

$$h_0 = \frac{1}{2} B \quad (\text{mm}) = 0.5B$$

سطح مقطع نهائی بصورت زیر بدست می‌آید.

- جعبه‌ای شکل

$$S_{fm} = B(h_2'' + 0.26B) \quad \text{mm}^2$$

در این رابطه h_2'' ارتفاع بالاست تا بالای دیواره است.

- دایره‌ای شکل:

$$S_{fm} = B(h_2'' + 0.39B) \quad \text{mm}^2$$

محیط حفرة

- جعبه‌ای شکل

$$P_{cl} = 2h_2'' + 2.33B$$

- دایره‌ای شکل

$$P_{cl} = 2h_2'' + 2.57B$$

۷-۱- شیب و امتداد حفريات زیرزمینی

شیب و امتداد حفريات زیرزمینی با توجه به کاربری و شرایط محیطی و محدودکننده تعیین می‌شوند. شیب تونل‌ها بطور معمول تقریباً افقی با شیب حدود ۳ تا ۵ درجه طراحی می‌شود که شیب در نظر گرفته شده برای تسهیل کنترل آبهای ورودی به تونل است. در تونل‌هایی که وسایل نقلیه در آن حرکت می‌کند تونل‌ها معمولاً افقی است. امتداد تونل‌ها بطور معمول مستقیم است. در تونل‌هایی که وسایل نقلیه از آن عبور می‌کنند شعاع انحناء مجاز حرکت وسایل نقلیه بایستی در طراحی مدنظر قرار گیرد. از نظر شرایط زمین‌شناسی ساختاری و ژئوتکنیکی مخور تونل بایستی در امتداد تنش اصلی حداکثر قرار گیرد. در تونل‌های آب نیز بسته به نوع جریان، شیب و شعاع انحناء مجاز تعیین می‌شود.

۸-۱- تونلسازی در ایران

در ایران به منظور استفاده از آب‌های زیرزمینی، از چند هزار سال پیش، حفرتونل‌هایی موسوم به قنات، یکی از ابتکارات شگفت‌انگیز ایرانیان است که بر کشاورزی و آبیاری فلات ایران از یک سو و از دیگر سو در شکوفایی تمدن و فرهنگ ایرانی تأثیری ماندگار داشته است. طول بعضی از این سازه‌های زیرزمینی که نوعی تونل‌های انتقال آب به حساب می‌آیند به ۷۰ کیلومتر و یا بیشتر نیز می‌رسند. تعداد قنات‌های ایران بالغ بر ۵۰۰۰۰ رشته برآورد شده و جالب توجه آن است که این قنات‌های متعدد، طویل و حناس از لحاظ جهت و شیب با وسایل بسیار ابتدایی حفر شده‌اند. قدیمی‌ترین آثار قنات که در دنیا یافت شده و باستان‌شناسان ردیابی و کاوش کرده‌اند، ناحیه‌ای در شمال ایران است که قدمت آن به حدود سه هزار سال قبل یعنی دوره ورود آریایی‌ها می‌رسند. در عصر قاجاریه نیز مالکان و خوانین بزرگ ایران برای افزایش درآمد اراضی کشاورزی و باغات به کار احیا و مرمت قنات می‌پرداختند.

اگر نگاهی به سیر تاریخ تونل سازی در ایران داشته باشیم، تنها حلقه رابطه دوران باستان با عصر حاضر قنات سازی می باشد. قنات به عنوان تنها فعالیت شاخص ایرانیان در زمینه تونل سازی شناخته می شود، البته در حال حاضر هفتاد درصد قنات های کشور خشک شده و سی درصد بقیه نیز با آسیب جدی روبرو هستند.

در دوره معاصر و ابتدای قرن سیزدهم هجری احداث اولین تونل های راه و راه آهن در دستور کار دولت ایران قرار گرفت. در آن زمان به دلایلی احداث راه آهن بین شمال و جنوب اولویت یافت. مسیر این خط آهن نیز با توجه به گوهستانی بودن مناطق مختلف کشور بالاچار در بعضی بخش ها از نواحی کوهستانی عبور می کرد که بالطبع منجر به حفر تونل هایی شد. اقدامات بعدی در زمینه احداث تونل های راه و راه آهن با سرعتی نه چندان زیاد ادامه یافت.

حفر تونل های انتقال آب نیز با توجه به توزیع نامناسب منابع آبی کشور، همیشه مورد توجه بوده است. در رابطه با تونل های انتقال آب، سوابق موجود در ارایه شده توسط سازمان ذی ربط از احداث اولین تونل انتقال آب با نام کوهرنگ ۱ در سال ۱۳۲۷ حکایت دارد. این تونل به طول ۲۸۰۰ متر، قطر ۲ تا ۳/۱ متر، مقطع نعل اسی و دایره ای و به ظرفیت ۲۰ متر مکعب بر ثانیه در استان چهار محال بختیاری حفر شده است. هدف از این پروژه انحراف آب رودخانه کوهرنگ به زاینده رود (از مناطق غربی به مناطق مرکزی ایران) بوده است که امروزه به طور سالانه ۲۹۷ میلیون متر مکعب آب از طریق این تونل منتقل می شود. این تونل در حدود ۵ سال و با روش سنتی (چالزنی و انفجار) حفر شده است.

از دیگر زمینه هایی که در بخش آب با حفر فضاهای زیرزمینی در ارتباط است، نیروگاه های برق آبی زیرزمینی و تونل های انحراف آب و آبگیر سدها می باشد. احداث اولین تونل های انحراف آب را می توان با ساخت اولین سدهای کشور که با ساختار و روش های نوین احداث شده اند، در ارتباط دانست که به سال ۱۳۲۶، ه.ق و ساخت سد مخزنی گلپایگان باز می گردد. این سد بر روی رودخانه قمرود در گلپایگان با ارتفاع ۵۶ متر و از نوع خاکی سنگریزه ای احداث شده است.

در رابطه با نیروگاه های زیرزمینی نیز نیروگاه سد در اولین نیروگاه برق آبی کشور است که تمامی فضاهای مربوط به آن به صورت زیرزمینی حفر شده است. این سد بر روی رودخانه دز (از رودخانه های مهم حوضه آبریز خوزستان) با ارتفاع ۲۰۳ متر و از نوع بتنی دو قوسی ساخته شده است. این نیروگاه همزمان با اتمام کار احداث سد در سال ۱۳۴۱ با ۸ واحد ۶۵ مگاواتی و مجموع ۵۲۰ مگاوات به بهره برداری رسیده و هم اکنون نیز در شبکه تولید برق در حال بهره برداری است.

در زمینه دیگر تونل های مرتبط با خدمات شهری اولین تونل های مرتبط با قطارهای شهری به شبکه قطار شهری تهران مربوط می باشد. سابقه شروع به حفر این تونل ها به سال ۱۳۶۵ باز می گردد که از سال ۱۳۷۹ نیز بهره برداری اولین خطوط آن آغاز شده است. اولین تونل های مربوط به قطار شهری در ایران به روش های ترانشه باز و نیمه مکانیزه حفر شده اند. حفر تونل های فاضلاب و جمع آوری آب های سطحی نیز از سابقه زیادی در کشور برخوردار نبوده و حفر اولین نمونه های آن به تازگی و با توجه به آغاز طرح ایجاد شبکه فاضلاب شهر تهران مورد نظر قرار گرفته است.

به طور کلی کاربردهای مختلف تونل سازی با گذشت زمان و افزایش جمعیت و نیازهای مردم، توسعه یافته است و این امر ضرورت طراحی و اجرای پروژه های جدید را ایجاد می کند. در ادامه سعی بر آن است تا کلیاتی از نیازهای موجود و وضعیت تونل سازی در کشور ارائه شود.

موقعیت جغرافیایی کشور ایران شرایط ویژه زیر را به وجود آورده که لزوم ایجاد شبکه های حمل و نقل کارا، مناسب و استاندارد را ایجاد می کند، از جمله این شرایط می توان به موارد زیر اشاره کرد.

- عبور جاده قدیمی ابریشم، نقش ایران در احیای آن و ارتباط شرق و غرب آسیا با اروپا
- تشخیص کریدور شمال ایران توسط کارشناسان جهانی به عنوان اقتصادی ترین مسیر انتقال کالا از آسیا مرکزی و شرقی به اروپا
- مسیر مناسب برای کشورهای آسیای میانه به منظور انتقال کالاهای خود از طریق بنادر جنوبی ایران
- نیاز روز افزون افغانستان به واردات کالا برای بازسازی و وجود بندر چابهار به عنوان اقتصادی ترین گزینه بندرگاه اقیانوسی
- امکان تأمین بسیاری از نیازهای عراق در دوران سازندگی آن

- وجود تنگه هرمز و امکان اتصال دو سوی سواحل خلیج فارس و جمل و نقل سریع کالا از این طریق در صورتی که این شرایط و امکان استفاده از هر یک به عنوان فرصتی مناسب در جهت توسعه حمل و نقل کشور را در کنار جغرافیای کوهستانی ایران مورد توجه قرار دهیم، به نیاز فوق العاده کشور به جفر تونل های راه و راه آهن پی برده می شود. در بسیاری از فرصت های اقتصادی حمل و نقل ذکر شده، در صورتی که اقدامات فوری و برنامه ریزی مناسب برای بهره برداری از فرصت های اقتصادی حاصل از شرایط ارتباطاتی ذکر شده انجام نشود، مسیرهای ترانزیت کالا از طریق ایران در رقابت بین المللی از دست خواهند رفت. اهمیت این اقدامات هنگامی بیشتر آشکار می شود که بدانیم طول تونل های بزرگتر از ۱/۵ کیلومتر جاده ای در ایران کمتر از ۰/۵ درصد این تونل ها در جهان می باشد.

بر طبق آخرین آمارهای ارائه شده و در دسترس در رابطه با تونل های راه، نزدیک به ۵۵ کیلومتر تونل با کاربری راه در حال بهره برداری است که اگر ۱۰ درصد خطا به علت نواقص جمع آوری و دسترسی به اطلاعات و عدم انعکاس آخرین وضعیت تونل های راه را نیز به این مقدار اضافه کنیم، حدود ۶۰ کیلومتر تونل راه وجود دارد. با وضعیت تشریح شده از شرایط جغرافیایی کشور این میزان بسیار ناچیز است. این اطلاعات ضعف عمده ایران در زیر ساخت های حمل و نقل کشور در زمینه راه را منعکس می کند.

البته لازم به توضیح است که در حال حاضر ساخت راه های جدید در ایران شتابی بیش از پیش گرفته که در مجموعه آنها تونل های متعددی نیز وجود دارد. از جمله مهم ترین این تونل ها می توان به تونل های آزاد راه تهران - شمال و آزاد راه تهران - رودهن اشاره کرد.

در قرن حاضر، پیشرفت تکنولوژی از یک سو و افزایش روز افزون جمعیت و نیاز آنان به خدمات بیشتر از سوی دیگر، باعث افزایش درخواست برای فضاهای عمومی شده است. از مهم ترین نقش های این خدمات، شبکه راه های درون شهری است. این شبکه بایستی پاسخگوی جابجایی هزاران خودرو در روز باشد. کافی نبودن راه های درون شهری در برقراری ارتباط مناسب، نیاز به احداث تونل ها، اعم از جاده ای و قطارهای زیرزمینی را آشکار می کند. در حال حاضر، امکانات موجود از این نوع، پاسخگوی نیازهای موجود نیست. به همین علت نیز خط ۱ متروی تهران و آغاز به کار خط ۲ آن مد نظر مسوولان قرار گرفته است. این شرایط زمانی بیشتر جالب توجه است که بدانیم طراحی پایه خطوط مترو در تهران برای ۹ خط بوده است. در دیگر شهرها مانند مشهد، اصفهان، تبریز، شیراز و اهواز نیز با فواصل زمانی مختلف احداث خطوط متروی خود را آغاز کرده اند. احداث خطوط اولویت دار مترو به ترتیب زمانی، در شهرهای مشهد، اصفهان، شیراز، تبریز و اهواز آغاز شده است.

در سدهای در حال احداث نیز ساخت تونل انحراف عموماً به عنوان یکی از اولین گام ها تلقی می شود، علاوه بر آن، در صورت زیرزمینی نبودن نیروگاه، تونل های آبگیر و در صورت زیرزمینی بودن آن تمامی نیروگاه به عنوان یک فعالیت تونلی سازی تلقی می شود. احداث نیروگاه هایی همچون نیروگاه زیرزمینی سدکارون ۳، شهید عباس پور، مسجد سلیمان و سایر موارد با احجام جفاری بسیار زیاد از جمله اقدامات موفق و قابل توجه در این زمینه بوده است. در حال حاضر نیز احداث شفت های نیروگاه تلمبه ذخیره ای سیاه بیشه و فضاهای زیرزمینی نیروگاه سیمره از جمله موارد قابل توجه در دست اقدام می باشند.

نکات ذکر شده درباره ارتباط فعالیت های تونل سازی با طرح های سد سازی اشاره به روند این طرح ها را ضروری نمی سازد. تا آغاز سال ۱۳۸۴ تعداد سدهای در دست بهره برداری در قالب سدهای بتنی و خاکی مخزنی به ۱۵۷ سد رسیده و تعداد سدهای در دست اجرا نیز به ۸۴ سد، در ابتدای سال ۱۳۸۴، افزایش یافته است. در حال حاضر ۱۶۰ سد نیز در مرحله مطالعاتی قرار دارند. بالطبع تونل های مرتبط با آنها حجم قابل ملاحظه ای از کار را شامل می شوند.

بست درصد جمعیت ایران در حوزه آبریز تهران زندگی می کنند، اما تنها دو درصد منابع آب کشور در این حوزه وجود دارد. از طرفی نزدیک به ۷۰ درصد آب های سطحی کشور فقط در ۱۶ رودخانه جاری هستند. لذا گریزی از اجرای طرح های انتقال آب نیست. در حال حاضر آب در فاصله حدود ۱۹۵ کیلومتر از زابل به زاهدان منتقل می شود، از زاینده رود با طی مسافت ۳۳۰ کیلومتر به یزد می رود، از زرنه رود به تبریز با فاصله ای حدود ۱۸۰ کیلومتر، از سرشاخه های دز در کوه های زاگرس به فلات مرکزی و شهرهای مرکزی از جمله قم و چند شهر دیگر و از منابع عمده و متمرکز آب شیرین در منطقه زاگرس به فلات مرکزی، این انتقال آب ها براساس مطالعات جامع صورت گرفته انجام می شود. تا به حال مطالعات مربوط به ۳۲ حوزه فرعی کشور و هشت حوزه اصلی کشور انجام شده است.

شرایط آب و هوایی خشک باعث شده است که احداث تونل های انتقال آب در ایران مورد توجه بیشتری قرار گرفته و پروژه های عظیمی برای رفع نیازهای کشور در دست اجرا یا مطالعه باشند (جدول ۱). به طوری که در حال حاضر ۷۰ کیلومتر تونل انتقال آب در دست بهره برداری بوده، ۲۲۵ کیلومتر تونل در دست ساخت و بیش از ۷۰۰ کیلومتر در حال مطالعه می باشند. با ساخت بهره برداری این تونل ها جمعاً بیش از ۲ میلیارد متر مکعب آب منتقل خواهد شد.

□ ضرورت تامین مواد معدنی در راستای برنامه های توسعه و سیاست های دولت، احقر فضاهای گسترده زیرزمینی را ایجاد می نماید که از آن جمله می توان به معدن زیرزمینی زغال سنگ مرکزی، طبش اشاره کرد که استخراج آن به صورت مکانیزه طراحی شده و برآورد تولید سالانه آن نیز ۱/۵ میلیون تن می باشد.

□ نبود سیستم های جامع فاضلاب شهری، تقریباً در تمامی شهرهای کشور، می تواند زمینه کاری گسترده ای را فراهم آورد. در همین راستا نیز طرح های مختلفی برای ایجاد فاضلاب شهری در مناطق مختلف کشور در دست مطالعه و اجرا می باشد و در بعضی شهرها نیز اقدامات اجرایی مربوط به این طرح ها شروع شده است. تهران و رشت نمونه هایی از این دست هستند.

□ البته موارد و مثال های فوق تنها کاربردهایی از تونل سازی است که اطلاعات آنها قابل دسترس بوده و طرح های قابل توجهی در زمینه آنها به اجرا رسیده است. در آینده ای نزدیک نیز می توان از طرح های مربوط به احداث مغازهای زیرزمینی ذخیره سازی نفت خبر داد. به طور خلاصه می توان گفت که کشور ایران در رابطه با در اختیار داشتن فضاهای زیرزمینی با کاربردهای مختلف از جایگاهی مناسب و مطابق با نیازهای خود برخوردار نیست و می بایست در جهت تدوین یک استراتژی عمومی برای توسعه این امر اقدام شده و پتانسیل های تجهیزاتی تونل سازی گسترش داده شود. ارتقای جایگاه مناطق از لحاظ اقتصادی و سیاسی، توسعه راه های جایگزین برای ارتباطات موجود، ایجاد همگرایی های منطقه ای، حصول امنیت بیشتر در پیروی از الگوهای مبتنی بر ارتباط گسترده تر و نقش بسیار مهم این ارتباط در تجارت جهانی و ویژگی های مهم پروژه های احداث تونل، دولت ها را به بازنگری توان اجرایی تکنولوژیکی خود در این امر ترغیب کرده است.

دولت ایران نیز با توجه به کمبودها و نیاز به فضاهای زیرزمینی در رابطه با کاربردهای مختلف آنها سرمایه گذاری در بخش تونل سازی را بالاخص در سال های اخیر مورد توجه قرار داده و اتخاذ استراتژی های توسعه ای، منجر به ایجاد تغییرات اساسی در این بخش شده است. از جمله تحولات مهم چند سال گذشته صنعت تونل ایران احداث فضاهای زیرزمینی با کاربردهای متفاوت در احجام و طول های بسیار زیاد می باشد. امروزه پروژه هایی در حال انجام است که از لحاظ کمی و کیفی در زمره بزرگترین سازه های زیرزمینی در دست احداث جهان می باشند. علاوه بر توجه دولت به احداث این نوع سازه ها در داخل کشور می بایست به همکاری های مشترک با کشورهای همسایه، مانند تونل مرزاتللی انزلی بین ایران و تاجیکستان نیز اشاره داشت.

به طور کلی امروزه دولت در قالب وزارتخانه های نیرو، راه و ترابری، کشور (شهرداری ها) و صنایع و معادن به طور عمده و وزارتخانه های دفاع، نفت و جهاد کشاورزی به میزان کمتر، به احداث سازه های زیرزمینی می پردازد. به تازگی در تمامی این سازمان ها با تصویب قوانین و ایجاد امکان عقد قراردادهایی با ساختارهای متنوع، امکان مشارکت شرکت های خارجی و داخلی در سرمایه گذاری و اجرای پروژه ها فراهم شده است. از دیگر اقدامات جدید انجام شده می توان به حضور مؤثر و بی سابقه متخصصان داخلی در پروژه های مختلف احداث فضاهای زیرزمینی اشاره داشت. به طوری که امروزه بسیاری از سازه های مهم و خاص زیرزمینی تا رعایت استانداردهای جهانی و با طراحی و اجرای کارشناسان ایرانی به انجام می رسند. نکته دیگر در این باره به کارگیری تکنولوژی روز صنعت تونل در پروژه های در حال اجراست. کاربرد روش های ستی در حفر فضاهای زیرزمینی دچار یک روند نزولی شده و به تدریج ماشین آلات پیشرفته جایگزین آنها می شوند. البته در ایران نیز همانند سایر کشورهای جهان کاربرد این تجهیزات با مشکلاتی همراه است و متخصصان داخلی در جهت سازگاری هر چه بیشتر این ماشین آلات با شرایط زمین شناسی پروژه های مربوطه تلاش می کنند.

در شرایط فعلی، نیاز به ساخت و ایجاد فضاهای زیرزمینی توسط دولت ایران شناسایی شده و در تمامی شاخه های مرتبط با تونل سازی حرکت های گسترده ای آغاز شده است. این امر می تواند تولید بخش برنامه ریزی متخصصان و دست اندرکاران تونل سازی جهان برای حضور در ایران باشد. خلاصه اطلاعات تونل های در حال اجرا و احداث شده کشور، به تفکیک کاربری آنها، در جدول ۱-۳ ارائه می شود.

فصل اول : کلیات

جدول ۳-۱ فهرست برخی از تونل های ایران

الف) انحراف، انتقال آب و نیروگاهی

عنوان	موقعیت جغرافیایی	طول	قطر تمام شده (عرض تقریبی)	روش حفاری	توضیحات
کوهرنگ ۲	چهار محال بختیاری	۲۸۱۷	۲/۸	مکانیزه، انفجار	بهره برداری
کوهرنگ ۳	چهار محال بختیاری	۲۳۳۹۰	۴/۲	مکانیزه، انفجار	اجرا
گاوشان	کردستان	۲۰۱۸۰	۴/۳	مکانیزه، انفجار	اجرا
چشمه لنگان	اصفهان	۱۳۷۶۵	۳/۲	مکانیزه، انفجار	اجرا
آبرسانی کرمان	کرمان	۶۳۵۰۰	۳	مکانیزه، انفجار	طراحی
انتقال آب دز به قمرود	لرستان - اصفهان مرکزی	۴۷۲۴۸	۳/۸	مکانیزه	اجرا
دشت عباس	ایلام	۶۰۹۷	۵/۵	مکانیزه، انفجار	بهره برداری
ماربران	چهار محال بختیاری	۱۰۳۶۰	۳	مکانیزه، انفجار	بهره برداری
سد کوثر	خوزستان	۷۴۹۳	۳/۸ = ۱۱	انفجاری	اجرا
آبرسانی قوچک	تهران	۵۱۵۱	۳/۷	مکانیزه، انفجاری	بهره برداری
عنوان	موقعیت جغرافیایی	طول	قطر تمام شده (عرض تقریبی)	روش حفاری	توضیحات
سد و نیروگاه کارون ۳	خوزستان	۱۳۲۲۰	۳/۵ - ۱۴۳	انفجاری	بهره برداری (۱۰۰۰ MW)
سد کرج به تهران	تهران	۲۸۹۸۰	۳/۹	مکانیزه	اجرا
نوسود	کرمانشاه	۴۹۰۰۰	۶	مکانیزه، انفجاری	طراحی
سولکان (پسته)	کرمان	۵۲۰۰۰	---	---	طراحی
لوابان	تهران	۶۳۵۰	۳/۶	مکانیزه، انفجاری	بهره برداری
سراب داریاب	لرستان	۱۱۰۰	---	---	بهره برداری
چشمه روزیه	سمنان	۳۳۰۰	۳/۲	---	اجرا
قشلاق	سندج	۵۰۰۰۰	---	---	اجرا
سبزکوه	چهار محال بختیاری	۸۴۰۰۰	---	---	طراحی
آبرسانی بوشهر	بوشهر	۱۱۰۰	۱/۸	انفجاری	طراحی
روانسر	کرمانشاه	۵۵۰۰۰	---	---	طراحی
سد نساء	کرمان	۱۲۴۶	۶	---	اجرا

ب) راه

عنوان	موقعیت جغرافیایی	طول	قطر تمام شده (عرض تقریبی)	روش حفاری	توضیحات
قطعه سوم محور سمیرم - یاسوج	یاسوج	۳۲۹۱	---	مکانیزه، انفجاری	بهره برداری
شماره ۵ امیرکبیر	تهران	۲۱۴۵	---	انفجاری	بهره برداری
سیرج (آزادی)	کرمان	۲۰۰۵	---	انفجاری	بهره برداری

فصل اول : کلیات

شماره ۴	کهرلویه و بویر احمد	۲۰۰۹	-----	مکانیزه، انفجاری	بهره برداری
تنگه میچان - تنگه سرخه	سیستان و بلوچستان	۲۳۴۳	-----	انفجاری	اجرا
امامزاده هاشم	تهران	۳۱۸۰	۱۱	مکانیزه، انفجاری	اجرا
رسالت	تهران	۱۰۰۰	۱۶۵	رودهدر، بیل مکانیکی	اجرا
تونل سرویس تالون	تهران	۶۰۰۰	۵	انفجاری	اجرا
آزاد راه تهران - رودهن	تهران	۱۵۵۰	۱۰/۸۵	انفجاری	اجرا
کل آزاد راه تهران - شمال	تهران - مازندران	۲×۴۰۰۰	-----	انفجاری، مکانیزه	اجرا
عنوان	موقعیت جغرافیایی	طول	قطر تمام شده (عرض تقریبی)	روش حفاری	توضیحات
تونل سرویس البرز (بخشی از آزاد راه)	تهران	۶۳۰۰	۵	مکانیزه	اجرا

(ب) راه آهن

عنوان	موقعیت جغرافیایی	طول	قطر تمام شده (عرض تقریبی)	روش حفاری	توضیحات
قطعه چهار (ب)	یزد - هرمزگان	۳۲۲۵	۱۰	-----	بهره برداری

(ب) قطار شهری

عنوان	موقعیت جغرافیایی	طول	قطر تمام شده (عرض تقریبی)	روش حفاری	توضیحات
قطار شهری شیراز	فارس	۲×۱۵۰۰۰	۶	مکانیزه	اجرا
خط تهران - کرج (خط ۵)	تهران	۲۴۹۹	-----	نیمه مکانیزه	بهره برداری
خط ۱ متروی تبریز	تبریز	۸۰۷۰	۶	مکانیزه	اجرا
خط ۳ متروی تهران	تهران	۲×۲۴۰۰۰	۸/۱۳	-----	طراحی
خط ۴ متروی تهران	تهران	۲×۱۹۰۰۰	۸/۱۳	-----	طراحی
خط ۲ متروی تهران	تهران	۳۴۰۰۰	۷/۶ - ۸/۱۵	ترانشه باز نیمه مکانیزه	بهره برداری
متروی اصفهان خط A شمالی، جنوبی	اصفهان	۱۲۵۰۰	۷ x ۷	کند و پوش، مکانیزه	اجرا
متروی مشهد	خراسان رضوی	۲×۹۰۰۰	۵/۱	کند و پوش	اجرا

(ث) جمع آوری آبهای سطحی

عنوان	موقعیت جغرافیایی	طول	قطر تمام شده (عرض تقریبی)	روش حفاری	توضیحات
رابط کریم	تهران	۱۲۰۰۰	۱/۶ - ۲/۴	مکانیزه، انفجاری	اجرا
خیام و خروچی	تهران	۲۸۷۰۰	۱/۸ - ۵/۶	مکانیزه، دستی	اجرا

۹-۱ روند مطالعات طراحی و اجرای حفريات زیرزمینی

برای ساخت حفريات زیرزمینی مراحل اصلی شناسایی، طراحی و اجرا بایستی انجام گیرد. شکل ۱-۱ این مراحل را به طور خلاصه نشان می‌دهد. هر کدام از جعبه‌های ذکر شده در شکل زیر دارای مراحل و مطالعات تفصیلی هستند که در مراجع آمده است.



شکل ۱-۳: مراحل طراحی حفريات زیرزمینی

مراجع فصل دوم

- 1) Excavation of Mine Openings, (1972), ONIKA, Translated from Russian by Victor Shifter, Mir Publisher.
- 2) Engineering and design Tunnels and Shafts in Rock, (1997), US Army, Washington.

(۳) جزوه درسی حفر چاه و تونل، دکتر کوروش شهریار

فصل دوم : ملاحظات زمین‌شناسی حفريات زیرزمینی

ملاحظات زمین‌شناسی حفريات زیرزمینی

ملاحظات زمین‌شناسی حفريات زیرزمینی

ملاحظات زمین‌شناسی حفريات زیرزمینی

ملاحظات زمین‌شناسی حفريات زیرزمینی

۱-۲- مقدمه

۲-۲- خواص سنگ‌ها و خاک‌ها

۳-۲- ناپیوستگی‌ها

۴-۲- هیدروژئولوژی

۵-۲- هجوم گازها به حفريات زیرزمینی

۶-۲- خراش درون زمین

۷-۲- تنش‌های زمین

۱-۲- مقدمه

زمین‌شناسی محل حفريات از عوامل اساسی در طراحی و اجرای حفريات زیرزمینی است. شناسایی زمین‌شناسی نه تنها در انتخاب محل حفر، روش حفر و نگهداری موثر است بلکه مخاطرات زمین‌شناسی را نیز مورد مطالعه قرار می‌دهد. از میان ساختارهای زمین‌شناسی، ساختارهای یکپارچه بیش از سازندهای توده‌ای برای حفريات زیرزمینی مناسب هستند. بطور کلی وجود ضعف ساختاری توده سنگ از قبیل درزها، گسل‌ها، لایه‌بندی و سایر انواع ناپیوستگی‌ها باعث ایجاد ناپایداری حفريات زیرزمینی می‌شوند. نمونه‌های فراوانی در دنیا وجود دارد که بدلیل مواجه با شرایط زمین‌شناسی مخاطره‌آمیز ادامه حفر متوقف شده یا به کندی حفر شده است. بعنوان مثال می‌توان به تونل راه‌کنده‌ای اشاره کرد که طرح تعریض آن بدلیل حفر در زمین‌های سست شده اطراف تونل کوچک بطور ۱/۹ کیلومتر حدود ۳۶ ماه به طول انجامید. برای طراحی و ساخت حفريات زیرزمینی شناسایی جنس مصالح زمین و شناسایی مخاطرات تهدیدکننده پایداری حفريات زیرزمینی مورد نیاز است. بدیهی است که نادیده گرفتن مخاطرات زمین‌شناسی و یا برعکس درشت نمایی آنها هر دو، پروژه را تهدید می‌کنند.

۲-۲- خواص سنگ‌ها و خاک‌ها

سنگ‌ها مواد طبیعی هستند که دارای ترکیب بسیار متغیری هستند. عمده سنگ‌ها از کانی‌های بلوری تشکیل شده‌اند. به جز بعضی سنگ‌ها مثل شیشه و توف که دارای کانی‌های بی‌شکل هستند.

سنگ‌ها بر حسب منشأ تشکیل به سه گروه آذرین، دگرگونی و رسوبی تقسیم می‌شوند. مشخصات سنگ‌ها روی خواص مهندسی سنگ‌ها تاثیر می‌گذارد. بویژه وقتی که کانی‌ها، تشکیل دهنده اصلی آن سنگ باشند. سیلیکات‌های انیدریدی (فلدسپار،

کوارتزیت، هورنبلند، الیوین) بطور قابل ملاحظه‌ای سخت‌تر و مقاوم‌تر از کانی‌های متحول هستند. مقاومت سنگ را افزایش می‌دهند. حفر و برش سنگ‌های سخت به مراتب مشکل است.

تعداد زیادی از کانی‌های نرم مثل میکا، کلسیت به سرعت تحت هوازدهی قرار گرفته و مقاومت آنها کاهش می‌یابد. کلیواژ کانی‌ها باعث ناهمسانگردی سنگ می‌شود. با این حال، از آنجائیکه هر کانی پهنانه‌ای کوچک است، هر ذره معمولاً اثر کمی روی خواص مکانیکی نمونه سنگ دارد. همچنین کانی‌شناسی سنگ، خواص مکانیکی و اندازه‌ی نمونه‌های لازم برای آزمایش‌ها را تحت تاثیر قرار می‌دهد.

سنگ‌های آذرین به سنگ‌های آذرین درونی و بیرونی تقسیم می‌شوند. سنگ‌های آذرین عمدتاً مقاومت بالایی دارند. حفاری در آنها مشکل است. حفاریات زیرزمینی حفر شده در سنگ‌های آذرین عمدتاً نیاز به نگهداری ندارند. سنگ‌های آذرین ریزدانه مقاوم بوده و در مقابل هوازدهی مقاوم هستند. ساختارهایی مثل دایک و سیل (sills) می‌توانند مسیری برای ورود آب به تونل باشند.

سنگ‌های آذرین خروجی شامل ریولیت و بازالت تا وسعت گسترش 1200 km^2 و ضخامت ۱۲۰۰ متر مشاهده شده است. سنگ‌های توف و پومیس از نوع آذرین خروجی می‌توانند دارای ضعف و خلل و فرج باشند و در مقابل هوازدهی بسیار ضعیف هستند.

سنگ‌های رسوبی به دو دسته: سنگ‌های بلوری (مثل نمک، ژئیس، انیدریت و سنگ آهک) و سنگ‌های آواری (کلاستیک) مثل مانه سنگ تقسیم می‌شود. سنگ‌های رسوبی در مقایسه با سنگ‌های آذرین و دگرگونی اصولاً مقاومت کمی دارند. سنگ‌های رسوبی برای حفاری با ماشین مناسبتر هستند ولی در صورت هوازدهی، شسته شدن و انحلال آب و وجود لایه‌های نازک رس، می‌توانند مسئله‌ساز باشند.

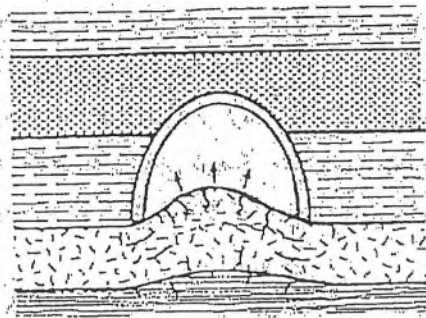
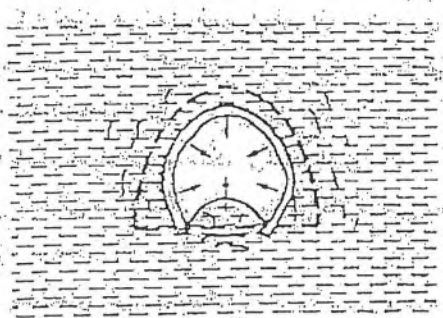
سنگ‌های دگرگونی در اثر فشار و حرارت بالا دوباره شکل بلوری جدیدی پیدا می‌کنند. سنگ‌های دگرگونی دارای تورق و شیستوزیته هستند. سنگ‌هایی مثل مرمر، کوارتزیت، هوزن فلس و مرمر دولومیتی اصولاً متورق و شیستوزیته نیستند و مقاومت بالایی دارند. وجود میکا باعث کاهش مقاومت سنگ‌ها می‌شود. سنگ‌های اسلیت، فیلیت و شیست میکادار پتانسیل زیادی برای هوازدهی دارند.

وجود کارستها یکی از نشانه‌های انحلال سنگ آهک در سنگ‌های کربناته است. وجود کارستها باعث ایجاد حفره‌ها و مغارهایی در سنگ‌های کربناته می‌شود که مجرای برای ورود آب می‌باشد و در سازه‌هایی مثل سد‌ها و تونل‌های انتقال آب وجود کارست بسیار مضر می‌باشد. کارستها در ایران نیز به وفور یافت می‌شود.

عواملی از قبیل هوازدهی، لپیدگی تورم یا آماس، زمین‌های روان شونده و آب‌های زیر زمینی نفوذی به حفاریات زیر زمینی، باعث ایجاد و تحریک خاک‌های سنگ‌های مسئله‌دار می‌شود.

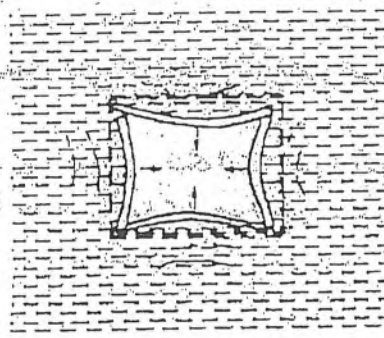
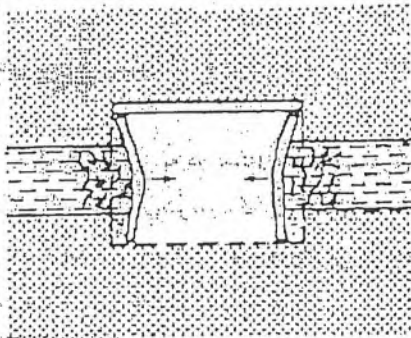
زمینهای مچاله شونده به مصالح سنگی ضعیف و پلاستیکی گفته می‌شود که تحت تاثیر تنش‌های وارده از طرف سنگ‌های درونگیر حفاریه بتدریج به داخل تغییر شکل می‌دهند و با طراحی سیستم نگهداری مناسب می‌توان از اثرات نامطلوب آن جلوگیری کرد. در اثر پدیده آماس، سنگ دیواره تونل بر اثر جذب یا دفع آب تغییر حجم می‌دهد و به داخل تونل حرکت می‌کنند.

سنگ‌های رس دار رفتار مچاله شونده و آماسی از خود نشان می‌دهند. در شکل ۱-۲ جنبه‌های مختلفی از رفتار زمینهای مچاله شونده و آماسی مرتبط با حفاریات زیر زمینی ارائه شده است. توپوگرافی و شرایط آب و هوایی نیز اغلب باعث هوازدهی سنگ‌های سطحی می‌شود. بنابراین جنس طبقات بالای تونل، اهمیت اساسی در پایداری و کنترل آب‌های زیرزمینی ورودی به تونل دارند.



الف) تورم کف تونل

ب) اعوجاج سیستم نگهداری در اثر تورم سنگ‌های درونگیر حفاریه



ج) تورم لایه مچاله شونده در دیواره تونل و تغییر شکل سیستم نگهداری

د) تغییر شکل سیستم نگهداری در حفاریات چهارگوش در اثر تورم سنگ‌های درونگیر تونل

شکل ۱-۲ رفتار زمین‌های مچاله شونده و آماسی مرتبط با حفاریات زیر زمینی

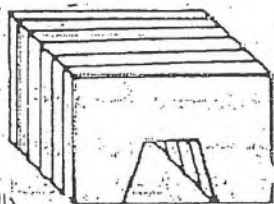
۳-۲- ناپیوستگی‌ها

یک ناپیوستگی بصورت یک شکست مکانیکی مشخص یا یک گسیختگی بدون مقاومت کشتی در سنگ تعریف می‌شود. ناپیوستگی‌ها ممکن است بطور طبیعی یا مصنوعی ایجاد شده باشد. مهم‌ترین انواع ناپیوستگی‌ها عبارتند از: گسل‌ها، درزها، لایه بندی، کیلواژ، شکستگی و سایر عوارض.

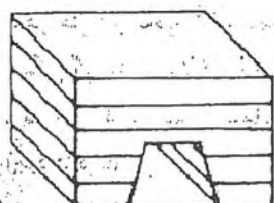
ناپیوستگی‌ها در تمام توده‌های سنگی وجود دارد. ناپیوستگی‌ها توسط فعالیت‌های زمین‌شناسی بوجود می‌آید. توده سنگ‌ها و مولفه‌های آلیاژی ناپیوستگی‌ها را می‌توان با استفاده از برداشت رخنمون‌ها یا حفاری و مغزه‌گیری یا از فتوگرامتری منطقه‌ای بدست آورد.

وجود ناپیوستگی‌ها مقاومت توده سنگ را کاهش می‌دهد. تا حدی که توده سنگ‌های با شدت درزداري زیاد خاک، محسوب می‌شود. از طرف دیگر سنگ‌های توده‌ای محکم بوده و مانند یک سنگ بکر عمل می‌کند. ناپیوستگی دارای یک سطح است که طرز قرار گرفتن این سطح نسبت به محور تونل حائز اهمیت است. اگر صفحه ناپیوستگی عمود بر جهت طولی تونل باشد، تونل از آن زود عبور می‌کند. در حالیکه ناپیوستگی صفحه‌ای به موازات محور تونل باشد، همواره همراه تونل می‌آید و می‌تواند ناپایداری ایجاد کند. اگر گسل‌ها در منطقه وسیعی شکستگی ایجاد کرده باشند، در آن صورت حفاری در سنگ‌های شکسته شده و سخت انجام می‌گیرد و احتمالاً محل کار آبدار و کار دشوار خواهد بود. شکل ۲-۲ ارتباط بین ساختارهای زمین‌شناسی را با پایداری تونل نشان می‌دهد.

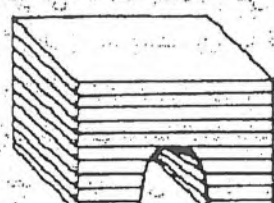
الف. در حالتی که محور تونل عمود بر مقطع لایه بندی است، هر لایه به صورت تیری با دهانه‌ای برابر یا عرض مقطع تونل عمل می‌کند از این حالت بهترین پایداری را می‌توان انتظار داشت.



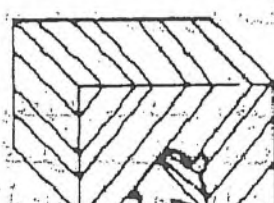
ب. لایه‌های افقی یا منتهای مناسب عملکردی نیه به یک تیر شاد داشته و می‌توانند در دهانه‌های کوچک بخوبی پایدار باشند.



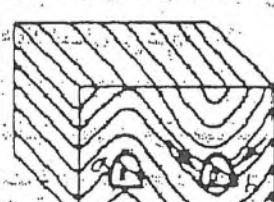
ج. فضا‌های زیرزمینی بزرگتر، مخصوصاً اگر لایه‌ها کم ضخامت و درزه دار باشند نمی‌توانند توسط عملکرد فوق کاملاً پایدار باشند. در چنین مواردی سقف نوبسی تا حدی چاره ساز است.



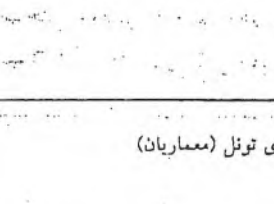
د. لایه‌ها پیرامون تونل و محور تونل به موازات امتداد لایه‌هاست. در این حالت کارائی عمل قوسی محدود است. لایه‌های شیب‌دار در اینجا فشاری نامتوازن بر پوشش وارد کرده و احتمال ریزش را بیشتر می‌کنند. مثله زمانی پیچیده‌تر می‌شود که سنگ درزه دار بوده و آب زیرزمینی مزاحم نیز وجود داشته باشد. چاره کار در اینجا طراحی استحکامات داخلی مناسب برای تونل است.



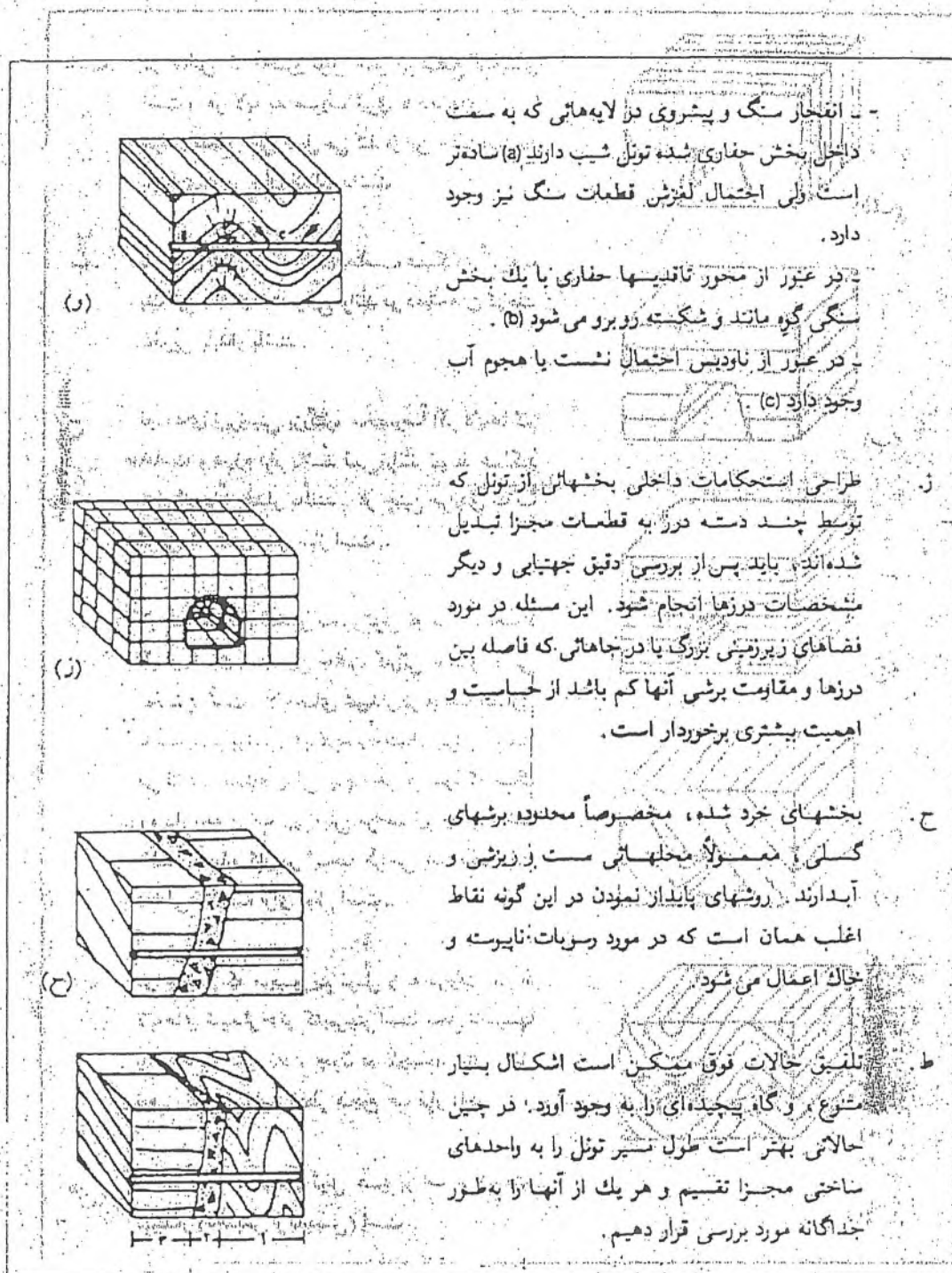
ه. در حالتی که محور تونل را به موازات امتداد لایه‌های شیب‌دار حفر کنیم بهتر است محل تاندیسها را انتخاب کنیم (ه). چون در ناودیسها (ب)، تونل تحت تنش بیشتر و خطر هجوم آب قرار دارد.



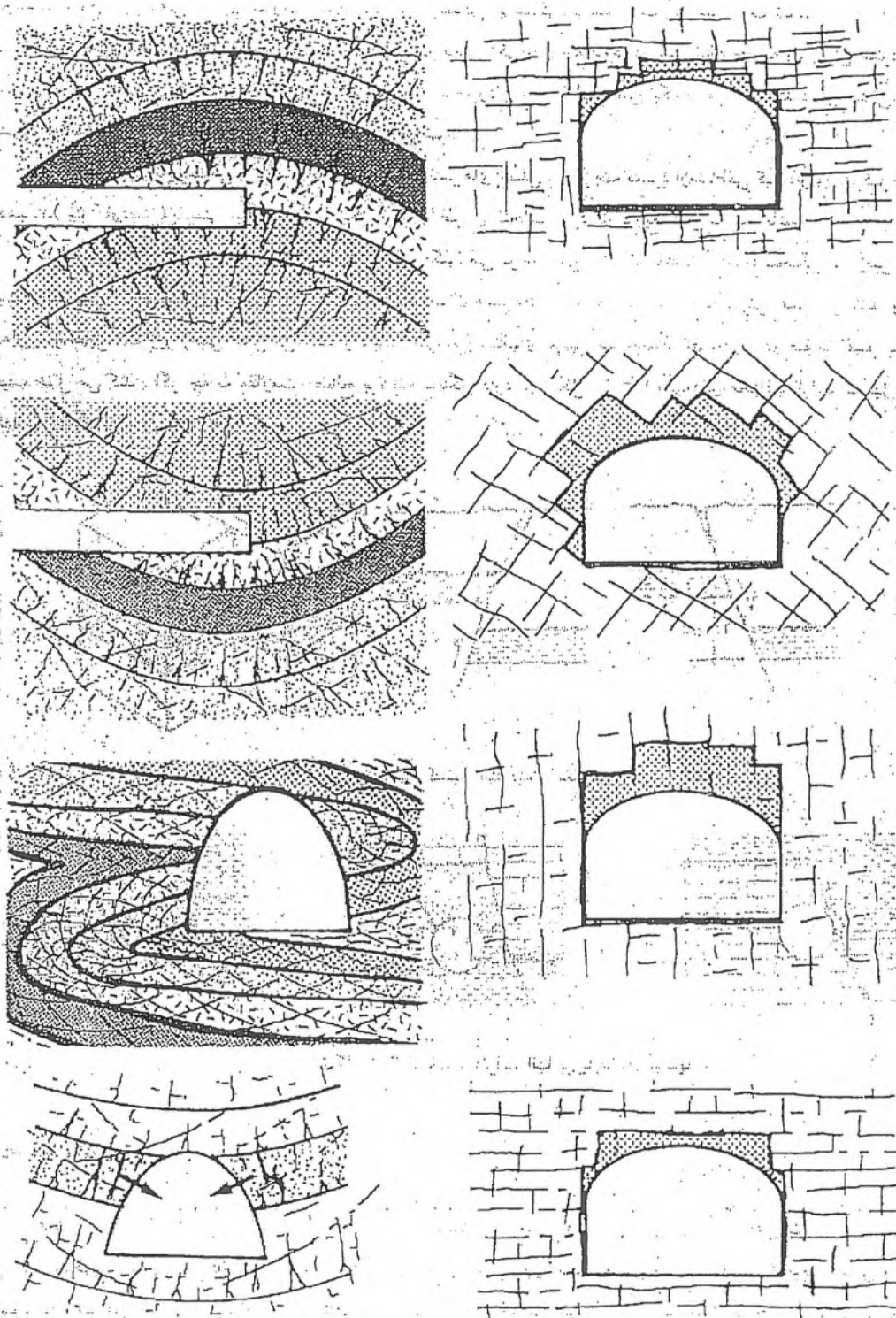
و. در شرایطی که محور تونل عمود بر امتداد لایه‌های شیب‌دار (ناقدیس و ناودیس) است:



شکل ۲-۲ رابطه ساخت زمین‌شناسی با پایداری تونل (معماریان)

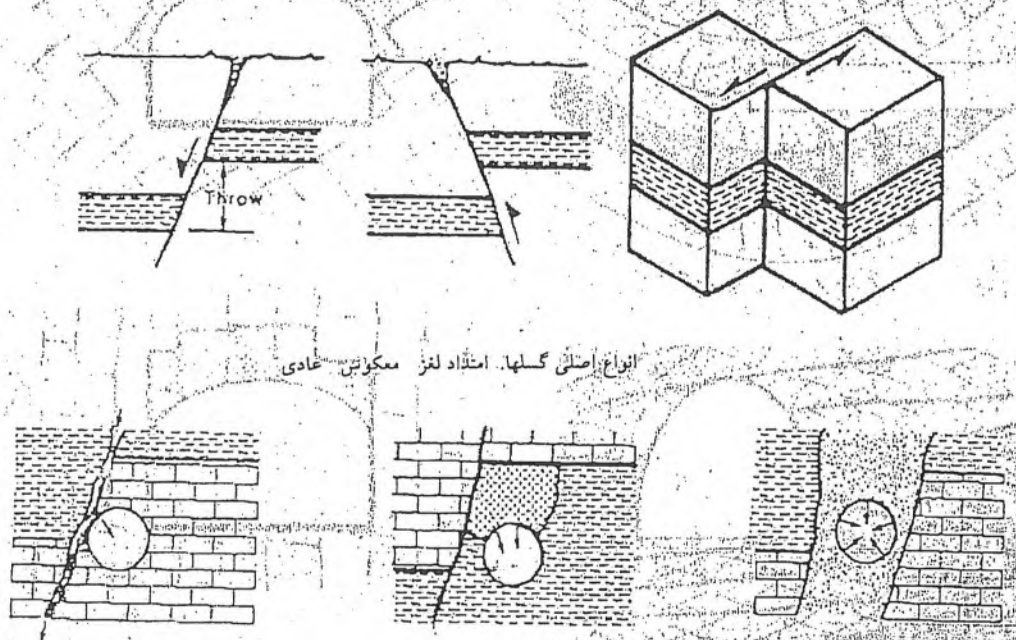


دنباله شکل ۲-۲ رابطه ساخت زمین‌شناسی با پایداری تونل



دنباله شکل ۲-۲. رابطه ساخت زمین‌شناسی با پایداری تونل

سنگ یکپارچه و محکم همه جا وجود ندارد اما توده سنگ در مقیاس بزرگ برای حفاریات زیرزمینی عمدتاً شامل ناپیوستگی‌ها است. بنابراین بهتر است مشخصات دقیق ناپیوستگی‌ها از قبیل جهت یابی، فراوانی، تدارم، فاصله بین سطوح و همچنین مشخصات سطح ناپیوستگی از قبیل مقاومت سنگ دیواره، بازشدگی، پرشدگی، نشست آب زیرزمینی ثبت شود. در طراحی حفاریات زیرزمینی بایستی به جهات اصلی ناپیوستگی‌ها توجه شود. در صورتیکه جفره زیرزمینی عمود بر جهت لایه‌بندی و ناپیوستگی‌ها حفر شود، تزلزل از بیشترین پایداری برخوردار است. اما در صورتیکه به موازات امتداد ناپیوستگی‌ها حفر شد یا نسبت به آنها مائل باشد، از میزان پایداری تونل کاسته می‌شود. علاوه بر جهت ناپیوستگی‌ها بایستی به امتداد جهت تنش‌های اصلی نیز توجه نمود از مناطقی که دارای تمرکز تنش‌های زیاد هستند (مثل ناودیس) بایستی پرهیز نمود یا شکل تونل را ظوری انتخاب نمود که توزیع تنش متناسب باشد. گسلها در اثر عوامل مختلفی از قبیل تاثیر تنشهای تکنیکی بوجود می‌آیند که باعث ایجاد گسیختگی در زمین می‌شود. گسلها تاثیر منفی در تونلسازی دارند. بعنوان مثال گسلها بعنوان مسیرهای برای ورود آبهای زیر زمینی عمل می‌کنند و یا بعنوان سدھائی در مقابل آب زیر زمینی عمل می‌کنند و باعث دگرسانی سنگهای مسیر آب هستند فاصله بین دو صفحه گسل بعنوان نقاط ضعیف عمل می‌کند. اگر چه به مقاومت مصالح پرکننده بستگی دارد در شکل ۲-۳ جنبه‌های مختلف اثرات گسلها بر پایداری تونلها بیان شده است. (شکل ۲-۳)



شکل ۲-۳ گسلها و اثرات آنها بر پایداری تونلها

۲-۴- هیدروژئولوژی

عمده حفاریات زیرزمینی در تماس با آبهای زیرزمینی هستند. ورود آب‌های زیرزمینی به داخل حفاریات زیرزمینی با توجه به نوع زمین‌سنگی، یا خنثی یا مشکلاتی بوجود می‌آورد در زمین‌های خاکی ورود آب باعث کاهش مقاومت مکانیکی زمین و ناپایداری می‌شود. در زمین‌های سنگی ورود آب باعث کاهش سرعت کار و مشکلات اجرایی حفر تونل می‌شود. جریان آبهای زیرزمینی بدخل حفاریات زیرزمینی در طول مدت اجرا بایستی با یکارگیری تمهیداتی از قبیل آب‌بندی یا زهکش کنترل گردد. در صورتیکه آب بصورت

فصل دوم: ملاحظات زمین‌شناسی حفريات زیرزمینی

غير منتظره‌ای به داخل حفريات زیرزمینی جریان یابد ممکن است باعث ایجاد حفريات و ششوری آنها شده و باعث ورود توده سنگ و خاک به داخل تونل شده و اثرات زیانباری روی اجرای تونل داشته باشد. بنابراین پیش‌بینی و کنترل آبهای زیرزمینی به داخل حفريات زیرزمینی از اهمیت اساسی برخوردار است.

قابل ذکر است که با توجه به اثرات مختلف آب روی سنگ‌ها که امکان انحلال سنگ‌ها توسط آب وجود دارد بایستی قبل از حفر فضاهای زیرزمینی مطالعه و بررسی لازم انجام شود. پس تعیین نوع آب از این نظر حائز اهمیت است که زیرا ممکن است آبهای زیر زمینی حالت خوردندگی داشته باشند، که به وسایل نگهداری و بتن جدازه آسیب برسانند. شدت خوردندگی آبهای زیر زمینی به عواملی مانند درجه حرارت، غلظت محلول، نوع مواد حل شده بستگی دارد اگر pH آب زیر زمینی کوچکتر از ۷.۵ باشد، می‌توان آن آب را در حفر تونل مضر تلقی کرد. به علاوه، انجماد زمین اطراف حفریه، انجماد زمین اطراف حفریه و آب‌بندی و زهکشی باید بررسی و بطور مناسب مورد استفاده قرار گیرد.

۲-۵- هجوم گازها به حفريات زیرزمینی

ورود گازهای طبیعی به حفريات زیرزمینی بارها مشاهده شده است که عمدتاً مشکلاتی در اجرا و استفاده از تونل بوجود آورده است. ورود گازها به تونل عمدتاً منجر به تلفات انسانی شده است. گازها عمدتاً در نواحی غیر قابل انتظار وجود داشته که شناسایی آنها نیز مشکل می‌باشد. بنابراین خطر ناشی از هجوم گاز به حفريات زیرزمینی بایستی در نظر گرفته شود و تمهیدات لازم برای مقابله با هجوم گازها در نظر گرفته شود.

در طراحی حفريات زیرزمینی می‌توان مسیر حفریه را به بخش‌هایی با گازخیزی زیاد، متوسط یا بدون گازخیزی تقسیم‌بندی کرد. با مطالعه حفريات در زمین‌های مشابه، تفسیر واحدهای زمین‌شناسی و آبریزش‌شناسی، اندازه‌گیری محتوای گاز در گمانه‌های اکتشافی و روش‌های ژئوفیزیکی می‌توان به وجود گازها در منطقه پی برد و تمهیدات مناسب را اتخاذ نمود.

گازهای داخل زمین به سه دسته مضر، خیلی مضر و خطرناک تقسیم می‌شود. از جمله گازهای مضر می‌توان گاز CO_2 و از جمله گازهای خیلی مضر می‌توان گاز سمی H_2S و از جمله گازهای خطرناک می‌توان گاز CH_4 را نام برد. اگر غلظت گاز متان ۴٪ الی ۱۴٪ باشد، جرقه کوچکی می‌توان آنرا منفجر کند و انفجار آن نفقات را آنرا می‌کشد. اوج شدت انفجار در غلظت ۹/۶٪ است اگر غلظت این گاز بیشتر از ۱۴٪ شود منفجر نمی‌شود ولی در اثر تخلیه سریع و رقیق شدن آن خطر انفجار پیش می‌آید. در

حفر تونل ممکن است، گازهای مختلف از طبقات زمین وارد حفریه شود که اهم آنها عبارتند از: گاز CO_2 که سمی است، گاز CO که بسیار سمی است، گاز CH_4 که قابل انفجار است و گازهای H_2S ، NO ، NO_2 که بسیار سمی هستند.

گازهای معمول عبارتند از: متان، سولفید هیدروژن، دی اکسید گوگرد و... که در اجرای حفريات زیرزمینی بایستی به مقدار مجاز آنها توجه نمود. بعنوان نمونه وجود گاز متان در تونل‌های معادن، زغال، انتقال آب، فاضلاب، به کرات به ثبت رسیده است. مقدار جریان گاز به داخل این حفريات از ۲ تا ۲۵ لیتر بر ثانیه با حداکثر ۲۰۰ لیتر بر ثانیه به ثبت رسیده است. گاز متان در نسبت‌های ۵ الی ۱۵ درصد قابل اشتعال بوده و مقدار مجاز آن ۰/۲۵ درصد است و محتوای متان بالای یک درصد غیرمجاز است. گاز سولفید هیدروژن نیز در نسبت‌های ۴/۳ تا ۴۵/۵ درصد قابل اشتعال بوده و در تماس با هوا منفجر می‌شود. گاز دی اکسید گوگرد از سولفورها و سولفیدها در رسوبات هیدروترمال تولید می‌شود و حد مجاز آن ۲ ppm می‌باشد. علاوه بر گازهای فوق هیدروژن نیز اغلب در تشکیلات هیدروکربنی وجود دارد و قابل اشتعال است. گاز رادون از تلاشی شدن محصولات اورانیم تولید می‌شود. تولید گاز رادون بخاطر دارا بودن ذرات آلفا خطرناک است.

گازهای ورودی به تونل و گازهای تولید شده در هنگام حفر تونل (در اثر جالزنی و انفجار) بایستی توسط تهویه از حفریه خارج شوند.

۲-۶- حرارت درون زمینی

گرمای زمین معمولاً در اثر افزایش عمق و نزدیکی به توده‌های آذرین نفوذی و آبهای گرم افزایش می‌یابد. معمولاً به ازای هر ۳۰ متر افزایش عمق، یک درجه سانتیگراد حرارت افزوده می‌شود. در بعضی مناطق کوهستانی، تغییر دوجه حرارت سریع‌تر است. در این مناطق از برخورد با آبهای تحت فشار سوزان بایستی ایمن بود. حرارت زمین در عمق ۲۵ الی ۳۰ متری زمین تقریباً یکسان بوده و بدون تاثیر از تغییرات دمای جو است. بدین لحاظ نیروگاههای حرارتی را در زیر زمین احداث می‌کنند، چون در این حالت اتلاف حرارت کمتر است.

۲-۷- تنشهای زمین

تنشهای زمین در اثر عوامل مختلفی مثل تنش ثقلی، تنش تکتونیکی، تنش ناشی از توپوگرافی و تنشهای باقیمانده ایجاد می‌شود. در اغلب اوقات فرض بر این است که تنش قائم در جهت تنش اصلی حداکثر است و تنش اصلی حداقل در جهت افق می‌باشد. این فرض در مناطقی چون خورده و زلزله خیز صادق نمی‌باشد زیرا در این مناطق تنش اصلی حداکثر، بیشتر مواقع در جهت افق قرار می‌گیرد. در موردیکه تونل از میان ناودیس یا طاقدیس عبور می‌کند، احتمال اینکه تنش اصلی در جهت افق یا نزدیک به آن باشد، بیشتر است. در طرح تونل به غیر از تعیین مقدار و جهت تنش که از طریق آزمایش صحرایی و آزمایشگاهی مشخص می‌شود، احتمال تغییر جهت تنشهای اصلی، با توجه به شرایط تکتونیکی، مورد مطالعه قرار می‌گیرد. در حفاریات عمیق که در سنگهای سخت و صلب ایجاد می‌شود تنش در سنگهای درونگیر جفریه متمرکز شده و شرایط بروز انفجار سنگ (ترکش) را بوجود می‌آورد که در اثر آزاد سازی سریع تنش در سنگهای صلب دیواره تونل است.

مراجع فصل دوم

- 1) Excavation of Mine Openings, (1972), ONIKA, Translated from Russian by Victor Shifter, Mir-Publisher.
- 2) Engineering and design Tunnels and Shafts in Rock, (1997), US Army, Washington.
- 3) Engineering geology and construction, (2004), Bell F.G., Spon Press.
- 4) Tunneling- Design Stability and Construction, (1990), Whittaker, The Institute of Mining and Metallurgy (IMM).

۵) زمین‌شناسی مهندسی و ژئوتکنیک (۱۳۷۴)، حسین معماریان، انتشارات دانشگاه تهران

۶) جزوه درسی حفر چاه و تونل، دکتر کوروش شهریار

۷) جزوه درسی حفر چاه و تونل، (۱۳۷۵) مهندس مهدی یابوری

فصل سوم: بررسی های ژئو تکنیکی لازم برای طراحی حفريات

زیرزمینی

۱-۳- مقدمه

۳-۲- بررسی های مدارک موجود

۳-۳- مطالعه عکس های هوایی

۳-۴- بررسی های زمین شناسی-مقدما

۳-۵- مطالعات و بررسی های ژئوفیزیکی

۳-۶- بررسی های هیدروژئولوژی

۳-۷- بررسی های ژئوتکنیکی

۳-۸- حفاری اکتشافی (گمانه زنی- نمونه برداری)

۳-۹- تعیین نفوذ پذیری و شرایط آب زیر زمینی

۳-۱۰- آزمایش های برجا

۳-۱۱- تونل راهپا

۳-۱۲- آزمایش های مکانیکی آزمایشگاهی

۳-۱۳- مدل آزمایشگاهی

۳-۱۴- عملیات شناسایی حین اجرا (مرحله ساختمان)

۳-۱۵- جمع بندی و نتیجه گیری

۱-۳- مقدمه

حفريات فضاهای زیرزمینی با ابعاد بزرگ در اعماق زیاد، یا حفر آنها در زمین های نامناسب، ضرورت شناسایی هر چه کاملتر شرایط زمین را روشن می سازد. تجربه نشان داده است که در هر جا اینگونه بررسی ها نادیده گرفته شده یا بطور صحیح انجام نگرفته است، عواقب ناگوار و یا طولانی شدن زمان اجرای پروژه و افزایش هزینه آنها به دنبال داشته است.

یک سری از عوامل و مخاطرات زمین شناسی موثر در پایداری حفريات زیرزمینی در فصل قبل ارائه گردید اما شناخت کلیه عوامل موثر در احداث حفريات زیرزمینی نیاز به شناسایی های سطحی و زیر سطحی و همچنین آزمایش های برجا و آزمایشگاهی دارد.

شناسایی های لازم برای طراحی حفريات زیرزمینی از مطالعه سابقه طرح های مشابه یا طرح های انجام شده در نزدیک محل مورد نظر شروع شده و با بررسی عکس های هوایی، بازدیدهای صحرایی، مطالعات ژئوفیزیکی، گمانه زنی و نمونه برداری، آزمایش های برجا، آزمایش های آزمایشگاهی و تحلیل و تفسیر اطلاعات انجام می گردد. براساس اطلاعات حاصل طراحی صورت می گیرد.

بررسی های انجام شده به دو گروه کلی تقسیم بندی می شوند:

الف - بررسی های دفتری ب - بررسی های صحرایی (برجا)

الف - بررسی های دفتری

بررسی های دفتری شامل موارد زیر می گردد

۳-۲- بررسی مدارک موجود:

اولین قدم در مطالعات مسیر تونل، جمع آوری اطلاعات و مدارک موجود است. اطلاعات اولیه ممکن است از طریق مطالعه عکس های توپوگرافی، زمین شناسی و هوایی منطقه بدست آید. اطلاعات مفصل تری ممکن است از مطالعه، بررسی ها و شناسایی های قبلی انجام شده در منطقه بمنظور احداث پروژه های دیگر یا از طریق پایگاه های اطلاعاتی بدست آید. بر طبق تجربه مولف در چند سال گذشته سازمان ها و مراکز دولتی و خصوصی متعددی اقدام به جمع آوری کلیه مطالعات انجام شده در کشور و ایجاد پایگاه های اطلاعاتی کرده اند از آن جمله می توان به مرکز تحقیقات مسکن و سازمان زمین شناسی نام برد با مراجعه به این مراکز می توان اطلاعات جمع آوری شده در محدوده مسیر تونل را تهیه کرد. با جمع آوری کلیه اطلاعات موجود می توان دیدهای اولیه از منطقه مورد مطالعه بدست آورد و برنامه برداشت های صحرایی را براساس اطلاعات بدست آمده طرح ریزی کرد. مثلاً در منطقه ای قبلاً معدنی شناسایی شده است و اکنون می خواهیم در نزدیکی آن به بررسی معدن جدیدی بپردازیم که برای این منظور از مدارک شناسایی شده در معدن اول استفاده می کنیم و این کار را با

- ۱- مطالعه مطالب و اطلاعات منتشر شده یا منتشر نشده در مورد منطقه پروژه
 - ۲- مطالعه تاریخچه عمومی منطقه محلی که قرار است تونل در آن احداث شود
 - ۳- بررسی کلی کارهای ساختمانی و طراحی مهم قبلی مرتبط با محل، انجام می دهیم
- نتایج بررسی های زمین شناسی به صورت نیمرخ های طولی و عرضی ارائه می شود. تلفیق این نقشه ها ساختار کلی مسیر تونل را نشان می دهد.

۳-۳- بررسی عکس های هوایی :

عکس های هوایی منطقه مورد مطالعه با مقیاس های مختلف ($\frac{1}{20000}$ و $\frac{1}{5000}$) مختلف از سازمان های جغرافیائی ارتش قابل تهیه است. اطلاعات زیر از عکس های هوایی بدست می آید:

- ۱- عکس های هوایی یک دید کلی از منطقه پروژه به دست می دهد
 - ۲- با عکس های هوایی عوارض زمینی ریخت شناسی منطقه بررسی می شود
 - ۳- شناسایی عوارضی نظیر توپوگرافی، آرایش آبزاهه ها، پوشش گیاهی، کاربری زمین و منابع بالقوه مصالح ساختمانی
 - ۴- زوج عکس های هوایی (که امکان دید سه بعدی را فراهم می آورند) سودمند هستند
 - ۵- دیواره های شیب دار توپوگرافیکی (پرتگاهها) را می توان شناسایی کرد
 - ۶- عوارض دیگری مانند زمین لغزش، گسل های اصلی، تاقدیس، ناودیس و ساختارهای گنبدی شناسایی می شود
 - ۷- عکسبرداری مادون قرمز قادر به شناساندن میر آب و چشمه ها می باشد
 - ۸- برداشت با رادار (رادار اسکیننگ) می تواند باعث شناسایی عوارضی از سطح زمین که به دلیل شرایط جوی و آب و هوایی امکان شناسایی آن با سایر روش ها میسر نشده است، گردد
- بررسی های دفتری بدون مطالعات صحرایی امکان پذیر است و با استفاده از بررسی های دفتری دید کلی نسبت به منطقه به دست می آید تا الگوی مطالعات صحرایی بر اساس مطالعات دفتری طرح ریزی شود.

ب - بررسی های صحرایی (برجا)

بررسی های صحرایی شامل موارد زیر می گردد:

۳-۴- بررسی های زمین شناسی مقدماتی

زمین شناسی نقش عمده ای در بسیاری از تصمیم گیری های اصلی برای طراحی تونل دارد. شرایط زمین از نقطه ای به نقطه دیگر (در مسیر تونل) تغییر می کند. و شناسایی های دقیق زمین شناسی می تواند مبنای صحیحی برای طراحی اقتصادی مسیر تونل باشد.

نقشه های زمین شناسی با مقیاس های $\frac{1}{250,000}$ و $\frac{1}{100,000}$ از سازمان زمین شناسی کشور قابل تهیه است که می تواند بعنوان نقشه

پایه استفاده شده و از روی آن و برداشت های صحرایی نقشه های بزرگ مقیاس ($\frac{1}{100,000}$ ، $\frac{1}{50,000}$ ، $\frac{1}{10,000}$) تهیه می شود. برداشت های زمین شناسی علاوه بر مسیر تونل محدوده تاثیر اطراف تونل را نیز بایستی در بر گیرد.

بررسی های زمین شناسی معمولاً توسط یک یا تلفیقی از روش های زیر صورت می گیرد: گردآوری اطلاعات موجود پرس و جوهای محلی، استفاده از عکس های هوایی، نقشه ها و ...

اولین سوالی که معمولاً در مورد بررسی های زمین شناسی مطرح می شود، مقدار هزینه ای که باید به آن اختصاص داد. خوشبختانه این بررسی ها، بسیار کم خرج اند. تجربه نشان داده که شناسایی دقیق زمین می تواند درصد برخورد به پیشامدهای احتمالی را کاهش دهد و در مقابل عدم توجه به آن، عواقب ناخواسته ای را به دنبال دارد.

گردآوری اطلاعات از نقشه ها و مدارک قبلی و برداشت عوارض زمین شناسی شامل مواردی از قبیل، چین خوردگی ها، گسل ها، ناپیوستگی ها و سطح و جنس لایه ها و توجه به سنگ های حساس و انحرافی می باشد. در این مرحله نقشه را با مطالعات زمین مطابقت داده و نقشه را تصحیح می کنیم که به این مرحله، تصدیق نقشه می گویند. نتیجه نهایی بررسی های سطحی، تهیه نقشه زمین شناسی مهندسی است که نقشه ای جدید با مقیاس بزرگ تر به دست می آید. چون در این مرحله شناسایی سطحی است می توان ویژگی ها را به صورت سطحی برداشت کرد که اطلاعات ساختاری از مورفولوژی و نوع سنگ به دست می آید. به طور کلی این مرحله شامل سه مورد زیر می شود:

۱- نقشه برداری سطحی زمین شناسی

۲- آنچه از بررسی نواشجات و مطالعه عکس های هوایی به دست آمده است، در این مرحله مدنظر باشد.

۳- ساختمان سازندها و ویژگی های ساختاری، انواع سنگ ها و جنبه های زمین ریخت شناسی و هوازدگی بررسی کلی شوند.

۳-۵- مطالعات و بررسی های ژئو فیزیکی :

این روش از بررسی های صحرایی سطحی، ارزان تر است و برای به دست آوردن اطلاعات از درون زمین انجام می گیرد.

۱- این بررسی های مزایایی از جمله غیر مخرب بودن، سرعت نسبی و به طور کلی هزینه تمام شده پایین، دارد با این وجود دقت آنها کم است

۲- ویژگی و مزیت خاص روش های ژئوفیزیکی تعیین محل ناهنجاری هایی است که مستلزم شناسایی و بررسی های تفصیلی با روش های مستقیم می باشد.

۳- روش ها شامل لرزه ای انعکاسی و انکساری، الکتریکی مقاومت شنجی، ثقلی و مغناطیسی است.

۴- کاربردهای مطالعات لرزه ای عبارت است از:

الف) شناسایی نوع مصالح و مواد

فصل سوم: بررسی‌های ژئوتکنیکی لازم برای طراحی حفاریات زیرزمینی

- (ب) تعیین محل ناهنجاری‌های زمین‌شناسی مانند دره‌های مدفون، مناطق برشی و مناطق هوازده.
- (ج) تعیین محل افق‌های شکسته شده.
- (د) کمک در انتخاب محل گمانه حفاری.
- ۵- روش‌های ژئوفیزیکی درون گمانه‌ای یا چاه‌پیمایی شامل چگالی‌سنجی (نوترونی)، تعیین سرعت امواج صوتی و لرزه‌ای، روش‌های گاما-گاما و مقاومت الکتریکی. این روش‌ها در مطالعه لایه‌بندی، ساختارهای زمین‌شناسی، نوع سنگ‌ها و احتمال وجود حفرات و کارهای قدیمی معینی بسیار مفید هستند. دوربین‌های درون گمانه‌ای در تکمیل مطالعات ژئوفیزیکی درون گمانه‌ای در موارد خاص نتایج مفیدی به دست داده‌اند.

۳-۶- بررسی‌های هیدروژئولوژی:

شامل گردآوری مدارک و منابع موجود، تعیین محل چشمه‌ها و چاه‌ها، برداشت مناطق نفوذ آب زیرزمینی، اندازه‌گیری میزان دبی چشمه‌ها و چاه‌ها، نصب پیزومتر در چاه‌های گمانه‌ای و اندازه‌گیری تغییر سطح سفره‌های آب زیرزمینی می‌شود.

۳-۷- مطالعات ژئوتکنیکی:

هدف از این بررسی‌ها، بدست آوردن مشخصات ژئوتکنیکی زمین از قبیل تهیه مدارک و مطالعات در زمین‌های خاکی و سنگی به منظور تعیین وضعیت نهایی مصالح و آب زیرزمینی در زیر و اطراف سازه است.

در مرحله اجرای ساختمان، مطالعات ژئوتکنیکی با برداشت‌های تفصیلی و ابزاربندی و رفتارسنجی ادامه می‌یابد. در این قسمت به بررسی مطالعات لازم برای شناسایی ژئوتکنیکی می‌پردازیم. در جدول ۳-۱ قسمت‌های اصلی یک برنامه شناسایی برای پروژه‌های تونلسازی تشریح شده است. میزان شناسایی‌های ژئوتکنیکی به اهمیت حفاری بستگی دارد. جدول ۳-۲ تقسیم‌بندی حفاریات زیرزمینی را بر حسب اهمیت پایداری آنها نشان می‌دهد. بر طبق یکی از طبقه‌بندی‌های ژئوتکنیکی موجود، فضاهای زیرزمینی به شش گروه A تا F تقسیم می‌شوند که بر حسب اهمیت پایداری آنها که در جدول آمده است، از بالا به پایین نیاز به پایداری فضاهای زیرزمینی بیشتر می‌شود. بدیهی است که میزان مطالعات ژئوتکنیک نیز به اهمیت حفاری بستگی دارد.

مراحل مختلف بررسی‌ها و عملیات اجرایی	هدف‌های مورد نظر	وسایل و امکانات شناسایی
بررسی میدانه راه‌نما، پایه و گزینه‌های احتمالی. شناسایی‌های زمین‌شناسی و آبهای زیرزمینی. ژئوتکنیکی محل بررسی اجمالی بنا بررسی‌های اولیه و بیش‌ترج - مقدماتی	انتخاب بهترین ساختگاه یا مسیر تشریح طرح‌های مقدماتی زمین‌شناسی شناسایی کلی سفره‌های آبد شناسایی کلی زمینهای سیر نوع مشکلات بالقوه و تشریح وسایل عمده بررسی‌های اولیه سر تونل‌ها و ورودی‌ها تعریف مقدماتی روش‌های اجرای قابل به کارگیری تخمین هزینه‌ها	بررسی داده‌های موجود بررسی حالات مشابه احتمالی برداشت‌های زمین‌شناسی سطحی مقدماتی، مگر برای مشکلات عمده بررسی مقدماتی آبهای زیرزمینی اجرای تعدادی گمانه در صورت لزوم برداشت زمین‌شناسی بتدریج بررسی مفصل آبهای زیرزمینی ردیابی از دور ژئوفیزیکی گمانه‌زنی یا مغزه‌گیری