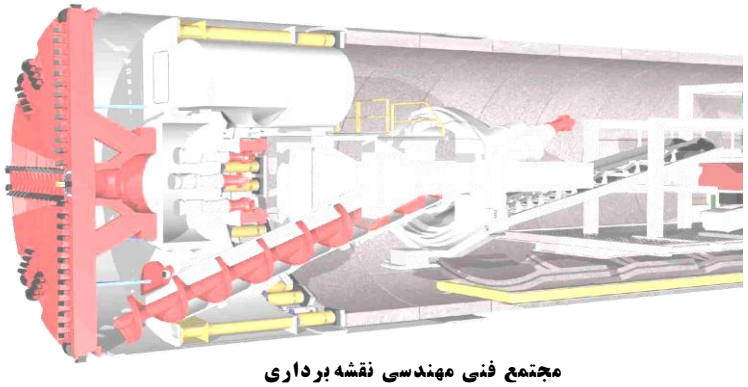
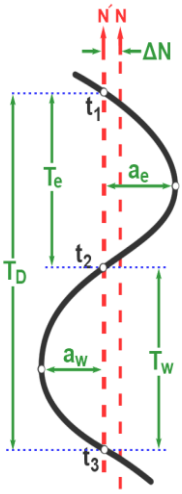
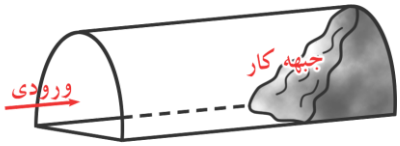


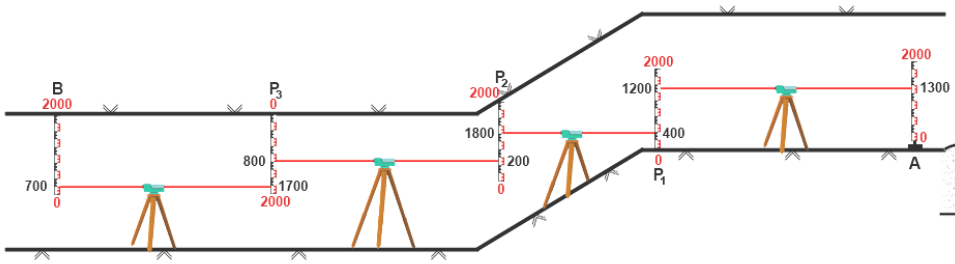
مجتمع فنی مهندسی نقشه برداری

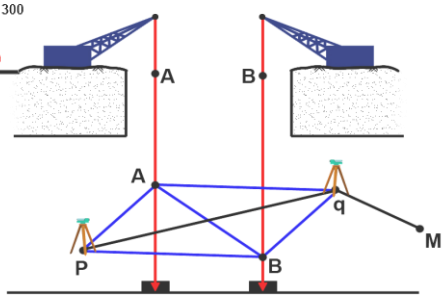




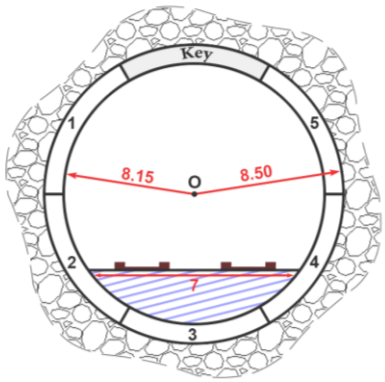
جزوه نقشه‌برداری زیرزمینی

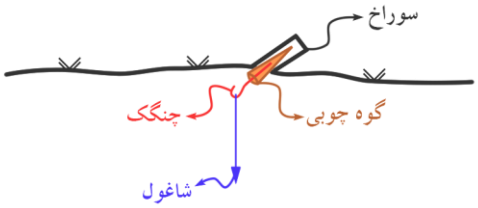
Underground surveying

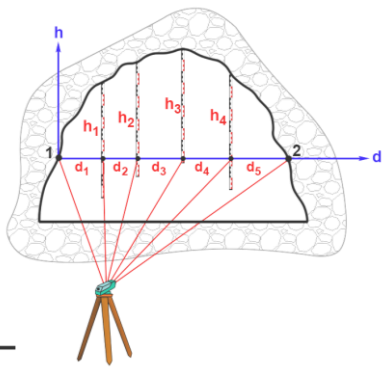


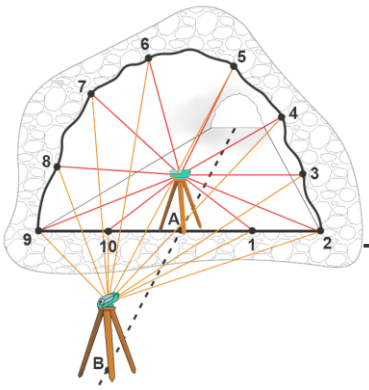


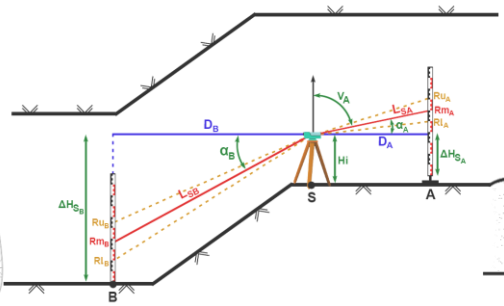
مهندس ابراهیم راستگو

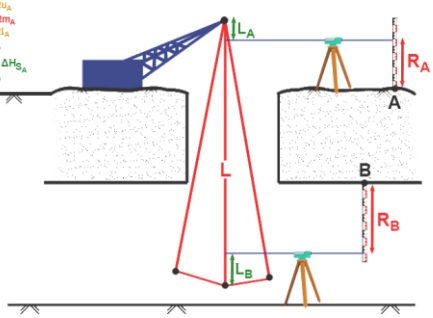




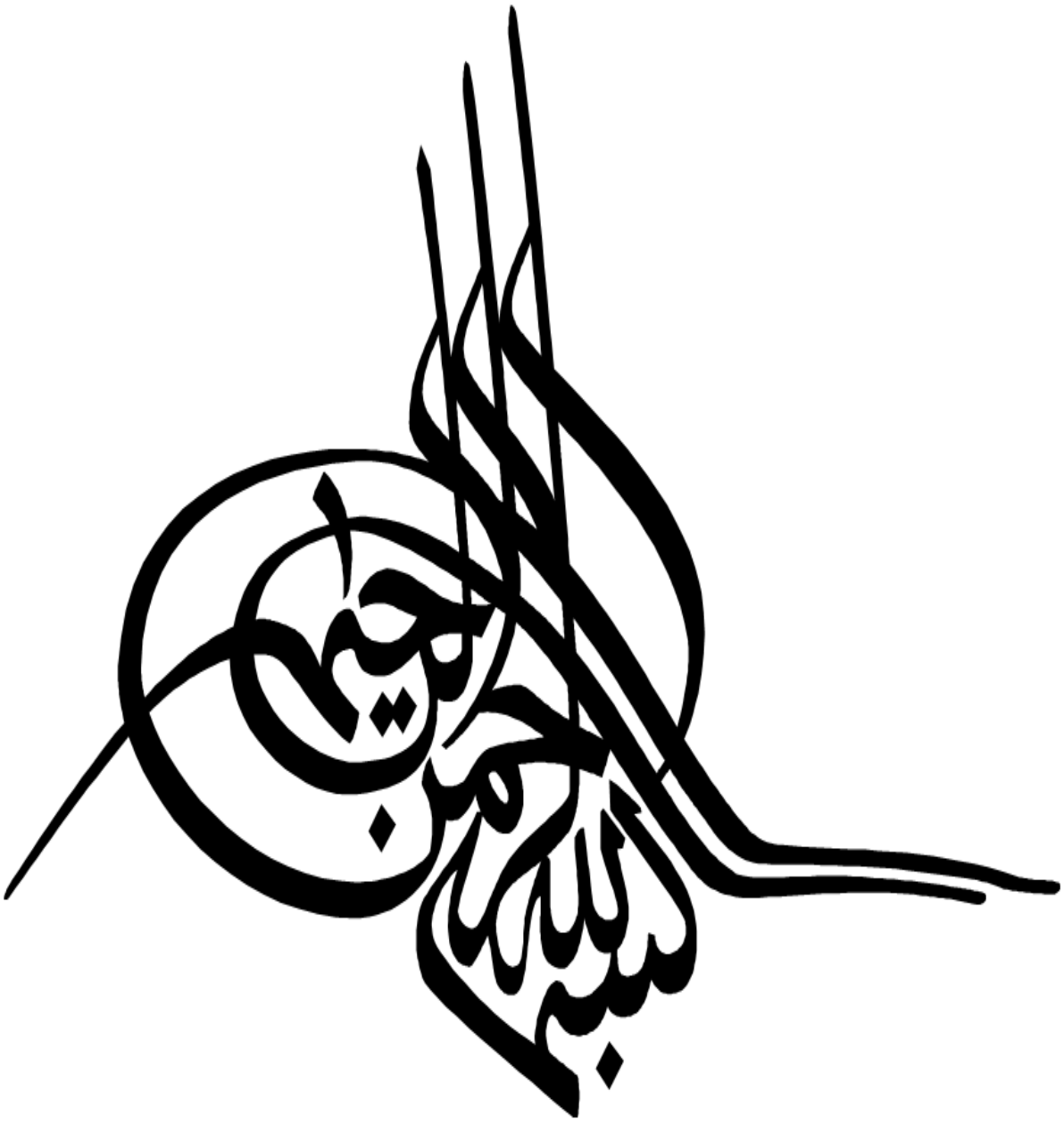








بهار ۹۱



تقدیم به بهترینهای زندگانی‌ام

پدر

و

مادر

مهربانم

WWW.GeoGIS.ir

www.geogis.ir

فهرست

عنوان ..... صفحه

فصل ۱ ..... ۸

مقدمه ۸

تعریف نقشه‌برداری زیرزمینی : ۸

پروژه‌های زیرزمینی به دو دسته تقسیم می‌شوند : ۹

شرایط ویژه عملیات زیرزمینی : ۹

۱) عدم وجود نور کافی (تاریکی) : ۹

۲) وجود آب و رطوبت و گل و لای در کف تونل : ۹

۳) مسائل تنفس : ۱۰

۴) کمبود فضای کار : ۱۰

۵) خطر ریزش سنگ از سقف و دیوار: ۱۰

۶) سرعت و دقت بالای مورد نیاز در کار : ۱۰

انواع تونل‌ها از لحاظ موارد کاربرد : ۱۰

۱) تونل‌های ارتباطی راه‌های بین شهری: ۱۰

۲) تونل‌های راه‌آهن بین شهری : ۱۱

۳) تونل‌های راه‌آهن درون شهری : ۱۱

۴) تونل‌های پیاده رو: ۱۲

۵) تونل‌های صنعتی: ۱۳

۶) تونل‌های معدنی: ۱۳

الف) تونل‌های ارتباطی: ۱۳

ب) تونل‌های استخراج: ۱۴

فصل ۲ ..... ۱۵

اصطلاحات نقشه‌برداری زیرزمینی : ۱۵

۱) زیر زمین ۱۵

۲) معدن ۱۵

۳) گالری ۱۵

۳-۱) گالری اکتشافی: ۱۵

۳-۲) گالری آماده سازی: ۱۵

۴) تونل ۱۵

۵) محور تونل ۱۶

۶) ترانشه تونل ۱۶

۷) مقطع تونل ۱۶

۸) چال ۱۶

۹) گمانه ۱۷

۱۰) چاه ۱۷

الف) چاه دسترسی : ۱۷

ب) چاه عمیق :..... ۱۷
۱۱) رمپ یا شیب..... ۱۷
۱۲) راهروهای فرعی ۱۸
۱۳) پوشش گذاری تونل ۱۸
۱۴) سینه کار ۱۸
۱۵) جبهه کار ۱۸
۱۶) حفاری ۱۸
هدف از حفاری: ۱۹
۱۷) مش بندی ۱۹
۱۸) لیتیس ۱۹
۱۹) سازه سه راهی..... ۲۰
۲۰) لاینینگ..... ۲۰
۲۱) پذیرگاه ۲۱
۲۲) عیار (درصد خلوص) ۲۱
۲۳) ذخیره معدنی..... ۲۱
۲۴) برداشت استخراجی ۲۱
الف) ماشین شمار : ۲۱
ب) مقطع برداری :..... ۲۱
۲۵) شاتکریت..... ۲۱
عملیات نقشه‌برداری زیرزمینی ۲۲
الف) مرحله طراحی پروژه زیرزمینی: ۲۲
ب) مرحله اجرا و هدایت حفاری و پیاده سازی سازه‌ها ۲۲
ج) اندازه‌گیری و تهیه نقشه‌های زیرزمینی ۲۳
گروه‌های تخصصی که در طراحی یک پروژه زیرزمینی (تونل) مشارکت دارند :..... ۲۳
فصل ۳ ..... ۲۴
نقش نقشه‌بردار در عملیات زیرزمینی (معادن) ۲۴
ایستگاه گذاری در نقشه‌برداری زیرزمینی : ۲۵
۱) ایستگاه گذاری در سقف:..... ۲۶
۲) ایستگاه گذاری در کف : ۲۶
۳) ایستگاه گذاری در دیوار :..... ۲۷
۱) روپر:..... ۲۷
۲) تارگت دیواری :..... ۲۷
۳) ایستگاه‌های کشویی یا لولایی : ۲۷
۴) پیلار دیواری : ۲۷
روش‌های حفاری تونل : ۲۸
۱) روش انفجاری : ۲۸
۲) روش تراشندگی و ماشینی : ۲۸

www.GeoGIS.ir

دستگاه TBM ۲۹
عملیات بعد از حفاری ۳۱
تهویه : ۳۱
کنترل : ۳۱
ترمیم : ۳۱
تحکیم : ۳۱
پوشش : ۳۱
محاسبه ضخامت پوشش در تونل ها : ۳۲
روش های هدایت ارتفاعی و طولی تونل بدون استفاده از سیستم مختصات ۳۲
۱) روش حلقه‌ای: ۳۲
۲) روش لیزری: ۳۳
جبهه های کار در عملیات زیرزمینی : ۳۳
۱- یک جبهه: ۳۳
۲- دو جبهه : ۳۳
۳- بیش از دو جبهه : ۳۳
محاسبه ضخامت لایه معدنی : ۳۴
کارهایی که در یک عملیات نقشه‌برداری زیرزمینی انجام می‌شود را می‌توان به دسته های کلی زیر تقسیم کرد : ... ۳۵
A) علامت گذاری نقاط ۳۵
B) اندازه‌گیری فاصله ۳۵
C) اندازه‌گیری زاویه ۳۵
D) تعیین وضعیت یک امتداد در زیرزمین به کمک نقاط در سطح زمین ۳۵
E) تعیین وضعیت یک امتداد در زیر زمین به کمک دستگاه های امتداد سنج ۳۵
F) انتقال ارتفاع از سطح زمین به زیر زمین ۳۵
G) برداشت مقطع از تونل ۳۵
A) علامت گذاری نقاط: ۳۵
۱) شاقول: ۳۵
۲) اپتیکی: ۳۵
۳) لیزری: ۳۵
B) اندازه‌گیری فاصله ۳۵
الف) روش مستقیم: ۳۵
ب) روش غیر مستقیم: ۳۵
C) اندازه‌گیری زاویه: ۳۶
روش های خارج از ایستگاهی ۳۶
الف) تارگت فقط خارج از ایستگاه قرار گرفته باشد. ۳۶
ب) تنها زاویه یاب خارج از ایستگاه قرار گرفته باشد. ۳۷
ج) زمانی که هم زاویه یاب و هم تارگت خارج از محل خود قرار داشته باشند ۳۸
فصل ۴ ..... ۴۰

D) تعیین وضعیت یک امتداد در زیر زمین به کمک نقاط در سطح زمین: ۴۰
۱) استفاده از منشور گونیا ساز: ۴۰
۲) استفاده از دوربین زنیت نادیر یا شاقول لیزری ۴۰
۳) استفاده از دو شاقول ۴۰
الف) استفاده از مشاهدات یک ایستگاه (استفاده از مثلث ویزباخ) : ۴۱
ب) استفاده از مشاهدات دو ایستگاه (استفاده از چهار ضلعی هاوس) : ۴۴
۴) استفاده از سه شاقول: ۴۶
۵) استفاده از روش پیمایش: ۴۷
E) تعیین وضعیت یک امتداد در زیر زمین به کمک دستگاه‌های امتداد سنج: ۴۸
روش‌های بدست آوردن شمال حقیقی با ژیروسکوپ: ۴۹
الف) روش نقطه بازگشت ۴۹
ب) روش عبور ۵۰
فصل ۵ ..... ۵۴
F) انتقال ارتفاع از سطح زمین به زیر زمین ۵۴
۱) انجام ترازیابی: ۵۴
الف) ترازیابی مستقیم: ۵۴
حالت اول: هر دو شاخص معکوس ۵۴
حالت دوم: یک شاخص معکوس و یک شاخص مستقیم ۵۵
حالت سوم: هر دو شاخص مستقیم ۵۵
ب) ترازیابی غیر مستقیم (مثلثاتی) ۵۶
۱)ترازیابی مثلثاتی با فاصله یابی به روش استادیمتری ۵۶
۲) ترازیابی مثلثاتی با استفاده از فاصله‌یاب ۵۷
ج) استفاده از متر یا سیم‌بکسل مدرج آویزان ۶۱
د) روش پاندولی ۶۲
فصل ۶ ..... ۶۴
G)برداشت مقطع تونل ۶۴
A)روش افست ۶۴
B) روش قطبی ۶۵
B.1) استقرار زاویه‌یاب در محل مقطع و برداشت طول و زاویه (به روش گل آفتابگردان) ۶۵
B.2) روش دو قطبی (استفاده از دو زاویه‌یاب) ۶۵
C)روش لیزری: ۶۶
D) روش فتوگرامتری برد کوتاه ۶۶
تعیین دقت مختصات دو بعدی ایستگاه N ام پیمایش : ۶۷
خصوصیات وسایل و تجهیزات نقشه‌برداری زیر زمین: ۷۰
وسایل طول یابی در زیر زمین: ۷۱
وسایل اندازه‌گیری زاویه در زیرزمین: ۷۱
وسایل تراز یابی در زیرزمین: ۷۲

خصوصیات شاخص در زیر زمین:..... ۷۲
انواع شاخص در زیر زمین:..... ۷۲
انواع اسکنرهای لیزری : ۷۳

www.GeoGIS.ir

فصل ۱

مقدمه

امروزه با پیشرفت فن آوری، سهولت نسبی در حفاری و ساخت سازه‌های زیرزمینی، محدودیت‌های فضای سطحی برای اجرای طرح‌های عمرانی و نیز به واسطه مسائل سیاسی و امنیتی، توجه بسیاری از کشورهای توسعه یافته و در حال توسعه به احداث سازه‌های زیرزمینی برای کاربری‌های عمرانی، نظامی و معدنی معطوف شده است. راه‌ها و بزرگراه‌های زیرزمینی، انواع تونل‌ها، شبکه‌ی مترو شهری، نیروگاه‌ها و سایر مغارهای زیرزمینی برای دفن زباله‌های هسته‌ای و یا به عنوان مخازن نفت، معادن دیگر، پناهگاه‌ها و انبارها، تعدادی از سازه‌های هستند که در کشورهای مختلف به سرعت در حال ساخت و اجرا می‌باشند.

یک از سازه های بسیار معمول زیرزمینی تونل می‌باشد که قبل از اینکه تونل ساخته شود موارد ذیل ضرورت دارد: نوع خاک و سنگ، توپوگرافی، راه خروجی، تعیین محل حفاری یا نصب ماشین آلات، تهویه، مجموعه مصارف، عمر تونل، سیستم کار در تونل، تعداد پرسنل کار، نوع ماشین آلات، محل کارگاه در نزدیکی تونل، محل کنترل، جلوگیری از احتمالات ریزش سنگ یا آب، سیستم روشنایی برای کار در تونل، بیمه کارکنان و خود تونل و سایر موارد ... .

تعریف نقشه‌برداری زیرزمینی :

یکی از شاخه‌های علم نقشه‌برداری است که در آن نقشه‌برداران عمل تعیین موقعیت و اندازه‌گیری‌های زیرزمینی را جهت اهداف مختلفی چون پیاده سازی راه‌های ارتباطی (تونل) اکتشاف و استخراج معادن، حمل و نقل مسافر، کالا، انتقال آب و انتقال نیرو، و یا خطوط لوله گاز و نفت انجام می‌دهند.

نقشه‌برداری زیرزمینی با نقشه‌برداری سطح‌الارضی تفاوت چندانی ندارد و تفاوتی که مابین این دو وجود دارد بر اثر محیط کار می‌باشد که دارای سختی‌هایی می‌باشد و این نوع کار نقشه‌برداری را جزیی از کارهای خاص نقشه‌برداری قرار می‌دهد و به دلایل زیر ضریب ویژگی ۱.۲۵ را در پرداخت دستمزد به خود اختصاص می‌دهد.

پروژه‌های زیرزمینی به دو دسته تقسیم می‌شوند :

الف) پروژه‌های عمرانی: پروژه‌هایی مانند: مترو و تونل راه و راه‌آهن و سد سازی، گذرگاه‌های درون شهری، کانال‌های آب و فاضلاب می‌باشند.

ب) پروژه‌های معدنی: پروژه‌هایی که هدف ایجاد مسیری برای دسترس به لایه‌های مورد نیاز و استخراج آن‌ها می‌باشد.

شرایط ویژه عملیات زیرزمینی :

۱) عدم وجود نور کافی (تاریکی) :

به علت وجود تاریکی در زیر زمین می‌بایست از تجهیزات ایجاد روشنایی در نقشه‌برداری زیرزمینی استفاده کرد معمولاً روشنایی راه‌های اصلی با نور برق سراسری و یا ژنراتور تأمین می‌شود و در راه‌های فرعی از چراغ‌های دستی یا چراغ‌هایی که بر روی کلاه ایمنی بسته می‌شوند. استفاده می‌شود و از تجهیزات نقشه‌برداری استفاده می‌شود که سیستم نوردهی دارند مانند توتال استیشن‌های لیزری. اما در برخی از پروژه‌ها به دلیل وجود گازهای قابل اشتعال و خطر انفجار محدودیت استفاده از وسایل روشنایی و دوربین‌های الکترونیکی داریم.

۲) وجود آب و رطوبت و گل و لای در کف تونل :

جهت انتقال آب از شیب تونل و یا چاه‌های فاضلاب و دستگاه‌های پمپاژ آب به بیرون استفاده می‌شود. به علت وجود آب و رطوبت باید از تجهیزات خاص مانند: چکمه، بارانی، روکش دوربین برای جلوگیری از برخورد با جریان‌های آبی استفاده از وسایل مقاوم در برابر رطوبت مثل شاخص آلومینیومی و مترهای ضد زنگ و سه پایه‌های آلومینیومی و ... استفاده کرد؛ و به علت وجود گل و لای در کف تونل

نقاط نقشه‌برداری در دیواره و سقف احداث می‌شوند.

۳) مسائل تنفس :

در فضای زیرزمینی معمولاً با کمبود اکسیژن و وجود گرد و غبار و یا گازهای سمی روبرو هستیم. استفاده از مکش‌های قوی فضای تونل اکثراً تمیز می‌گردد و با استفاده از ماسک‌های انفرادی، غبار مانده در هوا گرفته می‌شود. در کارهای زیرزمینی حساسیت شخص باید مورد توجه قرار گیرد. * استفاده از فندک و کبریت و ... ممنوع *

٤) کمبود فضای کار :

به علت بسته بودن و مناسب نبودن فضای کار، درجه آزادی عملیات نقشه‌برداری پایین می‌آید. استفاده از تجهیزات خواص نقشه‌برداری (مانند شاخص کشویی، ایستگاه‌های ثابت در بدنه تونل و...) گسترش تعداد بیشتری نقاط کانوای نقشه‌برداری به طوری که هر یک به نقاط مجاور خود دید داشته باشند.

٥) خطر ریزش سنگ از سقف و دیوار:

به علت وجود خطرات ریزش سنگ نقشه‌برداری سخت‌تر خواهد بود. جهت جلوگیری از ریزش سنگ، روی دیواره‌ها یک توری مثل یک شبکه فلزی به نام مِش نصب می‌کنند و روی آن توری سیمان پاشیده می‌شوند تا مقاومت آن را بالا ببرند. سیمان پاشیده شده بر روی مِش را شاتکریت گویند.

٦) سرعت و دقت بالای مورد نیاز در کار :

با توجه به حجم بالای عملیات خاکبرداری از داخل تونل به بیرون معمولاً عملیات حفاری هم زمان با نقشه‌برداری انجام می‌شود و این امر مستلزم سرعت بالا در انجام کار نقشه‌برداری می‌باشد و با توجه به عدم وجود روش‌های کنترل جهت کنترل کار، دقت بالای نقشه‌بردار را نسبت به نقشه‌برداری سطح‌الاراضی طلب می‌کند.

انواع تونل‌ها از لحاظ موارد کاربرد :

۱) تونل‌های ارتباطی راه‌های بین شهری:

این تونل‌ها در مناطق کوهستانی و پرفراز و نشیب به منظور جلوگیری از حجم عملیات خاکی بسیار زیاد و ساخت پل‌های بزرگ و پرهزینه و یا حفاظت مسیر از خطر ریزش کوه یا بهمن ایجاد می‌شوند. معمولاً ابتدای تونل در روی زمین و انتهای آن نیز بر روی زمین ختم می‌شود.

سطح مقطع این تونل متناسب با حجم ترافیک در آن محور محاسبه شده و به اجرا در می‌آید؛ و همچنین شکل مقطع تونل متناسب با موقعیت ژئوتکنیکی

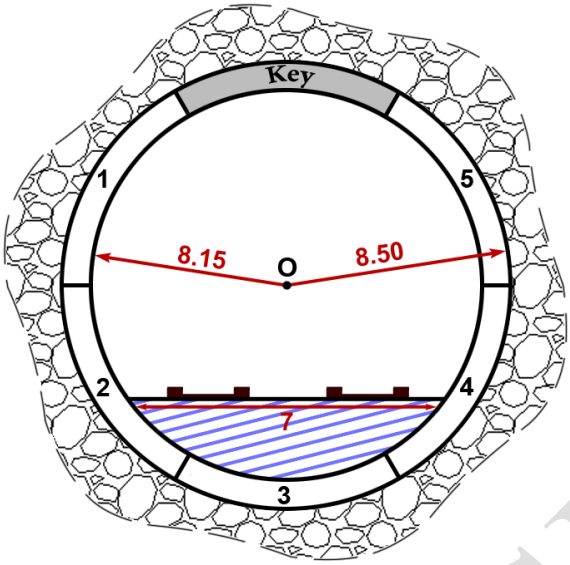
طراحی می‌شود؛ و معمولاً حداکثر شیب آن‌ها ۱۴٪ می‌باشد.

۲) تونل‌های راه‌آهن بین شهری :
این تونل‌ها مخصوص رفت و آمد واگن‌های راه‌آهن حفر می‌شود و حداکثر شیب طولی آن‌ها $\frac{۴}{۱۰۰۰}$ می‌باشد و چون در قوس‌ها نیز از دِوِر استفاده می‌شود باید به میزان انحراف واگن و حد استاندار فاصله واگن و دیواره تونل توجه نمود.

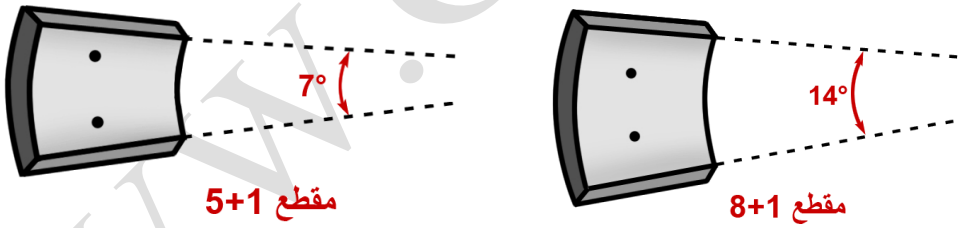
۳) تونل‌های راه‌آهن درون شهری :
این تونل‌ها که در اصطلاح به آن مترو گفته می‌شود از نقطه‌ای در زیر زمین شروع شده و به نقطه‌ای دیگر در زیر زمین ختم می‌شوند. در کشور ما اولین بار طرح این تونل‌ها توسط شرکت فرانسوی سوفرنر ارائه شد.

تونل مترو شیراز و اکثر شهرهای کشور دارای دو شکل مقطع معین است.
الف) مقطع چهار ضلعی یا باکسی : که در مواردی که عمق تونل از سطح زمین کمتر از ۷ متر باشد به کار گرفته می‌شود. به عبارتی حفر تونل به صورت ترانشه روباز انجام می‌گیرد و سپس با استفاده از قالب بندی و آرماتور مطابق با مسیر تونل بتن ریزی می‌شود.
ب) مقطع مدور: این مقطع معمولاً در عمق بیشتر از ۷ متر که ماشین حفاری قادر به کار باشد به کار گرفته می‌شود. به این ترتیب که ماشین حفاری مقطع تونل را حفاری کرده و با گذاشتن قطعات پیش ساخته[1]، مقطع را پوشش گذاری می‌کند و مقطع تیپ‌های مسیرهای مدور مطابق شکل زیر می‌باشد.

1 Segment



همان طور که ملاحظه می‌شود قطر داخلی $8{,}15^{m}$ و قطر خارجی $8{,}50^{m}$ است. یا به عبارتی ضخامت قطعات پیش ساخته $17{,}5^{cm}$ است. مقاطع مدور در داخل تونل‌ها ممکن است از ۵ قطعه پیش ساخته و یک کلید[1] تشکیل شود که در این صورت مقطع را ۵+۱ می‌نامند همچنین ممکن است قطعات به صورت ۸+۱ باشد. در مقطع ۵+۱ زاویه‌ای که از تقاطع دو امتداد لبه‌های کلید ایجاد می‌شود 7° خواهد بود مطابق شکل و برای مقطع ۸+۱ این زاویه 14° خواهد بود.



چنانکه کلید در سقف تونل قرار گیرد نشان دهنده این است که تونل دارای مسیر مستقیم و سر پایینی است و اگر در کف تونل قرار گیرد تونل دارای مسیر مستقیم و سربالایی بوده و چنانچه در دیواره‌ها قرار گیرد جهت امتداد دادن به مسیر (معمولاً در قوس‌ها) تونل می‌باشد. قابل ذکر است که با جهت قرارگیری دو ریل واگن در این نوع تونل‌ها باید کف تونل را تا ارتفاعی کف سازی کرد که عرضی برابر ۷ متر را محیا کند مانند شکل قبل. جهت قرار دادن هر قطعه از مقطع در محل خود دو سوراخ در هر قطعه وجود دارد (مانند شکل کلیدها) که دستگاه حفاری (TBM) بتواند قطعه را برداشته و در محل خود قرار دهد و عمل تزریق بتن به پشت قطعات را از طریق این سوراخ‌ها انجام می‌دهد.

٤) تونل‌های پیاده رو:

[1] Key

این تونل‌ها جهت استفاده عابرین یا دوچرخه سوارها احداث می‌شود و معمولاً برای ایجاد ارتباط بین دو نقطه مسیر کوتاه ولی پرتردد در نظر گرفته می‌شود. به عنوان مثال تونل‌های ارتباطی بین پایانه‌های مسافربری و ایستگاه مترو.

امروزه کاربرد این تونل‌ها فراگیر شده و در این تونل‌ها از نقاله‌های متحرک افقی جهت جابجایی عابرین پیاده استفاده می‌شود.

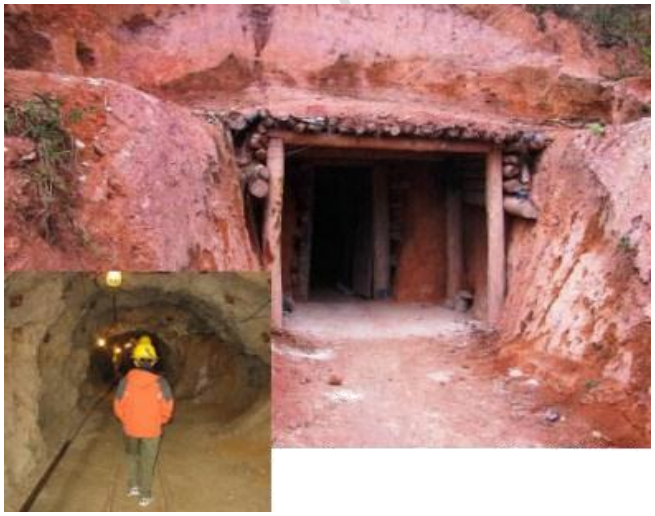
۵) تونل‌های صنعتی:

از این تونل‌ها معمولاً جهت انتقال مواد استفاده می‌شود و هر کدام از آن‌ها بسته به نوع استفاده دارای قوانین طراحی خاص خود می‌باشند.

از جمله این تونل‌ها عبارتند از :

- تونل‌های مربوط به نیروگاه‌های آبی و سد
- تونل‌های انتقال آب
- تونل‌های فاضلاب
- تونل‌های طرح‌های صنعتی
- تونل‌های انبارهای نظامی
- تونل‌های دفن زباله‌های اتمی

٦) تونل‌های معدنی:



این تونل‌ها در مناطق معدنی ممکن است به دو شکل مورد استفاده قرار گیرند.

الف) تونل‌های ارتباطی:

به منظور تأمین مسیرهای رفت و آمد از ورودی تونل تا محل تجمع مواد و یا نقاط دیگر معدن احداث می‌شوند و از قوانین تونل‌های راه‌آهن تبعیت می‌کند به این تونل، تونل اصلی نیز گفته می‌شود و اگر از این تونل انشعاب‌هایی گرفته شود به آن‌ها تونل‌های فرعی نیز گفته می‌شود.

www.GeoGIS.ir

ب) تونل‌های استخراج:

این تونل‌ها به منظور استخراج مواد معدنی حفر می‌شوند و چون به منظور دسترسی با کوتاه‌ترین مسیر به رگه‌های معدنی می‌باشد از ضوابط معینی پیروی نمی‌کنند؛ لذا گاهی اوقات به صورت چاه قائم و گاهی با شیب بسیار زیاد حفر می‌شوند و برای حمل و نقل واگن‌ها به جای استفاده از لوکوموتیو از جرثقیل استفاده می‌شود.

نکته: تونل‌های دیگری نیز در معادن وجود دارند مانند تونل‌های خدماتی (تهویه هوا) زهکشی و ... و نیز تونل‌ها بر اساس شکل و زاویه شیب در معادن نام‌های متفاوتی دارند.

www.GeoGIS.ir

فصل ۲

اصطلاحات نقشه‌برداری زیرزمینی :

۱) زیر زمین[1]

در اصطلاح عام به عوارض قابل دسترس مصنوعی یا طبیعی در داخل زمین گفته می‌شود.

۲) معدن[2]

مجموعه تأسیسات زمینی و دالان‌های زیرزمینی که به منظور هدف خاصی احداث شده را معدن گویند. اصطلاحاً به محل تجمع مواد معدنی نیز معدن می‌گویند. چنانچه شعاع معدن و تأسیسات آن کمتر از یک کیلومتر باشد به آن معدن کوچک و اگر بیش از یک کیلومتر باشد به آن معدن بزرگ گفته می‌شود.

۳) گالری[3]

به دالان‌های افقی زیر زمین که از یک طرف به منظور خاص مسدود است و خود یکی از راه‌های ورود به زیر زمین به شمار می‌رود گالری گویند. که به دو دسته تقسیم می‌شوند :

۳-۱) گالری اکتشافی: دالان‌هایی جهت اطلاع از وضعیت مواد معدنی

۳-۲) گالری آماده سازی: منشعب شده از تونل‌های اصلی جهت انجام کارهایی مانند تزریق بتن، شناسایی بر جریان‌های زیرزمینی، بررسی و اندازه‌گیری‌های ژئوتکنیکی و ...

٤) تونل[4]

دالان عریضی با شیب کم جهت عبور و مرور افراد و حمل مواد و خودرو و خطوط ریلی می‌باشد که معمولاً از دو طرف باز می‌باشد و در پروژه‌های راه سازی، کانال‌های آب و فاضلاب و سد سازی و ... مورد استفاده قرار می‌گیرد.

[1] Under Ground
[2] Mine
[3] Gallery
[4] Tunnel

۵) محور تونل[1]

خط وسط و مرکزی تونل که معمولاً به کمک نقاطی با فواصل منظم در سقف تونل مشخص می‌گردد.

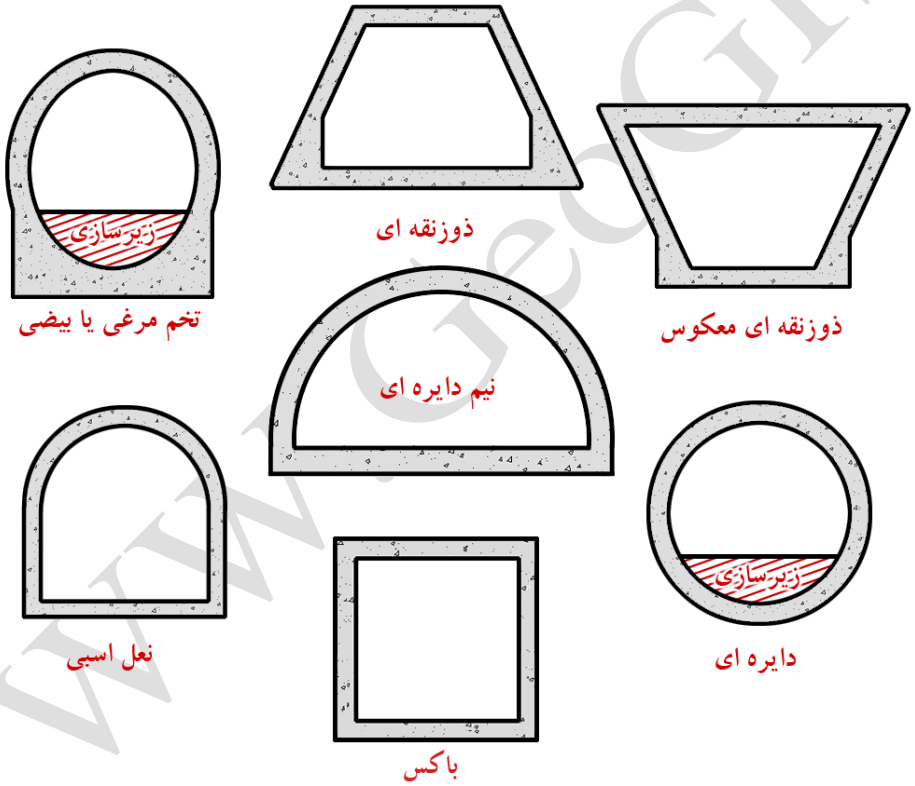
٦) ترانشه تونل[2]

شیب خاکبرداری دهانه‌های ورودی و خروجی تونل که دارای سقف نبوده را ترانشه تونل گویند.

۷) مقطع تونل[3]

شکل برش عرضی تونل یا شکل نهایی عرضی تونل را مقطع تیپ تونل گویند و اگر این مقطع نشان دهنده شکل موجود آن باشد به آن مقطع تونل گفته می‌شود شکل مقطع تیپ تونل به نوع کاربری، حجم و نوع سنگ منطقه بستگی دارد. به طور معمول شکل مقطع تیپ تونل را طوری در نظر می‌گیرند که فشار مکانیکی سنگ‌ها را به خوبی توزیع کند.

انواع مقاطع استاندارد تونل به شکل زیر می‌باشند.



۸) چال

سوراخی که جهت قرار دادن مواد منفجره درون سنگ حفر می‌شود و عمق آن به حجم انفجار، نوع سنگ و قدرت مواد منفجره بستگی دارد.

[1] Tunnel Axis
[2] Tunnel Trenche
[3] Tunnel Cross Section

۹) گمانه[1]

عبارت است از چاهی دارای قطر کم و عمیقی که جهت نمونه‌برداری از لایه‌های زمین یا جهت دادن امتداد حفاری از آن استفاده می‌شود و در دو نوع اکتشافی و راهنما موجود می‌باشد.

۱۰) چاه[2]

به دالان‌های قائم اصطلاحاً چاه یا شَفت گفته می‌شود که از راه‌های ورود به زیرزمین به شمار می‌آید. معمولاً مقطع چاه‌ها در اروپا و آسیا دایره و در آمریکا مربع یا مستطیل می‌باشد. از موارد استفاده چاه در بیرون آوردن مواد معدنی، دسترسی‌ها، تهویه و ... می‌باشد. در کل چاه‌ها را به دو دسته تقسیم می‌کنند :

الف) چاه دسترسی : با قطر یک الی دو متر و عمق کمتر از ۱۰۰ متر

ب) چاه عمیق : با قطری تا ۸ متر و عمقی تا ۱۵۰۰ متر و دارای آسانسور جهت حمل و نقل می‌باشند.

۱۱) رمپ[3] **یا شیب**

تونل شیب داری است که برای اتصال بین طبقات مختلف معدن به کار می‌رود و شیب آن ۱۰ الی ۲۵ درصد می‌باشد و در اصطلاح به آن بالارو یا پایین‌رو نیز گفته می‌شود.

[1] Soundage
[2] Shaft
[3] Ramp

۱۲) راهروهای فرعی

از تونل‌ها و گالری‌ها منشعب می‌شوند و مرتبط با هوای آزاد نیستند و شیب آن‌ها اکثراً تند و ابعاد آن‌ها (قطر و طول) کم است این راهروها یا تونل‌ها به نام‌هایی معروف هستند که در جدول زیر آورده شده است.

	نام تونل	شیب تونل (درجه)
تونل‌های فرعی	دِویل	$+45^{\circ}$ و بیشتر
	بِرمِزبِرک	$+18^{\circ}$ الی $+45^{\circ}$
	اُوکلون	-18° الی -45°
	گزنگ (چاه مورب)	-45° و بیشتر

۱۳) پوشش گذاری تونل

مستحکم کردن دیواره و سقف تونل با بتن و قالب‌بندی را پوشش گذاری تونل گویند که از ریزش یا نفوذ آب جلوگیری می‌کند.

۱٤) سینه کار[1]

به نقطه و محل پیش روی تونل که کار حفاری یا گودبرداری و یا آتش کاری صورت می‌گیرد، سینه کار گفته می‌شود؛ و از وظایف نقشه‌بردار مشخص کردن محدود سینه کار می‌باشد.

۱۵) جبهه کار

به فاصله بین قسمت‌های حفاری شده و قسمت‌های حفاری نشده جبهه کار گفته می‌شود.

۱٦) حفاری

پیش روی در امر گودبرداری زیرزمین که به وسیله ماشین‌های حفاری و یا آتش کاری انجام می‌شود را

[1] Face

حفاری گویند.

هدف از حفاری:

۱) استخراج موادی که حفاری می‌شود و استفاده از آن‌ها

۲) ایجاد مجرایی جهت عبور یا ایجاد مکانی در زیر زمین

۱۷) مش بندی

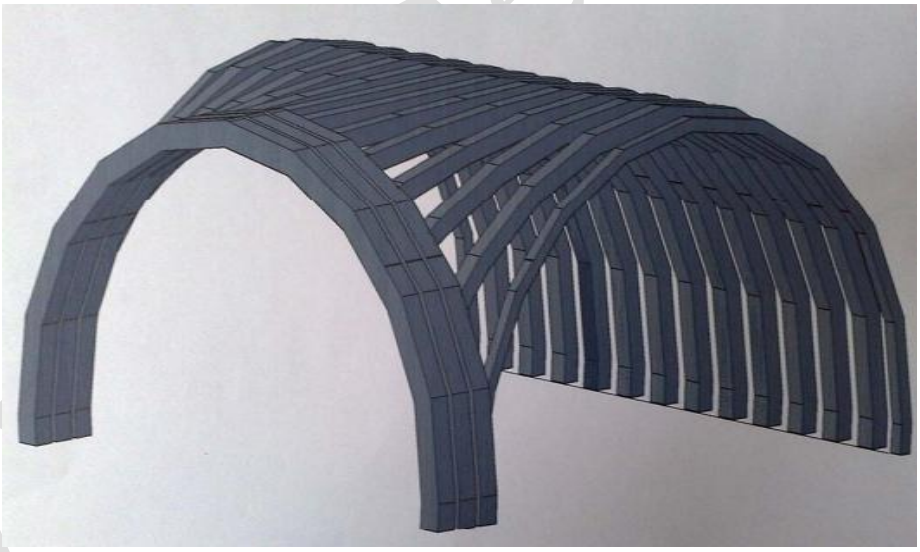
برای جلوگیری از ریزش دیواره تونل معمولاً از شبکه‌ای فلزی یا شبکه‌ای از آرماتورهای بهم تنیده شده استفاده می‌شود و آن‌ها را در دیواره تونل مستحکم کنند تا از ریزش سنگ جلوگیری کند.

۱۸) لیتیس

سازه‌ای فلزی یا بتنی که به عنوان مهاری یا نگهبان و تقویتی معمولاً در دهانه تونل بکار می‌رود؛ و موقعیت دقیق آن توسط نقشه‌بردار مشخص می‌شود.

۱۹) سازه سه راهی

چون در محل تقاطع‌ها استحکام تونل به علت وجود سطح وسیع‌تری که دارای تکیه‌گاه نمی‌باشد، کمتر از نقاط دیگر تونل می‌باشد. جهت جبران این مسئله و پیش‌گیری از احتمال ریزش از سازه‌ای که معمولاً فلزی می‌باشد ولی در برخی تونل‌ها چوبی و یا بتنی نیز می‌باشد استفاده می‌شود.



۲۰) لاینینگ[1]: (پوشش بتن نهایی)

پوشش بتنی و در واقع همان آستر نهایی تونل می‌باشد.

[1] Lining

۲۱) پذیرگاه

محل تقریباً وسیعی که تخلیه و بارگیری واگن‌های در آن جا صورت می‌گیرد که معمولاً در محل ارتباط با چاه قائم یا چاه مایل احداث می‌گردد.

۲۲) عیار (درصد خلوص)

یعنی چند درصد از مواد استخراجی، مواد معدنی است :

$$\frac{\text{مقدار مواد معدنی}}{\text{مقدار مواد استخراج شده}} \times ۱۰۰$$

۲۳) ذخیره معدنی

برآوردی از مقدار کل مواد معدنی موجود در معدن بر حسب تُن یا متر مکعب.

۲٤) برداشت استخراجی

هدف بدست آوردن حجم مواد استخراج شده از معدن در یک بازه زمانی مشخص می‌باشد که به دو روش قابل محاسبه می‌باشد :

الف) ماشین شمار : حجم هر ماشین ضرب در تعداد ماشین‌ها

ب) مقطع برداری : روش هندسی و محاسباتی که از وظایف نقشه‌برداری می‌باشد.

۲۵) شاتکریت

برای جلوگیری از ریزش قسمت‌های متزلزل اقدام به پاشیدن بتن به آن سطح می‌نمایند که این عمل را شاتکریت کردن گویند.

www.GeoGIS

عملیات نقشه‌برداری زیرزمینی

به طور کلی عملیات نقشه‌برداری زیرزمینی به سه مرحله عمده تقسیم می‌شود :

الف) مرحله طراحی پروژه زیرزمینی

ب) مرحله اجرا و هدایت حفاری و پیاده سازی سازه‌ها

ج) مرحله اندازه‌گیری‌ها و تهیه نقشه از زیر زمین مانند : تهیه پلان طبقات مختلف، تهیه پروفیل‌های طولی کف و سقف تونل، مقطع برداری از تونل، برداشت استخراجی و محاسبه حجم عملیات خاکی انجام عملیات میکروژئودزی و تعیین جابجایی‌ها

الف) مرحله طراحی پروژه زیرزمینی:

این مرحله خود شامل مراحل زیر می‌باشد.

۱) اکتشافات مقدماتی یا همان مطالعات اولیه: معمولاً با گمانه زنی و حفر چاه و مباحث زمین شناسی انجام می‌شود.

۲) ایجاد شبکه ژئودتیک در اطراف منطقه مورد نظر

۳) تهیه نقشه‌های کوچک، متوسط و بزرگ مقیاس در قالب نقشه‌های توپوگرافی و نقشه‌های هیپسومتری (نقشه‌هایی که تعیین کننده جنس مواد زمین در منطقه باشد) و دیگر نقشه‌های مورد نیاز می‌باشد.

۴) طراحی پروژه مورد نظر با در نظر گرفتن اطلاعات بدست آمده و هدف پروژه

ب) مرحله اجرا و هدایت حفاری و پیاده سازی سازه‌ها

۱) پیاده کردن دقیق نقاط تونل‌ها و چاه‌ها و مشخص کردن سینه کار و ابعاد مقطع حفاری در محل این نقاط

۲) هدایت چند متر اولیه تونل (ترانشه تونل)

۳) انتقال حداقل دو نقطه کنترل مسطحاتی و ارتفاعی به داخل تونل (در سقف)

۴) کنترل توأم جهت و شیب تونل در راستای حفاری (سینه کار)

۵) کنترل مقطع تونل در فواصل مشخص

۶) تکرار سه مرحله قبل

ج) اندازه‌گیری و تهیه نقشه‌های زیرزمینی

۱) شناسایی نقاط شبکه ژئودتیک روی زمین در نزدیکی دهانه‌ها تونل یا چاه یا ورودی زیر زمین

۲) پیاده کردن نقاط دهانه تونل به روش تقاطع با پیمایش و تعیین دقت مختصات آن از مختصات نقاط شبکه ژئودتیک

۳) انتخاب نقاط پیمایش زیرزمینی داخل تونل‌ها و گالری‌ها در محل‌های مناسب

۴) انجام پیمایش جهت انتقال مختصات از نقاط ثابت سطح زمین به ایستگاه‌های زیرزمینی

۵) انجام ترازیابی جهت تهیه پروفیل طولی کف و سقف و برداشت‌های مقاطع جهت تهیه مقطع تونل

۶) انجام برداشت‌های لازم از هر ایستگاه زیرزمینی جهت تهیه نقشه مورد نیاز

گروه‌های تخصصی که در طراحی یک پروژه زیرزمینی (تونل) مشارکت دارند :

گروه طراحی به علت ویژگی‌های سازه‌های زیرزمینی باید شامل تخصص‌های زیر باشد

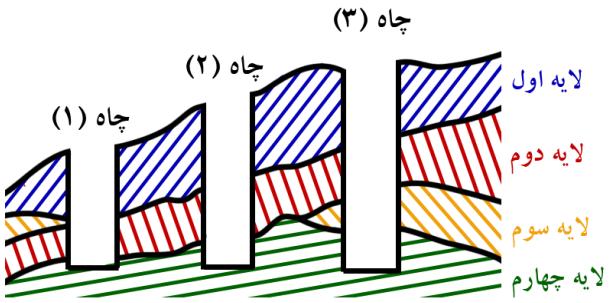
- **مهندس زمین شناس،** جهت تهیه برنامه بررسی‌ها و اکتشافات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک و تفسیر نتایج حاصل از بررسی‌ها، مشارکت در ارائه طرح پایداری اولیه مغارها و حفاری‌ها، اظهار نظر در مورد اقدامات لازم در برخورد با شرایط غیر معمول و انتخاب مسیر اصلی تونل و همکاری با متخصص آب زیرزمینی (مهندس هیدرولیک)
- **مهندس هیدرولیک،** جهت طرح پلان و پروفیل، و فشار آب در تونل و ویژگی‌های هیدرولیکی مقطع ساخته شده تونل و اعلام نظر در مورد گزینه‌ها
- **مهندس سازه،** جهت محاسبات پوشش‌ها در تونل‌های تحت فشار و محاسبه بتن مسلح، همکاری در انتخاب نوع پوشش تونل و حفاظت‌های موقت
- **مهندس ژئوتکنیک،** جهت محاسبه و ارزیابی‌های حفاظت‌های موقت، انتخاب روش‌ها و تدابیر مربوط به ناهنجاری‌ها و شرایط غیر متعارف، انتخاب نوع پوشش تونل و مسیر کلی تونل
- **مهندس عمران (سیویل)**، جهت انتخاب موقعیت کارگاه و تجهیزات، دست‌یابی به کارگاه، محل انبار مواد اضافی و تغییر محل تجهیزات مربوط به اجرا
- **مهندس نقشه‌بردار،** جهت تهیه نقشه پایه، انتخاب روش‌های تعیین مختصات و نقاط اصلی نقشه‌برداری (ایجاد شبکه ژئودتیک) و کنترل اجرای عملیات
- **مهندس عمران با تجربه اجرا در سازه‌های زیرزمینی،** جهت مشاوره در مورد روش‌های اجرای پیش بینی شده و راه حل‌های مقطعی و مشارکت در تهیه اسناد قرارداد و برنامه‌های کنترل کیفیت
- **گروه محیط زیست،** جهت بررسی اثرات محیط زیستی پروژه و ارائه راهکارها

فصل ۳

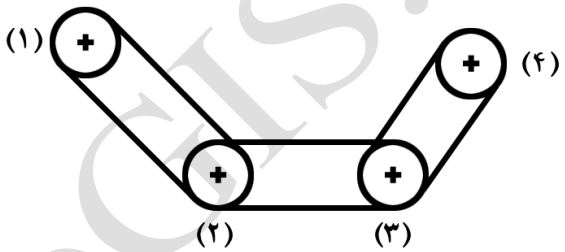
نقش نقشه‌بردار در عملیات زیرزمینی (معادن)

۱) همکاری در جهت اکتشاف معدن و تعیین موقعیت معدن برای حفر تونل با تهیه نقشه‌های کوچک مقیاس (۱/۲۵۰۰۰) و عکس‌های هوایی منطقه و تفسیر عکس

۲) همکاری در تعیین مسیر و عمق لایه‌های معدنی از روی تهیه نیم رخهای عرضی و طولی پس از ایجاد شبکه‌های مثلثاتی و پیمایش مناسب و تهیه نقشه توپوگرافی از منطقه.

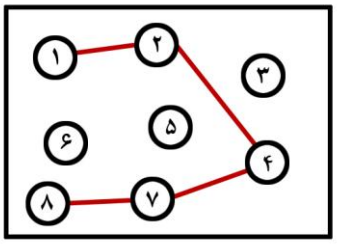


نیم رخ طولی



پلان مسیر لایه معدنی

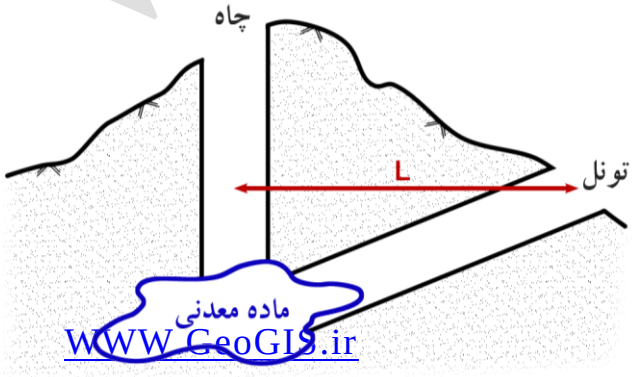
در شکل چاه‌ها (گمانه‌ها) با علامت + مشخص شده‌اند که از اتصال چاه‌هایی که دارای یک نوع ماده معدنی هستند مسیر لایه مشخص شود؛ و همچنین رسم نیم رخ طولی مربوط به عمق لایه‌ها، مسیر ارتفاعی لایه‌ها تعیین می‌گردد.



۳) همکاری در ارائه طرح استخراج معدن (تهیه نقشه استخراج با توجه به گمانه‌هایی که حاوی لایه‌های معدنی است). در شکل زیر مسیر استخراج نشان داده شده است. در حالی که چاه‌های شماره ۱ و ۲ و ۴ و ۷ و ۸ حاوی مواد معدنی مورد نظر می‌باشند.

۴) پیاده کردن موقعیت چاه عمودی به عنوان مبدأ استخراج و یا ورودی رمپ‌های طولانی برای شروع عملیات استخراجی و ورود به ابتدای لایه معدنی

مثال: با توجه به شکل چنانچه شیب چاه مایل (تونل) که مجاز به حفر آن هستیم ۱۵/۱۰۰ باشد و عمق گمانه نمونه‌برداری (چاه) ۳۰۰ متر باشد مطلوب است فاصله افقی مورد نیاز از چاه تا دهانه ورودی تونل (ما)



$$\frac{۱۵}{۱۰۰}=\frac{۳۰۰}{L}\Rightarrow\frac{۳۰۰۰۰}{۱۵}=۲۰۰۰^{m}$$

WWW.GeoGIS.ir

e_rastgou@yahoo.com

تمرین:

۵) هدایت دائمی عملیات از نظر افقی و ارتفاعی و یا به عبارتی از نظر جهت‌ها و شیب‌ها

نکته: عملیات زیرزمینی پر هزینه و وقت‌گیر است پس احتیاج به هدایت دائمی برای حفاظت شیب‌ها و راستاها را دارد.

۶) برداشت مقطع طولی و عرضی تونل‌های حفاری شده جهت مقایسه با طرح (مقاطع طولی و عرضی طراحی شده) و اعلام انحراف آن‌ها (بررسی کسری یا اضافه حفاری) که از وظایف معمول نقشه‌بردار زیرزمینی می‌باشد.

۷) استقرار نقاط ثابت در سقف و یا دیواره‌های تونل و برداشت مکرر آن‌ها جهت اثبات یا تغییر وضعیت زمین

۸) تعیین حجم حفاری و حجم لایه‌های معدنی

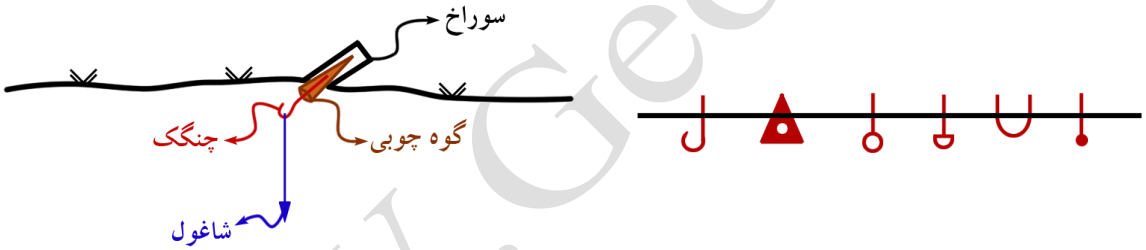
ایستگاه گذاری در نقشه‌برداری زیرزمینی :

ایستگاه گذاری در نقشه‌برداری یکی از مهمترین و اساسی‌ترین مراحل می‌باشد چون موقعیت و دقت

ایستگاه تأثیر مستقیم بر دقت و سرعت اجرا از آن ایستگاه را دارد و طبق قانون انتشار خطا مقدار این خطا به علاوه خطای مشاهدات به نقاط اندازه‌گیری شده منتقل می‌شود. حال شرایط ویژه زیرزمینی این امر را پیچیده‌تر و مشکل‌تر و حساس‌تر می‌کند. همان طور که می‌دانید هر چه زاویه بین دو امتداد به 180° نزدیک‌تر باشد باعث عدم استحکام شبکه و گاهی اشتباه در زاویه داخلی و خارجی می‌گردد پس باید تا حد امکان زاویه بین ایستگاه‌های زیرزمینی از 180° دور باشد نقاط را باید طوری در نظر گرفت که هر نقطه به نقاط قبل و بعد از خود دید داشته باشد و در جایی مستحکم انتخاب شوند و با توجه به عبور و مرور فراوان در دالان‌های زیرزمینی ایستگاه گذاری در دیواره یا سقف و یا کف با شرایط ویژه‌ای انجام شود.

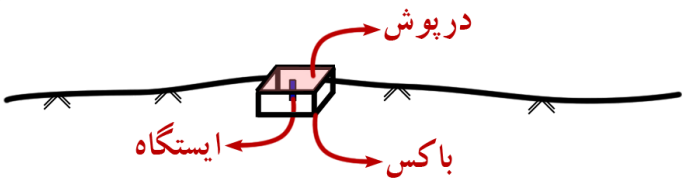
۱) ایستگاه گذاری در سقف:

در این روش معمولاً سقف را با زاویه شیب بین ۴۵ تا ۸۰ درجه نسبت به سطح تونل به کمک دریل یا چکش چال (چکش بادی) سوراخ کرده و درون آن یک گوه مستحکم می‌کنند و سپس چنگک مخصوص (پیتون) در این گوه چوبی قرار داده می‌شود که بتوان به آن شاقولی با مکان ثابتی آویزان نمود که ایستگاه سقفی را تشکیل می‌دهد در برخی مواقع به جای گوه چوبی و چنگک از یک آرماتور چنگکی استفاده می‌شود که با بتن در سوراخ سقف محکم می‌شود استفاده شود.



۲) ایستگاه گذاری در کف :

این نوع ایستگاه گذاری در کف تونل می‌باشد ولی به علت تردد و احتمال آسیب دیدن و از بین رفتن آن برای این ایستگاه‌ها جعبه‌ای در نظر گرفته می‌شود که درپوش دارد. مانند شکل زیر



* قابل ذکر است که از این نوع ایستگاه در تونل‌هایی که پر از گل و لای یا آب هستند نمی‌توان استفاده نمود.

www.GeoGIS.ir

۳) ایستگاه گذاری در دیوار :

انواع معمول ایستگاه‌های دیواری عبارتند از ۱) روپر ۲) تارگت دیواری ۳) ایستگاه کشویی ۴) پیلار دیواری

۱) روپر:

ایستگاه ارتفاعی است جهت قرارگیری شاخص بر روی آن که در ارتفاع حدود ۳۰ الی ۵۰ سانتیمتری از کف تونل تعبیه شده و کنار آن شماره و ارتفاع آن درج شده.

۲) تارگت دیواری :

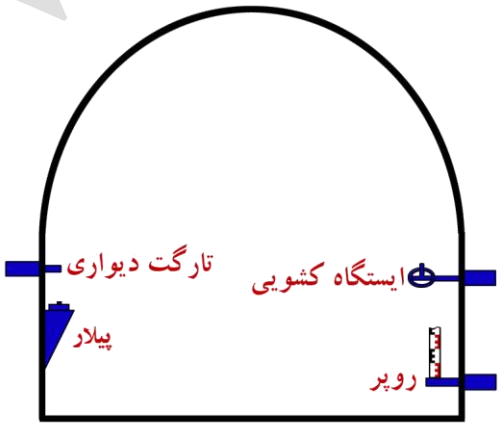
این نوع ایستگاه‌ها در اصل قابل ایستگاه گذاری نبوده و نقاطی ثابت هستند که مختصات آن‌ها مشخص می‌باشد و جهت کنترل از آن‌ها استفاده می‌شود.

۳) ایستگاه‌های کشویی یا لولایی :

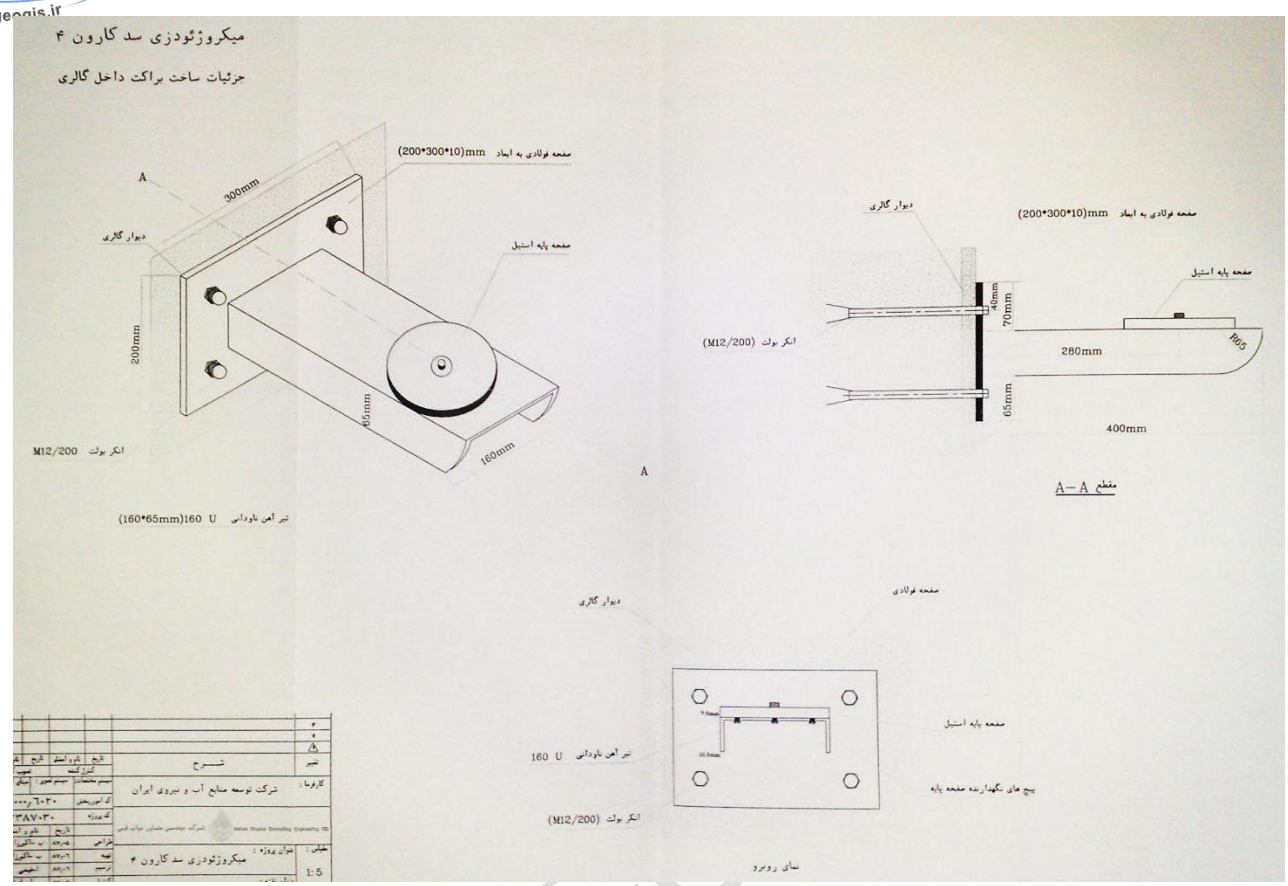
این نوع ایستگاه‌ها شامل صفحه‌ای تخت و پیچی که نقش همان سه پایه را بازی می‌کنند دارند و قابل ایستگاه گذاری دوربین می‌باشد و در دو نوع کشویی و لولایی موجود می‌باشد.

۴) پیلار دیواری :

این نوع ایستگاه‌ها که به صورت ثابت در دیواره تونل ایجاد می‌شوند می‌تواند بتنی یا فلزی باشد که شامل یک صفحه گرد و پیچ میانی می‌باشد که نقش سه پایه را بازی می‌کنند و مختصات دقیق این ایستگاه‌ها مشخص بوده و برای بدست آوردن مختصات دوربین مستقر شده بر روی آن تنها مختصات ارتفاعی آن فرق دارد که مقدار آن برابر ارتفاع دوربین از صفحه پیلار به علاوه ارتفاع پیلار می‌باشد.



www.GeoGIS.ir



روش‌های حفاری تونل :

۱) روش انفجاری ۲) روش تراشندگی ماشینی

۱) روش انفجاری :

در این روش در داخل تونل در سینه کار محل‌هایی برای احداث چاه توسط نقشه‌بردار تعیین می‌شود و دستگاهی به نام دریل واگن شروع به سوراخ کردن آن نقاط در آزیموت و زاویه شیب و عمق مشخصی می‌کند سپس درون این چال‌ها را با مواد منفجره مخصوص به میزان مشخص پرکرده و با رعایت نکات ایمنی اقدام به انفجار می‌کنند که این کار توسط آتشباران انجام می‌شود. البته در تمامی پروژه‌ها نمی‌توان از این روش بهره گرفت و به شرایطی چون نوع و مقاومت سنگ حریم پروژه با مناطق مسکونی، حجم عملیات حفاری، دقت مورد نیاز کار و ... بستگی دارد.

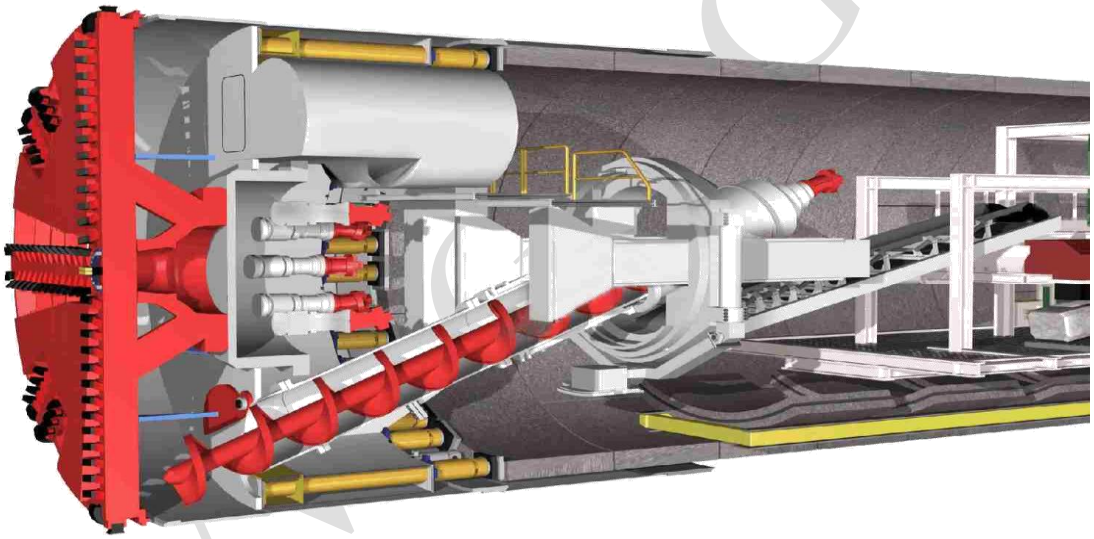
۲) روش تراشندگی و ماشینی :

این روش یکی از بهترین روش‌ها در زمان‌هایی است که نمی‌توان از مواد منفجره استفاده نمود. دستگاه‌های متفاوت و زیادی در این رابطه وجود دارند که هر کدام بسته به شرایط تونل مورد استفاده قرار می‌گیرند. این دستگاه‌ها بسیار گران قیمت هستند و اصول کلی کار آن‌ها تقریباً یکسان است. جلو این دستگاه‌ها تیغه‌های گردانی وجود دارد که جنس آن‌ها معمولاً از کاربیت تنگستن می‌باشد که یک آلیاژ بسیار سخت می‌باشد. این تیغه‌ها با سرعت و بر روی سنگ خطوطی ایجاد می‌کنند و باعث خُرد

شدن سنگ‌ها می‌شوند و به محفظه‌های بین تیغه رفته و از آنجا از طریق تسمه نقال‌هایی به درون واگن‌های حمل ریخته می‌شوند و واگن‌ها آن‌ها را به بیرون از تونل هدایت می‌کنند. یکی از جدیدترین و معروف‌ترین این ماشین‌های حفاری دستگاه TBM می‌باشد.

دستگاه TBM[1]

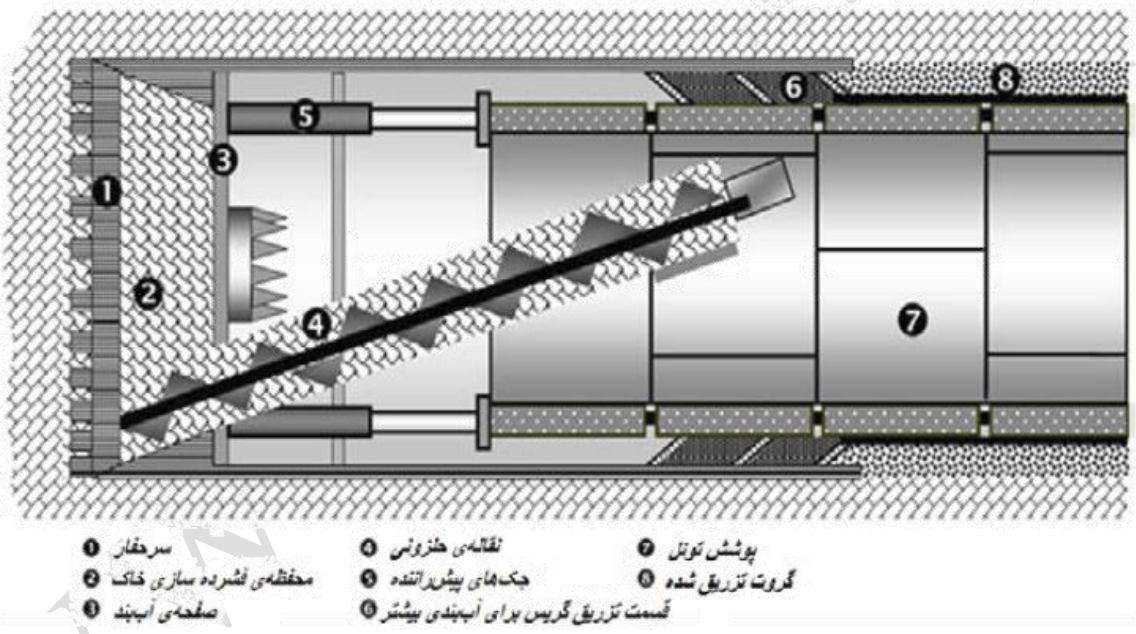
دستگاه حفاری تونل یا تی‌بی‌ام که با نام مول[2] نیز شناخته می‌شود، دستگاهی است که برای حفاری تونل‌ها از آن استفاده می‌گردد. این دستگاه با استفاده از یک سطح مقطع مدور، قادر است در قشرهای خاکی و سنگی زمین حفاری کند. این نوع از ماشین‌آلات توانایی ایجاد حفره در هر نوع زمینی، از سنگ سخت گرفته تا ماسه را دارد. قطر تونل‌هایی که این دستگاه ایجاد می‌کند در محدوده یک متر (با استفاده از میکرو-تی‌بی‌ام‌ها) تا نزدیکی ۱۶ متر (تی‌بی‌ام‌های امروزی) قرار دارند. برای کندن تونل‌هایی که کم‌تر از یک متر قطر دارند، به طور معمول، به جای استفاده از تی‌بی‌ام‌ها، از روش ساخت‌وساز بدون گودال یا حفاری افقی استفاده می‌کنند.



دستگاه‌های حفاری تونل، به عنوان جایگزینی برای روش‌های حفاری و انفجار صخره‌ها و کندن زمین با دست مورد استفاده قرار می‌گیرد. تی‌بی‌ام‌ها مزایایی همچون کاهش تعرض به زمین‌های مجاور و ایجاد دیوارهای نرم در تونل را دارند. این دستگاه به صورت قابل توجهی هزینه پوشش گذاری تونل را کاهش می‌دهد که خود این باعث شده برای استفاده در مناطق شهرنشین به شدت مناسب باشند.

[1] Tunnel Boring Machine
[2] Mole

ایراد عمده این دستگاه قیمت بالای آن است. تی‌بی‌ام‌ها برای استفاده در ساخت‌وسازها گران قیمت بوده و آن‌ها را به سختی می‌توان جابجا کرد. هر چند با وجود طویل بودن تونل‌های مدرن، هزینه استفاده از دستگاه‌های حفاری تونل، در مقابل روش‌های سنتی حفر و انفجار به مراتب پایین‌تر است. به همین دلیل تونل سازی با دستگاه‌های تی‌بی‌ام در یک پروژه کوتاه تأثیر بیشتری دارد.



عملیات بعد از حفاری

بعد از حفاری و یا تخریب، مسائلی چون تهویه، تخلیه، کنترل، ترمیم، تحکیم و پوشش انجام می‌شود.

تهویه :

بعد از هر حفاری اولین کاری که انجام می‌شود تهویه هوای محل حفاری است چون حفاری باعث ایجاد گرد و غبار فراوان می‌شود (مخصوصاً حفاری به روش انفجار) و هم هوایی آلوده را ایجاد می‌کند و هم باعث دید کم می‌گردد.

کنترل :

بعد از حفاری باید چک نمود که آیا امتداد و شیب به درستی حفاری گردیده یا خیر.

ترمیم :

در انفجار برخی مواقع اتفاق می‌افتد که سنگی یکجا فرو ریزد و یا به خاطر سختی که دارد کمتر از حد مورد نظر خُرد شود. تمام این موارد باید مشخص شوند و کار ترمیم (اصلاح آن‌ها) انجام شود.

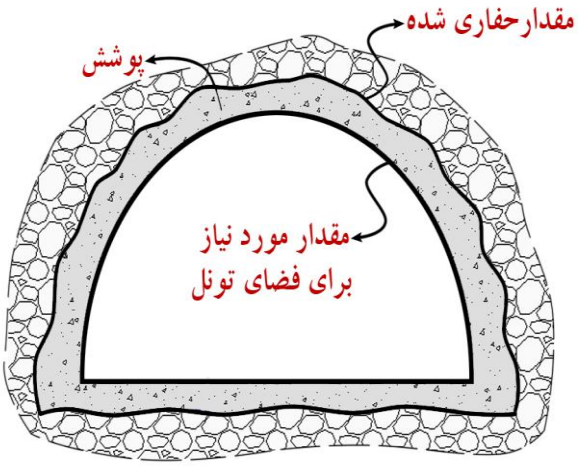
تحکیم :

از شاتکریت جهت تحکیم مواردی که متزلزل هستند استفاده می‌شود (سیمان را به داخل شبکه‌های فلزی می‌پاشند تا ریزش نکند)

پوشش :

مقدار حفاری را بیشتر از آن چه لازم است انجام می‌دهیم و سپس پوششی از سنگ یا بتن مطابق شکل در این فاصله قرار می‌دهیم.

سنگ ارزانتر است اما در مواقع آب‌رسانی باید از بتن استفاده کنیم تا آب نفوذ نکند.



محاسبه ضخامت پوشش در تونل‌ها :

در طراحی برای محاسبه ضخامت پوشش یا همان آستر بتنی معمولاً از رابطه زیر استفاده می‌شود

$$t = \frac{p \times r}{(\frac{\sigma_b}{F}) - p} + \frac{150}{\frac{\sigma_b}{F}}$$

t : ضخامت آستر بتنی بر حسب سانتیمتر

p : فشار موثر بر آستر بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

σ_b : مقاومت بتن ۲۸ روزه بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

F : ضریب ایمنی که معمولاً ۲ در نظر گرفته می‌شود.

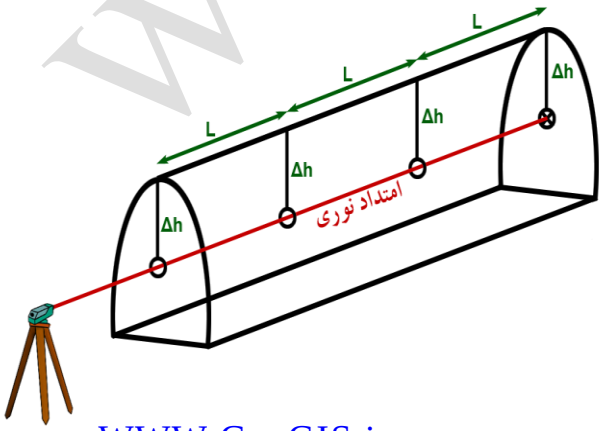
r : شعاع تونل بر حسب سانتیمتر

H : عمق تونل نسبت به سطح زمین

روش‌های هدایت ارتفاعی و طولی تونل بدون استفاده از سیستم مختصات

۱) روش حلقه‌ای ۲) روش لیزری

۱) روش حلقه‌ای: در این روش حلقه‌ای از سقف تونل آویزان می‌کنند و حلقه بعدی را با توجه به شیب تونل با اختلاف ارتفاع مشخص نسبت به حلقه قبل آویزان می‌شود. مثلاً چنانچه شیب تونل ۷ درصد باشد و هر حلقه نسبت به حلقه قبلی در فاصله افقی ۱۰ متری قرار گیرد. مطابق رابطه زیر اختلاف ارتفاع ۲ حلقه متوالی ^{cm} ۷۰ خواهد بود



$$\frac{7}{100} = \frac{\Delta h}{10} \Rightarrow \Delta h = \frac{70}{100} = 0.7^{m}$$

www.GeoGIS.ir

از معایب این روش کم بود دید در فواصل زیاد (بیش از ^{m}۳۵) می‌باشد.

۲) روش لیزری: در این روش از یک دستگاه ایجاد پرتو لیزر جهت لاینینگ استفاده می‌شود. که معمولاً این دستگاه دوربین توتال استیشن لیزری می‌باشد. این روش تا حدی مشکل کمبود دید روش قبل را حل می‌کند (تا فاصله ۷۰ متر)

جبهه‌های کار در عملیات زیرزمینی :

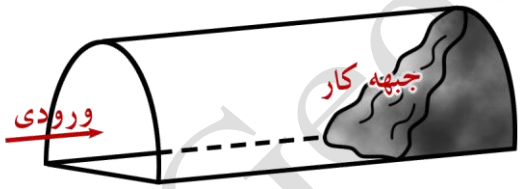
۱- یک جبهه: در ورودی

۲- دو جبهه : در ورودی و خروجی

۳- بیش از دو جبهه : در ورودی و خروجی و تونل‌های دسترسی و چاه‌های عمودی

۱- یک جبهه:

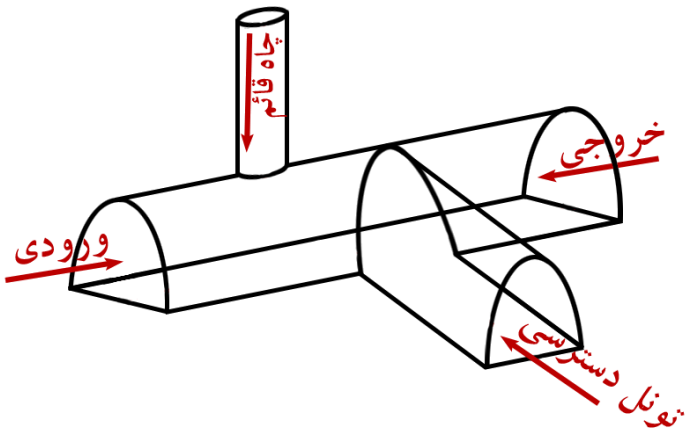
یک جبهه به صورت ورودی معمولاً در عملیات‌های ساده زیرزمینی استفاده می‌شود.



۲- دو جبهه :

این نوع عملیات اکثراً در پروژه‌های حفر تونل‌های حمل‌ونقل مورد استفاده قرار می‌گیرد؛ و از دو طرف عملیات حفاری صورت می‌گیرد و باید در یک نقطه به هم برسند. این روش نیاز به کار محاسباتی و عملیاتی دقیق دارد تا انحرافی در امتدادهایی که از دو طرف حفر می‌شوند رخ ندهند.

۳- بیش از دو جبهه : در این روش که بیشتر در تونل‌های طویل بکار می‌رود بجز جبهه ورودی و خروجی، جبهه‌هایی به صورت تونل‌های دسترسی و یا چاه‌های قائم نیز خواهیم داشت.

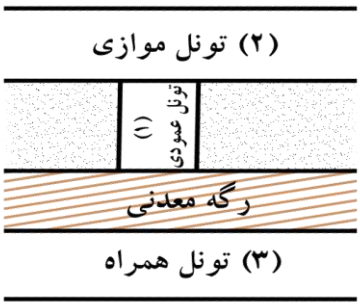


موقعیت‌های مختلف تونل نسبت به موقعیت رگه‌های معدنی

۱) عمود بر رگه

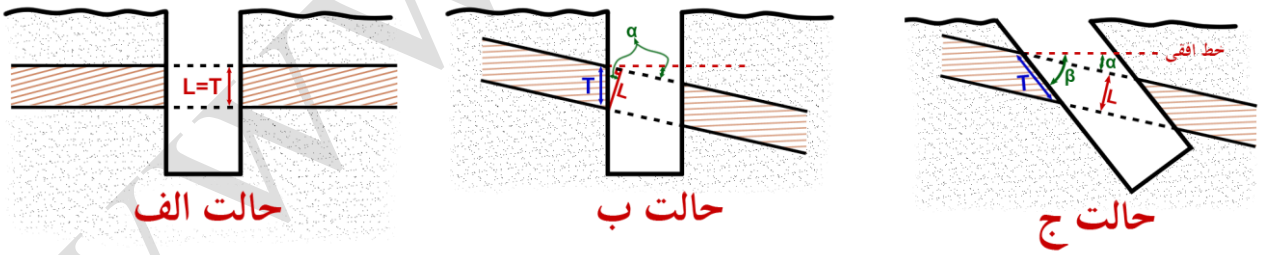
۲) موازی با رگه

۳) همراه رگه



محاسبه ضخامت لایه معدنی :

در حفر چاه جهت یافتن لایه‌های معدنی : سه حالت زیر ممکن است رخ دهد که باید بتوان ضخامت لایه‌ها را در این سه حالت بدست آورد



حالت الف) در این حالت زاویه حفاری عمود بر سطح لایه معدنی بوده و ضخامت مقطع لایه (T) با ضخامت لایه (L) برابر می‌باشد.

$$L=T$$

حالت ب) در این حالت حفاری قائم بوده ولی لایه زاویه‌ای به اندازه α با سطح افق دارد پس داریم:

$$Cos\alpha=\frac{L}{T}\Rightarrow L=T\times Cos\alpha$$

حالت ج) در این حالت هم حفاری شیب‌دار انجام شده (با زاویه β) و هم لایه معدنی دارای شیب بوده

www.GeoGIS.ir

(شیب به اندازه α) پس در این حالت خواهیم داشت:

$$Cos(\beta-\alpha)=\frac{L}{T}\Rightarrow L=T\times Cos(\beta-\alpha)$$

کارهایی که در یک عملیات نقشه‌برداری زیرزمینی انجام می‌شود را می‌توان به دسته‌های کلی زیر تقسیم کرد :

A) علامت گذاری نقاط
B) اندازه‌گیری فاصله
C) اندازه‌گیری زاویه
D) تعیین وضعیت یک امتداد در زیرزمین به کمک نقاط در سطح زمین
E) تعیین وضعیت یک امتداد در زیر زمین به کمک دستگاه‌های امتداد سنج
F) انتقال ارتفاع از سطح زمین به زیر زمین
G) برداشت مقطع از تونل

A) علامت گذاری نقاط: در عملیات زیرزمینی به صورت مداوم ما اقدام به پیاده سازی نقاط و برداشت نقاط می‌کنیم و لازمه آن استقرار دوربین بر روی نقاط ایستگاه و توجیه دوربین است به دلایلی که گفته شد ایستگاه‌ها بیشتر در سقف و در دیواره تونل ایجاد می‌شوند و برای استقرار دوربین در محل این نقاط از روش‌های زیر می‌توان استفاده کرد.

۱) **شاقول:** شاقول را از نقطه بالای سقف آویزان می‌کنیم تا به بالای تلسکوپ دوربین برسد بعد دوربین را طوری سانتراژ می‌کنیم که شاقول در نقطه وسط تلسکوپ قرار گیرد.

۲) **اپتیکی:** برای استفاده از روش اپتیکی از شاقول‌های زنیت نادیر باید استفاده کرد که در یک زمان هم قابلیت دید نقطه زنیتی و هم نادیری را داشته باشیم.

۳) **لیزری:** در این روش از شاقول زنیتی استفاده می‌شود.

B) اندازه‌گیری فاصله

اندازه‌گیری فاصله به دو روش زیر در نقشه‌برداری زیرزمینی قابل انجام است :

الف) روش مستقیم ب) روش غیر مستقیم

الف) روش مستقیم: در این روش از نوار اندازه‌گیری (متر) استفاده می‌شود؛ و چون فضای زیر زمین مرطوب است از متری با جنس فلزی به نام لیتون که ترکیبی از آلیاژهای مس و روی است استفاده می‌شود.

ب) روش غیر مستقیم: در این روش از روش‌های زیر می‌توان استفاده کرد

۱) استادیمتری ۲) پارالاکتیک ۳) استفاده از طولیاب‌های الکترونیکی (EMD)

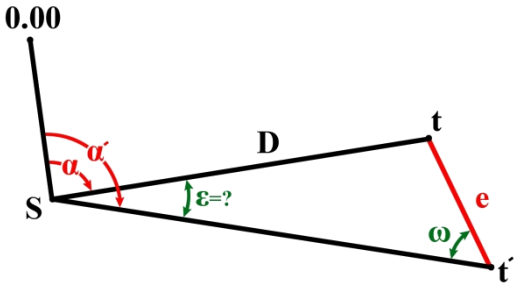
C) اندازه گیری زاویه:

جهت اندازه گیری زاویه در زیر زمین از همان روش‌های معمول کوپل، تکرار، تجدید و دور افق استفاده می‌شود ولی به علت محدودیت فضا ممکن است شرایطی رخ دهد که نتوان بر روی ایستگاه مستقر شد یا تارگت را بر روی نقطه نشانه مستقر کرد که در این شرایط اندازه گیری زوایا را به روشی به نام خارج از ایستگاهی انجام می‌دهند.

روش‌های خارج از ایستگاهی

الف) تارگت فقط خارج از ایستگاه قرار گرفته باشد.

در این حالت به جای زاویه α زاویه α' قرائت می‌شود.



$$\alpha = \alpha' - \varepsilon$$

$$\frac{e}{\sin\varepsilon} = \frac{D}{\sin\omega} \Rightarrow \sin\varepsilon = \frac{e}{D}\sin\omega$$

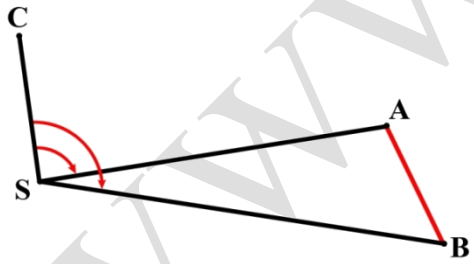
$$\Rightarrow \varepsilon = \sin^{-1}(\frac{e}{D}\sin\omega) \Rightarrow \varepsilon = \rho(\frac{e}{D}\sin\omega)$$

نکته: زمانی می‌توان $\sin\varepsilon = \varepsilon$ به نظر گرفت که

$$\frac{\varepsilon^3}{3!} < \sigma_\alpha \Rightarrow \varepsilon < \sqrt[3]{\frac{6\times\sigma''_\alpha}{206265}} \times 180/\text{pi}$$

σ_α: دقت قرائت زاویه

مثال: در شکل زیر به علت وجود مانع بر سر راه تارگت A تارگت B قرائت شده و مشاهدات زیر حاصل شده. مقدار زاویه $C\hat{S}A$ را بدست آورید:



$$C\hat{S}B = 100^o\ 21'\ 35''$$

$$A\hat{B}S = 66^o\ 50'\ 39''$$

$$SA = 425.134^m$$

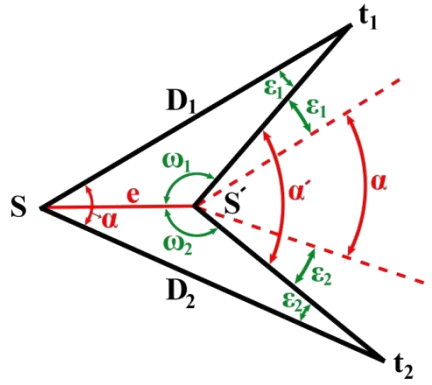
$$AB = 61.839^m$$

$$\Rightarrow A\hat{S}B = \sin^{-1}(\frac{61.839}{425.134} * \sin(66^o\ 50'39'')) = 7^o\ 41'\ 8.64''$$

$$\Rightarrow C\hat{S}A = 100^o\ 21'\ 35'' - 7^o\ 41'\ 8.64'' = 92^o\ 40'\ 26.36''$$

WWW.GeoGIS.ir

ب) تنها زاویه‌یاب خارج از ایستگاه قرار گرفته باشد.



در این حالت بجای زاویه α زاویه α' قرائت می‌شود.

$$\alpha-\alpha'=d\varepsilon=\varepsilon_1+\varepsilon_2$$

$$\frac{D_1}{\sin\omega 1}=\frac{e}{\sin\varepsilon 1}\Rightarrow \sin\varepsilon 1=\frac{e}{D1}\sin\omega 1$$

$\varepsilon_1=\left(\frac{e}{D_1}\times\sin\omega 1\right)$ اگر $\Longrightarrow$ ε_1 مقدارش کم باشد

$\varepsilon_2=\left(\frac{e}{D_2}\sin\omega 1\right)$ اگر $\Longrightarrow$ ε_2 مقدارش کم باشد

$$\Rightarrow \alpha=\alpha'\pm\rho(\frac{e}{D_1}\sin\omega_1+\frac{e}{D_2}\sin\omega_2)\xrightarrow[\sin(\omega_2)=-\sin(\alpha'+\omega_1)]{\omega_2=360-(\alpha'+\omega_1)}\alpha=\alpha'\pm\rho(\frac{e}{D_1}\sin\omega_1-\frac{e}{D_2}\sin(\alpha'+\omega_1))$$

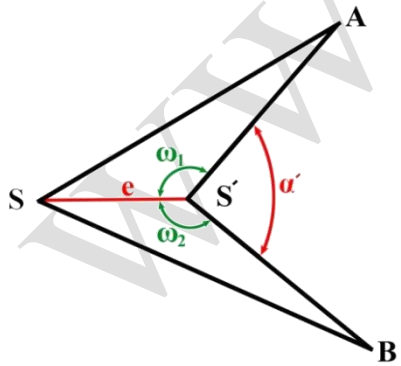
ولی زمانی که مقدار ε کوچک نباشد باید فرمول را به شکل زیر نوشت.

$$\alpha=\alpha'\pm(\sin^{-1}(\frac{e}{D_1}\sin\omega_1)+\sin^{-1}(\frac{e}{D_2}\sin\omega_2))$$

$$\alpha=\alpha'\pm(\sin^{-1}(\frac{e}{D_1}\sin\omega_1)-\sin^{-1}(\frac{e}{D_2}\sin(\alpha'-\omega_1))$$

نکته: زمانی در این فرمول از تفریق (-) استفاده می‌کنیم که ایستگاه گذاری داخل زاویه انجام شده باشد یا به عبارتی $\alpha<\alpha'$ باشد. (زاویه ω بزرگتر از 90^o باشد) و در غیر این صورت از علامت مثبت (+) در فرمول فوق استفاده می‌کنیم.

مثال: در شکل زیر به علت اینکه در کنار ایستگاه (نقطه s) مانعی وجود داشته نتوانسته‌ایم در آن محل ایستگاه گذاری کنیم و در نقطه 's زاویه یاب را مستقر کرده‌ایم و قرائت‌های زیر را انجام داده‌ایم زاویه $A\hat{S}B$ را بدست آورید.



$A\hat{S}'B=64^\circ\ 45'\ 58''$

$w_1=144^\circ\ 6'\ 26''$

$w_2=151^\circ\ 7'\ 35''$

$e=14.0422^m$

$SA=87.1325^m$

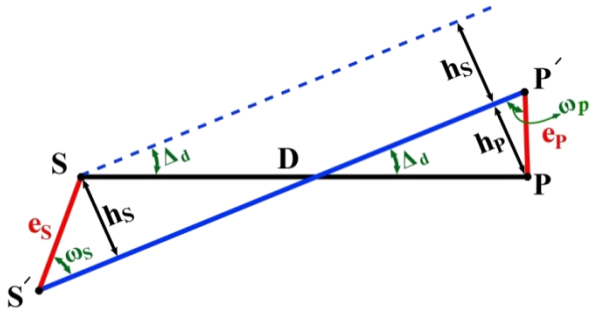
$SB=95.4051$

$$\alpha=64^o\ \ 45'\ \ 58''-(\sin^{-1}(\frac{14.0422}{87.1325}\sin(144^o\ \ 6'\ 26''))+\sin^{-1}(\frac{14.0422}{95.4051}\sin(151^o\ \ 7'\ \ 35'')))=55^o\ 16'\ 8.27''$$

www.GeoGIS.ir

ج) زمانی که هم زاویه‌یاب و هم تارگت خارج از محل خود قرار داشته باشند

در این حالت برای قرائت هر امتداد خارج از ایستگاهی تصحیح‌ها زیر نیاز می‌باشد.

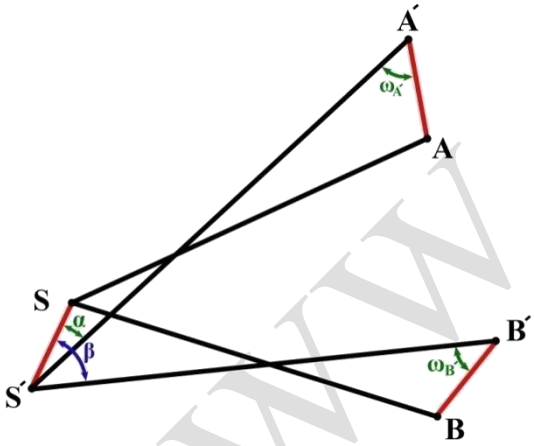


و اگر مقدار Δd را برای هر دو امتداد یک زاویه بدست آوریم که به این شکل قرائت شده می‌توان به مقدار واقعی آن زاویه دست یافت.

$$\sin(\Delta d)=\frac{hs+hp}{D}\,,\qquad hs=e_s\times\sin(\omega_s)\,,\qquad hp=e_p\times\sin(\omega_p)$$

$$\Rightarrow \sin(\Delta d)=\frac{e_s\times\sin(\omega_s)+e_p\times\sin(w_p)}{D}\xrightarrow{\Delta d}\Delta d''=\rho\left(\frac{e_s\sin(\omega_s)+e_p\sin(\omega_p)}{D}\right)$$

مثال: به علت وجود موانع بر روی نقاط استقرا دوربین و تارگت، استقرا در نقاط نزدیک به آن‌ها انجام شده و مشاهدات زیر بدست آمده زاویه $A\hat{S}B$ را بدست آورید.



$\overline{SA}=76.4096$ $\qquad$ $\overline{SB}=82.8029$

$\overline{AA'}=19.4121$ $\qquad$ $\overline{BB'}=16.1984$

$\omega_{A'}=51^o\,22'o''$ $\qquad$ $\omega_{B'}=41^o\,47'17''$

$\alpha=27^o\,54'18''$ $\qquad$ $\hat{\beta}=63^o\,57'13''$

$\overline{SS'}=24.9105$

$$h_{S'A'}=\overline{SS'}\sin(\alpha)=24.9105\times\sin\left(27^o\,54'18''\right)=11.658^m$$

$$h_{A'S'}=\overline{AA'}\sin(\omega_{A'})=19.4121\times\sin(51^o\,22')=15.1639^m$$

$$\Delta d_A=\sin^{-1}\left(\frac{11.658+15.1639}{76.4096}\right)=20^o\,33'1.55''$$

$$h_{S'B'}=\overline{SS'}\sin(\beta)=24.9105\times\sin(63^o\,57'13'')=22.3806^m$$

$$h_{B'S'}=\overline{BB'}\sin(\omega_{B'})=16.1984\times\sin(41^o\,47'17'')=10.7942^m$$

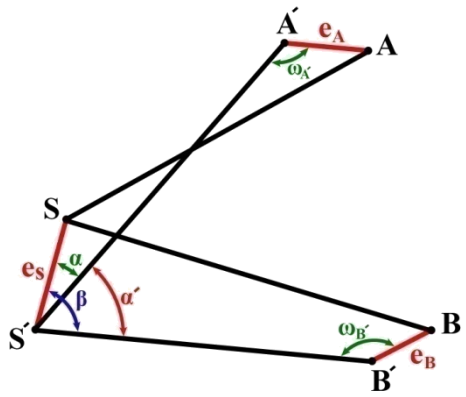
$$\Delta d_B=\sin^{-1}\left(\frac{22.3806+10.7942}{82.8029}\right)=23^o\,37'7.26''$$

$$\alpha'=\alpha-\beta=36^o\,2'55''$$

$$\alpha=\alpha'+(\Delta d_B-\Delta d_A)=36^o\,2'55''+23^o\,37'7.26-20^o\,33'1.55''=39^o\,7'0.71''$$

WWW.GeoGIS.ir

مثال: به علت وجود موانع بر روی نقاط استقرار دوربین و تارگت، استقرار در نقاط نزدیک به آن نقاط صورت گرفته و مشاهدات زیر انجام شده زاویه $A\hat{S}B$ را بدست آورید.



$\overline{SA} = 85.7861^m$ $\quad \overline{SB} = 92.3769^m$

$\overline{e_A} = 18.7354^m$ $\quad \overline{e_B} = 16.6278^m$

$\omega_{A'} = 121^o 51' 45''$ $\quad \omega_{B'} = 151^o 23' 5''$

$\alpha' = 49^o 9' 5.3''$ $\quad \hat{\beta} = 103^o 2' 33''$

$\overline{e_S} = 20.4491^m$

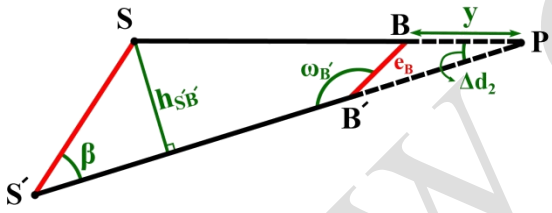
$$h_{S'A'} = \overline{e_S} \times \sin(\alpha) = 20.4491 \times \sin(49^o\ 9'5.3'') = 15.4686^m$$

$$h_{A'S'} = \overline{e_A} \times \sin(180 - WA') = 18.7354 \times \sin(121^o\ 51'45'') = 15.9123^m$$

$$\Delta d_A = \sin^{-1}\left(\frac{15.4686 + 15.9123}{85.7861}\right) = 21^o\ 27'25.32''$$

$$h_{S'B'} = \overline{e_S} \times \sin(\beta) = 20.4491 \times \sin(103^o\ 2'33'') = 19.9216^m$$

اگر دو امتداد $\overline{SB}$ $\overline{S'B'}$, را ادامه دهیم تا همدیگر را قطع کنند و زاویه Δd_B را تشکیل دهند می‌توان نوشت.



$$h_{S'B'} = (\overline{SB} + y) \times \sin(\Delta d_2)$$

$$(1)\ h_{S'B'} = \overline{SB} \times \sin(\Delta d_2) + y \sin(\Delta d_2)$$

رابطه $\Rightarrow \frac{e_B}{\sin \Delta d_2} = \frac{y}{\sin(\omega B')} \Rightarrow (2) e_B \times \sin(\omega B') = y \times \sin(\Delta d_2)$

سینوس‌ها را برای مثلث BPB' می‌توان نوشت

$$\Rightarrow 16.6278 \times \sin(151^o\ 23'5'') = 7.9635$$

$$(1),(2)\begin{cases} 19.9216 = \overline{SB} \times \sin(\Delta d_2) + y \sin(\Delta d_2) \\ 7.9635 = y \times \sin(\Delta d_2) \end{cases} \Rightarrow 19.9216 - 7.9635 = 92.3769 \times \sin(\Delta d_2)$$

$$\Rightarrow \Delta d_2 = \sin^{-1}\left(\frac{11.9581}{92.3769}\right) = 7^o\ 26'15.89''$$

$$\alpha' = \beta - \alpha = 103^o\ 2'33'' - 49^o\ 9'5.3'' = 53^o\ 53'27.7''$$

$$\Rightarrow \alpha = \alpha' + (\Delta d_2 - \Delta d_1) = 53^o\ 53'27.7'' - 21^o\ 27'25.32'' + 7^o\ 26'15.89'' = 39^o\ 52'18.27''$$

www.GeoGIS.ir

فصل ٤

D) تعیین وضعیت یک امتداد در زیر زمین به کمک نقاط در سطح زمین:

جهت تعیین وضعیت یک امتداد در زیر زمین که اساس اصلی هدایت سمت در زیرزمین است از روش‌های زیر می‌توان بهره برد :

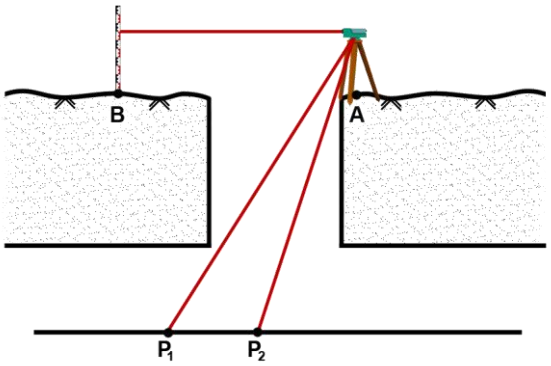
۱) استفاده از منشور گونیا ساز

۲) استفاده از دوربین زنیت نادیر یا شاقول لیزری

۳) استفاده از دو شاقول

۴) استفاده از سه شاقول

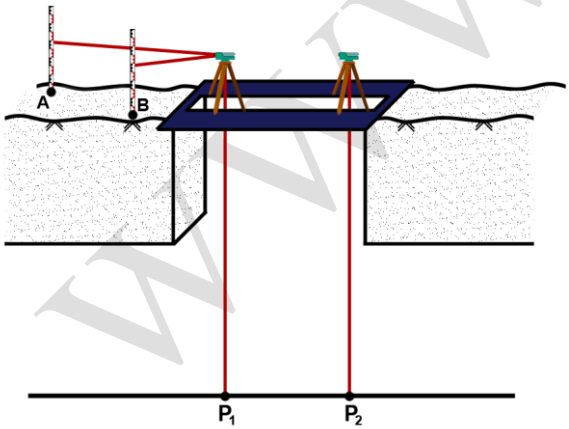
۵) استفاده از روش پیمایش



۱) استفاده از منشور گونیا ساز:

منشورهایی وجود دارند که در جلو تلسکوپ دوربین نصب می‌شوند و راستای محور دیدگانی را 90° به سمت زنیت تغییر می‌دهند. در این روش مانند شکل بعد از توجیه دوربین نسبت به امتداد A به B منشور گونیاساز را نصب کرده و دو نقطه P_1 و P_2 را با زاویه مدنظر نسبت به امتداد $\overline{AB}$ پیاده سازی می‌کنیم.

نکته: در هنگام پیاده سازی نقطه P_1 و P_2 لمب افقی را قفل کرده و تنها تلسکوپ دوربین در راستای قائم حرکت داشته باشد.



۲) استفاده از دوربین زنیت نادیر یا شاقول لیزری

در این روش مانند شکل مدخل چاه با محافظ مخصوص که قابلیت اطمینان و استقرار دوربین و دید نقاط نادیر را داشته باشند پوشیده می‌شود و دوربین زنیت نادیر پس از توجیه نسبت به نقاط کنترل زمین B و A اقدام به پیاده سازی نقطه اول (P_1) در تونل کرده و سپس تغییر مکان داده و دوباره عمل توجیه نسبت به نقاط کنترل زمینی B و A را انجام داده و سپس نقطه P_2 را پیاده سازی می‌کند و با داشتن مختصات این دو ایستگاه در اصل مختصات مسطحاتی نقاط P_1 و P_2 را داریم.

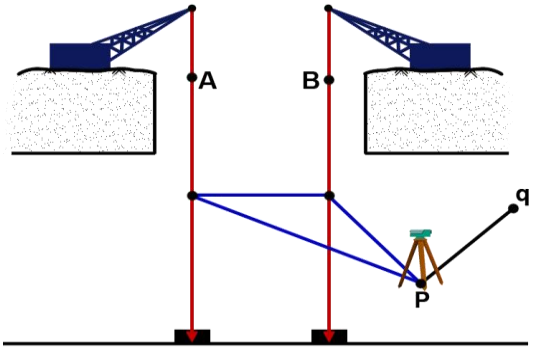
۳) استفاده از دو شاقول

همان طور که متوجه شدید هدف انتقال مختصات و مشخص کردن آزیموت یک امتداد در زیرزمین

می‌باشد زمانی که بخواهیم از دو شاقول استفاده کنیم (می‌توان از دو چاه و دو شاقول یا از یک چاه و دو شاقول استفاده کرد) می‌توان از یکی از روش‌های زیر استفاده کرد و آزیموت امتداد مورد نظر را مشخص نمود.

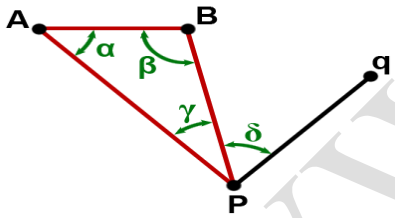
الف) استفاده از مشاهدات یک ایستگاه (استفاده از مثلث ویزباخ) :

در این روش همانند شکل دو وزنه با سیم (سیم‌بکسل) به جرثقیل‌های ثابتی آویزان شده (دو شاقول) و وزنه‌ها درون سطل روغنی به صورت شناور قرار داده می‌شوند تا از حرکت و تاب خوردن آن جلوگیری شود سپس مختصات مسطحاتی این دو شاقول یا همان مختصات نقاط B و A از ایستگاه‌های کنترل زمینی مشخص می‌گردد. حال در این روش می‌تواند تعیین امتداد به دو حالت زیر صورت می‌گیرد:



حالت اول) همانند شکل دوربین بر روی یک سر یک امتداد مشخص مستقر شده باشد (نقطه P) و بخواهیم ژیزمان امتداد مورد نظر (G_{pq}) را بدست آوریم. در این حالت ژیزمان $\overline{AB}$ مشخص بوده و مشاهدات زیر انجام می‌شود.

قرائت زوایای δ و γ و طول‌های AP و BP و از روابط زیر به ژیزمان امتداد pq دست می‌یابیم.



$$\overline{AB} = (\overline{PA}^2 + \overline{PB}^2 - 2\times\overline{PA}\times\overline{PB}\cos\gamma)^{0.5}$$

$$\frac{Sin\alpha}{PB} = \frac{Sin\gamma}{AB} \Rightarrow \alpha = Sin^{-1}(\frac{PB\times Sin\gamma}{AB})$$

$$\frac{Sin\beta}{PA} = \frac{Sin\gamma}{AB} \Rightarrow \beta = Sin^{-1}(\frac{PA\times Sin\gamma}{AB})$$

حال خطای بست مثلث PBA را بدست آورده و زوایا را تصحیح می‌کنیم (در صورت مجاز بودن)

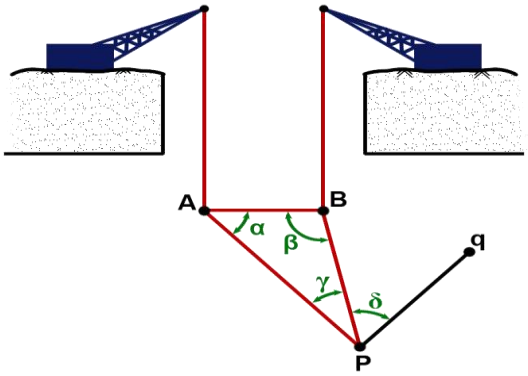
$$e = 180 - \alpha - \beta - \gamma \Rightarrow \begin{cases} \alpha' = \alpha + (-\frac{e}{3}) \\ \beta' = \beta + (-\frac{e}{3}) \\ \gamma' = \gamma + (-\frac{e}{3}) \end{cases}$$

$$G_{AP} = G_{AB} + \alpha \pm 180 \quad , \quad G_{pq} = G_{AP} + \gamma + \delta \pm 180$$

و نیز از رابطه تقاطع می‌توان نقاط p و q را مختصات دار نمود.

WWW.GeoGIS.ir

مثال: چنانچه جهت تعیین آزیموت امتداد pq در یک تونل زیرزمینی مشاهدات زیر انجام شده باشد مطلوب است محاسبه آزیموت این امتداد



$$G_{AB} = 80^{\circ}13'15'' \qquad \gamma = 25^{\circ}11'5''$$
$$L_{PA} = 8.653^{m} \qquad \delta = 118^{\circ}36'12''$$
$$L_{PB} = 6.241^{m}$$

$$AB = (8.653^2 + 6.241^2 - 2\times 8.653\times 6.241\times Cos(25^{\circ}11'5''))^{0.5} = 4.011^{m}$$

$$\frac{Sin\alpha}{PB} = \frac{Sin\gamma}{AB} \Rightarrow \alpha = Sin^{-1}\left(\frac{6.241\times Sin\,25^{\circ}11'5''}{4.011}\right) = 41^{\circ}\,28'\,2.44''$$

$$\frac{Sin\beta}{PA} = \frac{Sin\gamma}{AB} \Rightarrow \beta = Sin^{-1}\left(\frac{8.653\times Sin\,25^{\circ}11'5''}{4.011}\right) = 66^{\circ}\,39'\,7.44''$$

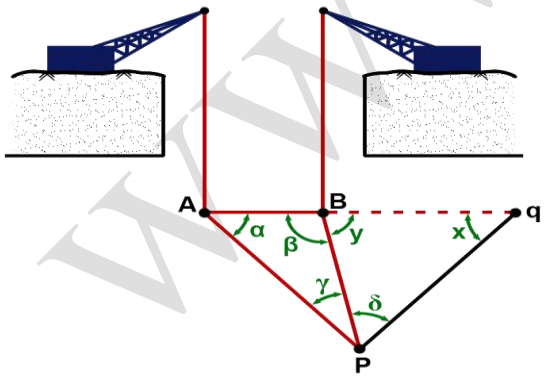
چون زاویه β مقابل وتر می‌باشد و مقدار آن از ۹۰° بیشتر می‌باشد در نتیجه جواب رابطه سینوسی زاویه خارجی خواهد بود و برای رسیدن به زاویه داخلی (β) باید از ۱۸۰° کم شود.

$$\Rightarrow \beta = 180 - 66^{\circ}39'7.44'' = 113^{\circ}20'52.56''$$

$$e = 180 - 41^{\circ}28'2.44'' - 113^{\circ}20'52.56'' - 25^{\circ}11'5'' = 4\times 10^{-13}$$ قابل صرف نظر کردن

$$\Rightarrow G_{AP} = 80^{\circ}13'15'' + 41^{\circ}28'2.44'' = 121^{\circ}41'17.44''$$

$$\Rightarrow G_{Pq} = 121^{\circ}41'17.44'' + 25^{\circ}11'5'' + 118^{\circ}13'12'' - 180 = 85^{\circ}28'34.44''$$



حالت دوم) همانند شکل در این حالت هدف یافتن طولی است که از نقطه P با زاویه δ باز کنیم تا به نقطه‌ای در راستای امتداد AB برسیم یا همان نقطه q (هدف یافتن طول pq)

در این حالت همانند حالت قبل زاویه β را یافته و سپس زوایای X و Y را یافته با داشتن یک طول و سه زاویه در مثلث PBq می‌توان طول pq را از روابط مثلثاتی حساب کرد و همچنین آزیموت امتداد Bq برابر آزیموت امتداد AB می‌باشد. قابل ذکر است که در این حالت زاویه β را می‌توان از یک رابطه دیگر نیز بدست آورد که در زیر به آن می‌پردازیم.

WWW.GeoGIS.ir

$$AB=\sqrt{(X_B-X_A)^2+(Y_B-Y_A)^2}$$ یا $$AB^2=PA^2+PB^2-2\times PA\times PB\times Cos\gamma$$

$$\frac{Sin\beta}{AP}=\frac{Sin\gamma}{AB}\Rightarrow\beta=Sin^{-1}(\frac{AP\times Sin\gamma}{AB})$$

روش دوم بدست آوردن زاویه β

$$\frac{Sin\beta}{PA}=\frac{Sin\alpha}{PB}=\frac{Sin(180-(\beta+\gamma))}{PB}=\frac{Sin(\beta+\gamma)}{PB}=\frac{Sin\beta.Cos\gamma+Cos\beta.Sin\gamma}{PB}$$

$$\Rightarrow PBSin\beta=PA.Sin\beta.Cos\gamma+PA.Cos\beta.Sin\gamma$$ طرفین تقسیم بر $Sin\beta$

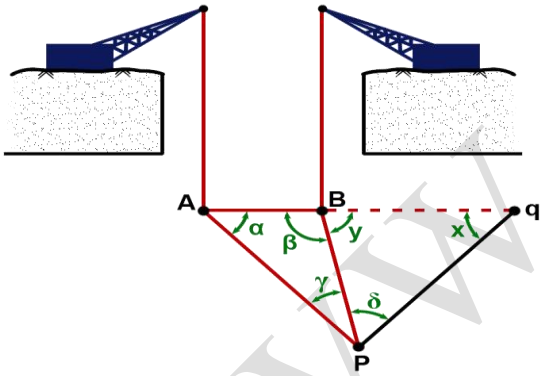
$$\Rightarrow PB=PA.Cos\gamma+PACot\beta.Sin\gamma=PB-PA.Cos\gamma=Cot\beta.Sin\gamma$$

$$\Rightarrow Cot\beta=\frac{PB-PA.Cos\gamma}{Sin\gamma}\Rightarrow\beta=tan^{-1}(\frac{Sin\gamma}{PB-PA.Cos\gamma})$$

پس از یافتن زاویه β در مثلث BPq داریم:

$$Y=180-\beta\quad,\quad X=180-Y-\delta$$

$$\frac{SinX}{PB}=\frac{Sin(180-\beta+\delta)}{PB}=\frac{SinY}{pq}=\frac{Sin\beta}{pq}\Rightarrow pq=\frac{PB\times Sin\beta}{Sin(180-\beta+\delta)}=\frac{PB\times Sin(\alpha+\gamma)}{Sin(\alpha+\gamma+\delta)}$$



مثال: چنانچه مطابق شکل بخواهیم نقطه‌ای (q) در امتداد دو شاقول B و A با استقرار بر روی نقطه p ایجاد کنیم مطلوب است با توجه به مشاهدات زیر طول pq جهت پیاده سازی نقطه q.

$$A\begin{vmatrix}100\\100\end{vmatrix}\qquad B\begin{vmatrix}105.73\\100.00\end{vmatrix}$$

$$\delta=79^\circ27'14''\qquad\overline{PB}=8.541^m$$

$$\gamma=35^\circ42'50''\qquad\overline{PA}=9.750^m$$

$$AB=\sqrt{(105.73-100)^2+(100-100)^2}=5.73^m$$

$$\frac{Sin35^\circ42'50''}{5.73}=\frac{Sin\alpha}{8.541}\Rightarrow\alpha=Sin^{-1}(\frac{Sin(35^\circ42'50'')\times8.541}{5.73})=60^\circ28'15.4''$$

$$\beta=180-\alpha-\gamma=180-60^\circ28'15.4''-35^\circ42'50''=83^\circ48'54.6''$$

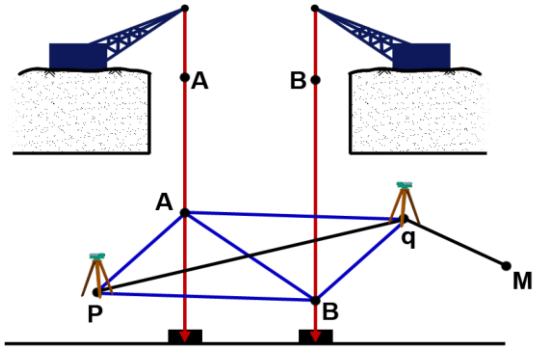
$$Y=180-\beta=180-83^\circ48'54.6''=96^\circ11'5.4''$$

$$pq=\frac{8.541\times Sin83^\circ48'54.6''}{Sin(96^\circ11'5.4''+79^\circ27'14'')}=111.66^m$$

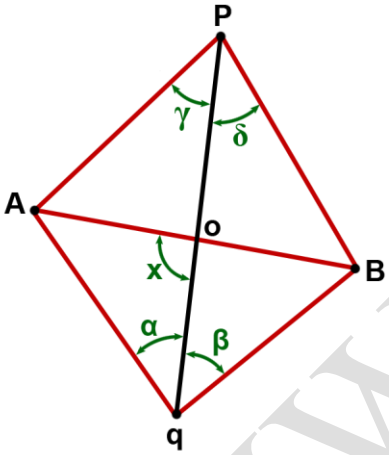
یا

$$pq=\frac{8.541\times Sin(60^\circ 28'15.4''+35^\circ 42'50'')}{Sin(60^\circ 28'15.4''+35^\circ 42'50''+79^\circ 27'14'')}=111.66^m$$

ب) استفاده از مشاهدات دو ایستگاه (استفاده از چهار ضلعی هاوس) :



در این روش نیز همانند شکل از دو شاقول آویزان در سطل روغن جهت جلوگیری از نوسانات شاقول استفاده می‌شود و مختصات نقاط A و B توسط ایستگاه‌های کنترل زمینی مشخص می‌شود. حال با انجام مشاهداتی از دو نقطه امتدادی که از میان دو نقطه A و B می‌گذارد اقدام به محاسبه وضعیت امتداد مستقر شده (امتداد pq) می‌نماییم. در این روش که روش دقیقی است مشاهدات ما را زوایای α و β و γ و δ تشکیل می‌دهد و مجهول زاویه تقاطع یا همان x می‌باشد که با یافتن آن می‌توان به آزیموت pq دست یافت و وضعیت امتداد pq را مشخص نمود.



$$G_{qp}=G_{AB}-X$$

$$POB\begin{cases}\frac{Sin\delta}{OB}=\frac{Sin(X+\delta)}{OP}\Rightarrow OP=\frac{OB\times Sin(X+\delta)}{Sin\delta}\\ \frac{Sin\gamma}{OA}=\frac{Sin(X-\gamma)}{OP}\Rightarrow OP=\frac{OA\times Sin(X-\gamma)}{Sin\gamma}\end{cases}POA$$

$$qOB\begin{cases}\frac{Sin\beta}{oB}=\frac{Sin(X-\beta)}{oq}\Rightarrow Oq=\frac{OB\times Sin(X-\beta)}{Sin\beta}\\ \frac{Sin\alpha}{OA}=\frac{Sin(X+\alpha)}{Oq}\Rightarrow Oq=\frac{OA\times Sin(X+\alpha)}{Sin\alpha}\end{cases}qOA$$

$$\frac{oP}{oq}=\frac{\frac{oB\times Sin(X+\delta)}{Sin\delta}}{\frac{oB\times Sin(X-\beta)}{Sin\beta}}=\frac{oB\times Sin\beta\times SinX\times Cos\delta+Sin\beta\times Sin\delta\times CosX}{oB\times Sin\delta\times SinX\times Cos\beta-Sin\beta\times CosX}$$

$$\frac{oP}{oq}=\frac{\frac{Sin\beta\times SinX\times Cos\delta+Sin\beta\times Sin\delta\times CosX}{SinX\times Sin\delta\times Sin\beta}}{\frac{Sin\delta\times SinX\times Cos\beta-Sin\delta\times Sin\beta\times CosX}{SinX\times Sin\delta\times Sin\beta}}=\frac{\frac{Cos\delta}{Sin\delta}+\frac{CosX}{SinX}}{\frac{Cos\beta}{Sin\beta}-\frac{CosX}{SinX}}=\frac{Cot\delta+CotX}{Cot\beta-CotX}\qquad\langle 1\rangle$$

www.GeoGIS.ir

$$\frac{oP}{oq}=\frac{\frac{oA\times Sin(X-\gamma)}{Sin\gamma}}{\frac{oA\times Sin(X+\alpha)}{Sin\alpha}}=\frac{oA\times Sin\alpha\times SinX\times Cos\gamma-Sin\alpha\times Sin\gamma\times CosX}{oA\times Sin\gamma\times SinX\times Cos\alpha+Sin\gamma\times Sin\alpha\times CosX}$$

$$\frac{oP}{oq}=\frac{Sin\alpha\times SinX\times Sin\gamma-Sin\alpha\times Sin\gamma\times CosX}{SinX\times Sin\alpha\times Sin\gamma}\Big/\frac{Sin\gamma\times SinX\times Cos\alpha+Sin\gamma\times Sin\alpha\times CosX}{SinX\times Sin\alpha\times Sin\gamma}=\frac{\frac{Cos\gamma}{Sin\gamma}-\frac{CosX}{SinX}}{\frac{Cos\alpha}{Sin\alpha}+\frac{CosX}{SinX}}=\frac{Cot\gamma-CotX}{Cot\alpha+CotX}\qquad\langle 2\rangle$$

$$\xrightarrow{\langle 1\rangle=\langle 2\rangle}\frac{Cot\delta+CotX}{Cot\beta-CotX}=\frac{Cot\gamma-CotX}{Cot\alpha+CotX}=Cot\delta.Cot\alpha+Cot\delta.CotX+CotX.Cot\alpha+Cot^2X=$$

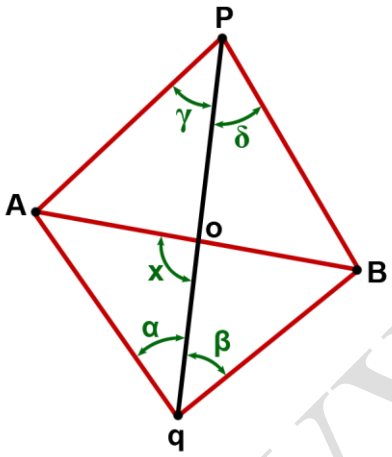
$$Cot\beta.Cot\gamma-Cot\beta.CotX-CotX.Cot\gamma+Cot^2X$$

$$\Rightarrow Cot\delta.Cot\alpha+Cot\delta.CotX+CotX.Cot\alpha+Cot^2X-Cot\beta.Cot\gamma+Cot\beta.CotX+CotX.Cot\gamma-Cot^2X=0$$

$$\Rightarrow Cot\delta.CotX+CotX.Cot\alpha+Cot\beta.CotX+CotX.Cot\gamma=Cot\beta.Cot\gamma-Cot\delta.Cot\alpha$$

$$\Rightarrow CotX=\frac{Cot\beta.Cot\gamma-Cot\delta.Cot\alpha}{Cot\delta+Cot\alpha+Cot\beta+Cot\gamma}$$

حال با داشتن زاویه x به راحتی می‌توان به ژیزمان امتداد pq دست یافت.



مثال: جهت تعیین ژیزمان امتداد زیرزمینی pq از دو شاقول آویزان در نقاط A و B با مختصات‌های زیر استفاده شده و سپس در زیر زمین از روی دو نقطه p و q مشاهدات زیر انجام شده است مطلوب است ژیزمان امتدادpq .

$$A\begin{vmatrix}100\\100\end{vmatrix}\qquad B\begin{vmatrix}110\\100\end{vmatrix}$$

$$AB=10^m$$

$$V_{AB}=\tan^{-1}\left|\frac{10}{0}\right|\Rightarrow\Delta y=0\Rightarrow\Delta x>0\quad\Rightarrow G_{AB}=90^\circ$$

ایستگاه	نشانه	قرائت امتداد	زاویه
p	A	16°15′11″	
	O	330°46′05″	45°29′6″
	B	286°18′56″	44°27′09″
q	A	36°51′32″	
	O	80°32′30″	43°40′58″
	B	130°01′03″	49°28′33″

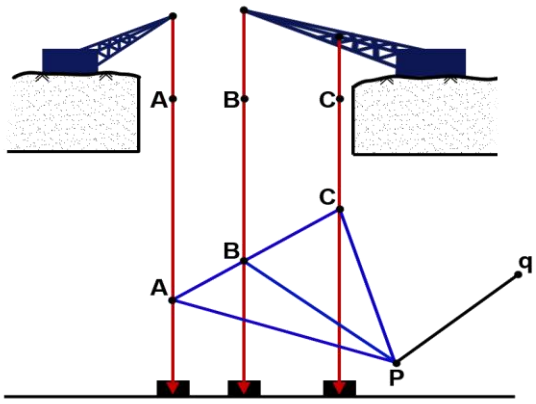
WWW.GeoGIS.ir

$$\tan x = \frac{Cot\,\delta + Cot\,\alpha + Cot\,\beta + Cot\,\gamma}{Cot\,\beta.Cot\,\gamma - Cot\,\delta.Cot\,\alpha}$$

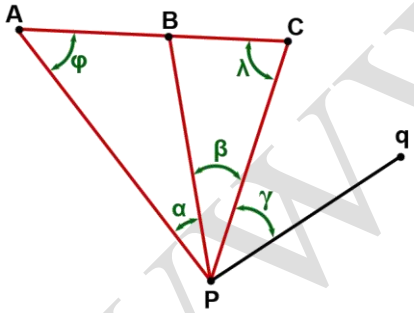
$$\Rightarrow X = \tan^{-1}\left(\frac{\frac{1}{\tan 44^\circ 27'09''} + \frac{1}{\tan 45^\circ 29'06''} + \frac{1}{\tan 43^\circ 40'58''} + \frac{1}{\tan 49^\circ 28'33''}}{\frac{1}{\tan 49^\circ 28'33'' \times \tan 45^\circ 29'06''} - \frac{1}{\tan 43^\circ 40'58'' \times \tan 44^\circ 27'09''}}\right) = 86^\circ 40'31.06''$$

$$\Rightarrow G_{pq} = 90 - 86^\circ 40'31.06'' + 180 = 183^\circ 19'28.94''$$

٤) استفاده از سه شاقول:



در این روش همانند شکل سه شاقول به کمک جرثقیل‌های ثابتی آویزان شده و وزنه این شاقول‌ها در سطل روغنی قرار می‌گیرد تا از نوسانات شاقول‌ها جلوگیری شود و موقعیت این سه شاقول (نقطه A,B,C) توسط نقاط کنترل زمینی مشخص می‌گردد. نکته قابل ذکر این است که باید این سه شاقول در یک راستا قرار گرفته باشند در این روش تنها از مشاهدات زاویه استفاده می‌شود و تنها فواصل بین شاقول‌ها مشخص می‌باشد. با توجه به شکل می‌توان دریافت که اگر یکی از دو زاویه مجهول λ یا φ بدست آید دیگر مجهولات قابل دستیابی بوده و می‌توان ژیزمان امتداد pq را بدست آورد. مشاهدات در این روش سه زاویه می‌باشد و همچنین فاصله بین شاقول‌ها. $\left(\overline{BC}, \overline{AB}\right)$.



$$\varphi + \alpha + \beta + \lambda = 180 \Rightarrow \lambda + \varphi = 180 - (\alpha + \beta) = \kappa_1$$

$$\begin{cases} \frac{Sin\varphi}{PB} = \frac{Sin\alpha}{AB} & (1) \\ \frac{Sin\lambda}{PB} = \frac{Sin\beta}{BC} & (2) \end{cases} \xrightarrow[(2)]{(1)} \frac{Sin\varphi}{Sin\lambda} = \frac{\frac{Sin\alpha}{AB}}{\frac{Sin\beta}{BC}} = \frac{BC.Sin\alpha}{AB.Sin\beta} = \kappa_2$$

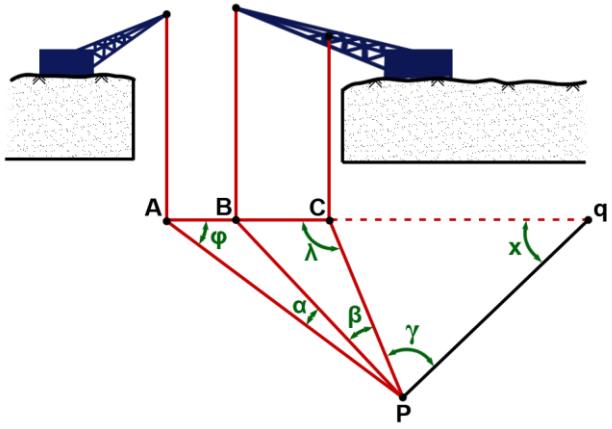
$$\lambda + \varphi = \kappa_1 \Rightarrow \varphi = \kappa_1 - \lambda \quad , \quad \frac{Sin\varphi}{Sin\lambda} = \kappa_2 \Rightarrow \kappa_2 = \frac{Sin(\kappa_1 - \lambda)}{Sin\lambda}$$

$$\kappa_2 = \frac{Sin\kappa_1.Cos\lambda - Sin\lambda.Cos\kappa_1}{Sin\lambda} \Rightarrow \kappa_2 = Sin\kappa_1.Cot\lambda - Cos\kappa_1$$

$$\Rightarrow Cot\lambda = \frac{\kappa_2 + Cos\kappa_1}{Sin\kappa_1} \Rightarrow \lambda = \tan^{-1}\left(\frac{Sin\kappa_1}{\kappa_2 + Cos\kappa_1}\right) \Rightarrow \lambda = \tan^{-1}\left(\frac{Sin(180 - \alpha - \beta)}{\frac{BC.Sin\alpha}{AB.Sin\beta} + Cos(180 - \alpha - \beta)}\right)$$

WWW.GeoGIS.ir

مثال: جهت تعیین یک نقطه (q) در امتداد سه نقطه شاقولی A,B,C که در یک راستا هستند مشاهدات زیر با توجه به شکل انجام شده مطلوب است ژیزمان امتداد pq .



$$A\begin{vmatrix}100\\100\end{vmatrix},\quad B\begin{vmatrix}105.32\\104.55\end{vmatrix},\quad C\begin{vmatrix}110.87\\109.29\end{vmatrix}$$

$$\alpha = 31^\circ 30' 12'' \quad , \quad \beta = 42^\circ 51' 13'' \quad ,$$

$$\gamma = 50^\circ 18' 08''$$

$$V_{AC} = \tan^{-1}\left|\frac{10.87}{9.29}\right| = 49^\circ 27' 39.05''$$

$$\Rightarrow G_{AC} = 49^\circ 27' 39.05''$$

$$L_{AB} = \sqrt{5.32^2 + 4.55^2} = 7^m$$

$$L_{BC} = \sqrt{(110.87-105.32)^2 + (109.29-104.55)^2} = 7.30^m$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(\frac{Sin(31^\circ 30' 12'' - 42^\circ 51' 13'')}{\frac{7.30 \times Sin(31^\circ 30' 12'')}{7 \times Sin(42^\circ 51' 13'')} + Cos(180 - 31^\circ 30' 12'' - 42^\circ 51' 13'')}\right) = 61^\circ 06' 29.46''$$

$$\varphi = 180 - 31^\circ 30' 12'' - 42^\circ 51' 13'' - 61^\circ 06' 29.46'' = 44^\circ 32' 5.58''$$

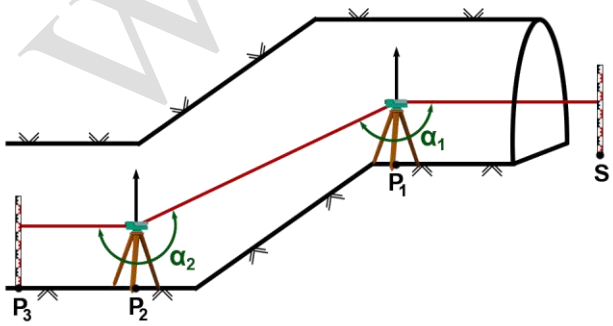
$$\frac{Sin(\alpha+\beta)}{L_{AB}+L_{BC}} = \frac{Sin\varphi}{pc} \Rightarrow pc = \frac{(7+7.30).Sin(44^\circ 32' 5.58'')}{Sin(31^\circ 30' 12'' + 42^\circ 51' 13'')} = 10.414^m$$

$$\frac{Sin(\lambda-\gamma)}{pc} = \frac{Sin\lambda}{pq} \Rightarrow pq = \frac{10.414 \times Sin(61^\circ 06' 29.46'')}{Sin(61^\circ 06' 29.46'' - 50^\circ 18' 08'')} = 48.634^m$$

$$G_{AP} = 49^\circ 27' 39.05'' + 44^\circ 32' 5.58'' = 93^\circ 59' 44.53''$$

$$G_{pq} = 93^\circ 59' 44.53'' + 31^\circ 30' 12'' + 42^\circ 51' 13'' + 50^\circ 18' 08'' - 180 = 38^\circ 39' 17.63''$$

۵) استفاده از روش پیمایش:



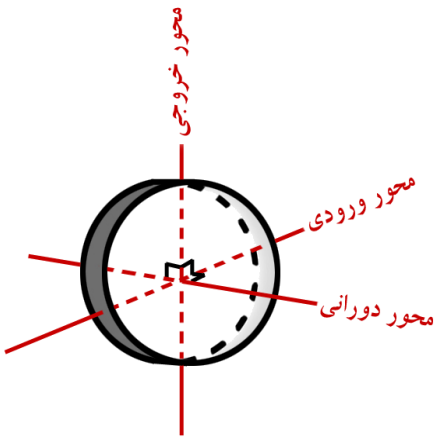
در این روش همان طور که در شکل نیز مشخص شده است در عملیات‌های زیرزمینی کاربرد دارد که دارای چاه‌های مایل باشند و از دو نقطه کنترل بیرون تونل عملیات پیمایش آنتنی را انجام می‌دهیم تا به امتداد مورد نظر (AB) برسیم و سمت آن را مشخص کنیم.

از توضیح این روش صرف نظر می‌کنیم چون در نقشه‌برداری 2 به صورت مفصل به آن پرداخته شده است.

www.GeoGIS.ir

E) تعیین وضعیت یک امتداد در زیر زمین به کمک دستگاه‌های امتداد سنج:

یکی از روش‌هایی که به کمک آن می‌توان وضعیت یک امتداد را در زیر زمین مشخص کرد استفاده از دستگاه ژیروسکوپ است.



ژیروسکوپ: وسیله‌ای است که نسبت به سیستم مختصات اینرشیا تمایل به حفظ توجیه خود را دارد. اساس کار این وسیله از یک جسم دوران کننده (یک دیسک یا گوی با تعداد دوران ۲۰ الی ۲۵ هزار دور در دقیقه) حول یک محور می‌باشد که تحت تأثیر نیروی خارجی حاصل از دوران زمین (نیروی گریز از مرکز) قرار دارد و باعث می‌شود که محور دورانی در راستای شمال قرار گیرد.

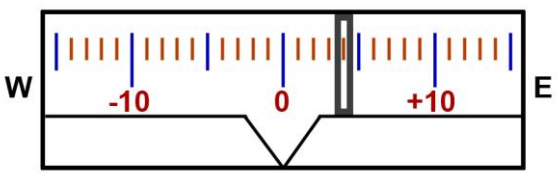
ژیروسکوپ برخلاف قطب نما که شمال مغناطیس را نشان می‌دهد، شمال حقیقی را نشان می‌دهد و به علت سیستم دقیق آن، از قیمت بالایی برخوردار می‌باشد. ژیروسکوپ دارای سه محور می‌باشد که دو به دو بر هم عمود هستند ۱) محور دورانی ۲) محور ورودی ۳) محور خروجی، که در زمانی که از ژیروسکوپ استفاده می‌کنیم دو محور دورانی و ورودی مماس بر سطح افق در آن نقطه و محور خروجی در راستای نرمال بر ژئوئید قرار می‌گیرد و زمانی ژیروسکوپ در امتداد شمال واقع می‌شود که محور دورانی زاویه‌اش با خط نصف‌النهار محل صفر شود. ولی ژیروسکوپ هیچ گاه نوساناتش از بین نمی‌رود ولی دامنه آن کم می‌شود و حول نصف‌النهار محل به چپ و راست بر روی یک منحنی سینوسی حرکت می‌کند. در نزدیکی خط استوا ژیروسکوپ بیشترین کارایی خود را دارد و تا عرض ۷۰ درجه نیز برای کارهای نقشه‌برداری دقت دارد ولی از عرض‌های بالاتر از ۷۰ جهت کارهای نقشه‌برداری از دقت خوبی برخوردار نیست.

انواع ژیروسکوپ	۱) مکانیکی	ویلد	GAK1	با دقت 20″
		سوکیا	GP1	با دقت 20″
	۲)اتوماتیک		Gyromat2000	با دقت 30″

روش‌های بدست آوردن شمال حقیقی با ژیروسکوپ:

الف) روش نقطه بازگشت[1]

در این روش ابتدا لازم است که تلسکوپ دستگاه با دقتی در حدود ۱ تا ۲ درجه در راستای نصف‌النهار محل قرار گیرد که جهت این کار از یک قطب نما استفاده می‌کنیم. چنانچه به چشمی قرائت نوسان نگاه کنید شکلی مشابه شکل روبرو را خواهید دید. حال برای شروع کار پیچ آلیداد را باز کرده و ژیروسکوپ را روشن کنید یک علامت روی درجه‌بندی نشان داده شده و شروع به نوسان از شرق به غرب می‌کند چند لحظه صبر می‌کنیم تا سرعت نوسان پایین بیاید (در حدود ۵ دقیقه) سپس علامت نوسان‌گر را دنبال می‌کنیم تا در نقطه‌ای در غرب یا شرق برای چند لحظه متوقف شود و عکس نوسان را بخواهد دنبال کند این نقطه را نقطه بازگشت گویند. در آن لحظه عدد آن را ثبت می‌کنیم سپس همین کار را برای نیمه بعدی انجام می‌دهیم و مقدار آن را ثبت می‌کنیم و دوباره این کار را تکرار می‌کنیم مانند شکل. کمترین تعداد مشاهده ۴ مشاهده (دو قرائت شرقی و دو قرائت غربی) می‌باشد، هر چه تعداد این قرائت‌ها بیشتر شود دقت شمال حاصل بهتر خواهد بود.



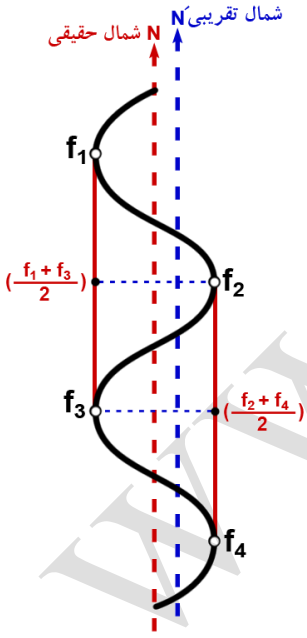
حال برای بدست آوردن ژیزمان یک امتداد از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$AZ = AZ' \pm N + E$$

E، میزان اختلاف آزیموت نجومی و آزیموت به روش ژیروسکوپ که در کاتالوگ دستگاه درج شده، چنانچه مقدار این خطا در مسائل داده نشود از آن در فرمول صرف نظر می‌کنیم.

N زاویه شمال حقیقی که از میانگین‌گیری از قرائت‌ها بدست می‌آید.

جهت میانگین گیری روش‌های زیادی بیان شده ولی یکی از بهترین این روش‌ها روش زیر می‌باشد.



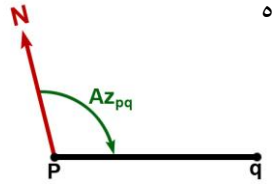
$$\left.\begin{aligned} N_1 &= \tfrac{1}{2}\left(\frac{f_1+f_3}{2}+f_2\right) \\ N_2 &= \tfrac{1}{2}\left(\frac{f_2+f_4}{2}+f_3\right) \\ &\vdots \quad \vdots \quad \vdots \end{aligned}\right\} \Rightarrow N = \tfrac{1}{N}\sum_{i=1}^{n} N_i$$

AZ' : آزیموت امتداد مورد نظر نسبت به شمال تقریبی

نکته: چنانچه امتداد مدنظر ما در راستای صفر صفر دستگاه ژیروسکوپ قرار ندارد بهتر است آزیموت را به صورت کوپل انجام دهیم.

[1] Turning Point

مثال: در یک تونل زیرزمینی جهت تعیین آزیموت امتدادpq مشاهدات زیر توسط دستگاه ژئوتئودلیت انجام شده مطلوب است ژیزمان واقعی امتداد pq (خطای دستگاه $E = +1.5'$ می باشد).



نشانه	قرائت دایره به چپ	قرائت دایره به راست
AZ'_{pq}	120°20′15″	300°20′20″

شماره	قرائت شرقی	قرائت غربی
f_1	1°10′00″	
f_2		358°10′00″
f_3	1°09′15″	
f_4		358°11′10″

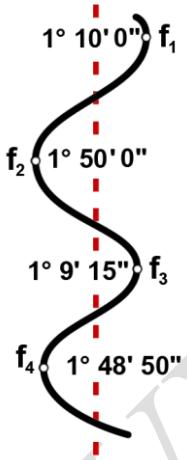
$$AZ'_{pq} = \frac{120^\circ 20' 15'' + (300^\circ 20' 20'' - 180)}{2} = 120^\circ 20' 17.5''$$

$$N_1 = \frac{1}{2}\left(\frac{1^\circ 10' 00'' + 1^\circ 09' 15''}{2} + 360 - 358^\circ 10' 00''\right) = 1^\circ 29' 48.75''$$

$$N_2 = \frac{1}{2}\left(\frac{360 * 2 - 358^\circ 10' 00'' + 358^\circ 11' 10''}{2} + 1^\circ 09' 15''\right) = 1^\circ 29' 20''$$

$$\Rightarrow N = \frac{1}{2}\left(1^\circ 29' 48.75'' + 1^\circ 29' 20''\right) =$$

$$\Rightarrow N = 1^\circ 29' 34.38''$$



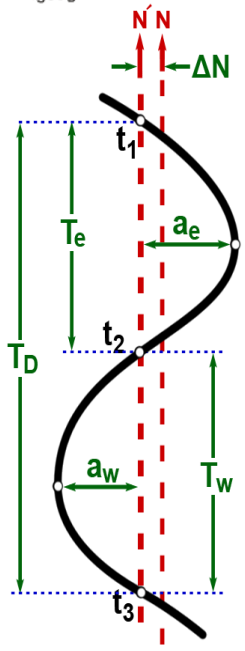
چون تمایل نوسانت بیشتر به سمت غرب بوده با توجه به شکل پس از علامت + در معادله محاسبه ژیزمان استفاده می کنیم.

$$AZ = 120^\circ 20' 17.5'' + 1^\circ 29' 34.38'' + 1.5' = 121^\circ 51' 21.87''$$

ب) روش عبور[1]

در این روش نیز مانند روش قبل باید دستگاه در امتداد تقریبی شمال (N) قرار گیرد که می‌توان از قطب نما استفاده کرد ولی بهتر است از روش قبل برای یافتن شمال اولیه برای این روش استفاده کرد چون این روش، روش دقیق‌تری نسبت به روش قبل است. در این روش در تمام زمان مشاهدات آلیداد دستگاه به صورت قفل خواهد بود و تعقیب علامت نوسانگر ژیروسکوپ نیز مانند روش قبل انجام

1 Transit



می‌شود ولی همراه با ثبت زمان، به این صورت که از یک کرنومتر استفاده می‌کنیم و زمان آن را صفر می‌کنیم و زمانی که علامت نوسانگر ژیروسکوپ به صفر (وسط Vشکل) رسید کرونومتر را به راه می‌اندازیم و علامت نوسانگر را نیز دنبال می‌کنیم و زمانی که به حداکثر انحراف‌های شرقی و غربی (نقاط برگشت) می‌رسند دامنه را ثبت می‌کنیم و همچنین زمان‌هایی که علامت نوسانگر از صفر یا همان V شکل نیز عبور می‌کند زمان را ثبت می‌کنیم. اگر تلسکوپ در امتداد نصف‌النهار باشد زمان عبورهای شرقی و غربی با هم برابر خواهد بود و همچنین میزان انحراف‌های شرقی و غربی نیز برابر خواهد بود. مقدار اختلاف دو زمان عبور شرقی و غربی متناسب با مقدار انحراف تلسکوپ از شمال واقعی می‌باشد.

حال برای بدست آوردن ژیزمان یک امتداد با این روش، از رابطه زیر استفاده می‌کنیم.

$$AZ = AZ' \pm \Delta N + E$$

E: مقدار اختلاف آزیموت نجومی و آزیموتی که از ژیروسکوپ بدست می‌آید که مقدار آن در کاتالوگ دستگاه ذکر شده و چنانچه در مسئله داده نشود نیاز به اعمال آن نیست

AZ': آزیموت تقریبی امتداد مورد نظر است که نسبت به شمال تقریبی اندازه‌گیری شده

ΔN: میزان اختلاف شمال تقریبی و شمال حقیقی است که علامت آن زمانی که بازه زمانی دامنه شرقی T_E بیشتر از بازه زمانی دامنه غربی T_Wباشد. منفی (-) خواهد بود و در غیر این صورت مثبت (+) خواهد بود؛ و مقدار آن از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$\Delta N = C.A.\Delta t$$

C: ضریب تناسب ژیروسکوپ که مقدار آن به عرض جغرافیایی(φ) وابسته است که مقدار آن در کاتالوگ دستگاه برای φهای مختلف درج شده و نیز دارای معادله می‌باشد؛ و واحد آن دقیقه کمانی بر ثانیه زمانی می‌باشد $\frac{\min of\ Arc}{S}$

A: میانگین دامنه نوسانات شرقی و غربی ژیروسکوپ است که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$A = \left(\frac{A_e - A_w}{2}\right)$$

ΔT: اختلاف دامنه زمانی غربی و شرقی می‌باشد که از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$\Delta t = (T_w - T_E) \quad , \quad T_E = t_2 - t_2 \quad , \quad T_w = t_3 - t_2$$

A_E: حداکثر انحراف شرقی A_W: حداکثر انحراف غربی T_E: دامنه زمانی عبور شرقی

T_W : دامنه زمانی عبور غربی رابطه T_E و T_W برای زمانی صادق است که شروع دامنه از شرق باشد در غیر این صورت در رابطه‌های فوق جای T_E و T_W عوض می‌شود.

مثال: در یک عملیات زیرزمینی جهت تعیین آزیموت دقیق امتداد pq از دستگاه ژیروسکوپ و از روش عبور استفاده شده است و مشاهدات زیر انجام شده ژیزمان دقیق pq را بدست آورید در صورتی که ضریب مناسب ژیروسکوپ برابر $0.00478\frac{\min ofArc}{S}$ باشد.

شماره	زمان ترانزیت	دامنه زمانی شرقی	دامنه زمانی غربی	دامنه نوسان شرقی	دامنه نوسان غربی	میانگین دامنه	اختلاف دامنه زمانی شرقی و غربی	ΔN_i
Pi	T_t	T_E	T_W	A_E	A_W	a	Δt	ΔN_i
t_1	00′00″							
		3′16.1″		11.8				
t_2	3′16.1″					12.35	7.2″	4.25′
			3′23.3″		12.9			
t_3	6′39.4″					12.30	7.7″	4.53′
		3′15.6″		11.7				
t_4	9′55″					12.30	7.6″	4.47′
			3′23.2″		12.9			
t_5	13′18.2″							+4.42′

نشانه	قرائت دایره به چپ	قرائت دایره به راست
AZ_{Pq}	120°20′15″	300°20′20″

$T_{E1} = 3'16.3'' - 00'00'' = 3'16.1''$ $\quad T_{W1} = 6'39.4'' - 3'16.1'' = 3'23.3''$

$T_{E2} = 9'55'' - 6'39.4'' = 3'15.6''$ $\quad T_{W2} = 13'18.2'' - 9'53'' = 3'23.2''$

$A_1 = \frac{11.8+12.9}{2} = 12.35$ $\quad A_2 = \frac{12.9+11.7}{2} = 12.30$ $\quad A_3 = \frac{11.7+12.9}{2} = 12.30$

$\Delta t_1 = 3'23.3'' - 3'16.1'' = 7.2''$ $\quad \Delta t_2 = 3'23.3'' - 3'15.6'' = 7.7''$ $\quad \Delta t_3 = 3'23.2'' - 3'15.6'' = 7.6''$

$\Delta N_1 = 0.0478 \times 12.35 \times 7.2'' = 4.25'$ $\quad \Delta N_2 = 0.0478 \times 12.30 \times 7.7'' = 4.53'$

$\Delta N_3 = 0.0478 \times 12.30 \times 7.6'' = 4.49'$

$\Delta N = C\frac{\text{دقیقه درجه ای}}{\text{ثانیه زمانی}} \times A$ بدون واحد $\times \Delta t$ ثانیه زمانی $\Rightarrow \Delta N$ دقیقه

$\Rightarrow \Delta N = \frac{\Delta N_1 + \Delta N_2 + \Delta N_3}{3} = +4.42'$

$$AZ'_{pq} = \frac{120^\circ 20' 15'' + (300^\circ 20' 20'' - 180)}{2} = 120^\circ 20' 17.5''$$

$$TW > TE$$

$$\Rightarrow AZ_{pq} = 120^\circ 20' 17.5'' \quad + \quad 00^\circ 4.42' = 120^\circ 24' 42.7''$$

www.GeoGIS.ir

فصل ۵

F) انتقال ارتفاع از سطح زمین به زیر زمین

تا این مرحله به نحوه انتقال مختصات مسطحاتی (x,y) و جهت (آزیموت) به زیر زمین پرداخته‌ایم حال برای رفع نقص شبکه های سه بعدی زیرزمینی (نقص دیتوم) باید پارامتر ارتفاع را نیز به زیر زمین انتقال دهیم این امر در حالت کلی به سه روش امکان پذیر است.

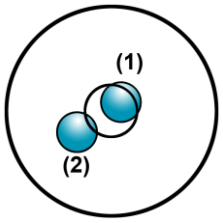
۱) انجام ترازیابی ۲) استفاده از متر یا سیم‌بکسل مدرج آویزان ۳) روش پاندولی

۱) انجام ترازیابی: حالت اول خود به دو دسته تقسیم می‌شوند: الف) ترازیابی مستقیم (ترازیابی هندسی)

ب) ترازیابی غیر مستقیم (ترازیابی مثلثاتی)

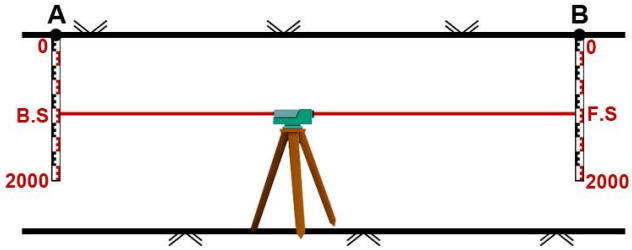
الف) ترازیابی مستقیم:

این نوع ترازیابی همان ترازیابی هندسی در سطح زمین است با این تفاوت که نوع شاخص مورد استفاده در ترازیابی زیرزمینی به علت شرایط کار، متفاوت بوده و برای تعیین ارتفاع نقاط روی سقف معمولاً از شاخص‌های معکوس استفاده می‌شود این شاخص‌ها به علت شرایط معمولاً ۲ متری یا کشویی هستند و جنس آن‌ها از آلومینیوم می‌باشد که رطوبت اثر کمتری بر روی آن‌ها داشته باشد و همچنین قابلیت آویزان شدن از سقف را دارند و در برخی از آن‌ها برای سهولت قرائت، تجهیزات نوری وجود دارد.



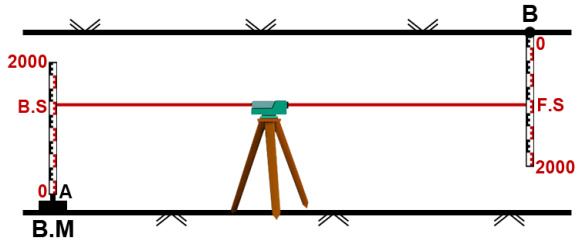
تراز بودن دستگاه: زمانی که از دستگاه‌هایی استفاده می‌کنید که دارای تراز خودکار (کمپانساتور) هستند اگر بیش از $\frac{1}{2}$ سطح حباب تراز درون دایره مرکزی تراز قرار داشته باشد (حالت (۱)) دستگاه تراز خواهد شد ولی اگر بیش از $\frac{1}{2}$ سطح حباب تراز خارج از دایره مرکزی تراز قرار داشته باشد (حالت (۲)) دستگاه تراز نخواهد شد به علت شرایط ترازیابی زیرزمینی، سه حالت زیر در امر ترازیابی هندسی ممکن است رخ دهد که آن‌ها را بررسی می‌کنیم.

حالت اول: هر دو شاخص معکوس



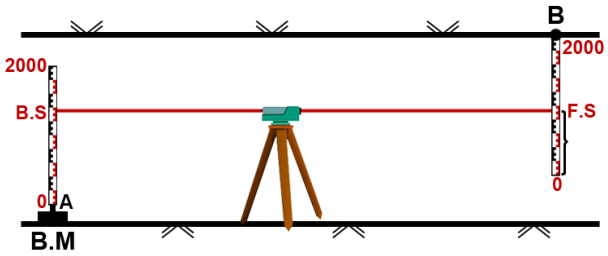
$$\Delta H_{AB} = -(B.S - F.S) = F.S - B.S$$

حالت دوم: یک شاخص معکوس و یک شاخص مستقیم



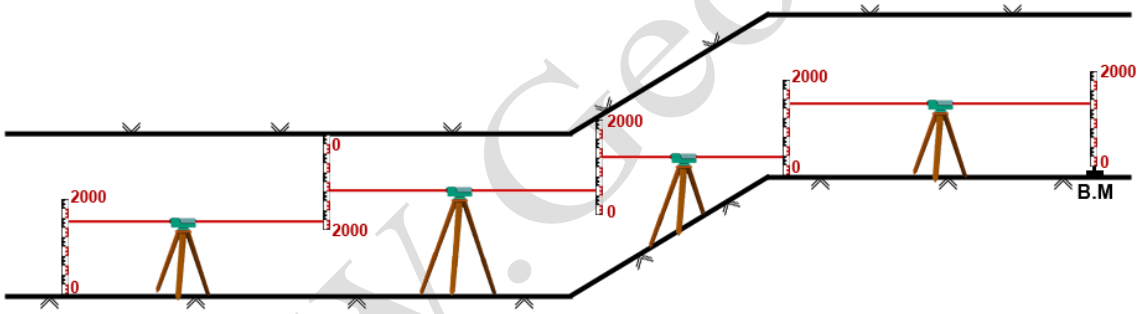
$$\Delta H_{AB} = B.S - (-F.S) = B.S + F.S$$

حالت سوم: هر دو شاخص مستقیم

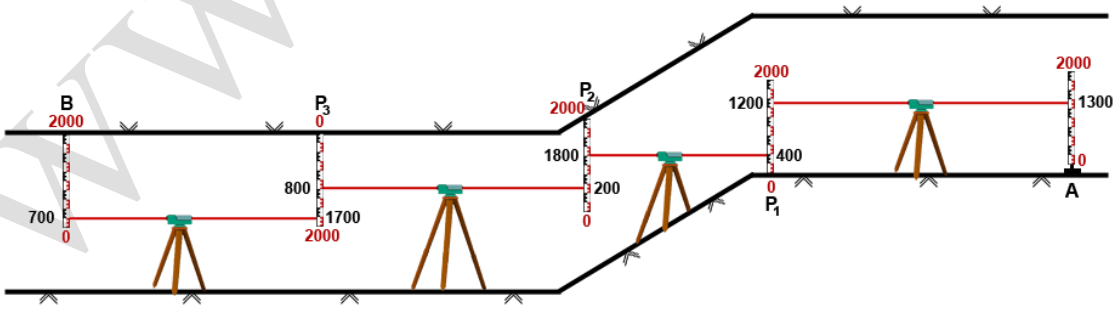


$$\Delta H_{AB} = B.S + (2000 - F.S)$$

زمانی از روش ترازیابی هندسی می‌توان استفاده نمود که شیب تونل کم باشد و قابل ایستگاه گذاری و قرائت باشد. در یک ترازیابی زیرزمینی ممکن است مانند شکل زیر ترکیبی از حالت‌های فوق رخ دهد.



مثال: با توجه به مشاهدات ترازیابی انجام شده بین نقاط B و a، ارتفاع نقطه B را بدست آورید.



$$\Delta H_{AP1} = 1300 - 1200 = 100^{mm}$$

$$\Delta H_{P1P2} = 400 + (2000 - 1800) = 600^{mm}$$

$$\Delta H_{P2P3} = 800 - (2000 - 200) = -1000^{mm}$$

$$\Delta H_{P3B} = -1700 - (2000 - 700) = -400^{mm}$$

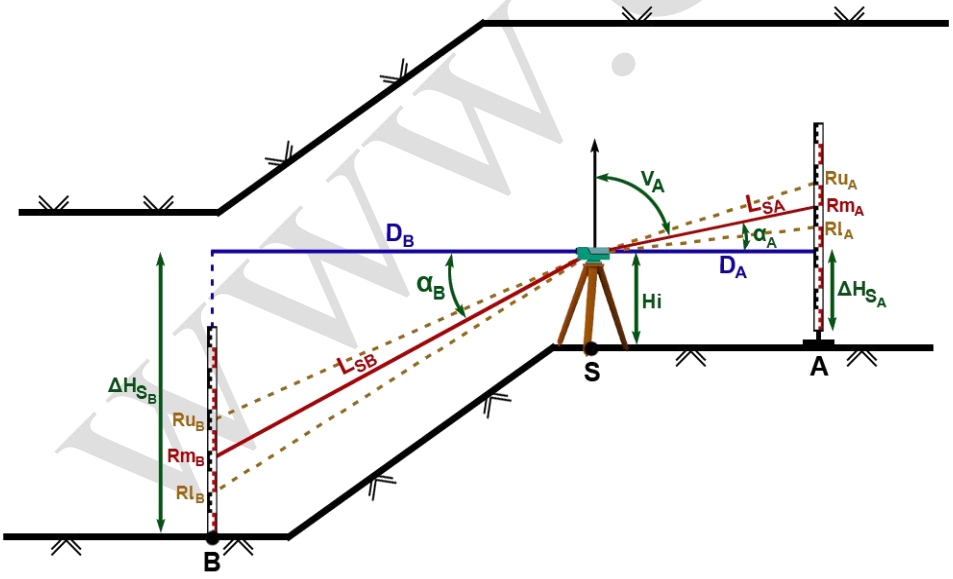
نقاط	B.S	F.S	نوع شاخص	ΔH_i	H
A	1300		مستقیم		100
P_1	400	1200	مستقیم	+0.10	100.10
P_2	200	1800	مستقیم	+0.60	100.70
P_3	1700	800	معکوس	-1.00	99.70
B		700	مستقیم	-0.40	99.30

در محاسبه $H\Delta_{P2P3}$ باید به این نکته توجه کرد که ترازیابی در سقف انجام شده و اختلاف ارتفاع مثبت در اصل اختلاف ارتفاع منفی می‌باشد.

ب) ترازیابی غیر مستقیم (مثلثاتی)

این روش نسبت به روش مستقیم از دقت کمتری برخوردار است ولی در زمان‌هایی که شیب زیاد است این روش خیلی کاربردی‌تر نسبت به روش ترازیابی مستقیم می‌باشد. ولی باید به این نکته توجه کرد که هر چه زاویه شیب بیشتر شود احتمال وقوع خطا در محاسبه فاصله به روش استادیمتری بیشتر خواهد بود پس زمانی این روش در تونل‌هایی با شیب زیاد نسبت به روش مستقیم برتری دارد که از طولیاب جهت بدست آوردن فاصله بین دو نقطه استفاده شود. پس این روش را در دو حالت استفاده از طولیاب و فاصله یابی استادیمتری بررسی می‌کنیم.

۱)ترازیابی مثلثاتی با فاصله یابی به روش استادیمتری



V: زاویه زنیتی یا زاویه قائم

α: زاویه شیب

R_U: قرائت تار بالا

R_M: قرائت تار میانی

R_L: قرائت تار پایین

$$H_B = H_A + \Delta H_{SA} + \Delta H_{SB}$$

$$\Delta H_{SA} = R_{MA} - L_{SA} \times Sin\alpha_A$$

یـــا

$$\Delta H_{S\ \ A} = R\ \ _M - L_A$$

$$L_{SA} = 100 \times \left(\frac{R_{UA} - R_{LA}}{1000} \right) \times Cos\alpha_A \qquad \text{یا} \qquad L_{SA} = 100 \times \left(\frac{R_{UA} - R_{LA}}{1000} \right) \times SinV_A$$

$$\Delta H_{SB} = R_{MB} - L_{SB} \times Sin\alpha_B$$

$$D_A = 100 \times \left(\frac{R_{UA} - R_{LA}}{1000} \right) \times Cos^2 \alpha_A \qquad \text{یا} \qquad D_A = 100 \times \left(\frac{R_{UA} - R_{LA}}{1000} \right) \times Sin^2 V_A$$

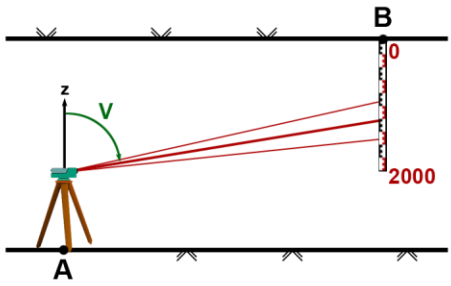
$$\Delta H_{SA} = 100 \times \left(\frac{R_{UA} - R_{LA}}{1000} \right) \times Sin\alpha_A . Cos\alpha_A + HI_S - R_{MA}$$

$$\Delta H_{SB} = 100 \times \left(\frac{R_{UB} - R_{LB}}{1000} \right) \times Sin\alpha_B . Cos\alpha_B + HI_S - R_{MB}$$

$$D_B = 100 \times \left(\frac{R_{UB} - R_{LB}}{1000} \right) \times Cos^2 \alpha_B$$

$$Sin\alpha . Cos\alpha = \frac{1}{2} Sin^2 \alpha$$

مثال: برای تعیین ارتفاع نقطه B واقع در سقف تونل از روش ترازیابی مثلثاتی کمک گرفته‌ایم و مشاهدات زیر را انجام داده‌ایم. ارتفاع نقطه B را بدست آورید.



$$\nu = 86^\circ \qquad R_L = 1800^{mm} \qquad R_M = 1650^{mm} \qquad R_U = 1500^{mm}$$

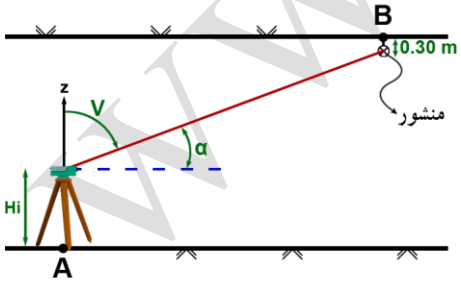
$$HI = 1500^{mm} \qquad HA = 130^m$$

$$L = \left(\frac{R_U - R_L}{1000} \right) = 0.30^m$$

$$\Rightarrow H_B = 130 + 1.50 + (0.30 \times Sin(90^\circ - 86^\circ) \times Cos(90^\circ - 86^\circ)) + 1.65 = 133.171^m$$

۲) ترازیابی مثلثاتی با استفاده از فاصله یاب

این روش فرق چندانی با روش قبل ندارد و تنها تفاوتشان در این است که در این روش طول مایل میان دوربین و تارگت مشخص است البته در روش قبل نیز شما می‌توانستید این طول را محاسبه کنید. در این حالت داریم:



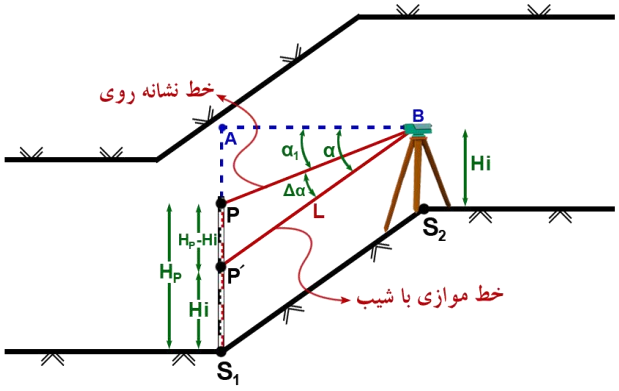
حالت اول:

$$HB = HA + HI + L \times Cos\nu + \Delta H_B$$

$$HB = HA + HI + L \times Sin\nu + \Delta H_B$$

www.GeoGIS.ir

حالت دوم:



$$\alpha = \alpha_1 + \Delta\alpha \Rightarrow v - \Delta\alpha = \alpha_1$$

$$Cos\alpha = \frac{AB}{L} \Rightarrow AB = L.Cos\alpha$$

$$Sin\alpha = \frac{\Delta H}{L} \Rightarrow \Delta H_{S1S2} = L \times Sin\alpha$$

$$AS_1 = HP + AP = HP + AB \times \tan\alpha_1$$

$$\Rightarrow AS_1 = HP + L \times Cos\alpha \times \tan\alpha_1 \quad (1)$$

$$AS_1 = HI + HP' = HI + L.Sin\alpha \quad (2)$$

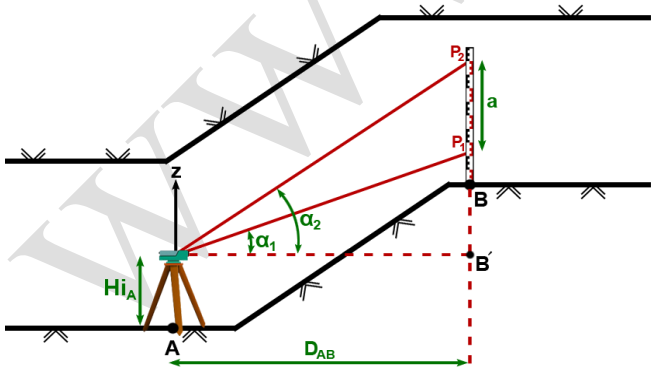
$$\Rightarrow HP + L \times Cos\alpha \times \tan\alpha_1 = HI + L \times Sin\alpha$$

$$\Rightarrow -L \times Cos \times \frac{Sin\alpha_1}{Cos\alpha_1} + L \times Sin\alpha = HP - HI \Rightarrow L \times \left(\frac{\overbrace{Sin\alpha.Cos\alpha_1 - Sin\alpha_1.Cos\alpha}^{\sin(\alpha-\alpha_1)}}{Cos v_1} \right) = HP - HI$$

$$\Rightarrow Sin\Delta\alpha = \frac{(HP - HI) \times Cos\alpha}{2} \Rightarrow \Delta\alpha = Sin^{-1}\left(\frac{(HP - HI) \times Cos}{L} \right)$$

$$\Rightarrow \Delta H_{S1S2} = L \times Sin(\alpha_1 + \Delta\alpha)$$

حالت سوم: قرائت دو عدد و دو زاویه قائم از یک ایستگاه بر روی شاخص



$$H_B = H_A + HI + D_{AB} \times \tan\alpha_1 - p_1$$

در این رابطه D_{AB} مجهول است که اگر آن را بدست آوریم با مشاهدات انجام شده به ارتفاع نقطه B خواهیم رسید. داریم:

$$\tan\alpha_1 = \frac{P_1B'}{D_{AB}} \Rightarrow P_1B' = D_{AB} \times \tan\alpha_1 \quad (1)$$

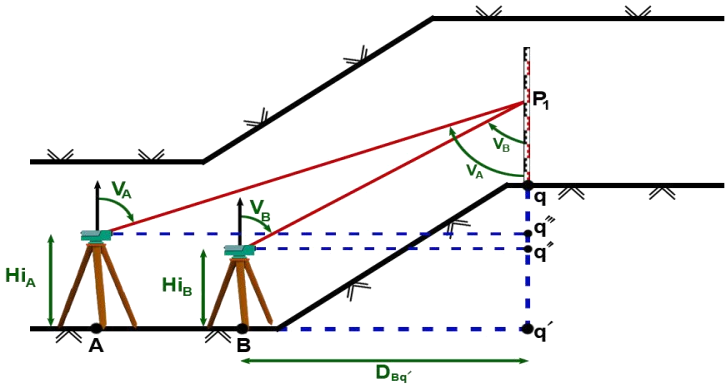
$$\tan\alpha_2 = \frac{P_2B'}{D_{AB}} \Rightarrow P_2B' = D_{AB} \times \tan\alpha_2 \quad (2)$$

$$\xrightarrow{(2)-(1)} \overbrace{P_2B' - P_1B'}^{a} = D_{AB}(\tan\alpha_2 - \tan\alpha_1) \Rightarrow D_{AB} = \frac{a}{\tan\alpha_1 - \tan\alpha_2}$$

WWW.GeoGIS.ir

e_rastgou@yahoo.com

حالت چهارم: قرائت یک نقطه از شاخص از دو ایستگاه



$$H_q = H_B + HI_B + \frac{D_{Bq'}}{\tan V_B} - P_1$$

$$\tan V_A = \frac{\overline{AB} + D_{Bq'}}{P_1 q'''} \Rightarrow P_1 q''' = \frac{\overline{AB} + D_{Bq'}}{\tan V_A} (1)$$

$$\tan V_B = \frac{D_{Bq'}}{P_1 q''} \Rightarrow P_1 q'' = \frac{D_{Bq'}}{\tan V_B} (2)$$

$$\xrightarrow{(2)-(1)} P_1 q'' - P_1 q''' = \frac{D_{Bq'}}{\tan V_B} - \frac{\overline{AB} + D_{Bq'}}{\tan V_A} = HI_A - HI_B = \frac{D_{Bq'} \tan V_A - D_{Bq'} \tan V_B}{\tan V_B \times \tan V_A} - \frac{\overline{AB}}{\tan V_A}$$

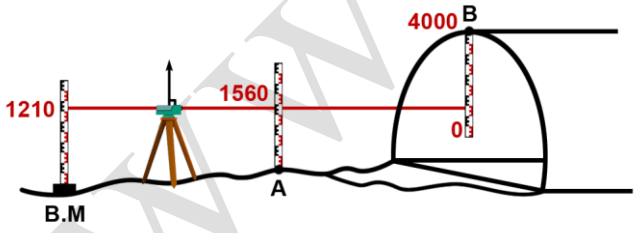
$$\Rightarrow \frac{D_{Bq'}(\tan V_A - \tan V_B)}{\tan V_A \times \tan V_B} = \left(HI_A - HI_B + \frac{\overline{AB}}{\tan V_A} \right) \frac{(\tan V_A \tan V_B)}{\tan V_A \tan V_B}$$

$$\Rightarrow D_{Bq'} \left(\frac{1}{\tan V_B} - \frac{1}{\tan V_A} \right) = \left(HI_A - HI_B + \frac{\overline{AB}}{\tan V_A} \right)$$

$$D_{Bq'} = \left(\frac{HI_A - HI_B + \overline{AB} Cot V_A}{Cot V_B - Cot V_A} \right)$$

$$\Rightarrow H_q = H_B + HI_B + \left(\frac{HI_A - HI_B + \overline{AB} Cot V_A}{Cot V_B - Cot V_A} \right) Cot V_B - P_1$$

مثال: با توجه به مشاهدات زیر ارتفاع نقاط A,B را بدست آورید



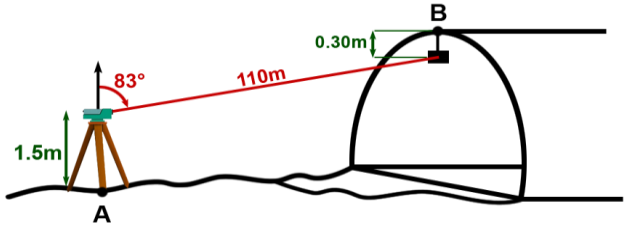
$$BM = 100^m$$

$$H_A = 100 + 1.21 - 1.56 = 99.65$$

$$H_B = 100 + 1.21 + (4000 - 90) = 105.12^m$$

یا $H_B = 99.65 + 1.56 + (4000 - 90) = 105.12^m$

مثال: ارتفاع نقطه B را بدست آورید.

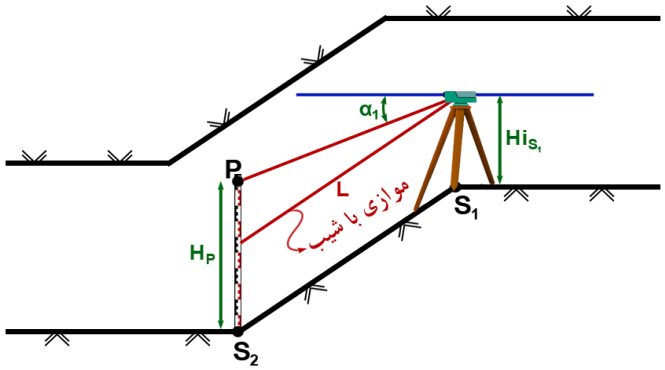


$$H_A = 160^m$$

$$H_B = 160 + 1.5 + 0.3 + 110 \times Cos 83^\circ = 175.2056$$

WWW.GeoGIS.ir

مثال: ارتفاع نقطه S_2 را بدست آورید

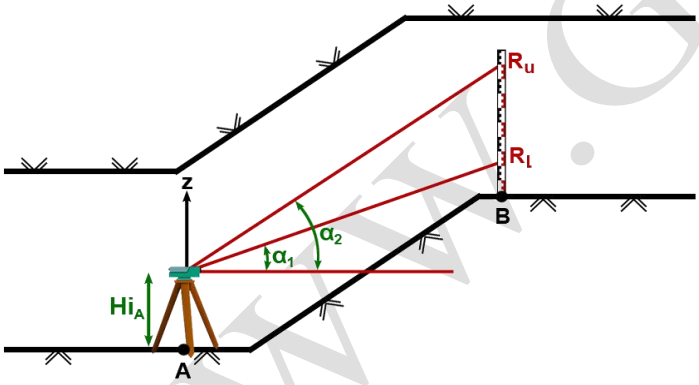


$$H_{S1}=140^{m} \qquad HI_{S1}=1.55$$
$$\alpha_1=48^{\circ}11'51'' \qquad Hp=3451^{mm}$$

$$\Rightarrow \Delta\alpha=Sin^{-1}\left(\frac{(3.451-1.55)\times Cos48^{\circ}11'51''}{40}\right)=1^{\circ}48'55.25''$$

$$\Rightarrow H_{S2}=140+40\times Sin\left(48^{\circ}11'51''+1^{\circ}48'55.25''\right)=170.65^{m}$$

مثال: ارتفاع نقطه B را بدست آورید.



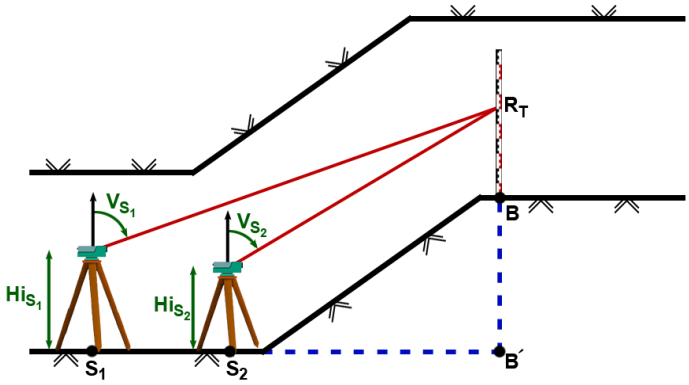
$$H_A=210^{m} \qquad HI_A=1.6^{m}$$
$$R_L=700^{mm} \qquad \alpha_1=40^{\circ}15'12''$$
$$\alpha_2=44^{\circ}13'50'' \qquad R_u=1800^{mm}$$

$$D_{AB}=\frac{1.8-0.70}{\tan(44^{\circ}13'50'')-\tan(40^{\circ}15'12'')}=8.673$$

$$H_B=210+1.6+8.673\times\tan(40^{\circ}15'12'')-0.7=218.243^{m}$$

www.GeoGIS.ir

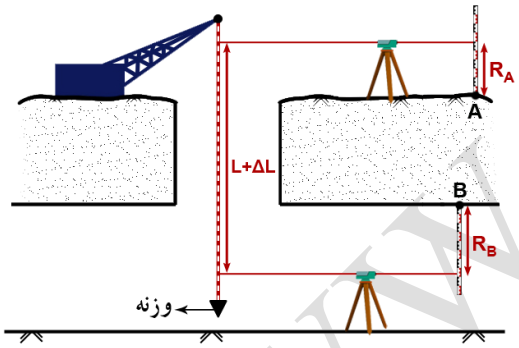
مثال: ارتفاع نقطه B را بدست آورید.



$$H_{S2}=150^{m} \qquad HI_{S1}=1.75^{m}$$
$$HI_{S2}=1.50^{m} \qquad V_{S1}=41^{\circ}21'17''$$
$$V_{S2}=35^{\circ}34'46'' \qquad R_T=1750^{mm}$$
$$\overline{S_1S_2}=5.34^{m}$$

$$D_{S_{2B'}}=\left(\frac{1.75-1.5+5.34\dfrac{1}{\tan 41^{\circ}21'17''}}{\dfrac{1}{\tan 35^{\circ}34'46''}-\dfrac{1}{\tan 41^{\circ}21'17''}}\right)=24.132^{m}$$

$$H_B=150+1.50+24.132\times\frac{1}{\tan 35^{\circ}34'46''}-1.75=183.438^{m}$$



ج) استفاده از متر یا سیم‌بکسل مدرج آویزان

در این روش مطابق شکل عمل می‌کنیم و یک متر یا سیم‌بکسل مدرج را از یک چاه آویزان کرده و بر روی شاخص‌ها و سیم مدرج قرائت‌ها انجام می‌شود و از رابطه زیر به ارتفاع نقطه B دست خواهیم یافت.

$$H_B=H_A+R_A-(L+\Delta L)+R_B$$

به دلیل وزن سیم مدرج و وزنه آویزان به آن مقداری تغییر طول در طول سیم (ΔL) خواهیم داشت که باید محاسبه و اعمال شود.

مقدار تصحیح طول بر اثر وزن وزنه از رابطه زیر بدست خواهد آمد

$$\Delta L_1=\frac{P_1\times L}{S\times E}$$

E: ضریب یانگ (کیلوگرم بر میلیمتر مربع) S : سطح مقطع متر یا سیم‌بکسل

L: طول سیم‌بکسل مابین قرائت بالا و پایین P_1 : وزن وزنه

مقدار تصحیح طول بر اثر وزن خود سیم نیز با انتگرال گیری از رابطه فوق نسبت به المان طول برای وزن سیم بدست می‌آید.

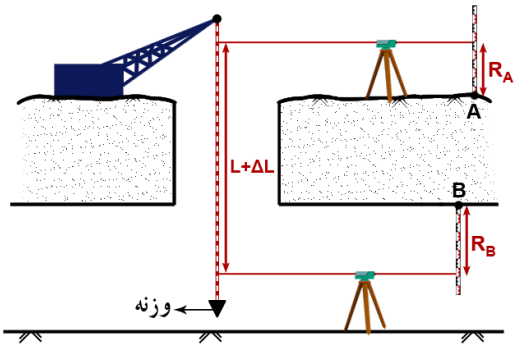
$$\Delta L_2 = \int \frac{P_2 \times L}{S \times E} d_L = \frac{P_2 \times L^2}{2 \times S \times E}\Big|_0^L \Rightarrow \Delta L_2 = \frac{P_2 \times L^2}{2 \times S \times E}$$

P_2 : وزن واحد طول (وزن یک متر از سیم)

حال مقدار تصحیح کلی برابر است با

$$\Delta L = \Delta L_1 + \Delta L_2 = \frac{P_1 \times L}{S \times E} + \frac{P_2 \times L^2}{2 \times S \times E} = \frac{L}{S \times E}\left(P_1 + \frac{P_2 L}{2}\right)$$

مثال: در یک پروژه زیرزمینی جهت انتقال ارتفاع از سطح زمین به زیر زمین مطابق شکل از روش سیم مدرج آویزان استفاده کرده‌ایم و مشاهدات زیر را بدست آورده‌ایم، مطلوب است تعیین ارتفاع نقطه B . (در نقطه B از شاخص معکوس استفاده شد)



$H_A = 256.35^m \quad R_A = 1.317^m \quad R_B = 1.211^m$

$L = 138.12^m \quad E = 5 \times 10^2 \quad S = 200^{mm^2}$

$P_1 = 15^{Kg} \quad P_2 = 0.85^{Kg}$

$$\Delta L = \frac{138.12}{5 \times 10^2 \times 200} \times \left(15 + \frac{0.85 \times 138.12}{2}\right) = 0.10179^m$$

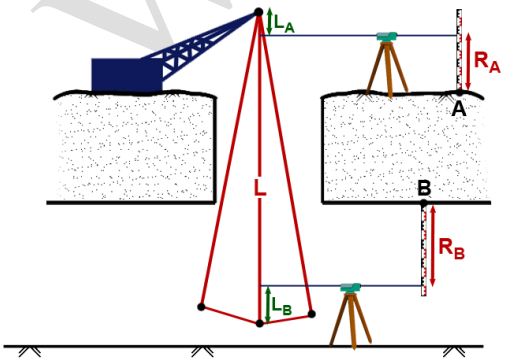
$$H_B = 256.35 + 1.317 - (138.12 + 0.1018) + 1.211 = 120.656^m$$

در این روش برای جلوگیری از نوسان سیم وزنه‌ای که به سیم آویزان است را در مخزن روغنی قرار می‌دهند همان‌طور که گفته شد در این روش دو نیرو به سیم وارد می‌شود

۱) نیروی وزنه آویزان به سیم ۲) نیروی وزن خود سیم

د) روش پاندولی

در این روش پاندولی درون چاه قائم آویزان می‌گردد مانند شکل و با شمارش تعداد نوسانات پاندول در یک بازه زمانی می‌توان به طول پاندول دست یافت؛ و از رابطه زیر به ارتفاع نقطه B رسید:



$$H_B = H_A + R_A - (L - L_A - L_B) + R_B$$

L : طول سیم پاندولی L_A : اختلاف ارتفاع شروع سیم پاندول تا خط تراز بر روی سطح زمین

L_B : اختلاف ارتفاع پایان سیم پاندول تا خط تراز زیر سطح زمین

مقادیر موارد نیاز در فرمول فوق همگی مشاهده می‌شوند جز

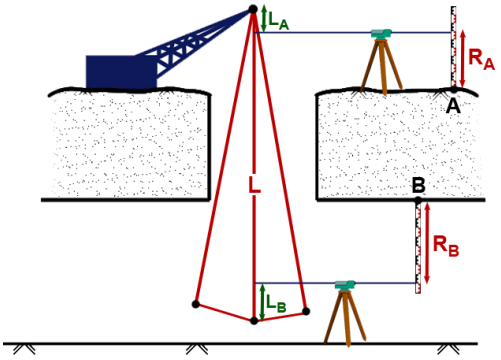
L که از رابطه زیر بدست می‌آید.

$$T = 2\pi\sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow \frac{T}{2\pi} = \sqrt{\frac{L}{g}} \Rightarrow \frac{L}{g} = \frac{T^2}{4\pi^2} \Rightarrow L = \frac{T^2 g}{4\pi^2}$$

و $T = \frac{t}{N}$

t : مدت زمان نوسانات N : تعداد نوسانات T : مدت زمان یک نوسان کامل L : طـــــول پاندول g : شتاب ثقل $9.81_{m/S^2}$

مثال: جهت انتقال ارتفاع از سطح زمین به زیر زمین در یک پروژه زیرزمینـی از روش پانـدول اسـتفاده شده و مشاهدات زیر انجام شده است. مطلوب است ارتفاع نقطه B . مدت زمان نوسانات پاندول ^{S} ۴۰ و تعداد نوسـانات در ایـن مدت زمان ۴ نوسان بوده.



$H_A = 256.35^m$ $R_A = 1.317^m$ $L_A = 2.251^m$

$L_B = 0.573^m$ $R_B = 1.211^m$

$T = \frac{40}{4} = 10^s$ $L = \frac{10^2 \times 9.81}{4 \times \pi^2} = 24.849^m$

$$H_B = 256.35 + 1.317 - (24.849 - 2.251 - 0.573) + 1.211 = 236.853^m$$

در این روش از وزنه و سیم که باعث افزایش طول سیم می‌شود صرفه نظر شده و از دقت خیلـی خـوبی برخوردار نیست و می‌توان از رابطه‌ی زیر بهره برد و موارد فوق را در نظر گرفت.

$$L = \frac{T^2 \times g}{4 \times \pi^2 \times \left(1 - \frac{1}{6}\left(\frac{m_1}{m_2}\right) + \frac{1}{12}\left(\frac{m_1}{m_2}\right)^2\right)}$$

M_1=جرم سیم پاندول

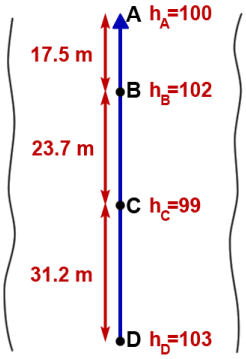
M_2=جرم وزنه پاندول

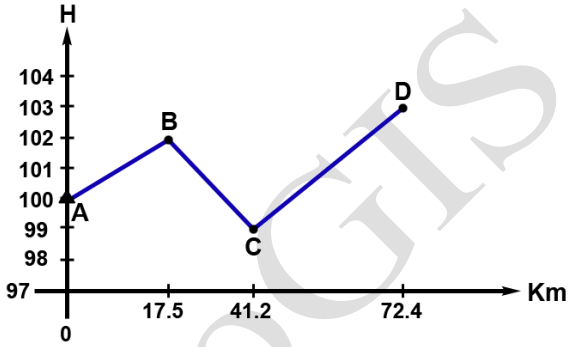
www.GeoGIS.ir

فصل ٦

G)برداشت مقطع تونل

در تونل‌ها جهت کنترل کردن شکل و موقعیت تونل نیاز به برداشت مقاطعی به صورت طولی و عرضی می‌باشد جهت برداشت و ترسیم مقطع طولی در راستای تونل بر روی تونل یا کف آن نقاطی که تغییر شیب وجود دارد فواصل و اختلاف ارتفاع از نقاط قبلی اندازه‌گیری می‌شود مانند شکل و جهت ترسیم آن محور تونل در راستای محور x ها و ارتفاعات در راستای محور y ها ترسیم می‌شود مطابق شکل





برداشت مقطع عرضی از جمله عملیات‌هایی است که به صورت مکرر در یک عملیات زیرزمینی انجام می‌شود. جهت کنترل شکل یا همان تیپ عرضی تونل یا همان بررسی کسری یا اضافه حفاری جهت برداشت مقطع عرضی می‌توان از روش‌های زیر بهره برد:

A) روش افست (روش مختصات کارتزین)

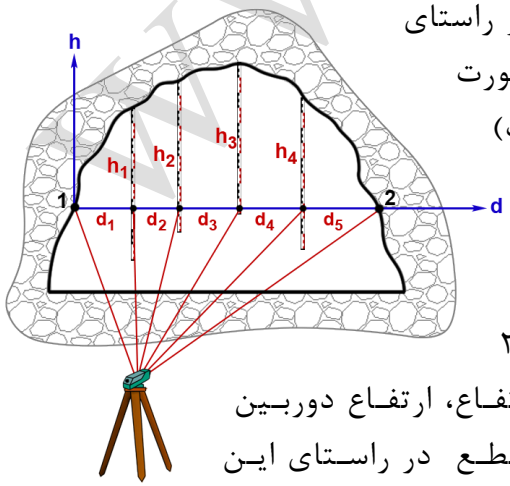
B) روش قطبی

C) روش لیزری

D) روش فتوگرامتری برد کوتاه

A)روش افست

اساس کار در این روش تعریف یک سیستم مختصات کارتزین در راستای مقطع عرضی می‌باشد به نحوی که محور x ها این سیستم به صورت افقی مقطع عرضی و محور y ها به صورت قائم (در امتداد زنیت) در راستای مقطع عرضی قرار گیرد. مانند شکل



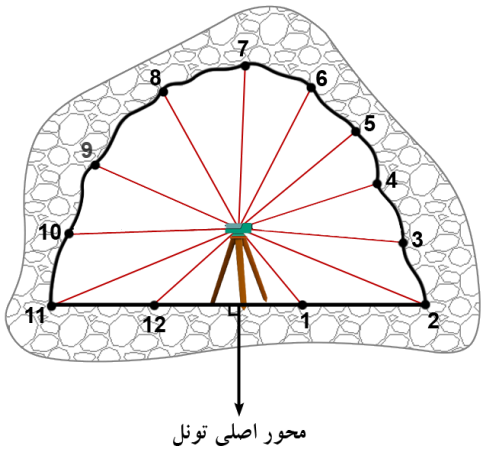
مراحل کار:

۱-دوربین تراز یاب را در نقطه‌ای نزدیک محل مقطع مستقر کرده و ارتفاع دستگاه را بدست می‌آوریم .۲- دو نقطه‌ی ۱ و ۲ در دیواره‌ی تونل را علامت گزاری کنید. این دو نقطه هم ارتفاع، ارتفاع دوربین می‌باشد.۳-ریسمانی بین نقطه ۱ و ۲ وصل کنید و با شاخص مقطع در راستای این

دو نقطه را ترازیابی کنید (h)هم زمان فاصله‌ی بین برداشت‌ها را نیز بر روی ریسمان با متر اندازه‌گیری و ثبت کنید (d) .۴- بدهی است هرچه فواصل بین نقاط برداشت کوچک‌تر باشد شکل نهایی به شکل مقطع واقعی نزدیکتر است. ۵- با داشتن مختصات قائم‌الزاویه هر نقطه واقع در سقف و جدایی‌های آن‌ها می‌توان مقطع عرضی تونل را بر روی نقشه با مقیاس مناسب ترسیم کرد.

B) روش قطبی

این روش خود به روش‌های مختلف قابل اجرا می‌باشد.



B.1) استقرار زاویه‌یاب در محل مقطع و برداشت طول و زاویه (به روش گل آفتابگردان[1])

در این روش مشاهدات نقاط نمونه‌برداری در جداره و کف تونل به صورت طول و زاویه می‌باشد.

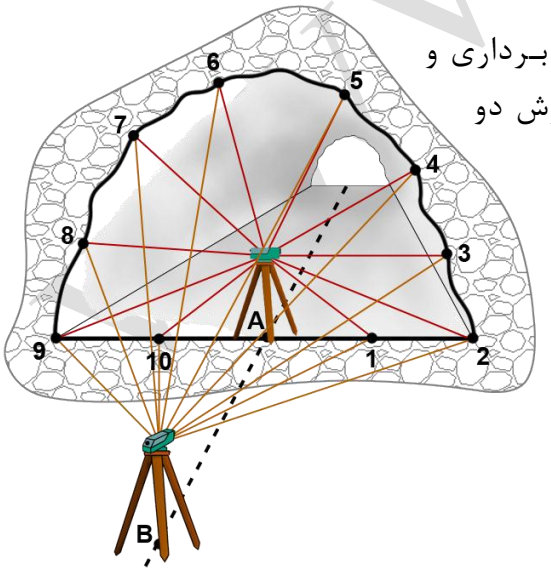
مراحل کار:

۱- ایستگاه گزاری در محل ایجاد مقطع عرضی واقع بر محور اصلی تونل

۲- توجیه به امتداد عمود بر محور اصلی تونل

۳- قفل کردن لمب افقی دوربین و قرائت هم زمان زوایای قائم با اختلاف ارتفاع ثابت یا دلخواه (مطابق شکل)و اندازه‌گیری فاصله نقاط نشانه روی (نقاط نمونه‌برداری)تا مرکز تلسکوپ دوربین (بر روی آلیداد دوربین با یک علامت + مشخص می‌باشد)

B.2) روش دو قطبی (استفاده از دو زاویه‌یاب)



اگر به هر دلیلی در روش قطبی نتوان طول بین نقاط نمونه‌برداری و دوربین را به صورت مستقیم اندازه‌گیری کرد می‌توان از روش دو قطبی و با قرائت زوایا مقدار طول‌ها را بدست آورد.

مراحل کار:

۱- ایستگاه گذاری دو زاویه‌یاب در نقطه‌ی A و B واقع بر محور اصلی تونل مانند شکل به نحوی که دوربین واقع در نقطه A در محل ایجاد مقطع واقع شود.

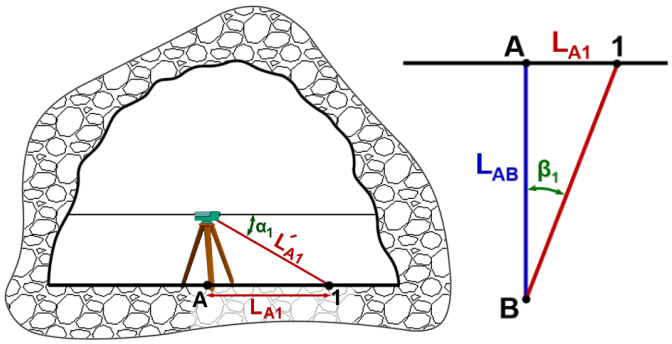
۲- صفر صفر کردن امتداد افقی ایستگاه B نسبت به ایستگاه A

۳- اندازه‌گیری فاصله افقی بین دو ایستگاه (L_{AB})

[1] Sun Flower

۴- اندازه‌گیری همزمان زاویه قائم نقاط نمونه از ایستگاه Aو زوایای افقی همان نقاط از ایستگاه B

۵- بدست آوردن طول نقاط نمونه تا دوربین واقع در نقطه‌ی Aاز روابط زیر



$$L_{A1} = L_{AB} \times \tan \beta_1$$

L_{A1}:فاصله‌ی نقطه‌ی نمونه ۱ تا دوربین A

$$L'_{A1} = \frac{L_{A1}}{\cos \alpha_1} \Rightarrow L'_{A1} = \frac{L_{AB} \times \tan \beta_1}{\cos \alpha_1}$$

نکته: در محاسبات باید به صفر لمب افقی و زاویه شیب توجه شود.

۶- با داشتن طول و زاویه به راحتی مانند روش قبل می‌توان مقطع را ترسیم نمود.

C)روش لیزری:

در این روش با استفاده از طول یابهای لیزری می‌توان به راحتی مقادیر مختصات Xو Yو Zمقطع را برداشت کرد و زوایا را برداشت نمود. این روش یکی از پرکاربردترین روش‌های مقطع برداری می‌باشد. به دلیل دقت بالا و سرعت بالا و نیاز به نیروی انسانی کم و تجهیزات کم قابلیت دید محل برداشت نقاط نمونه در تونل‌های تاریک و...

D) روش فتوگرامتری برد کوتاه

این روش یکی از دقیق‌ترین و سریع‌ترین روش‌ها می‌باشد. در این روش از دستگاهی به نام فتوتئودلیت جهت تهیه عکس از مقطع استفاده می‌شود. دستگاه فتوتئودلیت را باید طوری قرارداد که کل مقطع در عکس تصویر شود.

(مقداری عقب‌تر از مقطع)

مراحل کار :

۱- استقرار لامپ لیزری در محل مقطع عرضی به صورت عمود بر راستای محور اصلی تونل به صورتی

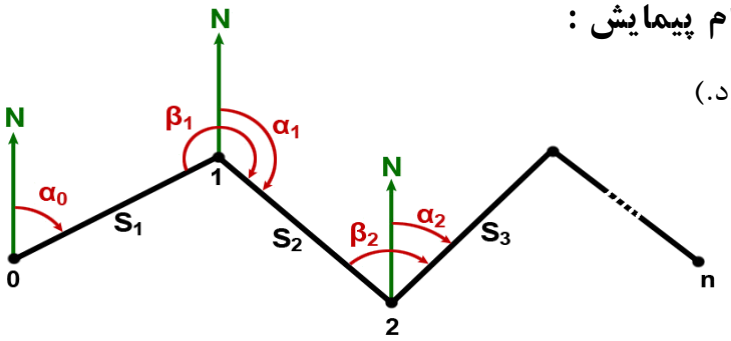
که لیزر بتواند محل مقطع را روی سقف و جداره معلوم کند.

۲- استقرار دستگاه فتوتئودلیت در نقطه‌ای واقع بر محور اصلی تونل با فاصله معلوم از محل مقطع (این فاصله و فاصله کانونی دوربین معیار تعیین مقیاس عکس می‌باشد) و گرفتن عکس.

از مزیت‌های مهم این روش تهیه چندین مقطع عرضی در فواصل معین به صورت همزمان می‌باشد و بدیهی است که مقیاس‌های آن‌ها با هم متفاوت می‌باشد.

تعیین دقت مختصات دو بعدی ایستگاه n ام پیمایش :

(این مبحث در درس ژئودتیک بیشتر باز می‌شود.)



$$\text{معلومات}\begin{cases}X_0\\Y_0\\\alpha_0\end{cases}\quad\text{مجهولات}\begin{cases}\sigma_{xn}=?\\\sigma_{yn}=?\end{cases}$$

$$X_1 = X_0 + S_1 Sin\alpha_0$$
$$Y_1 = Y_0 + S_1 Cos\alpha_0$$
$$X_2 = X_0 + S_1 Sin\alpha_0 + S_2 Sin\alpha_1$$
$$Y_2 = Y_0 + S_1 Cos\alpha_0 + S_2 Cos\alpha_1$$
$$\vdots \quad \vdots \quad \vdots$$
$$X_n = X_0 + S_1 Sin\alpha_0 + S_2 Sin\alpha_1 + \ldots\ldots + S_n Sin\alpha_{n-1}$$
$$Y_n = Y_0 + S_1 Cos\alpha_0 + S_2 Cos\alpha_1 + \ldots\ldots + SnCos\alpha_{n-1}$$

اندازه. σ_S و طولها نیز با دقت σ_β فرض می‌کنیم زوایا با دقت

$$\sigma_{S_1} = \sigma_{S_2} = \ldots\ldots = \sigma_{S_i} = \sigma_{S_n} = \sigma_S$$
$$\sigma_{\beta_1} = \sigma_{\beta_2} = \ldots\ldots = \sigma_{\beta_i} = \sigma_{\beta_n} = \sigma_\beta$$

حال طبق قانون انتشار خطا خواهیم داشت

$$\sigma_{X_1}^2 = (\sin\alpha_0)^2\sigma_S^2 + (S_1\times\cos\alpha_0)^2\sigma_\beta^2 \qquad \sigma_{y_1}^2 = (\cos\alpha_0)^2\sigma_S^2 + (S_1\times(-\sin\alpha_0))^2\sigma_\beta^2$$

$$\sigma_{X_1}^2 = \left(\frac{X_1 - X_0}{S_1}\right)^2\sigma_S^2 + \left(S_1\times\frac{y_1 - y_0}{S_1}\right)^2\sigma_\beta^2 \qquad \sigma_{y_1}^2 = \left(\frac{y_1 - y_0}{S_1}\right)^2\sigma_S^2 + \left(S_1\times\frac{X_0 - X_1}{S_1}\right)\sigma_\beta^2$$

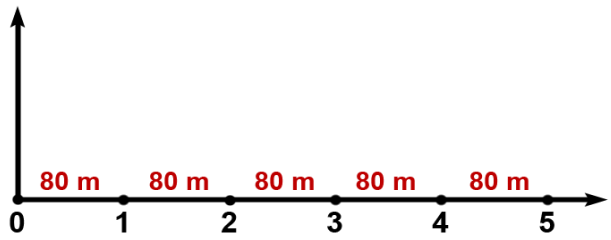
$$\Rightarrow \sigma_{X_2}^2 = \left(\frac{X_2 - X_1}{S_2}\right)^2\sigma_S^2 + (Y_2 - Y_1)^2\sigma_\beta^2 \qquad \Rightarrow \sigma_{Y_2}^2 = \left(\frac{Y_2 - Y_1}{S_2}\right)^2\sigma_S^2 + (X_1 - X_2)^2\sigma_\beta^2$$

www.GeoGIS.ir

$$\Rightarrow \begin{cases} \sigma^2_{X_n} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{X_i - X_{i-1}}{S_i}\right)^2 \sigma_S^2 + \sum_{i=1}^{n}\left(Y_i - Y_{i-1}\right)^2 \sigma_\beta^2 \\ \sigma^2_{Y_n} = \sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Y_i - Y_{i-1}}{S_i}\right)^2 \sigma_S^2 + \sum_{i=1}^{n}\left(X_i - X_{i-1}\right)^2 \sigma_\beta^2 \end{cases}$$

مثال: فرض کنید در یک تونل پیمایشی به شکل زیر انجام داده‌ایم و در این پیمایش از طولیابی با دقت $3+4^{ppm}$ و زاویه یابی که دقت قرائت هر زاویه در آن $10''$ بوده استفاده کرده‌ایم. مطلوب است محاسبه دقت مختصات نقطه شماره ۵ در این پیمایش.

$\sigma_{y_5} = ?$ $\sigma_{X_5} = ?$



$$\begin{vmatrix} 0.00 \\ 0.00 \end{vmatrix} \quad 1\begin{vmatrix} 80.00 \\ 0.00 \end{vmatrix} \quad 2\begin{vmatrix} 160.00 \\ 0.00 \end{vmatrix}$$

$$3\begin{vmatrix} 240.00 \\ 0.00 \end{vmatrix} \quad 4\begin{vmatrix} 320.00 \\ 0.00 \end{vmatrix} \quad 5\begin{vmatrix} 400.00 \\ 0.00 \end{vmatrix}$$

$$\sigma^2_{X_5} = \left(\frac{80-1}{80}\right)^2 \times \sigma^2_{S_{01}} + \ldots + \left(\frac{400-320}{80}\right)^2 \times \sigma^2_{S_{45}} = 5\sigma_S^2$$

$$\frac{4}{1000000} = \frac{\sigma_L}{80000} \Rightarrow \sigma_L = \frac{32}{100} = 0.32^{mm} \Rightarrow \sigma_S = 3 + 0.32 = 3.32^{mm}$$

$$\Rightarrow \sigma^2_{X_5} = 5 \times 3.32 = 16.6 \Rightarrow \sigma_{X_5} = \pm 4.1^{mm}$$

$$\sigma^2_{Y_5} = (80-0)^2 \sigma_\beta^2 + (160-80)^2 \sigma_\beta^2 + \ldots + (400-320)^2 \sigma_\beta^2 = 80^2 \times \left(5\sigma_\beta^2\right)$$

$$1^{rad} = 206265'' \Rightarrow \frac{1}{\sigma_\beta} = \frac{20265''}{10''}$$

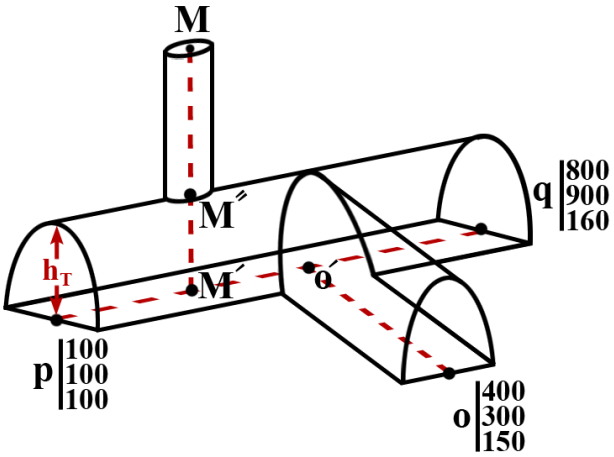
$$\sigma_\beta = \frac{10}{206265} = 4.85 \times 10^{-5}$$

$$\sigma^2_{Y_5} = 80^2 \times 5 \times \left(4.85^{-5}\right)^2 = 7.52 \Rightarrow \sigma_{Y_5} = 8.673^{mm}$$

همان طور که در این مثال نیز مشخص است به علت زاویه باز در پیمایش‌های زیرزمینی میزان خطا در جهت عمود بر محور اصلی تونل (در این مثال محور Y ها) همیشه بیشتر از محوری است که در راستای تونل قرار دارد.

مثال: تونل qP با مشخصات زیر جهت اجرا داده شده است

الف) می‌خواهیم از نقطه O یک تونل دسترسی عمود بر تونل qP اجرا کنیم. مطلوب است شیب این تونل



ب) اگر از نقطه M با ارتفاع ۱۵۰^{m} به چاه عمودی به عمق ۲۰^{m} حفر کنیم مطلوب است موقعیت این چاه بر راستای تونل qP ارتفاع سقف تونل از کف تونل (Th) ۶ متر می‌باشد

$$h_M = 150^m$$

$$MM'' = 20^m$$

$$\overline{Po} = \sqrt{(400-100)^2 + (300-100)^2} = 360.556^m$$

$$V_{\overline{Po}} = \tan^{-1}\left|\frac{400-100}{300-100}\right| = 56^\circ 18' 55.76'' \Rightarrow G_{\overline{Po}} = 56^\circ 18' 55.76''$$

$$\overline{pq} = \sqrt{(800-100)^2 + (900-100)^2}\,1063.01^m$$

$$V_{\overline{pq}} = \tan^{-1}\left|\frac{800-100}{900-100}\right| = 41^\circ 11' 9.33'' \Rightarrow G_{\overline{Pq}} = 41^\circ 11' 9.33''$$

$$\Delta h_{pq} = 160.100 = 60^m$$

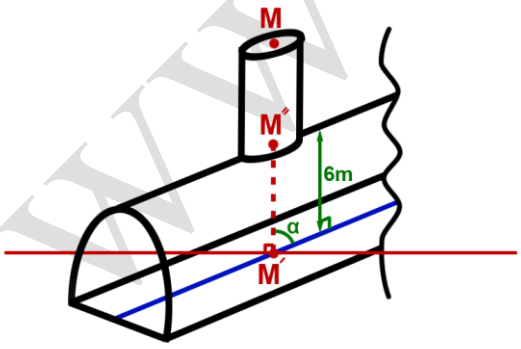
$$qpo = G_{\overline{Po}} - G_{\overline{Pq}} = 56^\circ 18' 55.76'' - 41^\circ 11' 9.33'' = 15^\circ 07' 26.43''$$

$$\overline{Po'} = \overline{Po} \times Cos(qpo) = 360.556 \times Cos\left(15^\circ 07' 26.43''\right) = 348.067^m$$

$$pq_{SLope} = \frac{\Delta h_{pq}}{\overline{pq}} = \frac{60}{1063.01} = 0.0564 = 5.64\%$$

$$ho' = hp + pq_{SLope} \times po' = 100 + 0.0564 \times 348.067 = 119.646^m$$

$$\overline{oo'} = \overline{po} \times Sin(qpo) = 360.556 \times Sin 15^\circ 07' 26.43'' = 94.072^m$$



$$\Delta h_{oo'} = 119.646 - 150 = -30.354^m$$

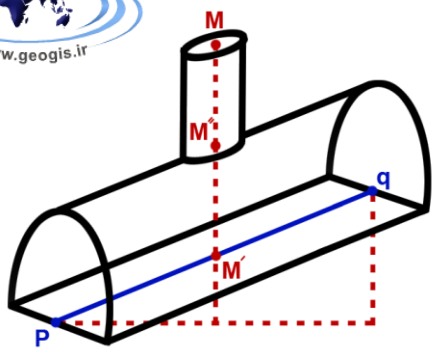
$$oo'_{SLope} = \frac{-30.354}{94.072} = -0.323 = -32.27\%$$

ب)

$$\Rightarrow \alpha = 90 - \tan^{-1}(0.05644) = 86^\circ 46' 10.08''$$

$$\Rightarrow \overline{M''M'} = \frac{6}{Sin(86^\circ 46' 10.08'')} = 6.0095 \cong 6.01^m$$

WWW.GeoGIS.ir



$$\Rightarrow hm' = hm - MM'' - M''M' = 150 - 20 - 6.01 = 123.99^{m}$$

$$\Rightarrow \frac{\Delta h_{pq}}{\overline{pq}} = \frac{\Delta h_{pm'}}{\overline{PM'}} = \frac{60}{1063.01} = \frac{23.99}{\overline{PM'}} \Rightarrow \overline{PM'} = 425.029^{m}$$

$$\Rightarrow X_{M'} = Xp + \overline{PM'} \times SinG_{\overline{pq}} = 100 + 425.029 \times Sin(41^{\circ}11'9.33'') = 379.88$$

$$\Rightarrow Y_{M'} = Yp + \overline{PM'} \times CosG_{\overline{pq}} = 100 + 425.029 \times Cos(41^{\circ}11'9.33'') = 419.87$$

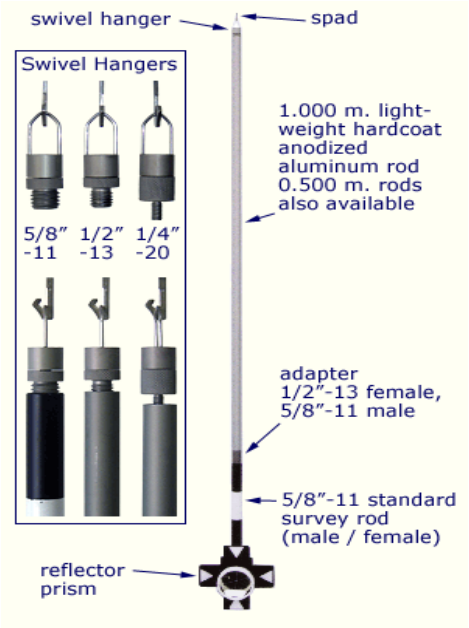
خصوصیات وسایل و تجهیزات نقشه‌برداری زیر زمین:

این وسایل باید سبک، کم حجم، دقیق، دارای نور داخلی، امکان سانتراژ از ایستگاه سقفی، ساده و مقاوم در برابر رطوبت، تغییرات‌ها، گرد و غبار و ضربه باشند.

تارگتها در زیر زمین:

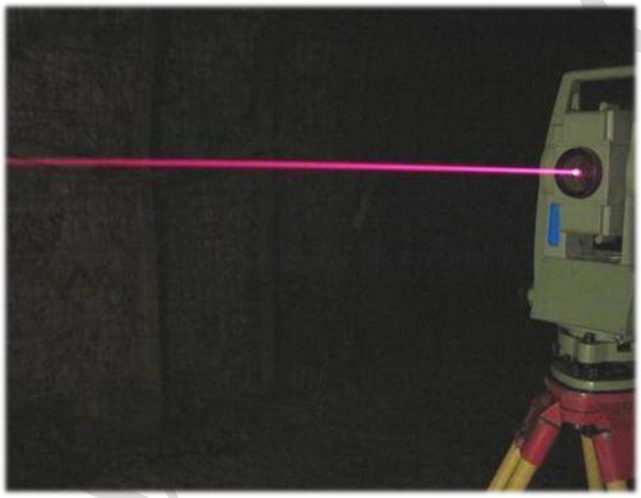
از مهمترین تارگتها در زیر زمین شاقول‌ها هستند که کاربردهای بسیار زیادی داشته و به انواع زیر تقسیم می‌شوند:

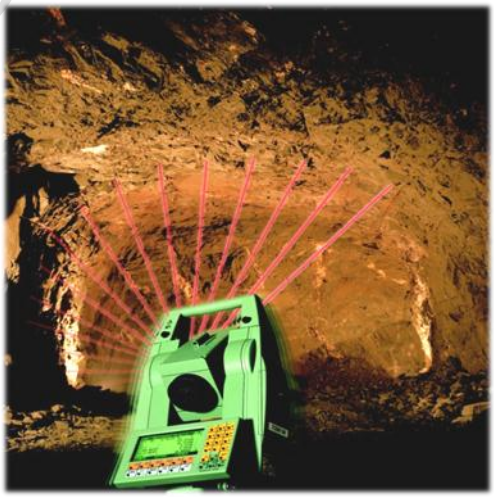
شاقول ساده، شاقول زنجیره ای، شاقول چاه، شاقول اپتیکی و لیزری.



وسایل طول یابی در زیر زمین:

۱. قرمای معمولی که مرغوب‌ترین آن‌ها تر و ایشتباخ آلمانی می‌باشند
۲. مفتول‌های مدرج آویزان و (تراز یاب با تئودولیت) و شاقول‌های چاه
۳. طولیابهای الکترونیکی (EDM) و وسایل جانبی مخصوص آن‌ها برای کار در زیر زمین





وسایل اندازه‌گیری زاویه در زیرزمین:

۱. تئودولیت معمولی
۲. تئودولیتهای آویزان
۳. تئودولیتهای لیزری

۴. ژیروتئودولیتها

وسایل تراز یابی در زیرزمین:

تفاوت دوربین‌های ترازیاب در زیر زمین در این است که این دوربین‌ها در برابر سرما، گرما، گرد و غبار، ضربه و.... مقاوم بوده و از دقت بیشتری برخوردارند. این دوربین‌ها در فواصل کوتاه نیز می‌توانند اندازه‌گیری کنند.

ترازیاب لیزری

خصوصیات شاخص در زیر زمین:

۱. کوتاه باشد در حد یک و نیم تا سه متر که به صورت کشوئی ارتفاع آن تغییر می‌کند.
۲. سطح آن روشن باشد تا بتوان در تاریکی از آن استفاده کرد.
۳. تقسیم بندی آن طوری باشد که بتوان سریع و راحت قرائت کرد.

انواع شاخص در زیر زمین:

۱. شاخص‌های منعکس کننده
۲. شاخص‌های شفاف یا شیشه‌ای
۳. شاخص‌های قابل آویزان

www.GeoGIS.ir

انواع اسکنرهای لیزری :

اسکنرهای سه بعدی لیزری، روشی نوین برای مشاهده نقاط دور و غیر قابل دسترسی می‌باشند که در دهه گذشته توسعه زیادی یافته است و می‌تواند صدها نقطه از مناطق پرتراکم را بر اساس اطلاعات سه بعدی از اشیاء نشان دهد. برای برداشت نقاط تونل، محیط‌های بسته، کارهای معماری از این دستگاه استفاده می‌شود که قابلیت فتوگرامتری نیز دارند. به طور متوسط قابلیت برداشت ۱۲۰۰۰ نقطه در ثانیه را دارا می‌باشند.

Z420i

مدل Z420i

توان اندازه گیری ۱۱۰۰۰ نقطه در ثانیه

دقت : ۸ میلی متر

برد : ۱۰۰۰ متر

دارای بدنه ضد گرد غبار و مقاوم در برابر دمای ۰ تا ۴۰ درجه سانتی‌گراد، وزن ۱۶ کیلو

LPM321

مدل LPM321

توان اندازه گیری ۱۰۰۰ نقطه در ثانیه

دقت : ۲.۵ میلی متر

برد : ۶۰۰۰ متر

دارای بدنه ضد گرد غبار و مقاوم در برابر دمای ۰ تا ۴۵ درجه سانتی‌گراد و محدوده کاری ۱۵۰×۳۶۰ درجه

VZ400

مدل VZ400

توان اندازه گیری ۱۲۲۰۰۰ نقطه در ثانیه

دقت : ۳ میلی متر

برد : ۱۴۰۰ متر

دارای GPS , بی‌سیم، شیب سنج، حافظه داخلی، وزن ۹.۸ کیلو

WWW.GeoGIS.ir