



دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی

نقشه برداری زیر زمینی

تألیف:

مهندس میر احمد میر قاسمپور

عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت مدرس شهید رجایی

مهندس علی صنعتی

عنوان و نام پدید آور	:	نقشه برداری زیرزمینی / تألیف میراحمد میرقاسمپور، علی صنعتی
مشخصات نشر	:	تهران؛ دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، ۱۳۹۰.
مشخصات ظاهری	:	خ. ۲۲۰ ص: مصور (بخشی رنگی)، نمودار.
شابک	:	۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۲۲-۴
وضعیت فهرست نویسی	:	فیبا.
موضوع	:	تونل‌ها - نقشه برداری
موضوع	:	تونل‌ها - ایران - نقشه برداری
موضوع	:	معدن و ذخایر معدنی - نقشه برداری
موضوع	:	معدن و ذخایر معدنی - ایران - نقشه برداری
شناسه افزوده	:	صنعتی، علی، ۱۳۶۶-
شناسه افزوده	:	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی.
رده بندی کنگره	:	AT ۸۰۵ / م۹ ۱۳۹۲
رده بندی دیویی	:	۶۲۴/۹۳
شماره کتابشناسی ملی	:	۳۱۷۱۵۳۹



عنوان	:	نقشه برداری زیرزمینی
تألیف	:	مهندس میراحمد میرقاسمپور، عضو هیئت علمی دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی، مهندس علی صنعتی
ویراستار	:	عباس مرادی
چاپ اول	:	زمستان ۱۳۹۲
چاپ دوم	:	پاییز ۱۳۹۴
انتشارات	:	دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی
لیتوگرافی	:	نگین سبز
چاپ	:	برهان
طراح جلد	:	مهندس میراحمد میرقاسمپور، مهندس علی صنعتی
ناظر چاپ	:	محمد معتمدی نژاد
کارشناس و صفحه آرا	:	نیره فیروزی
شمارگان	:	۵۰۰ جلد
قیمت	:	۱۲,۰۰۰ تومان
شابک	:	ISBN: ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۲۲-۴ ۹۷۸-۶۰۰-۶۵۹۴-۲۲-۴

کلیه حقوق این اثر برای مؤلفین و دانشگاه تربیت دبیر شهید رجائی محفوظ است.
 نشانی: تهران، لویزان - کد پستی ۱۵۸۱۱-۱۶۷۸۸ - صندوق پستی ۱۶۳ - ۱۶۷۸۵ - تلفن: (۲۶۳۲) ۹ - ۲۲۹۷۰۰۶۰.
 ۲۲۹۷۰۰۴۲، نمابر: ۲۲۹۷۰۰۴۲، پست الکترونیکی: Publish@srutu.edu، وب سایت: http://Publish.srttu.edu

عکس روی جلد تونل شبلی در آزاد راه زنجان - تبریز	تهیه توسط آقای ابوالفضل امیری ۱۳۸۸
عکس پشت جلد تونل آبرسانی کرج به تهران	" " " " " "

تقدیر و تشکر

این کتاب حاضر حاصل بیش از 20 سال تجربیات علمی و عملی اینجانب در زمینه نقشه‌برداری زیرزمینی می‌باشد، در زمینه علمی با توجه به تدریس درس نقشه‌برداری زیرزمینی در دانشگاه تهران، خواجه‌نصیر، امیرکبیر (واحد تفرش) و چندین دانشگاه دیگر بوده است. تجربیات عملی که از سال 1371 تاکنون که در حیطه کارهای اجرایی زیرزمینی مثل تونل انتقال آب از سد لار به تهران، تونل راه تهران تبریز، تونل‌های آب‌رسانی از سد کرج به تصفیه‌خانه شماره 6 تهران، تونل صدر نیایش، تونل نوسود و قمرود و ده‌ها پروژه زیرزمینی دیگر که از نزدیک درگیر مسائل و مشکلات نقشه‌برداری آنها بوده‌ام.

در این راستا از زحمات بی‌دریغ آقای مهندس علی صنعتی که نقش به‌سزایی در تهیه و ویرایش کتاب داشتند و نیز از همکاران دفتر فنی مؤسسه حرا که اینجانب افتخار همکاری در تمامی پروژه‌های تونلی و زیرزمینی آن مؤسسه از سال 1371 تا به حال را داشتم، کمال تشکر و قدردانی را دارم و آرزوی موفقیت و پیشرفت‌های روز افزون آن همکاران را در عرصه علم و فن‌آوری را از خداوند متعال خواهانم.

امید است مطالب این کتاب مفید برای دانشجویان و دانشگاهیان در دروس نقشه‌برداری زیرزمینی و نقشه‌برداری معدنی برای رشته‌های مهندسی نقشه‌برداری و معدن و ... باشد و از همکاران دانشگاهی تقاضا می‌کنم که ما را در راستای تکمیل‌تر نمودن مطالب، با ارائه پیشنهادات و انتقادات خود یاری نمایند.

با تشکر

میر احمد میرقاسمی‌پور

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
فصل اول	
3	1-1 مقدمه
3	2-1 تونل‌های ارتباطی راه، راه‌آهن و مترو
5	3-1 تونل‌های مربوط به معادن
7	4-1 تونل‌های مربوط به سازه‌های هیدرولیکی
7	5-1 تونل‌های مخصوص اهداف نظامی
7	6-1 ویژگی‌های خاص پروژه‌های زیرزمینی
14	7-1 اصطلاحات خاص موجود در پروژه‌های زیرزمینی
14	اصطلاحات عمومی
15	اصطلاحات تحکیم تونل
19	اصطلاحات تونل‌های نیروگاه‌های برق‌آبی
19	اصطلاحات تونل‌های معدن
20	اصطلاحات روسی
21	8-1 نمونه‌هایی از پروژه‌های زیرزمینی
21	تونل انتقال آب گاوشان
22	تونل راه امامزاده هاشم
25	طرح انتقال آب سد لار به تهران
فصل دوم	
31	1-2 مقدمه
32	2-2 شبکه‌های نقاط ژئودزی کشور ایران
32	شبکه درجه یک کلاسیک کشور
32	شبکه ژئودزی ماهواره‌ای درجه یک کشور
33	شبکه ژئودزی ماهواره‌ای درجه صفر کشور

34	شبکه ژئودزی ماهواره‌ای درجه 2 و 3 کشور
35	3-2 ایجاد شبکه نقاط سطح‌الارضی مسطحاتی و ارتفاعی
35	شبکه سطح‌الارضی
35	هدف از ایجاد شبکه سطح‌الارضی
35	شناسایی و انتخاب نقاط پیمایش سطح‌الارضی
35	4-2 شناسایی نقاط پیمایش‌های سطح‌الارضی را از دو دیدگاه
35	با دید کلاسیک
36	با دید تعیین موقعیت ماهواره‌ای (GPS)
38	5-2 ساختمان مربوط به نقاط پیمایش (تحکیم نقاط)
38	مناطق خاکی
39	مناطق خاکی سنگی
39	مناطق سنگی
39	6-2 مشاهدات شبکه سطح‌الارضی
49	روش تعیین موقعیت ماهواره‌ای
54	7-2 محاسبات مربوط به سیستم تصویر
54	سیستم‌های تصویر در نقشه‌برداری
57	سیستم‌های تصویر و انواع آنها
59	انواع سیستم‌های تصویر از نظر ویژگی
60	انواع سیستم‌های تصویر از نظر روش
69	تبدیل مختصات از بیضوی به شبکه
71	تبدیل مختصات از شبکه به بیضوی
72	8-2 فاصله اطمینان
73	بیضی خطا (بیضی اطمینان)

فصل سوم

85	1-3 مقدمه
85	2-3 انواع جهات شمال
86	3-3 انواع آزیموت
87	4-3 روابط بین آزیموت‌ها
90	5-3 روش‌های مشاهده آزیموت
90	روش مغناطیسی
91	روش ژيروسکوپ
92	اساس کار ژيروسکوپ
93	ساختمان اساسی انواع ژيروسکوپ
93	روش‌های اندازه‌گیری آزیموت با ژيروتئودولیت
99	مقدار ثابت دستگاه (C)
100	تصحیحات ژئودتیک مشاهدات ژيروسکوپ
101	روش‌های کالیبراسیون ژيروسکوپ
102	6-3 روش نجومی

فصل چهارم

107	1-4 مقدمه
107	2-4 شناسایی و انتخاب نقاط پیمایش‌های تحت‌الارضی
108	3-4 مشاهدات مربوط به شبکه‌های تحت‌الارضی
109	4-4 محاسبات مربوط به پیمایش‌های تحت‌الارضی
109	اعمال قانون انتشار خطاها
113	5-4 بررسی و تلفیق اطلاعات کلاسیک نقشه‌برداری و مشاهدات ژيروسکوپ
114	6-4 تجزیه خطا به امتداد تونل و عمود بر آن در هر نقطه

فصل پنجم

119	1-5 مقدمه
119	2-5 روش اپتیکی
120	3-5 روش‌های مکانیکی
120	روش دو شاقولی
120	روش مثلث ویسباخ
125	روش چهارضلعی
127	دو شفت هر کدام با یک شاقول
128	روش سه شاقولی
130	4-5 روش‌های حل ترفیع
130	حل ترفیع به روش ترسیمی
131	حل ترفیع به روش محاسباتی
133	5-5 روش استفاده از ژيروسکوپ

فصل ششم

137	1-6 مقدمه
137	2-6 انواع مقاطع
144	3-6 روش‌های برداشت مقاطع
144	برداشت مقاطع با استفاده از وسایل ساده
144	روش تقاطع
145	روش افست
146	روش قطبی
147	4-6 برداشت مقاطع با دوربین‌های نقشه‌برداری
147	روش برداشت با استقرار در آکس تونل
147	روش مختصاتی
154	ایجاد رویه

155	5-6 روش فتوگرامتری
155	اسکنرهای لیزری
فصل هفتم	
161	1-7 روش سنتی
161	2-7 روش انفجاری
161	مکانیسم و محاسبات آتشباری
164	روش‌های حفر تونل به روش آتشباری
167	اصول ایمنی و مقررات آتشباری
168	3-7 حفاری توسط دستگاه‌های RoadHeader
168	هدایت دستگاه‌های RoadHeader
168	روش کلاسیک
170	روش اتوماتیک
172	4-7 ماشین‌های حفاری تمام مقطع (TBM (Tunnel Boring machine
172	اجزای اصلی دستگاه TBM
175	انواع TBM از لحاظ عملکرد
178	مقایسه مزایا و معایب انواع ماشین‌های حفر تونل در سنگ
179	مزایای استفاده از دستگاه TBM
180	مراحل انجام کار با TBM
189	نحوه تخلیه مواد حفر شده توسط ماشین
189	موارد ویژه برای مکانیزه کردن حفاری تونل‌ها
پیوست‌ها	
193	پیوست 1 آشنایی با Free Station
197	پیوست 2 آشنایی با نرم‌افزار GeoLab
منابع	
215	منابع

فصل اول

تعاريف اوليه

1-1 مقدمه

تونل و فضاهای زیرزمینی یکی از مهم‌ترین ساختارهای زیربنایی هر کشور توسعه‌یافته محسوب می‌شود. با توجه به شرایط جغرافیایی و زمین‌شناسی کشور، توسعه و گسترش مراکز صنعتی، کشاورزی و شهرها بدون احداث تونل و فضاهای زیرزمینی ممکن نبوده و لازم است به این ساختار زیربنایی در تمام ابعاد توجه خاصی مبذول گردد.

امروزه از تونل و فضاهای زیرزمینی برای استفاده‌های حمل‌ونقل شهری و بین شهری، آب‌رسانی به مناطق مختلف، جمع‌آوری و هدایت فاضلاب‌های شهری، انتقال تأسیسات زیر سطحی شهری، انتقال مواد سوختی و انرژی از قبیل نفت و گاز، فضاهای بزرگ زیرزمینی از جمله ایستگاه‌های مترو، پارکینگ‌های زیرزمینی، فضاهای استراتژیک دفاعی، نیروگاه‌های برق و مخازن استراتژیک ذخیره سوخت و استخراج مواد مختلف معدنی استفاده می‌شود. در کشورهای توسعه یافته مانند ژاپن و کشورهای اروپایی و آمریکایی برای برخی شهرها، فضاهای زیرزمینی حتی مناسب‌ترین گزینه برای احداث فضاهای عمومی فرهنگی، ورزشی به شمار می‌آید. سالن ورزشی و فرهنگی با گنجایش بیش از 2 هزار نفر در کشور نروژ و دانشکده مهندسی عمران و معدن دانشگاه مینسوتا (Minnesota) در آمریکا از جمله این بناها می‌باشند. نقشه‌برداری زیرزمینی به روش‌ها و متدهای خاصی اطلاق می‌گردد که با استفاده از تجهیزات متناسب با شرایط موجود، بتوان نقاط زیر سطح زمین را تعیین موقعیت نموده یا تأسیسات زیرزمینی را پیاده کرد.

چهار دسته عمده از تأسیسات زیرزمینی به شرح زیر است:

1-2 تونل‌های ارتباطی راه، راه آهن و مترو

این نوع تونل‌ها به منظور جلوگیری از هزینه‌های ناشی از حجم عملیات‌های خاک‌برداری بسیار زیاد، ایجاد امنیت بیشتر در مسیرهای کوهستانی، کوتاه‌تر کردن مسیر راه، استفاده بهینه از سطح زمین در مناطق شهری، نگهداری راحت‌تر و کم هزینه‌تر، جلوگیری از هزینه‌های زیاد پل‌سازی در راه‌ها و بالابردن کیفیت راه‌ها، احداث می‌شوند.

این دسته از سازه‌های زیرزمینی به سه بخش عمده تقسیم می‌شود:

- تونل‌های راه
- تونل‌های راه‌آهن بین‌شهری
- تونل‌های راه‌آهن داخل‌شهری

که خصوصیات هر یک به تفکیک به شرح زیر است:

تونل‌های راه: سطح مقطع این تونل‌ها متناسب با حجم ترافیک در مسیر مورد نظر طراحی می‌گردد. طراحی و نوع حفاری این‌گونه تونل‌ها با در نظر گرفتن مسائل زمین‌شناسی و موقعیت تکتونیکی منطقه صورت می‌گیرد. تعیین شیب‌های طولی و عرضی برای تونل، تهویه هوا، روشنایی و تخلیه آب‌های داخل تونل نیز از نکات مهم طراحی می‌باشند.

تونل‌های راه‌آهن بین‌شهری: این تونل‌ها مخصوص رفت و آمد واگن‌های راه‌آهن حفر می‌شوند و از نظر خصوصیات فیزیکی مسیر تابع خصوصیات مسیرهای راه‌آهن می‌باشند که تفاوت‌های عمده‌ای با مسیرهای راه دارند. مثلاً حداکثر شیب طولی تونل‌های راه می‌تواند 14٪ باشد در حالی که حداکثر شیب طولی مسیرهای راه‌آهن به مراتب کمتر از مسیرهای راه می‌باشد، علاوه بر این محدودیت، امکان برخورد واگن‌های مسافری با دیواره‌های تونل در مسیرهای قوسی شکل که شیب عرضی یا دور اعمال شده است، وجود دارد. برای رفع این مشکل بایستی در طراحی و پیاده‌کردن و حفاری تونل‌های مربوطه این نکات را مدنظر قرار داد.

تونل‌های راه‌آهن داخل شهری: این‌گونه تونل‌ها تحت عنوان مترو در کشور ما شناخته می‌شوند که نخستین برنامه‌ریزی آنها به سال 1350 باز می‌گردد و دارای مقاطع متفاوتی به شرح زیر می‌باشند:

- مقاطع چهارضلعی یا باکسی (Box) در مواردی به کار گرفته می‌شود که عمق تونل از سطح زمین کمتر از 7 متر باشد یا به عبارت دیگر حفر تونل به صورت رو باز انجام شده باشد. یعنی ابتدا با ماشین‌آلات ساختمانی مسیر تونل خاک‌برداری شده و سپس با قراردادن قالب و آرماتور مطابق طرح مسیر، تونل ساخته می‌شود در این حالت ابتدا دیواره‌های تونل بتونریزی می‌شود در مرحله بعد روی دیواره‌های جانبی تیرهای پیش ساخته قرار داده، سپس روی تیرهای کار گذاشته شده، خاک‌ریزی کرده و پس از انجام مراحل ساختمانی مسیر شامل Base و Sub Base معمولاً مسیر راه در روی آن احداث می‌گردد.

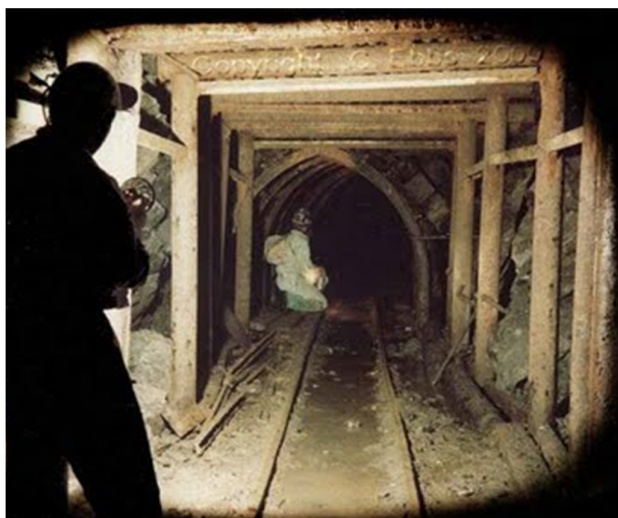
- در مقاطع مدور عمل حفاری و پوشش‌گذاری مقطع به وسیله ماشین حفاری انجام می‌گیرد. قطر داخلی مقطع و قطر خارجی مقطع آن و ضخامت دیواره‌ها در طراحی مشخص می‌شود. مقاطع پیش‌ساخته بتونی از قبل به صورت تکه تکه (Segment) به شکل‌های مختلف در طراحی مشخص و هنگام عملیات اجرایی به وسیله جرثقیل ماشین حفاری در محل قرار گرفته و تزریق بتن و بستن پیچ‌ها توسط کارگران نیز انجام می‌شود.

1-3 تونل‌های مربوط به معادن

تونل‌های مربوط به معادن با دو هدف کلی جهت دسترسی به لایه‌های معدنی و نیز عملیات حفاری و استخراج مواد معدنی احداث می‌گردند. تونل‌های فوق دارای مقاطع تعریف‌شده مشخصی نمی‌باشند ولی اکثراً دارای مقاطع Box (مستطیلی یا دوزنقه‌ای) شکل 1-1 می‌باشند. ضمناً این نوع تونل‌ها برای زمان محدوددی ساخته می‌شوند و برخلاف تونل‌های راه از سازه نسبتاً دائمی برخوردار نمی‌باشند و بیشتر برای تحکیم و نگهداری این نوع تونل‌ها از چوب‌بست استفاده می‌شود همچنین برای شیب در این نوع تونل‌ها محدودیتی مثل تونل‌های راه وجود ندارد و بسته به شیب لایه‌ها تا حد 90 درجه هم پیش خواهد رفت.

این نوع تونل‌ها در مناطق معدنی ممکن است به دو منظور مورد استفاده قرار گیرند: تونل‌های ارتباطی به منظور تأمین مسیرهای رفت و آمد که این نوع تونل‌ها از شرایط تونل‌های راه‌آهن تبعیت می‌کنند.

تونل‌هایی که به منظور استخراج مواد معدنی حفر می‌شوند، این نوع تونل‌ها از هیچ ضابطه معینی تبعیت نمی‌کنند و هدف آنها دسترسی به رگه‌های معدنی می‌باشد لذا گاهی اوقات به صورت چاه قائم یا تونل‌هایی با شیب بسیار زیاد حفر می‌شوند، مسیر این نوع تونل‌ها بیشتر ریل‌گذاری می‌شود و برای حمل واگن‌ها به جای لوکوموتیو از بالابر (Vinch) استفاده می‌شود.



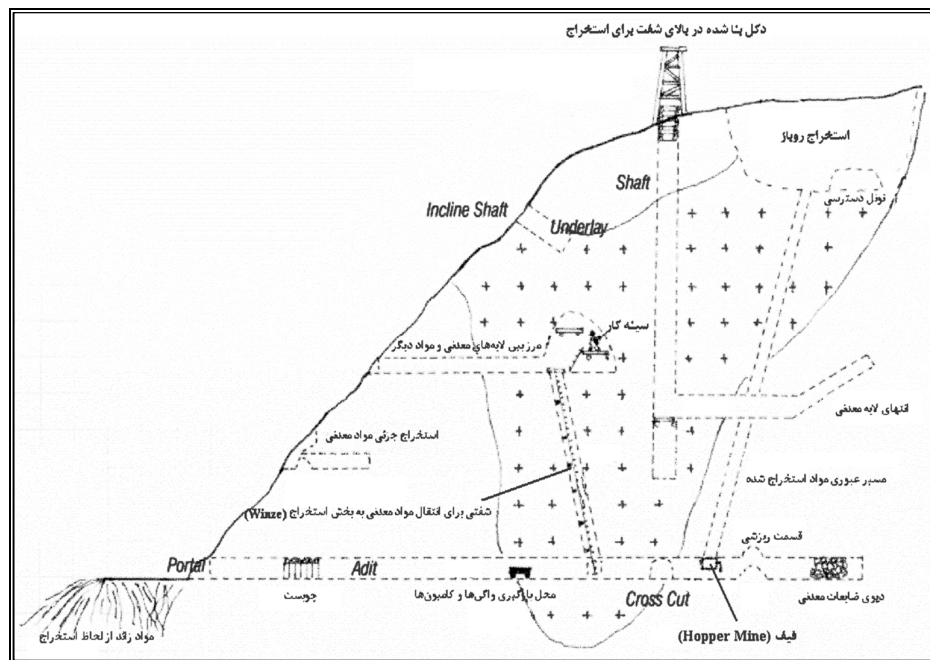
شکل 1-1 نمونه‌ای از مقطع باکسی

تونل‌های معدن را کلاً به سه دسته تقسیم می‌کنند:

تونل‌های اصلی: این تونل‌ها مطابق با استانداردهای راه آهن ساخته می‌شوند به نحوی که در بسیاری از آنها برای لوکوموتیوهای راه آهن امکان رفت و آمد وجود دارد، لازم به ذکر است در تونلهایی که در داخل مواد معدنی مثل زغال سنگ حفر شوند به دلیل تجمع گاز امکان انفجار در آنها وجود دارد، لذا در آنها فقط لوکوموتیوهای برقی مجاز به رفت و آمد هستند.

تونل‌هایی که از تونل‌های اصلی منشعب می‌شوند: این تونل‌ها به اصطلاح گالری نامیده می‌شوند، که در حقیقت رابط بین تونل‌های اصلی و تونل‌هایی که به کارگاه‌های استخراج منتهی می‌شوند، می‌باشند. غالباً چنین تونل‌هایی حالت موقت دارند و به‌طور متداول دارای مقاطعی دوزنقه‌ای می‌باشند و بیشتر با آرک‌های فلزی که به صورت ناودانی در داخل هم قرار می‌گیرند ساخته می‌شوند، حسن این نوع مقاطع در آن است که اگر ریزشی پیش بیاید، یا تغییر فشاری ایجاد شود، این قطعات بدون اینکه تخریب شوند و یا تغییر شکل دهند در داخل هم می‌لغزند، در نتیجه گروه ترمیم، قطعات را باز کرده پس از اصلاح قسمت ریزش کرده مجدداً نصب می‌کنند. معمولاً تیرها و ستون‌ها در این نوع تونل‌ها از جنس چوب یا تیرآهن می‌باشند. برای اجتناب از ریزش‌های جزئی، بین دو مقطع پی‌درپی لارده چینی می‌کنند، این لارده‌ها از نوع چوبی و سیمانی می‌باشند.

تونل‌هایی که در داخل رگه ساخته می‌شود: عموماً به صورت تونل‌هایی در امتداد رگه یا عمود بر رگه طراحی می‌شوند، از شیب خاصی تبعیت نمی‌کنند، به نحوی که شیب آنها تابع شیب رگه معدنی بوده و شکل و سطح مقطع به میزان استخراج و حجم ترافیک در محدوده معدنی بستگی دارد. نمونه‌ای از این تونل‌ها در شکل 1-2 می‌توانید ملاحظه کنید.



شکل 2-1 نمونه‌ای از تونل‌های معدن

1- 4 تونل‌های مربوط به سازه‌های هیدرولیکی

این دسته از تونل‌ها به منظور انتقال آب از یک مبدأ به مقصد خاص، تأمین انرژی برق و آب شرب شهرها و همچنین برای انتقال آب‌های زیرزمینی یا فاضلاب شهرها احداث می‌گردند. تونل‌های مذکور دارای مقاطع نسبتاً کوچکی می‌باشند و بیشتر با مقاطع دایره‌ای و نعل اسبی اجرا می‌شوند در ضمن با توجه به کارایی، می‌توانند شیب‌هایی از 0 تا 90 درجه داشته باشند.

1- 5 تونل‌های مخصوص اهداف نظامی

این نوع تونل‌ها با اهدافی از قبیل انبار نمودن مهمات، دفع نخاله‌های مواد اتمی، احداث پناهگاه و دیگر اهداف نظامی طراحی و اجرا می‌گردند.

1- 6 ویژگی‌های خاص پروژه‌های زیرزمینی

ویژگی اول: کمبود نور در سازه‌های زیرزمینی است که برای حل این مشکل از ابزار و تجهیزات نقشه‌برداری به شرح زیر استفاده می‌گردد:

برای اندازه‌گیری طول‌ها و زوایا از دستگاه Total Station استفاده می‌شود که این نوع دستگاه‌ها دارای مدل‌های مختلف می‌باشند. علت استفاده از آنها برخورداری از سیستم نوری مناسب و همچنین دقت‌های قابل توجه و مفید برای اهداف پروژه‌های زیرزمینی می‌باشد. در صورت عدم استفاده از توتال استیشن و به جای آن استفاده از دوربین‌های مکانیکی می‌توان از جعبه‌های روشنایی مربوطه استفاده کرد (شکل 3-1).



شکل 3-1 توتال استیشن

برای قراولروی به ایستگاه‌ها جهت قرائت زوایا و امتدادها از تارگت نورانی استفاده می‌شود. که دارای مدل‌های مختلف بوده و نحوه کار بدین صورت است که پس از نصب آن روی تراپراک به همراه منبع تغذیه، تارگت را تراز نموده و شروع به کار می‌کنیم (شکل 4-1). برای ترازبایی از ترازبای‌های لیزری که از نظر دقت، مدل و ... به انواع مختلف تقسیم شده و در بازار یافت می‌شوند استفاده می‌شود. نحوه کار ترازبای‌های لیزری بدین صورت است که آن را در نقطه مناسب مستقر کرده و تراز می‌نمایند و سپس آن را روشن کرده تا نور لیزر را در یک سطح تراز پخش کند سپس با دیتکتور (Detector) می‌توان عدد مربوط به تراز دستگاه را از روی شاخص قرائت نمود. دیتکتور دستگاهی است که نسبت به نور لیزر حساس می‌باشد و به صورت کشویی در روی شاخص به سمت بالا و پایین حرکت می‌کند و در اثر برخورد لیزر به دیتکتور توسط یک فلش جهت حرکت آن به طرف بالا یا پایین برای عامل مشخص می‌شود و پس از قرار گرفتن دیتکتور در مسیر نور لیزر فلش‌ها ناپدید شده و خطی نمایان می‌گردد که با امتداد آن می‌توان عدد مربوط به تراز نور لیزر دستگاه را روی شاخص قرائت کرد (شکل 5-1).