      |
| <i>Empty weight:</i>                | approx. 6.000 kg            |
| <i>Permissible total weight:</i>    | approx. 20.000 kg           |
| <i>Material of barrier:</i>         | plate with lug pattern      |
| <i>Connection between the cars:</i> | Willison 1'                 |

The main dimensions are clarified with Herrenknecht AG.

The muck container is detachable on a flat car and is secured against slipping through bedstops. On the edge from the platform are mounted the bedstops.

On each muck container a rubber mat is fixed at the top of one front wall. It protect the tunnel-bottom against dirt.

**With above mentioned dimensions of the muck container it has an absolutely maximum capacity of 8 m<sup>3</sup> (water)!**

Via a cross beam the muck container will after lifting, set down on a bearing support. Through the excentric arrangement of the load retainer the container tilts automatically. By the lateral procedure of the crane the container tilts and empties themselves. The specific form of the hitch disables the hang out of the cross beam.

---

---

## 2. TECHNICAL DESCRIPTION OF A SEGMENT CAR

(REVISED)

See drawing: 7-036-03-000 A

|                                        |                                                                                       |
|----------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| <i>Length:</i>                         | <b>3.107 mm</b>                                                                       |
| <b>in use as a double segment car:</b> | <b>6.515 mm</b>                                                                       |
| <i>Width:</i>                          | <b>1.200 mm</b>                                                                       |
| <i>Height:</i>                         | 1.560 mm (with 3 segments)                                                            |
| <i>Wheel base:</i>                     | 1.640 mm                                                                              |
| <i>Brake:</i>                          | pneumatic (one axle braked)                                                           |
| <i>Min. Radius of switches:</i>        | 35 m                                                                                  |
| <i>Support of the axes:</i>            | suspension bearing                                                                    |
| <i>Diameter of the wheels:</i>         | 250 mm                                                                                |
| <i>Segment Support:</i>                | wood (150 mm width)                                                                   |
| <i>Segment per car:</i>                | 3 pieces                                                                              |
| <i>Empty weight:</i>                   | approx. 2.000 kg                                                                      |
| <i>Permissible total weight:</i>       | approx. 14.000 kg                                                                     |
| <i>Material of barrier:</i>            | plate with lug pattern                                                                |
| <i>Connection between the cars:</i>    | Willison 1' <b>on one side</b><br><b>Coupling with steering rod on the other side</b> |

Segment Car is to be used to transport maximum 3 segments. The segments must be uniformly placed on the supports. Segment support holders are integrated into the chassis to provide a secure support for the segments. Onto the side facing the segment it is bolted on a wooden support. This ensures the segments will not be damaged.

Gravity of the two segment supports are nearby the centre of the wheel base.

The height of 1.560 mm is confirm with the back up system clarified with Herrenknecht AG. To reach the max. height of 1.560 mm the wooden layers between two segments should have a max. Thickness of max. 140 mm!

**The segment cars are to be used in twin-mode as a double segment car. That design is compatible with the actual back up system of Herrenknecht AG.**

---

---

### 3. TECHNICAL DESCRIPTION OF A FLAT CAR

(NOT REVISED)

See drawing: 7-036-04-000

|                                     |                             |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| <i>Length:</i>                      | 7.780 mm                    |
| <i>Width:</i>                       | 1.500 mm                    |
| <i>Height:</i>                      | 460 mm                      |
| <i>Wheel base:</i>                  | 3.500 mm                    |
| <i>Min. Radius of switches:</i>     | 35 m                        |
| <i>Brake:</i>                       | pneumatic (one axle braked) |
| <i>Support of the axes:</i>         | suspension bearing          |
| <i>Diameter of the wheels:</i>      | 350 mm                      |
| <i>Empty weight:</i>                | approx. 2.900 kg            |
| <i>Permissible total weight:</i>    | approx. 20.000 kg           |
| <i>Material of support:</i>         | plate with lug pattern      |
| <i>Connection between the cars:</i> | Willison 1'                 |

The main dimensions are clarified with Herrenknecht AG.

These type of flat car is a universal car for cement boxes, comparable boxes, spare parts, other equipment.

The wagons are not equipped with supports for container or boxes.

2 cars will be equipped with stakes (6 pc. each).

---

#### **4. TECHNICAL DESCRIPTION OF A MENRIDER CAR FOR 10 PERSONS**

*(NOT REVISED)*

---

See drawing: 7-036-06-000

|                                     |                             |
|-------------------------------------|-----------------------------|
| <i>Seats:</i>                       | 10                          |
| <i>Length:</i>                      | 5.525 mm                    |
| <i>Width:</i>                       | 1.500 mm                    |
| <i>Height:</i>                      | 1.550 mm                    |
| <i>Wheel base:</i>                  | 3.500 mm                    |
| <i>Min. Radius of switches:</i>     | 35 m                        |
| <i>Brake:</i>                       | pneumatic (one axle braked) |
| <i>Support of the axes:</i>         | suspension bearing          |
| <i>Diameter of the wheels:</i>      | 250 mm                      |
| <i>Empty weight:</i>                | approx. 3.000 kg            |
| <i>Permissible total weight:</i>    | approx. 5.000 kg            |
| <i>Connection between the cars:</i> | Willison 1'                 |

The main dimensions are clarified with Herrenknecht AG.

The cabin has a lateral sliding door with safety lock and is completely noise reduced.  
While the car is moving, the sliding door must remain closed and locked.

In case of an accident, the windows at the ends of the cabin can be opened.

---

## 5. TECHNICAL DESCRIPTION OF A PEA GRAVEL CAR 3,4M<sup>3</sup>

(NOT

REVISED)

---

See drawing: 7-036-07-000

|                                     |                                   |
|-------------------------------------|-----------------------------------|
| <i>Length:</i>                      | 7.780 mm                          |
| <i>Width:</i>                       | 1.500 mm                          |
| <i>Height:</i>                      | 1.460 mm                          |
| <i>Wheel base:</i>                  | 3.500 mm                          |
| <i>Min. Radius of switches:</i>     | 35 m                              |
| <i>Brake:</i>                       | pneumatic (one axle braked)       |
| <i>Support of the axes:</i>         | suspension bearing                |
| <i>Diameter of the wheels:</i>      | 350 mm                            |
| <i>Empty weight:</i>                | approx. 5.900 kg                  |
| <i>Permissible total weight:</i>    | approx. 12.000 kg                 |
| <i>Connection between the cars:</i> | Willison 1'                       |
| <br>                                |                                   |
| <i>container length:</i>            | 4.500 mm                          |
| <i>container width:</i>             | 1.200 mm                          |
| <i>container height:</i>            | 1.000 mm                          |
| <i>Lower outlet of container:</i>   | manual operated side outlet flaps |

The pea gravel container is an open top container, is detachable on a flat car and is secured against slipping through bedstops.

Unloading technology and size of the container is clarified with Herrenknecht AG.

---

---

## 6. TECHNICAL DESCRIPTION OF A RAIL, PIPE CAR

(REVISED)

See drawing: 7-036-08-000 A

|                                     |                         |
|-------------------------------------|-------------------------|
| <i>Length:</i>                      | <b>12.500 mm</b>        |
| <i>Width:</i>                       | 1.500 mm                |
| <i>Height:</i>                      | 500 mm                  |
| <i>distance between the bogies:</i> | <b>7.000 mm</b>         |
| <i>internal wheel base:</i>         | 1.200 mm                |
| <i>Min. Radius of switches:</i>     | 35 m                    |
| <i>Brake:</i>                       | pneumatic               |
| <i>Support of the axes:</i>         | suspension bearing      |
| <i>Diameter of the wheels:</i>      | 350 mm                  |
| <i>Empty weight:</i>                | approx. <b>8.000 kg</b> |
| <i>Permissible total weight:</i>    | approx. 60.000 kg       |
| <i>Material of support:</i>         | plate with lug pattern  |
| <i>Connection between the cars:</i> | Willison 1'             |
| <i>Chassis:</i>                     | with bogie              |

The main dimensions are clarified with Herrenknecht AG.

These type of flat car is a universal transport car for long equipment. as rails, pipes a.s.o. up to a length of approx. **12,00 metres**.

Car will be equipped with stakes (8 pc.).

---

## 7. TECHNICAL DESCRIPTION OF SWITCH PORTAL INSTALLATION

(NOT REVISED)

---

See drawing: 7-036-10-000

|                   |           |
|-------------------|-----------|
| Type of rails:    | S 33      |
| Gauge:            | 750 mm    |
| Length:           | 10.000 mm |
| Radius of switch: | 35 m      |

- without base frame
  - without switchman
-

## 8. TECHNICAL DESCRIPTION OF CALIFORNIA SWITCH MOVEABLE

(NOT REVISED)

---

See drawing: 7-036-11-000

|                                         |                  |
|-----------------------------------------|------------------|
| <i>Gauge:</i>                           | 750 mm           |
| <i>Maximum permissible wagon width:</i> | approx. 1.300 mm |
| <i>Total length:</i>                    | approx. 166 m    |
| <i>Maximal length of train:</i>         | approx. 120 m    |
| <i>Points radius:</i>                   | approx. 40 m     |
| <i>Min. Radius of switches:</i>         | 40 m             |
| <i>Slope:</i>                           | approx. 0,137%   |
| <i>Total weight:</i>                    | approx. 78 to    |
| <i>Type of rail:</i>                    | S33              |
| <i>switchman:</i>                       | manual           |

### Switch operation:

In load-condition the construction is supported directly on the bottom-segment and on the rails. The approach ramps lie on the rails of the train track installed in the tunnel.

### Move operation:

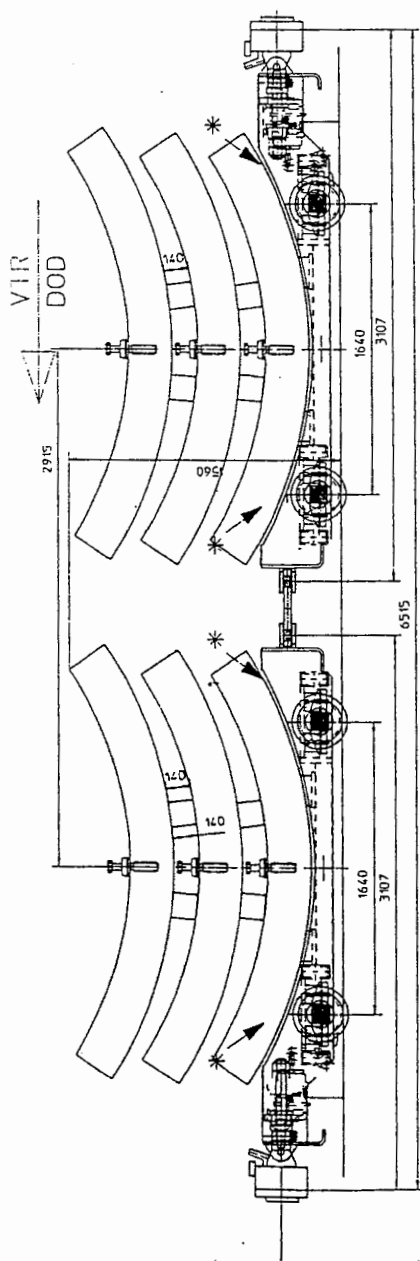
To traverse the california the switch will be lift with a pneumatic lifting device.

The lifting operation for example can be done by the compressor from the tunnel locomotive.

Areas between the running and safety rails are covered with walkable plates with lug pattern.

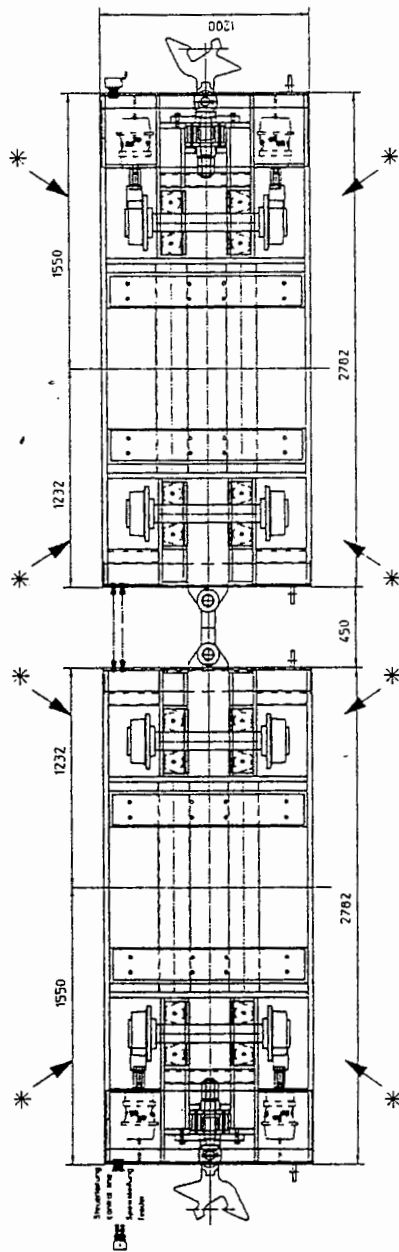
---





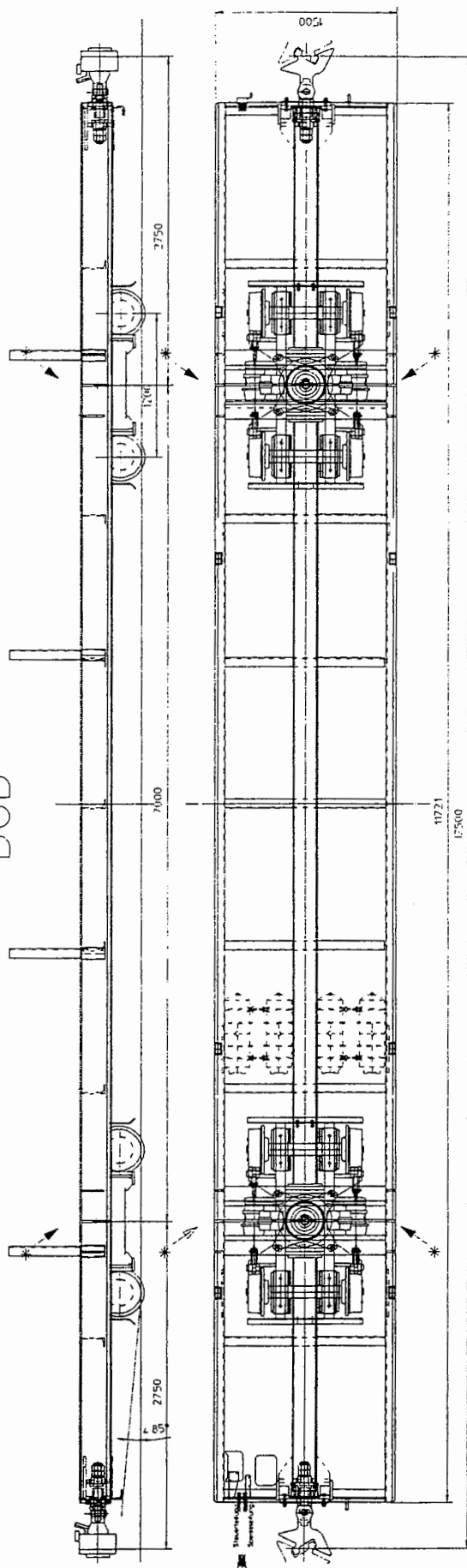
max. length 6515 mm  
 max. width 1200 mm  
 max. height 1560 mm with 3 segments  
 empty load 4.0 t  
 max. load 24.0 t

DOD ... direction of drive

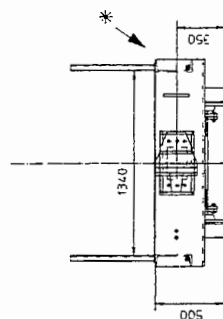


\* tilling eyes  
 for untanded wagon  
 red marked

|   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |   |  |
|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|---|--|
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  | K |  | L |  |
| A |  | B |  | C |  | D |  | E |  | F |  | G |  | H |  | I |  | J |  |   |  |   |  |

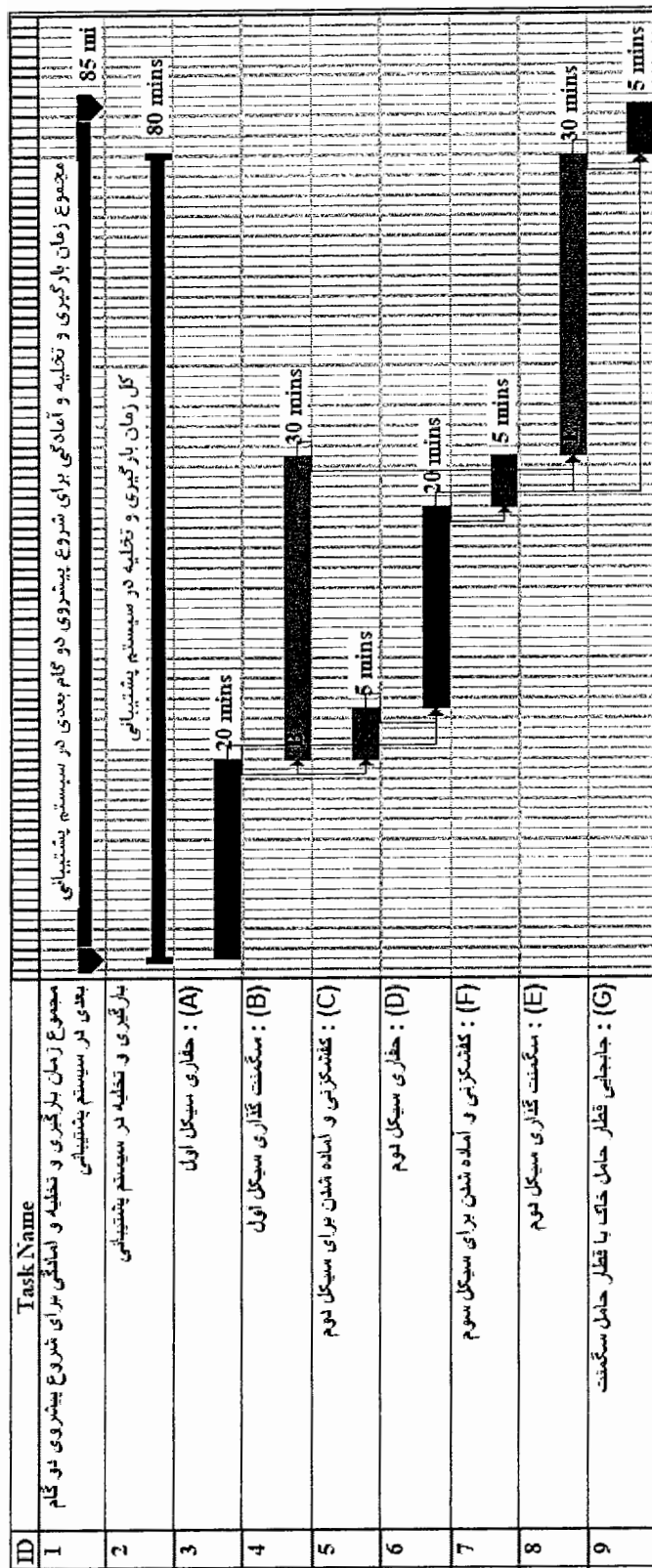


lifting eyes  
notion padded  
red marked

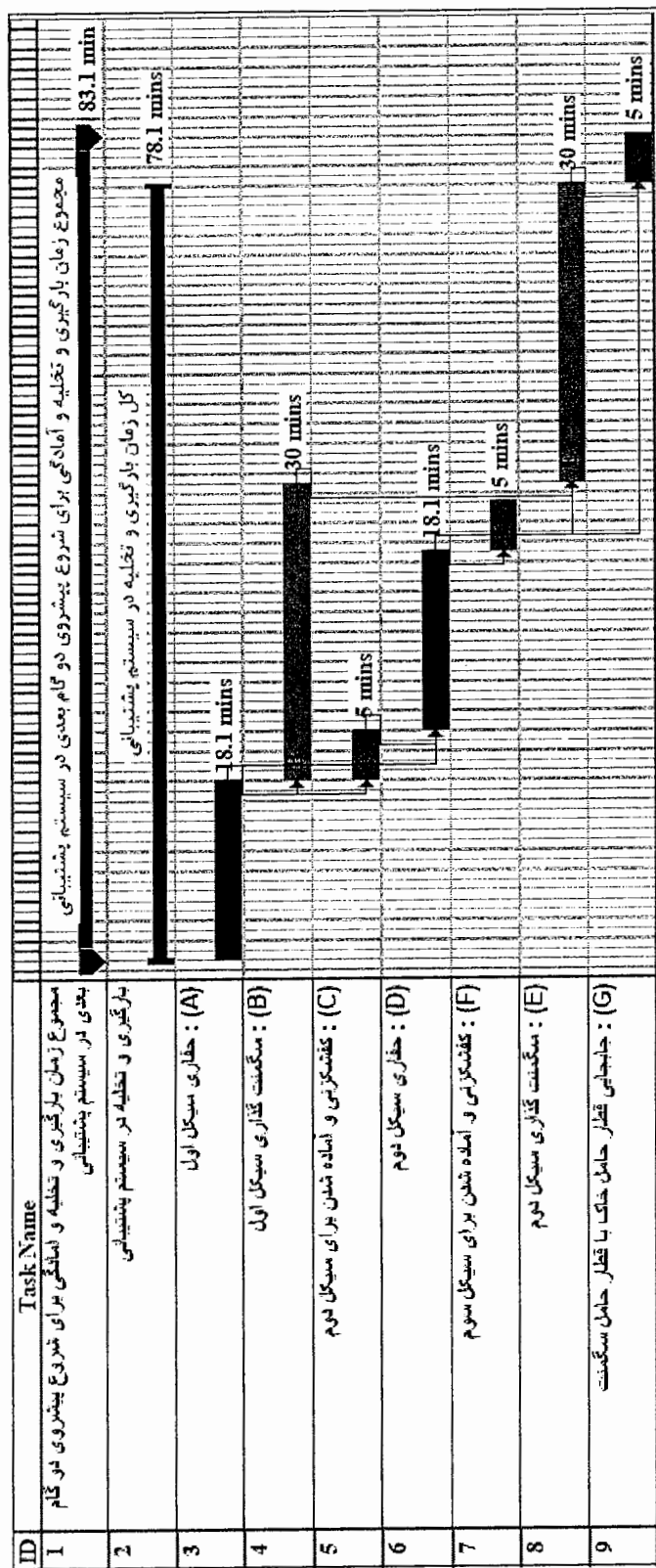
[illegible]

# ضمیمه ه

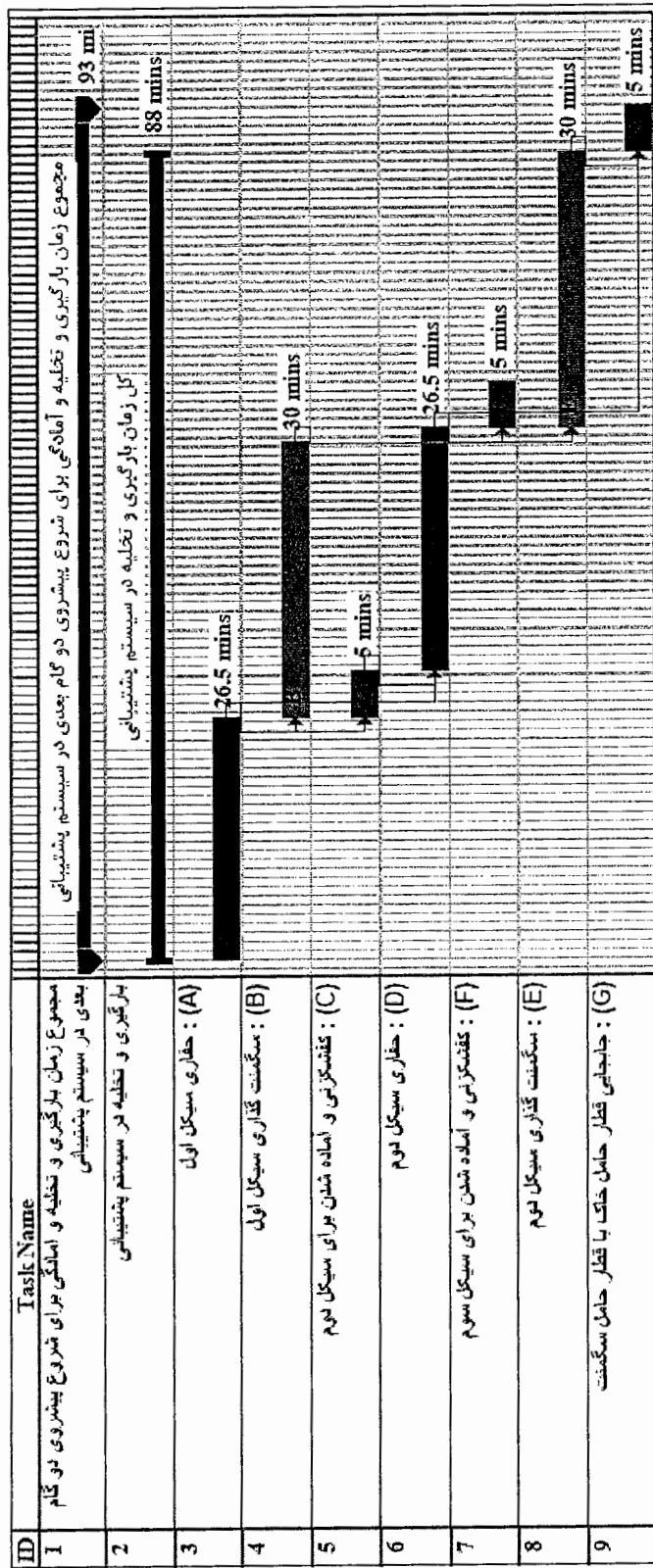
نمودارهای گانت و CPM  
در سیستم پشتیبانی  
برای هر واحد زمین شناسی مهندسی



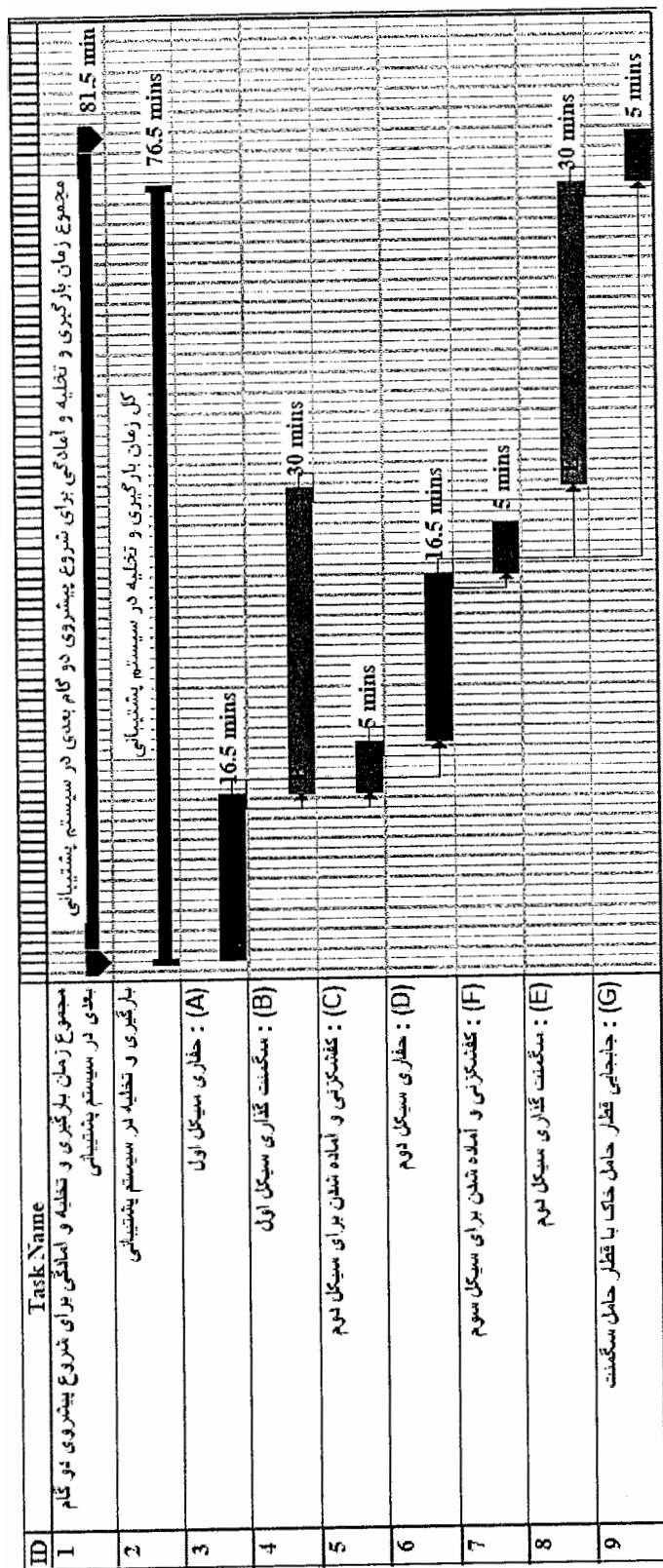
شکل ۵-۱- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta2 (حالت ۱)



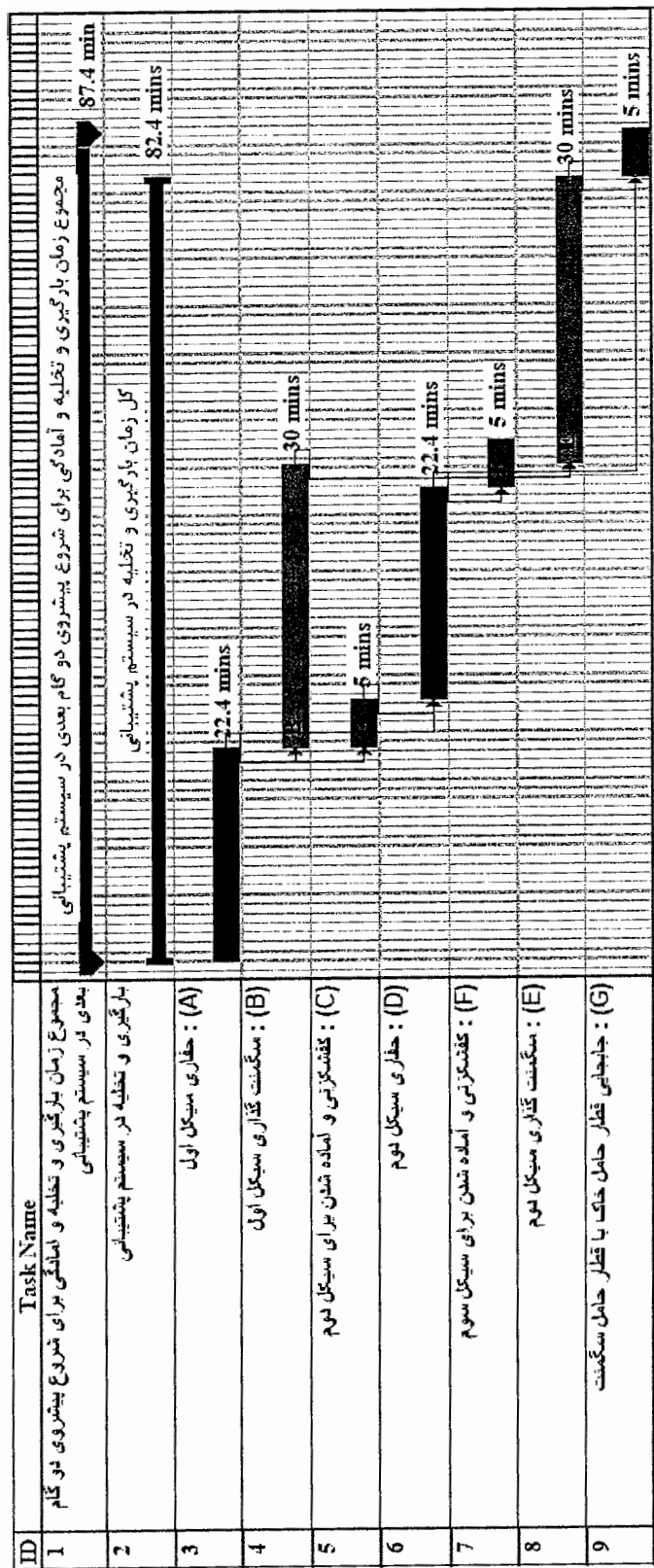
شکل ۲-۰ نمودار کانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta3(حالت ۱)



شکل ۳-۵ - نمودار گانت فعالیت‌های انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد (Gta4 حالت ۱)

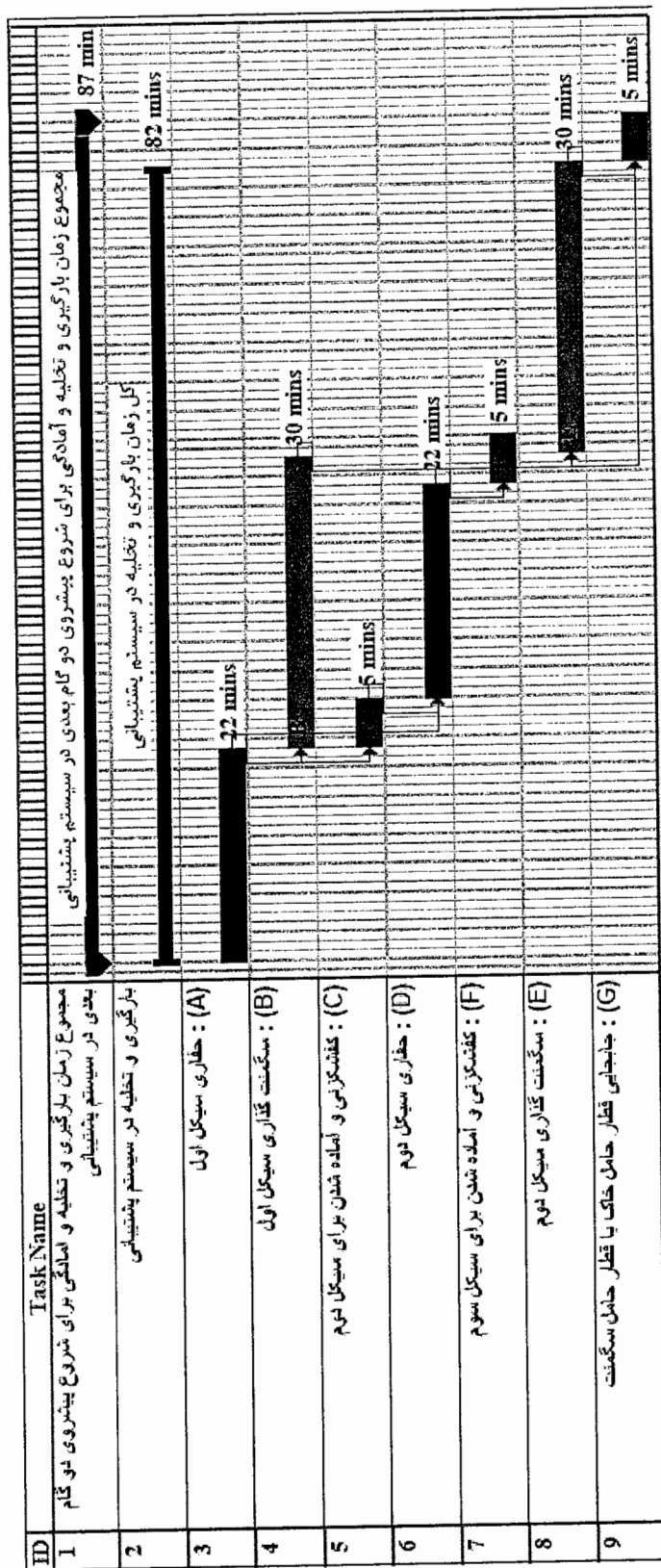


شکل ۴-۵- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts1(حالت ۱)

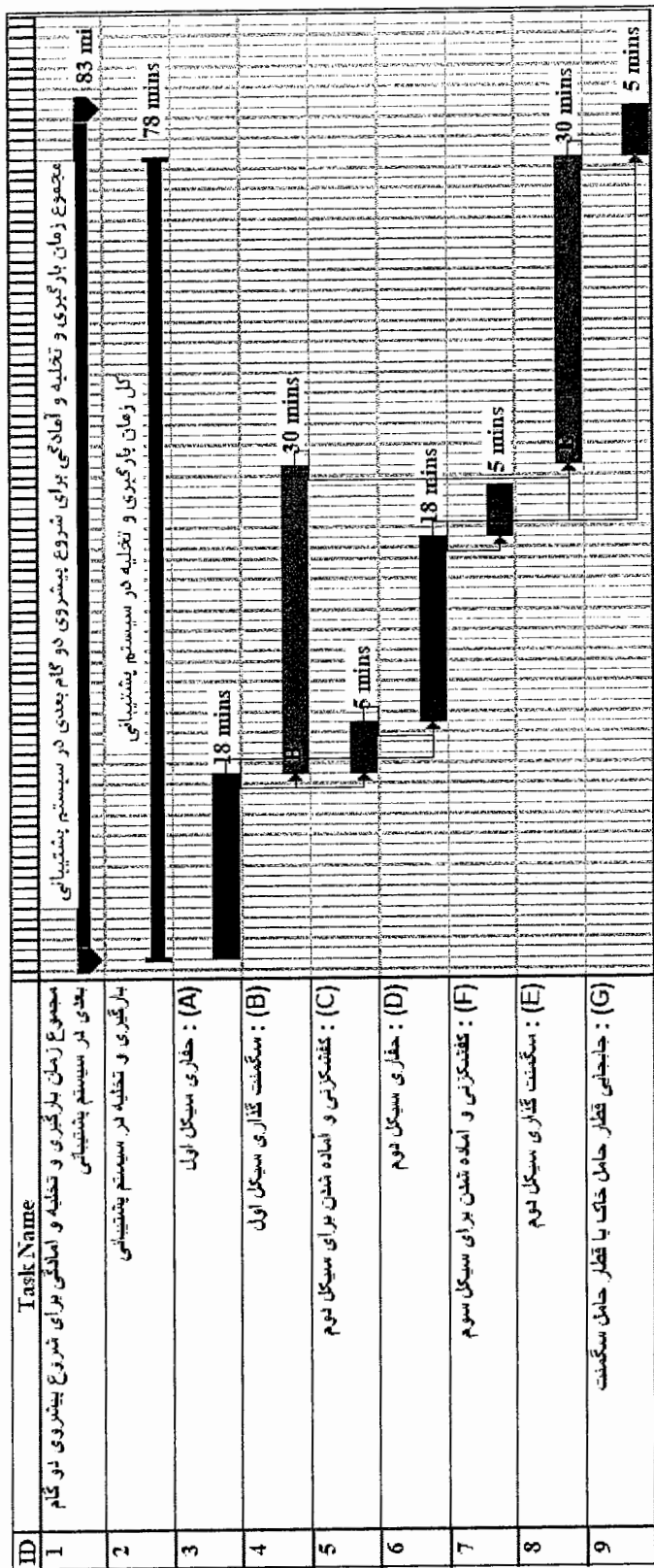


شکل ه-۵- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts2(حالت ۱)

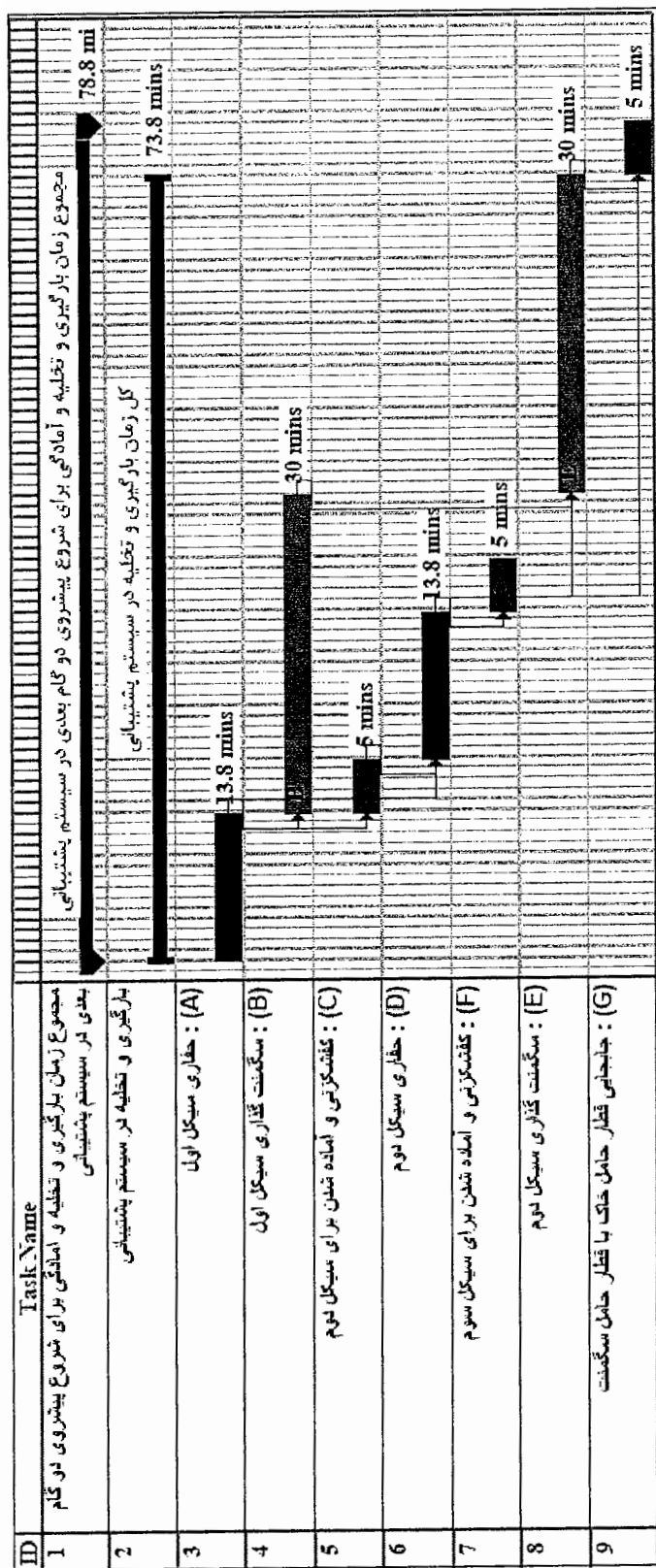




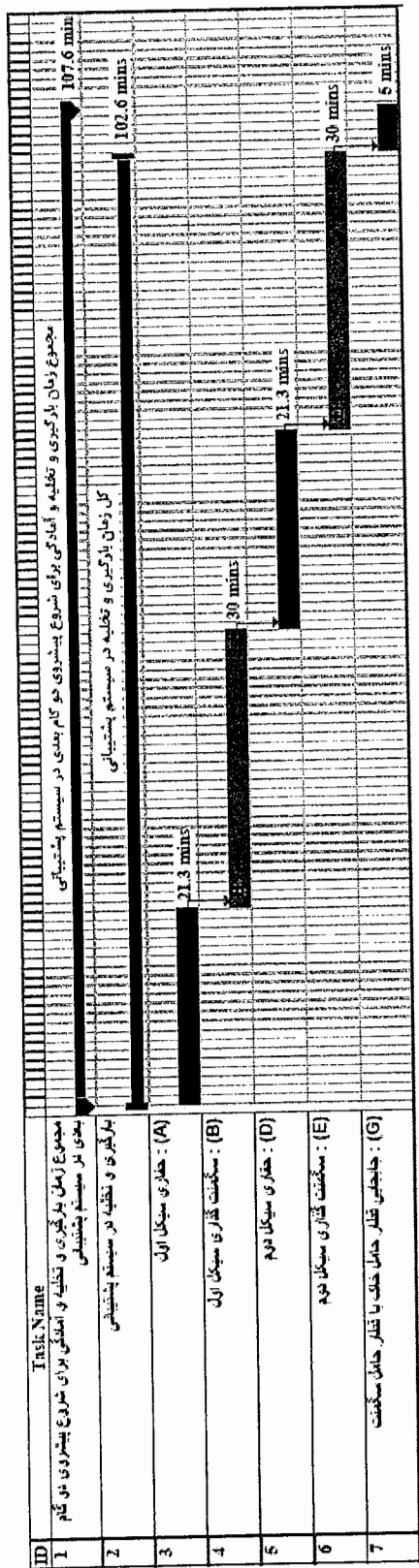
شکل ۵-۶- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts2-3 (حالت ۱)



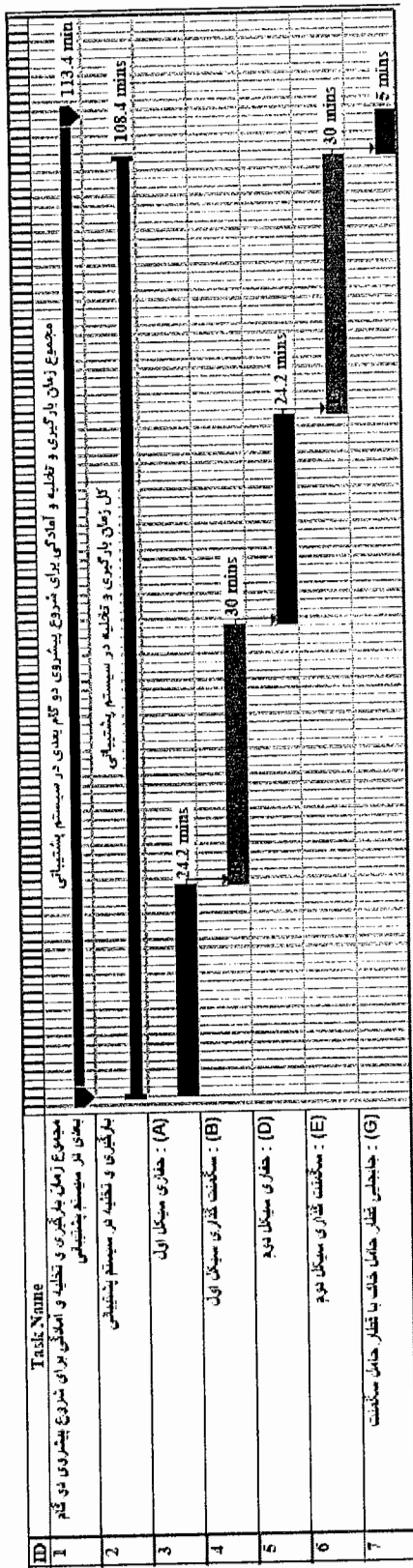
شکل ه-۷- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Tsh (حالت ۱)



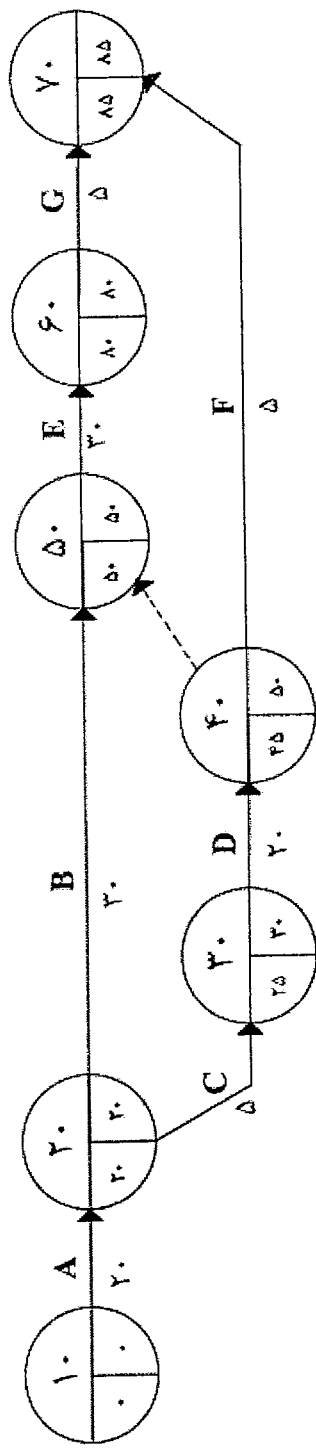
شکل ۵-۸- نمودار گانت فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Mdg (حالت ۱)



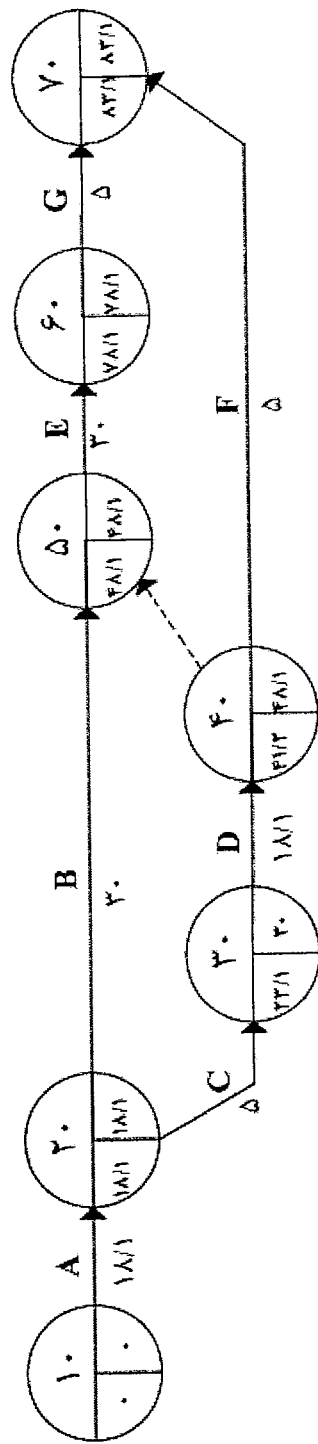
شکل ۹-۰- نمودار گانت فعالیت‌های انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta1 (حالت ۲)



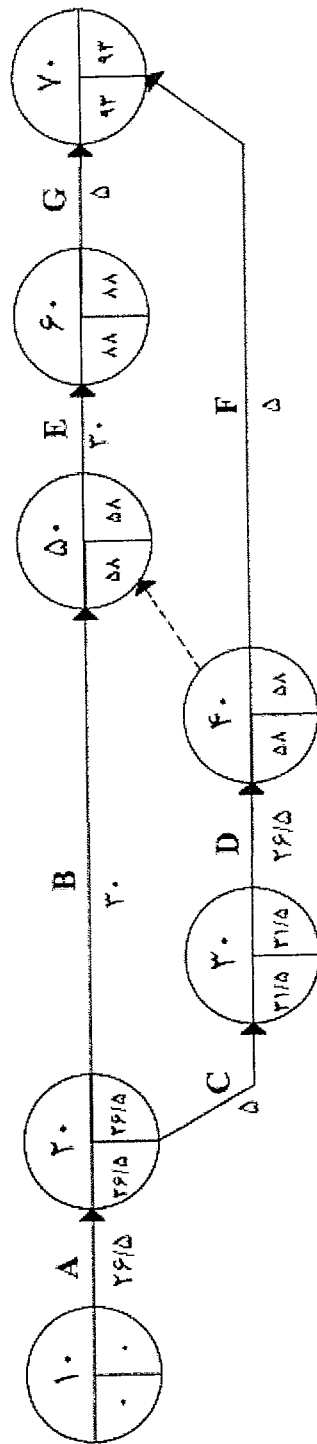
شکل ۱۰-۰- نمودار گانت فعالیت‌های انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Cz (حالت ۲)



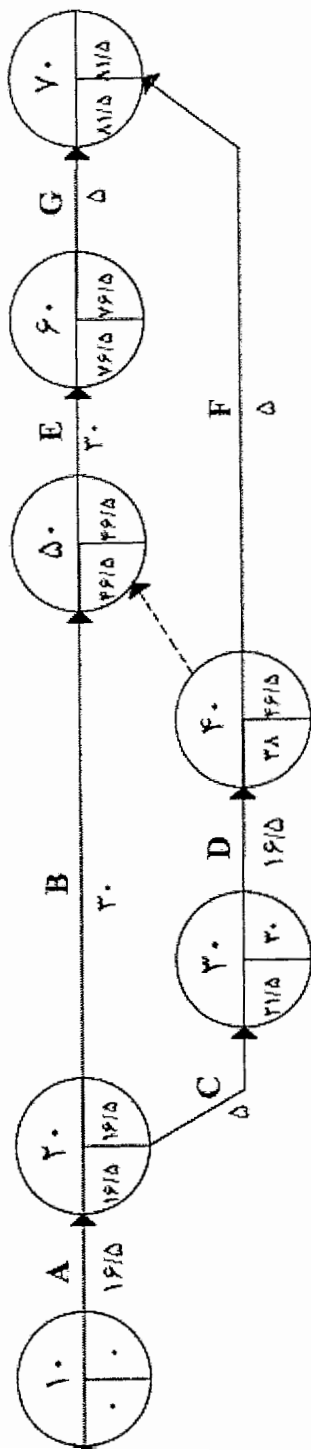
شکل ۱۱- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta2 (حالت ۱)



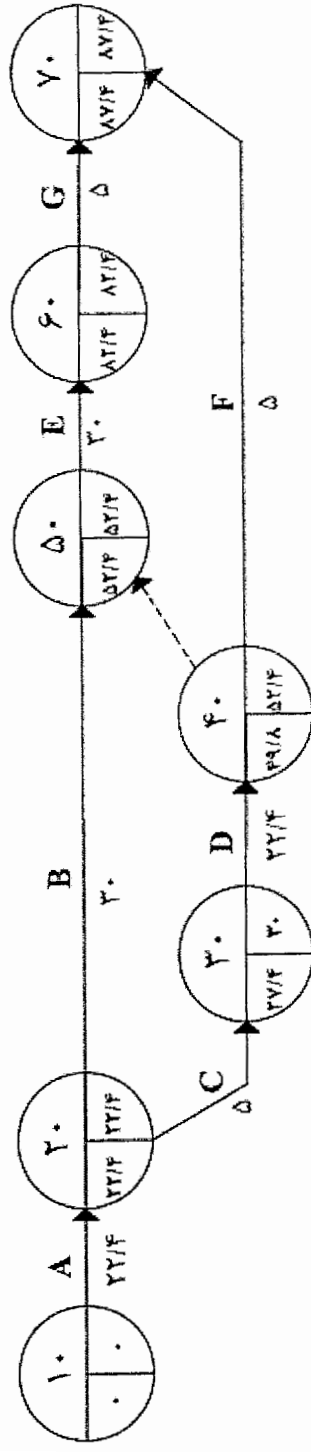
شکل ۱۲- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta3 (حالت ۱)



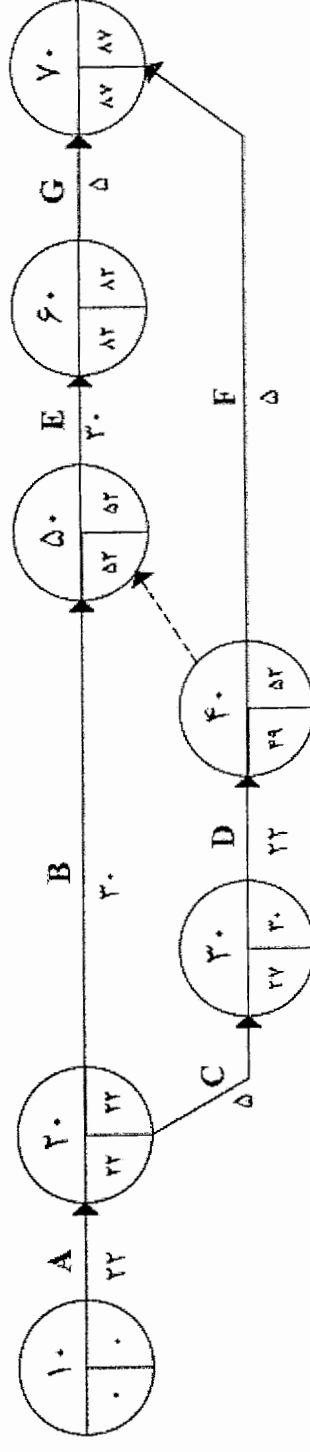
شکل ۱۳- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta4 (حالت ۱)



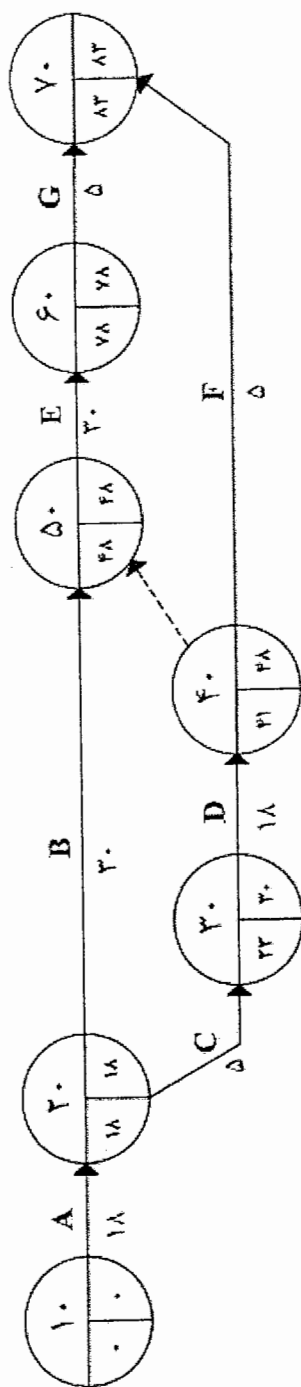
شکل ۱۴- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts1 (حالت ۱)



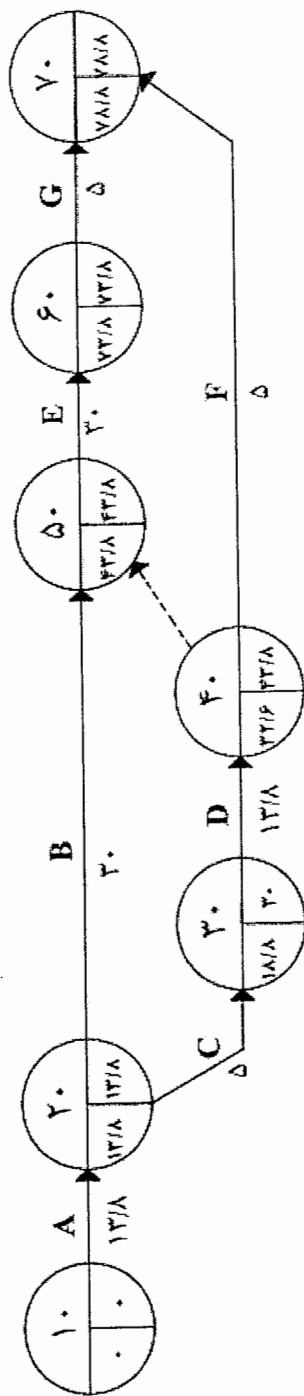
شکل ۱۵- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts2 (حالت ۱)



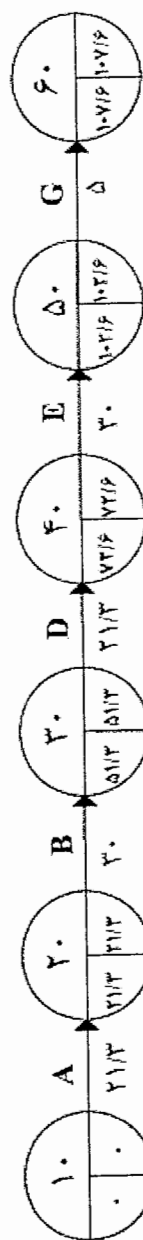
شکل ۱۶- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای ۲ گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Sts2-3 (حالت ۱)



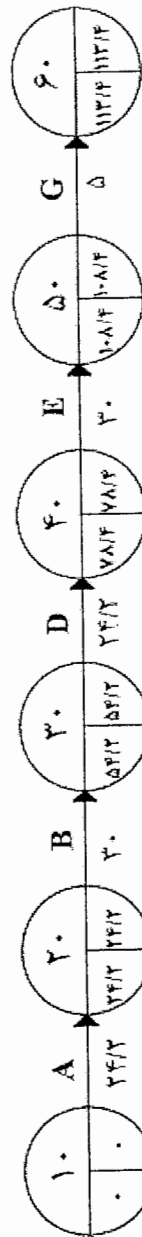
شکل ۱۷- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Tsh (حالت ۱)



شکل ۱۸- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Mdg (حالت ۱)



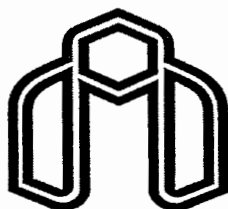
شکل ۱۹- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Gta1 (حالت ۲)



شکل ۲۰- نمودار CPM فعالیتهای انجام شده برای گام پیشروی با در نظر گرفتن زمان حفاری در واحد Cz (حالت ۳)







دانشگاه صنعتی شاهرود

Shahrood University of Technology  
Faculty of Mining and Geophysics

# Transportation design for water conveyance tunnel during performance from Amirkabir dam to Tehran water refinery No.6

Master of Science in Mining Exploitation Engineering

Student:

Ali Tabrizi

Supervisors:

Dr. M. Ataie

Dr. R. Kakaie

Consultant:

M. karimi

June 2006