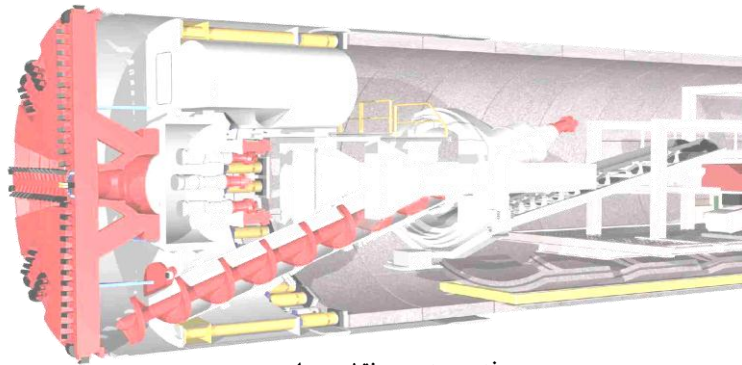
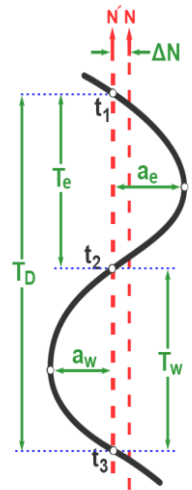


کانال تلگرامی تونلسازی  
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

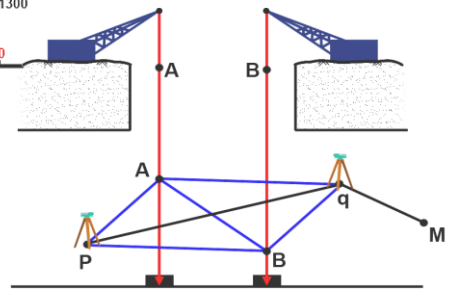
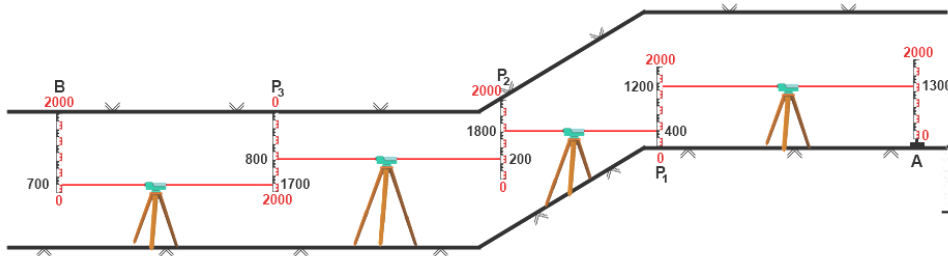


مجمع فنی مهندسی نقشه برداری

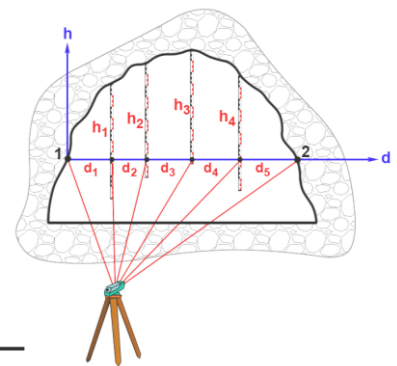
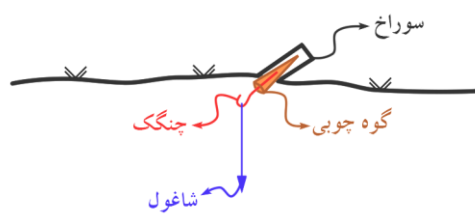
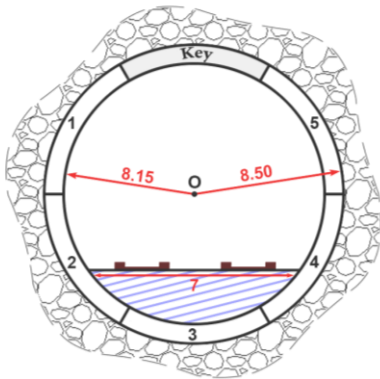


## جزوه نقشه برداری زیرزمینی

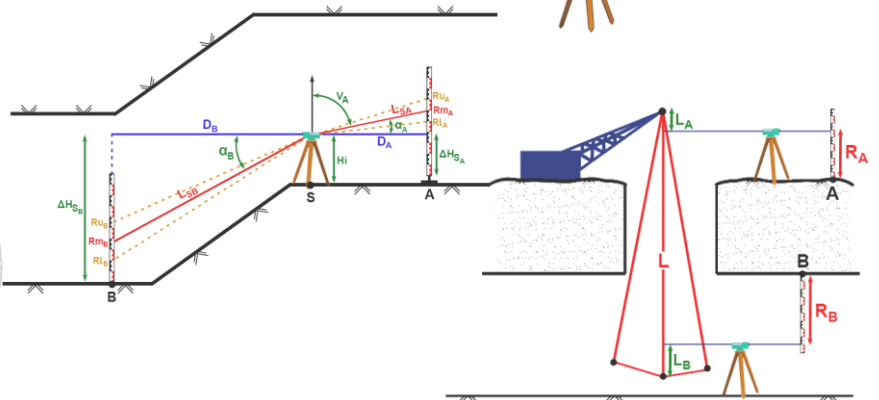
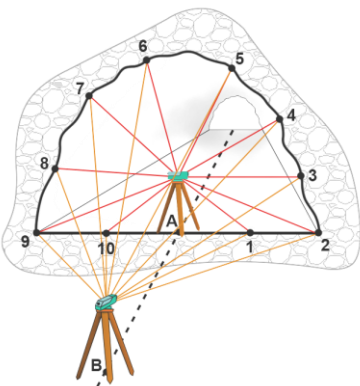
### Underground surveying

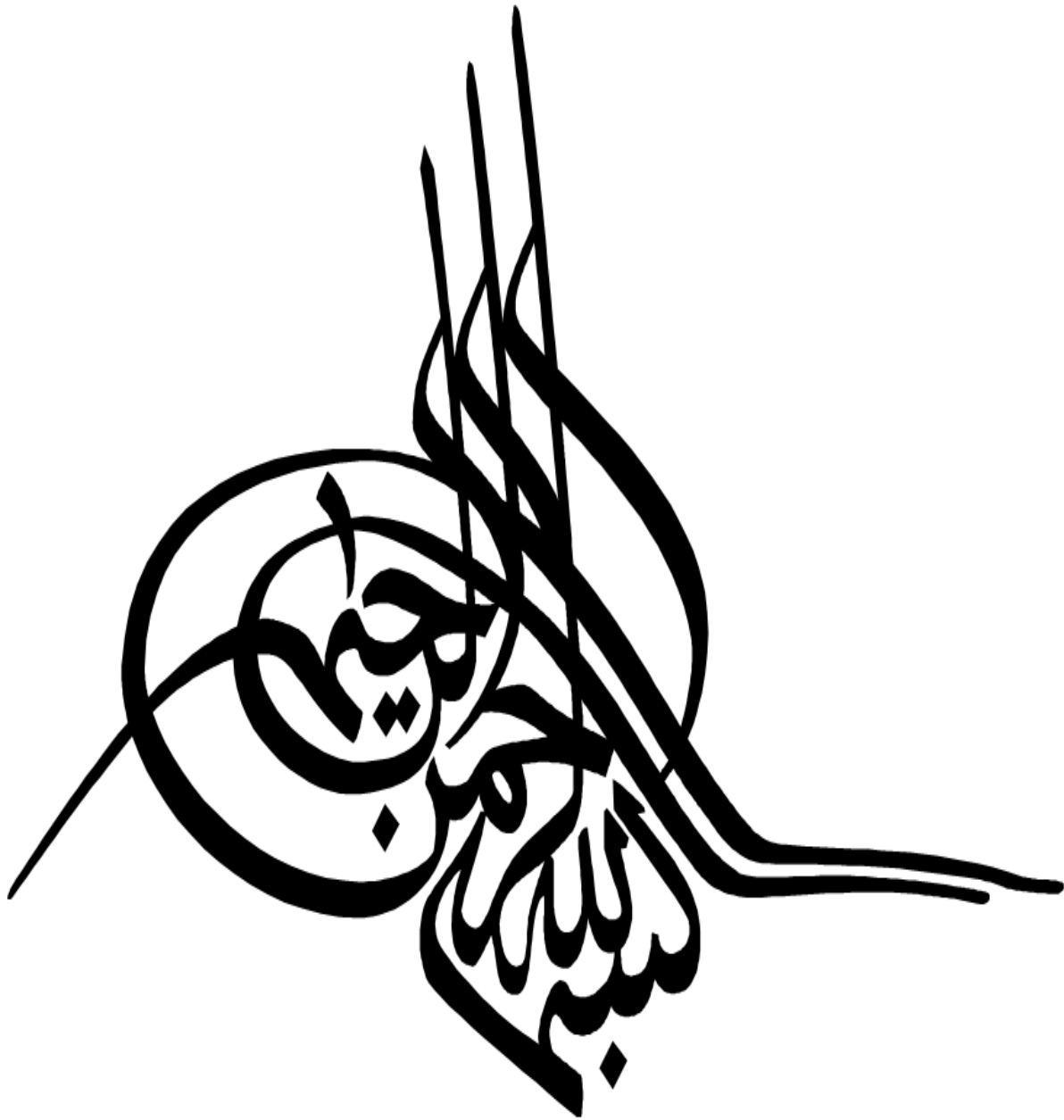


### مهندس ابراهیم راستگو



بهار ۹۱





# تقدیر به بهترینهای زندگی امر

پیر

کانال تلگرامی تونسسازی

[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

مادر

مهربانم

## فهرست

عنوان	صفحه
<b>فصل ۱</b>	<b>۸</b>
مقدمه	۸
تعریف نقشه برداری زیرزمینی :	۸
پروژه های زیرزمینی به دو دسته تقسیم می شوند :	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 تونل ها از لحاظ موارد کاربرد :	۱۰
(۱) تونل های ارتباطی راه های بین شهری:	۱۰
(۲) تونل های راه آهن بین شهری :	۱۱
(۳) تونل های راه آهن درون شهری :	۱۱
(۴) تونل های پیاده رو:	۱۲
(۵) تونل های صنعتی:	۱۳
(۶) تونل های معدنی:	۱۳
الف) تونل های ارتباطی:	۱۳
ب) تونل های استخراج:	۱۴
<b>فصل ۲</b>	<b>۱۵</b>
اصطلاحات نقشه برداری زیرزمینی :	۱۵
(۱) زیر زمین	۱۵
(۲) معدن	۱۵
(۳) گالری	۱۵
۱-۳) گالری اکتشافی :	۱۵
۲-۳) 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

کانال تلگرامی تونلسازی

telegram.me/iran\_tunnel

کانال تلگرامی تونلسازی

telegram.me/iran\_tunnel

- ۱۷..... (ب) چاه عمیق :  
 ۱۷..... (۱۱) رمپ یا شیب  
 ۱۸..... (۱۲) راهروهای فرعی  
 ۱۸..... (۱۳) پوشش گذاری تونل  
 ۱۸..... (۱۴) سینه کار  
 ۱۸..... (۱۵) جبهه کار  
 ۱۸..... (۱۶) حفاری  
 ۱۹..... هدف از حفاری:  
 ۱۹..... (۱۷) مش بندی  
 ۱۹..... (۱۸) لیتیس  
 ۲۰..... (۱۹) سازه سه راهی  
 ۲۰..... (۲۰) لاینینگ  
 ۲۱..... (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  
 ۲۲..... عملیات نقشه برداری زیرزمینی  
 ۲۲..... الف) مرحله طراحی پروژه زیرزمینی:  
 ۲۲..... ب) مرحله اجرا و هدایت حفاری و پیاده سازی سازه ها  
 ۲۳..... ج) اندازه گیری و تهیه نقشه های زیرزمینی  
 ۲۳..... گروه های تخصصی که در طراحی یک پروژه زیرزمینی (تونل) مشارکت دارند :  
 ۲۴..... فصل ۳  
 ۲۴..... نقش نقشه بردار در عملیات زیرزمینی (معادن)  
 ۲۵..... ایستگاه گذاری در نقشه برداری زیرزمینی :  
 ۲۶..... (۱) ایستگاه گذاری در سقف:  
 ۲۶..... (۲) ایستگاه گذاری در کف :  
 ۲۷..... (۳) ایستگاه گذاری در دیوار :  
 ۲۷..... (۱) روپر:  
 ۲۷..... (۲) تارگت دیواری :  
 ۲۷..... (۳) ایستگاه های کشویی یا لولایی :  
 ۲۷..... (۴) پیلار دیواری :  
 ۲۸..... روش های حفاری تونل :  
 ۲۸..... (۱) روش انفجاری :  
 ۲۸..... (۲) روش تراشندگی و ماشینی :

کانال تلگرامی تونلسازی  
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

۲۹.....	دستگاه TBM
۳۱.....	عملیات بعد از حفاری
۳۱.....	تهویه :
۳۱.....	کنترل :
۳۱.....	ترمیم :
۳۱.....	تحکیم :
۳۱.....	پوشش :
۳۲.....	محاسبه ضخامت پوشش در تونل ها :
۳۲.....	روش های هدایت ارتفاعی و طولی تونل بدون استفاده از سیستم مختصات
۳۲.....	(۱) روش حلقه‌ای:
۳۳.....	(۲) روش لیزری:
۳۳.....	جبهه‌های کار در عملیات زیرزمینی :
۳۳.....	۱- یک جبهه:
۳۳.....	۲- دو جبهه :
۳۳.....	۳- بیش از دو جبهه :
۳۴.....	محاسبه ضخامت لایه معدنی :
۳۵.....	کارهایی که در یک عملیات نقشه برداری زیرزمینی انجام می شود را می توان به دسته های کلی زیر تقسیم کرد :
۳۵.....	(A) علامت گذاری نقاط
۳۵.....	(B) اندازه گیری فاصله
۳۵.....	(C) اندازه گیری 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) اندازه گیری فاصله
۳۵.....	(الف) روش مستقیم:
۳۵.....	(ب) روش غیر مستقیم:
۳۶.....	(C) اندازه گیری زاویه:
۳۶.....	روش های خارج از ایستگاهی
۳۶.....	(الف) تارگت فقط خارج از ایستگاه قرار گرفته باشد
۳۷.....	(ب) تنها زاویه یاب خارج از ایستگاه قرار گرفته باشد
۳۸.....	(ج) زمانی که هم زاویه یاب و هم تارگت خارج از محل خود قرار داشته باشند
۴۰.....	فصل ۴

کانال تلگرامی تونلسازی  
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

- (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 ژيروسکوپ: 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 تراز یابی: ۵۴
- (الف) تراز یابی 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) تراز یابی غیر مستقیم (مثلثاتی) ۵۶
- (۱) تراز یابی مثلثاتی با فاصله یابی به روش استادیومتری ۵۶
- (۲) تراز یابی مثلثاتی با استفاده از فاصله یاب ۵۷
- (ج) استفاده از متر یا سیم بکسل 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 زاویه یاب در محل مقطع و برداشت طول و زاویه (به روش گل آفتابگردان) ۶۵
- B.2) روش دو قطبی (استفاده از دو زاویه یاب) 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 نقشه برداری زیر زمین: ۷۰
- وسایل طول یابی در زیر زمین: ۷۱
- وسایل اندازه گیری زاویه در زیر زمین: ۷۱
- وسایل تراز یابی در زیر زمین: ۷۲

کانال تلگرامی تونلسازی  
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)



www.geogis.ir

۷۲ ..... خصوصیات شاخص در زیر زمین:

۷۲ ..... انواع شاخص در زیر زمین:

۷۳ ..... انواع اسکنرهای لیزری :

کانال تلگرامی تونلسازی  
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

WWW.GeoGIS.ir



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 سازه‌های 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 نقشه برداری زیرزمینی :

یکی از شاخه‌های علم نقشه برداری است که در آن نقشه برداران 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.

نقشه برداری زیرزمینی با نقشه برداری سطح الارضی تفاوت چندانی ندارد و تفاوتی که مابین این دو وجود دارد بر اثر محیط کار می باشد که دارای سختی هایی می باشد و این نوع کار نقشه برداری را جزیی از کارهای خاص نقشه برداری قرار می دهد و به دلایل زیر ضریب ویژگی ۱.۲۵ را در پرداخت دستمزد به خود اختصاص می دهد.



### پروژه های زیرزمینی به دو دسته تقسیم می شوند :

الف) پروژه های عمرانی: پروژه هایی مانند: مترو و تونل راه و راه آهن و سد سازی، گذرگاه های درون شهری، کانال های آب و فاضلاب می باشند.  
ب) پروژه های معدنی: پروژه هایی که هدف ایجاد مسیری برای دسترس به لایه های مورد نیاز و استخراج آن ها می باشد.

### شرایط ویژه عملیات زیرزمینی :

#### ۱) عدم وجود نور کافی (تاریکی) :

به علت وجود تاریکی در زیر زمین می بایست از تجهیزات ایجاد روشنایی در نقشه برداری زیرزمینی استفاده کرد معمولاً روشنایی راه های اصلی با نور برق سراسری و یا ژنراتور تأمین می شود و در راه های فرعی از چراغ های دستی یا چراغ هایی که بر روی کلاه ایمنی بسته می شوند. استفاده می شود و از تجهیزات نقشه برداری استفاده می شود که سیستم نوردهی دارند مانند توتال استیشن های لیزری. اما در برخی از پروژه ها به دلیل وجود گازهای قابل اشتعال و خطر انفجار محدودیت استفاده از وسایل روشنایی و دوربین های الکترونیکی داریم.

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

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

نقاط نقشه برداری در دیواره و سقف احداث می شوند.

### (۳) مسائل تنفس :

در فضای زیرزمینی معمولاً با کمبود اکسیژن و وجود گرد و غبار و یا گازهای سمی روبرو هستیم. استفاده از مکش های قوی فضای تونل اکثراً تمیز می گردد و با استفاده از ماسک های انفرادی، غبار مانده در هوا گرفته می شود. در کارهای زیرزمینی حساسیت شخص باید مورد توجه قرار گیرد. \* استفاده از فنک و کبریت و ... ممنوع \*

### (۴) کمبود فضای کار :

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

### (۵) خطر ریزش سنگ از سقف و دیوار:

به علت وجود خطرات ریزش سنگ نقشه برداری سخت تر خواهد بود. جهت جلوگیری از ریزش سنگ، روی دیواره ها یک توری مثل یک شبکه فلزی به نام میش نصب می کنند و روی آن توری سیمان پاشیده می شوند تا مقاومت آن را بالا ببرند. سیمان پاشیده شده بر روی میش را شاتکریت گویند.

### (۶) 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 نقشه برداری انجام می شود و این امر مستلزم سرعت بالا در انجام کار نقشه برداری می باشد و با توجه به عدم وجود روش های کنترل جهت کنترل کار، دقت بالای نقشه بردار را نسبت به نقشه برداری سطح الاراضی طلب می کند.

کانال تلگرامی تونلسازی  
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

## انواع تونل ها از لحاظ موارد کاربرد :

### (۱) تونل های ارتباطی راه های بین شهری:

این تونل ها در مناطق کوهستانی و پرفراز و نشیب به منظور جلوگیری از حجم عملیات خاکی بسیار زیاد و ساخت پل های بزرگ و پرهزینه و یا حفاظت مسیر از خطر ریزش کوه یا بهمن ایجاد می شوند. معمولاً ابتدای تونل در روی زمین و انتهای آن نیز بر روی زمین ختم می شود.

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



طراحی می شود؛ و معمولاً حداکثر شیب آن ها ۱۴٪ می باشد.

### ۲) تونل های راه آهن بین شهری :



این تونل ها مخصوص رفت و آمد واگن های راه آهن حفر می شود و حداکثر شیب طولی آن ها  $\frac{4}{1000}$  می باشد و چون در قوس ها نیز از دور استفاده می شود باید به میزان انحراف واگن و حد استاندارد فاصله واگن و دیواره تونل توجه نمود.

### ۳) تونل های راه آهن درون شهری :

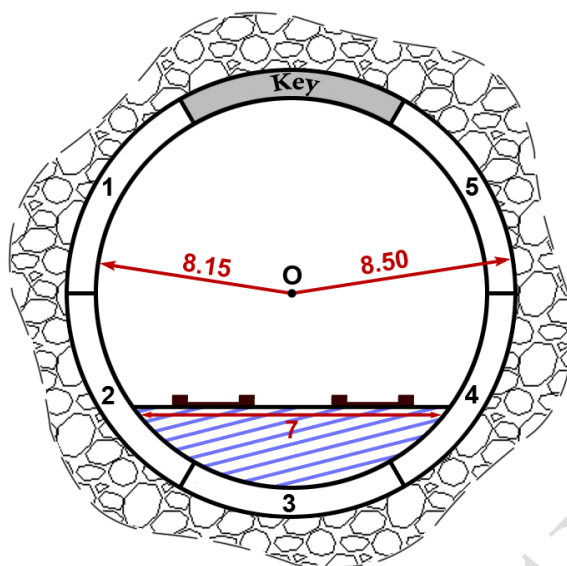


این تونل ها که در اصطلاح به آن مترو گفته می شود از نقطه ای در زیر زمین شروع شده و به نقطه ای دیگر در زیر زمین ختم می شوند. در کشور ما اولین بار طرح این تونل ها توسط شرکت فرانسوی سونر ارائه شد.

تونل مترو شیراز و اکثر شهرهای کشور دارای دو شکل مقطع معین است.

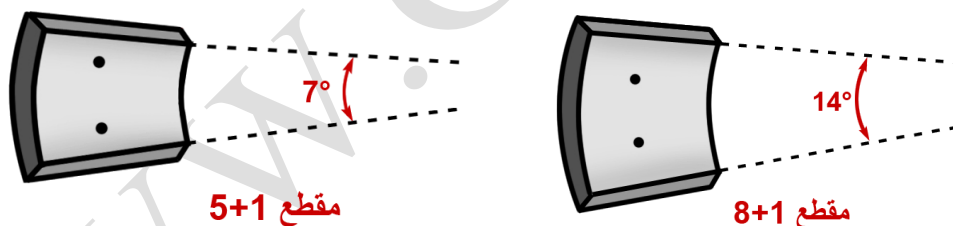
الف) مقطع چهار ضلعی یا باکسی : که در مواردی که عمق تونل از سطح زمین کمتر از ۷ متر باشد به کار گرفته می شود. به عبارتی حفر تونل به صورت ترانشه روباز انجام می گیرد و سپس با استفاده از قالب بندی و آرماتور مطابق با مسیر تونل بتن ریزی می شود.

ب) مقطع مدور: این مقطع معمولاً در عمق بیشتر از ۷ متر که ماشین حفاری قادر به کار باشد به کار گرفته می شود. به این ترتیب که ماشین حفاری مقطع تونل را حفاری کرده و با گذاشتن قطعات پیش ساخته ۱، مقطع را پوشش گذاری می کند و مقطع تیپ های مسیرهای مدور مطابق شکل زیر می باشد.



کانال تلگرامی تونلسازی  
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

همان طور که ملاحظه می شود قطر داخلی  $8,15^m$  و قطر خارجی  $8,50^m$  است. یا به عبارتی ضخامت قطعات پیش ساخته  $17,5^m$  است. مقاطع مدور در داخل تونل ها ممکن است از ۵ قطعه پیش ساخته و یک کلید<sup>۱</sup> تشکیل شود که در این صورت مقطع را ۵+۱ می نامند همچنین ممکن است قطعات به صورت ۸+۱ باشد. در مقطع ۵+۱ زاویه ای که از تقاطع دو امتداد لبه های کلید ایجاد می شود  $7^\circ$  خواهد بود مطابق شکل و برای مقطع ۸+۱ این زاویه  $14^\circ$  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 دیواره ها قرار گیرد جهت امتداد دادن به مسیر (معمولاً در قوس ها) تونل می باشد. قابل ذکر است که با جهت قرارگیری دو ریل واگن در این نوع تونل ها 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 سوراخ ها انجام می دهد.

۴) تونل های پیاده رو:

<sup>1</sup> Key



این تونل‌ها جهت استفاده عابری 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 عابری 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

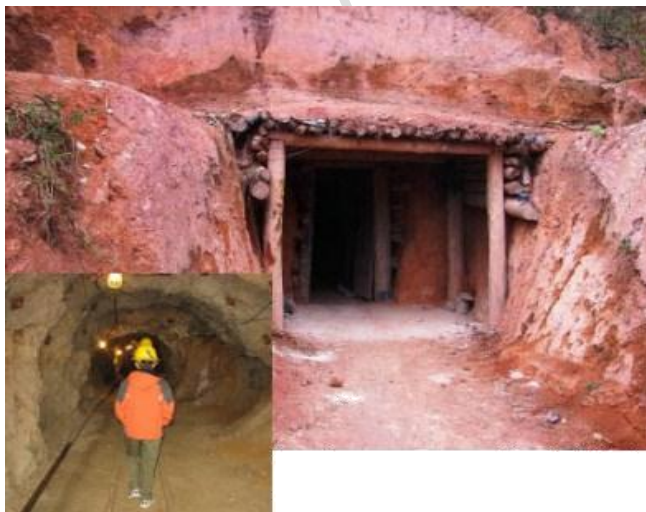


### ۶) تونل‌های معدنی:

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.



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.

کانال تلگرامی تونلسازی  
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

## اصطلاحات نقشه برداری زیرزمینی :

### (۱) زیر زمین<sup>۱</sup>

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

### (۲) معدن<sup>۲</sup>

مجموعه تأسیسات زمینی و دالان های زیرزمینی که به منظور هدف خاصی احداث شده را معدن گویند. اصطلاحاً به محل تجمع مواد معدنی نیز معدن می گویند. 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 می شود.

### (۳) گالری<sup>۳</sup>

به دالان های افقی زیر زمین که از یک طرف به منظور خاص مسدود است و خود یکی از راه های ورود به زیر زمین به شمار می رود گالری گویند. که به دو دسته تقسیم می شوند :

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

۳-۲) گالری آماده سازی: منشعب شده از تونل های اصلی جهت انجام کارهایی مانند تزریق بتن، شناسایی بر جریان های زیرزمینی، بررسی و اندازه گیری های ژئوتکنیکی و ...

### (۴) تونل<sup>۴</sup>

دالان عریضی با شیب کم جهت عبور و مرور افراد و حمل مواد و خودرو و خطوط ریلی می باشد که معمولاً از دو طرف باز می باشد و در پروژه های راه سازی، کانال های آب و فاضلاب و سد سازی و ... مورد استفاده قرار می گیرد.



<sup>1</sup> Under Ground

<sup>2</sup> Mine

<sup>3</sup> Gallery

<sup>4</sup> Tunnel



### (۵) محور تونل<sup>۱</sup>

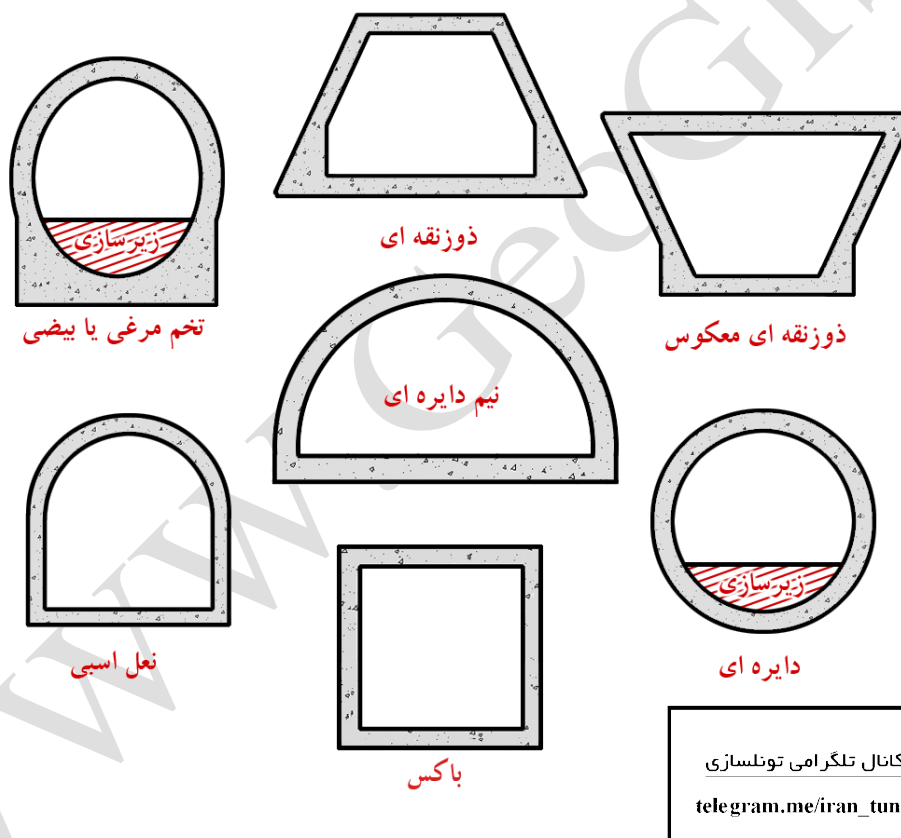
خط وسط و مرکزی تونل که معمولاً به کمک نقاطی با فواصل منظم در سقف تونل مشخص می‌گردد.

### (۶) ترانشه تونل<sup>۲</sup>

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

### (۷) مقطع تونل<sup>۳</sup>

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.

<sup>1</sup> Tunnel Axis  
<sup>2</sup> Tunnel Trench  
<sup>3</sup> Tunnel Cross Section



#### (۹) گمانه<sup>۱</sup>

عبارت است از چاهی دارای قطر کم و عمیقی که جهت نمونه برداری از لایه های زمین یا جهت دادن امتداد حفاری از آن استفاده می شود و در دو نوع اکتشافی و راهنما موجود می باشد.

#### (۱۰) چاه<sup>۲</sup>

به دالان های قائم اصطلاحاً چاه یا شفت گفته می شود که از راه های ورود به زیرزمین به شمار می آید. معمولاً مقطع چاه ها در اروپا و آسیا دایره و در آمریکا مربع یا مستطیل می باشد. از موارد استفاده چاه در بیرون آوردن مواد معدنی، دسترسی ها، تهویه و ... می باشد. در کل چاه ها را به دو دسته تقسیم می کنند :

(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 می باشند.

#### (۱۱) رمپ<sup>۳</sup> یا شیب

تونل شیب داری است که برای اتصال بین طبقات مختلف معدن به کار می رود و شیب آن ۱۰ الی ۲۵ درصد می باشد و در اصطلاح به آن بالارو یا پایین رو نیز گفته می شود.

کانال تلگرامی تونلسازی

[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

<sup>1</sup> Soundage

<sup>2</sup> Shaft

<sup>3</sup> 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.

شیب تونل (درجه)	نام تونل	
$+45^{\circ}$ و بیشتر	دویل	تونل‌های فرعی
$+18^{\circ}$ الی $+45^{\circ}$	پرمزپرک	
$-18^{\circ}$ الی $-45^{\circ}$	اوکلون	
$-45^{\circ}$ و بیشتر	گزنک (چاه مورب)	

### ۱۳) پوشش گذاری تونل

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

### ۱۴) سینه کار<sup>۱</sup>

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.

### ۱۶) حفاری

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

<sup>1</sup> Face

حفاری گویند.

هدف از حفاری:

- (۱) استخراج موادی که حفاری می شود و استفاده از آن ها
- (۲) ایجاد مجرای جهت عبور یا ایجاد مکانی در زیر زمین

(۱۷) مش بندی

برای جلوگیری از ریزش دیواره تونل معمولاً از شبکه ای فلزی یا شبکه ای از آرماتورهای بهم تنیده شده استفاده می شود و آن ها را در دیواره تونل مستحکم کنند تا از ریزش سنگ جلوگیری کند.



(۱۸) لیتیس

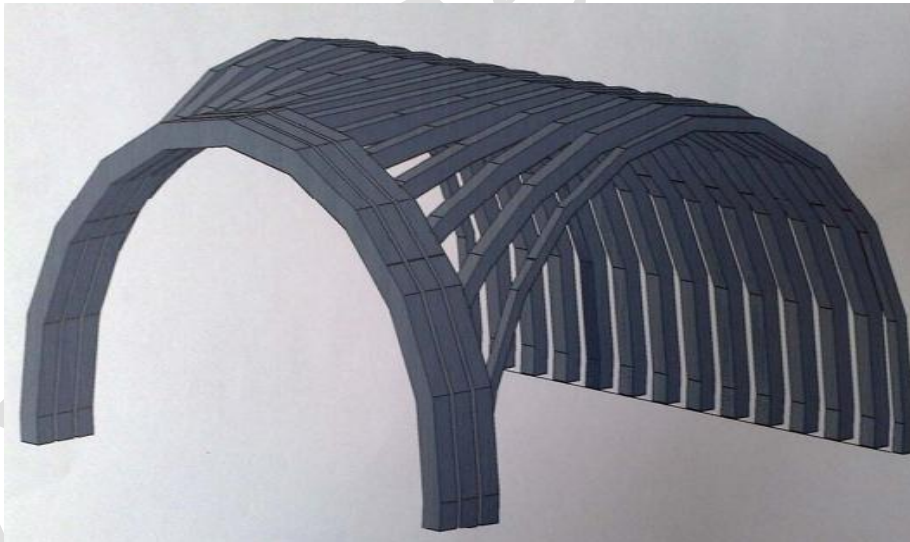
سازه ای فلزی یا بتنی که به عنوان مهاري یا نگهبان و تقویتی معمولاً در دهانه تونل بکار می رود؛ و موقعیت دقیق آن توسط نقشه بردار مشخص می شود.





### (۱۹) سازه سه راهی

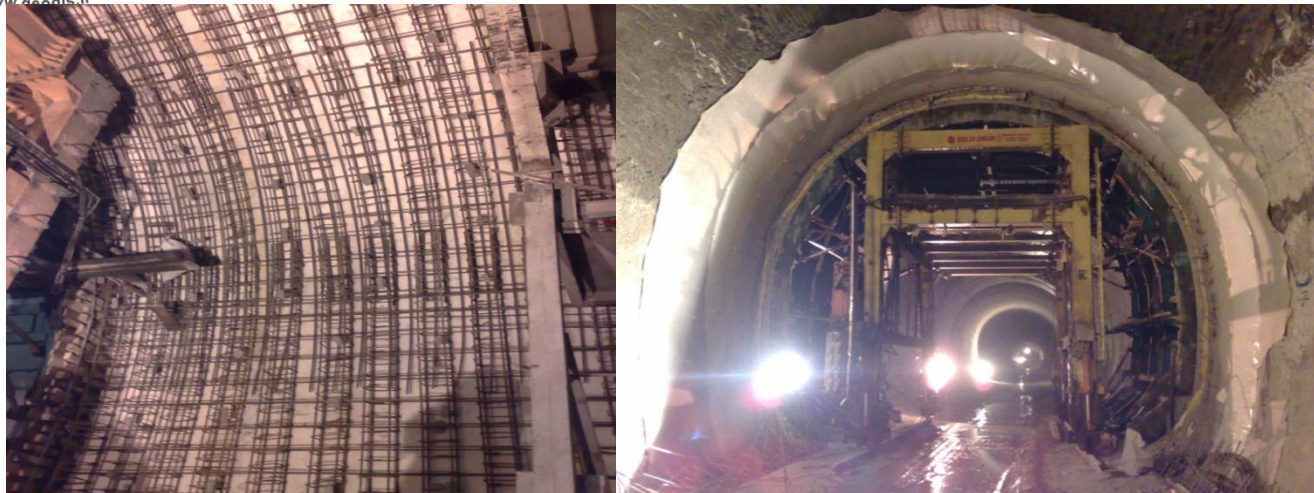
چون در محل تقاطع‌ها استحکام تونل به علت وجود سطح وسیع تری که دارای تکیه‌گاه نمی‌باشد، کمتر از نقاط دیگر تونل می‌باشد. جهت جبران این مسئله و پیش‌گیری از احتمال ریزش از سازه‌ای که معمولاً فلزی می‌باشد ولی در برخی تونل‌ها چوبی و یا بتنی نیز می‌باشد استفاده می‌شود.



### (۲۰) لاینینگ<sup>۱</sup>: (پوشش بتن نهایی)

پوشش بتنی و در واقع همان آستر نهایی تونل می‌باشد.

<sup>1</sup> 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 :

$$\frac{\text{مقدار مواد معدنی}}{\text{مقدار مواد استخراج شده}} \times 100$$

### (۲۳) ذخیره معدنی

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

### (۲۴) 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 نقشه برداری می‌باشد.

### (۲۵) شاتکریت

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



## عملیات نقشه برداری زیرزمینی

به طور کلی عملیات نقشه برداری زیرزمینی به سه مرحله عمده تقسیم می شود :

الف) مرحله طراحی پروژه زیرزمینی

ب) مرحله اجرا و هدایت حفاری و پیاده سازی سازه ها

ج) مرحله اندازه گیری ها و تهیه نقشه از زیر زمین مانند : تهیه پلان طبقات مختلف، تهیه پروفیل های طولی کف و سقف تونل، مقطع برداری از تونل، برداشت استخراجی و محاسبه حجم عملیات خاکی انجام عملیات میکروژئودزی و تعیین جابجایی ها

الف) مرحله طراحی پروژه زیرزمینی:

این مرحله خود شامل مراحل زیر می باشد.

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

(۲) ایجاد شبکه ژئودتیک در اطراف منطقه مورد نظر

(۳) تهیه نقشه های کوچک، متوسط و بزرگ مقیاس در قالب نقشه های توپوگرافی و نقشه های هیپسومتری (نقشه هایی که تعیین کننده جنس مواد زمین در منطقه باشد) و دیگر نقشه های مورد نیاز می باشد.

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

ب) مرحله اجرا و هدایت حفاری و پیاده سازی سازه ها

(۱) پیاده کردن دقیق نقاط تونل ها و چاه ها 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) اندازه گیری و تهیه نقشه های زیرزمینی

- ۱) شناسایی نقاط شبکه ژئودتیک روی زمین در نزدیکی دهانه ها 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 تونل ها و گالری ها در محل های مناسب
- ۴) انجام پیمایش جهت انتقال مختصات از نقاط ثابت سطح زمین به ایستگاه های زیرزمینی
- ۵) انجام ترازیابی جهت تهیه پروفیل طولی کف و سقف و برداشت های مقاطع جهت تهیه مقطع تونل
- ۶) انجام برداشت های لازم از هر ایستگاه زیرزمینی جهت تهیه نقشه مورد نیاز

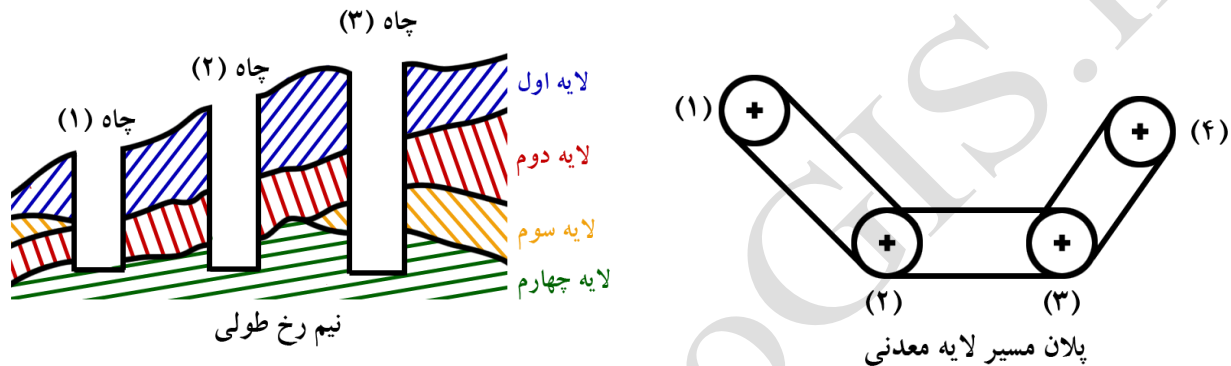
### گروه های تخصصی که در طراحی یک پروژه زیرزمینی (تونل) مشارکت دارند :

- گروه طراحی به علت ویژگی های سازه های زیرزمینی باید شامل تخصص های زیر باشد
- مهندس زمین شناس، جهت تهیه برنامه بررسی ها و اکتشافات ژئوتکنیک و ژئوفیزیک و تفسیر نتایج حاصل از بررسی ها، مشارکت در ارائه طرح پایداری اولیه مغارها و حفاری ها، 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 ویژگی های هیدرولیکی مقطع ساخته شده تونل و اعلام نظر در مورد گزینه ها
  - مهندس سازه، جهت محاسبات پوشش ها در تونل های تحت فشار و محاسبه بتن مسلح، همکاری در انتخاب نوع پوشش تونل و حفاظت های موقت
  - مهندس ژئوتکنیک، جهت محاسبه و ارزیابی های حفاظت های موقت، انتخاب روش ها و تدابیر مربوط به ناهنجاری ها و شرایط غیر متعارف، انتخاب نوع پوشش تونل و مسیر کلی تونل
  - مهندس عمران (سیویل)، جهت انتخاب موقعیت کارگاه و تجهیزات، دست یابی به کارگاه، محل انبار مواد اضافی و تغییر محل تجهیزات مربوط به اجرا
  - مهندس نقشه بردار، جهت تهیه نقشه پایه، انتخاب روش های تعیین مختصات و نقاط اصلی نقشه برداری (ایجاد شبکه ژئودتیک) و کنترل اجرای عملیات
  - مهندس عمران با تجربه اجرا در سازه های زیرزمینی، جهت مشاوره در مورد روش های اجرای پیش بینی شده و راه حل های مقطعی و مشارکت در تهیه اسناد قرارداد و برنامه های کنترل کیفیت
  - گروه محیط زیست، جهت بررسی اثرات محیط زیستی پروژه و ارائه راهکارها



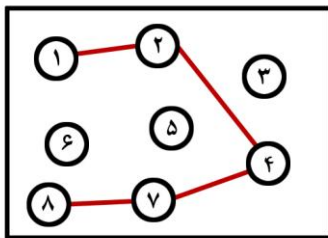
#### نقش نقشه بردار در عملیات زیرزمینی (معادن)

- (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.



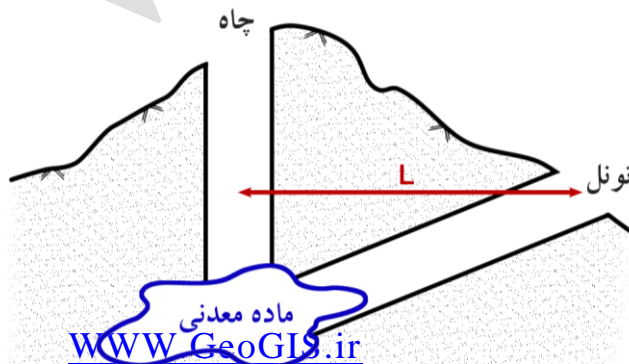
در شکل چاه‌ها (گمانه‌ها) با علامت + مشخص شده‌اند که از اتصال چاه‌هایی که دارای یک نوع ماده معدنی هستند مسیر لایه مشخص شود؛ و همچنین رسم نیم رخ طولی مربوط به عمق لایه‌ها، مسیر ارتفاعی لایه‌ها تعیین می‌گردد.

(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 نمونه برداری (چاه) ۳۰۰ متر باشد مطلوب است فاصله افقی مورد نیاز از چاه تا دهانه ورودی تونل (ما)



$$\frac{15}{100} = \frac{300}{L} \Rightarrow \frac{30000}{15} = 2000^m$$

۵) هدایت دائمی عملیات از نظر افقی و ارتفاعی و یا به عبارتی از نظر جهت ها و شیبها  
**نکته:** عملیات زیرزمینی پر هزینه و وقت گیر است پس احتیاج به هدایت دائمی برای حفاظت شیبها و  
راستاها را دارد.



۶) برداشت مقطع طولی و عرضی تونل های 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 نقشه بردار  
زیرزمینی می باشد.

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

۸) تعیین حجم حفاری و حجم لایه های معدنی

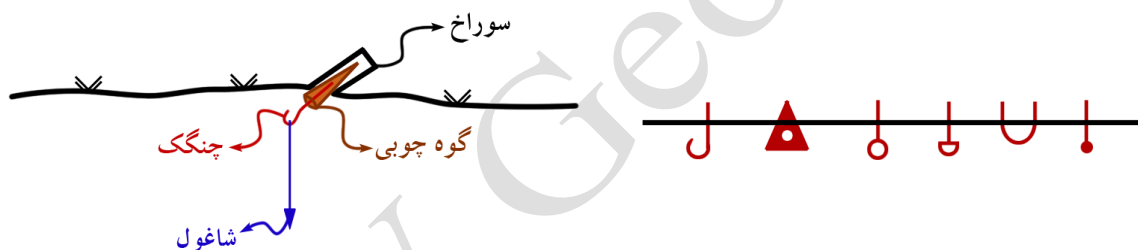
### ایستگاه گذاری در نقشه برداری زیرزمینی :

ایستگاه گذاری در نقشه برداری یکی از مهمترین و اساسی ترین مراحل می باشد 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. همان‌طور که می‌دانید هر چه زاویه بین دو امتداد به  $180^\circ$  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  $180^\circ$  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 ایستگاه‌گذاری در دیواره یا سقف و یا کف با شرایط ویژه‌ای انجام شود.

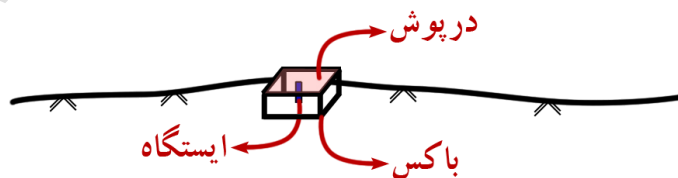
#### (۱) ایستگاه‌گذاری در سقف:

در این روش معمولاً سقف را با زاویه شیب بین  $45^\circ$  تا  $80^\circ$  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) ایستگاه‌گذاری در کف:

این نوع ایستگاه‌گذاری 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.

### 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 :

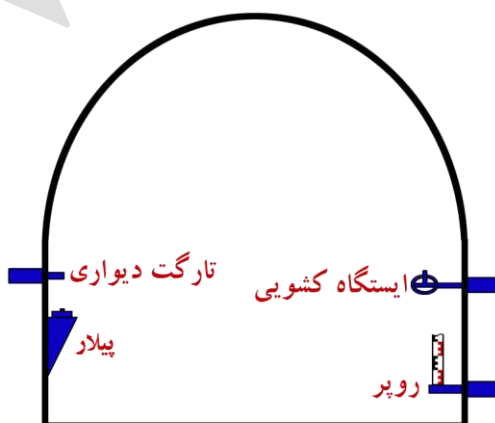
این نوع ایستگاه‌ها در اصل قابل ایستگاه گذاری نبوده و نقاطی ثابت هستند که مختصات آن‌ها مشخص می‌باشد و جهت کنترل از آن‌ها استفاده می‌شود.

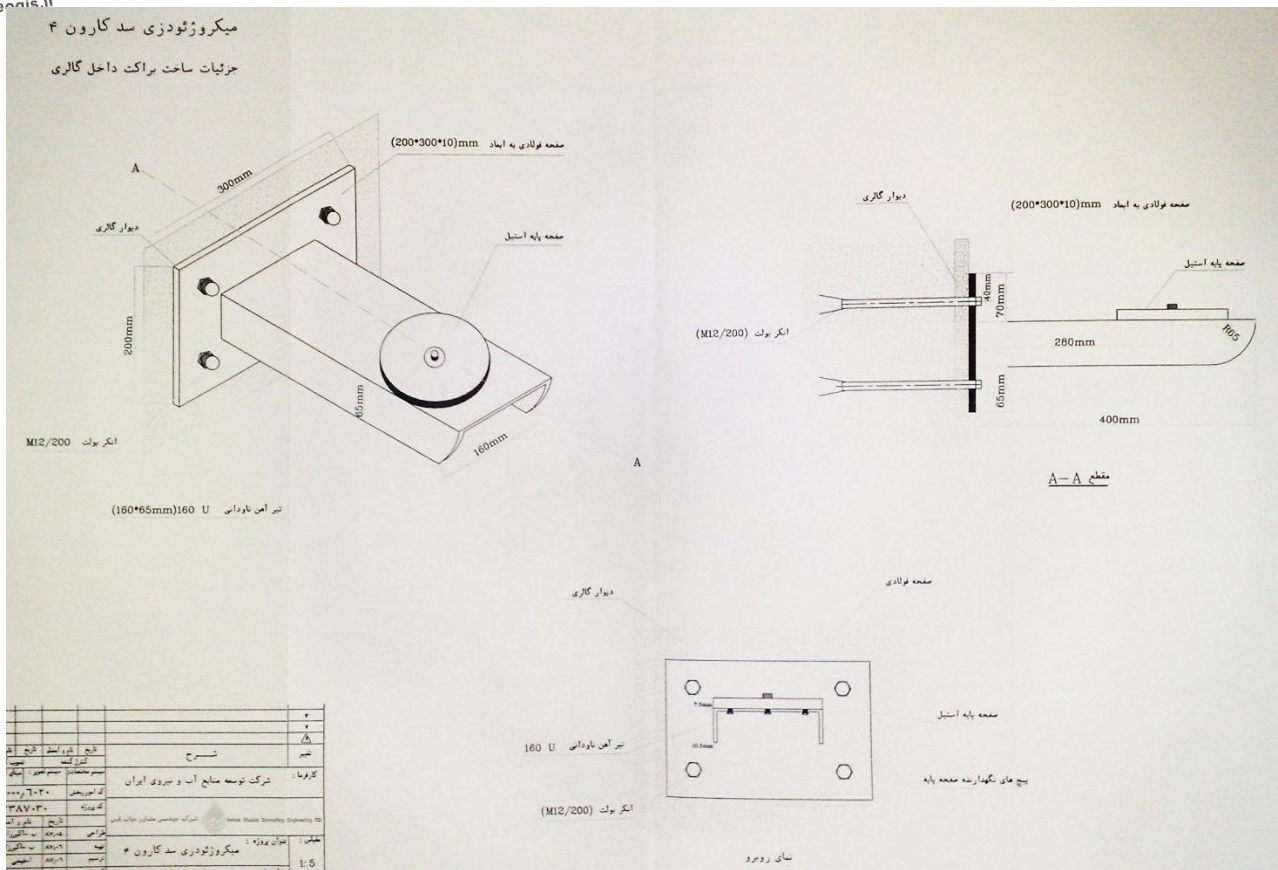
#### (۳) ایستگاه‌های کشویی یا لولایی :

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.





## روش های حفاری تونل :

(۱) روش انفجاری

(۲) روش تراشندگی ماشینی

(۱) روش انفجاری :

در این روش در داخل تونل در سینه کار محل هایی برای احداث چاه توسط نقشه بردار تعیین می شود و دستگاهی به نام دریل واگن شروع به سوراخ کردن آن نقاط در آزیموت و زاویه شیب و عمق مشخصی می کند سپس درون این چال ها را با مواد منفجره مخصوص به میزان مشخص پر کرده و با رعایت نکات ایمنی اقدام به انفجار می کنند که این کار توسط آتشباران انجام می شود. البته در تمامی پروژه ها نمی توان 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.

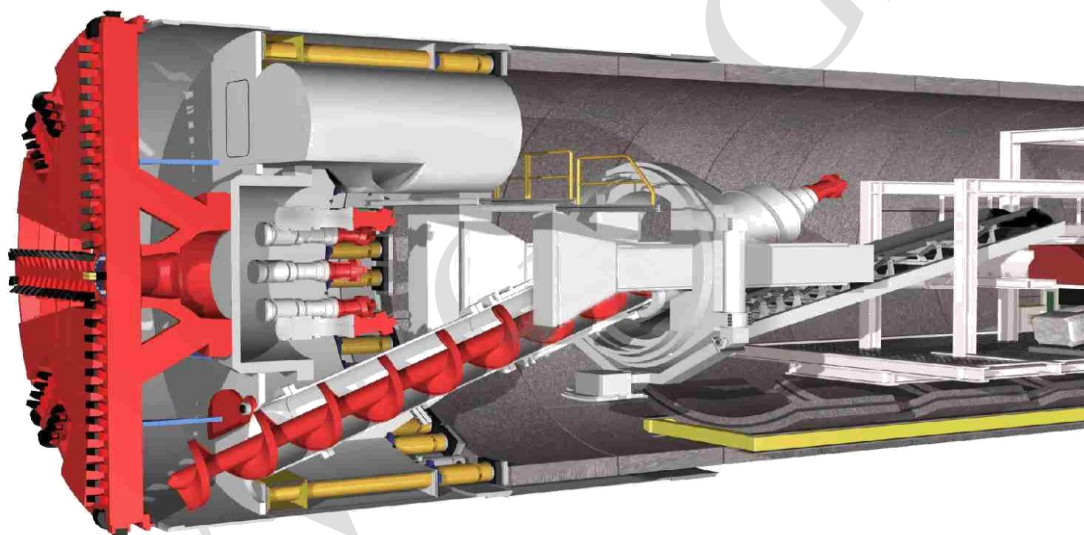
(۲) روش تراشندگی و ماشینی :

این روش یکی از بهترین روش ها در زمان هایی است که نمی توان از مواد منفجره استفاده نمود. دستگاه های متفاوت و زیادی در این رابطه وجود دارند که هر کدام بسته به شرایط تونل مورد استفاده قرار می گیرند. این دستگاه ها بسیار گران قیمت هستند و اصول کلی کار آن ها تقریباً یکسان است. جلو این دستگاه ها تیغه های گردانی وجود دارد که جنس آن ها معمولاً از کاربیت تنگستن می باشد که یک آلیاژ بسیار سخت می باشد. این تیغه ها با سرعت و بر روی سنگ خطوطی ایجاد می کنند و باعث خرد

شدن سنگ‌ها می‌شوند و به محفظه‌های بین تیغه رفته و از آنجا از طریق تسمه نقاله‌هایی 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<sup>۱</sup> TBM

دستگاه حفاری تونل یا تی‌بی‌ام که با نام مول<sup>۲</sup> 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.



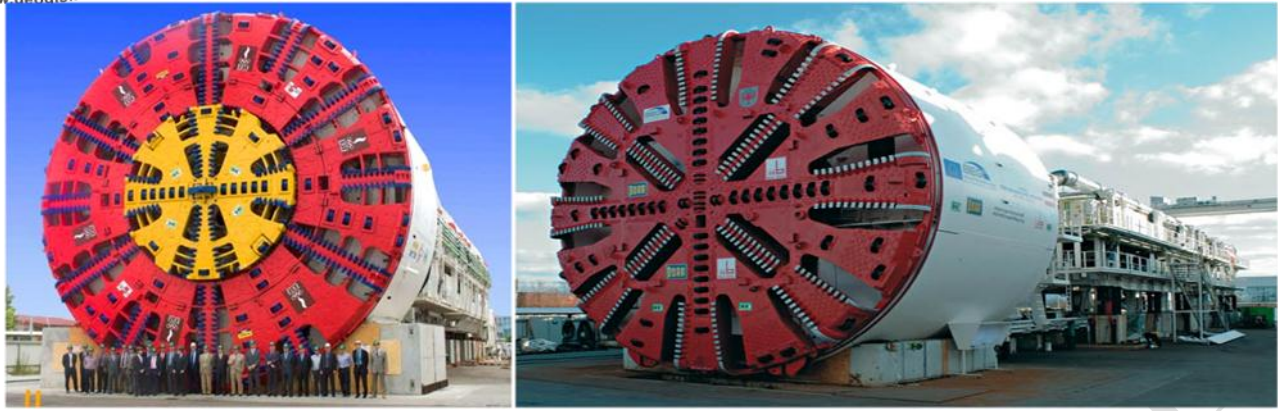
دستگاه‌های حفاری تونل، به عنوان جایگزینی برای روش‌های حفاری و انفجار صخره‌ها و کندن زمین با دست مورد استفاده قرار می‌گیرد. تی‌بی‌ام‌ها مزایایی همچون کاهش تعرض به زمین‌های مجاور و ایجاد دیوارهای نرم در تونل را دارند. این دستگاه به صورت قابل توجهی هزینه پوشش گذاری تونل را کاهش می‌دهد که خود این باعث شده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

کانال تلگرامی تونلسازی

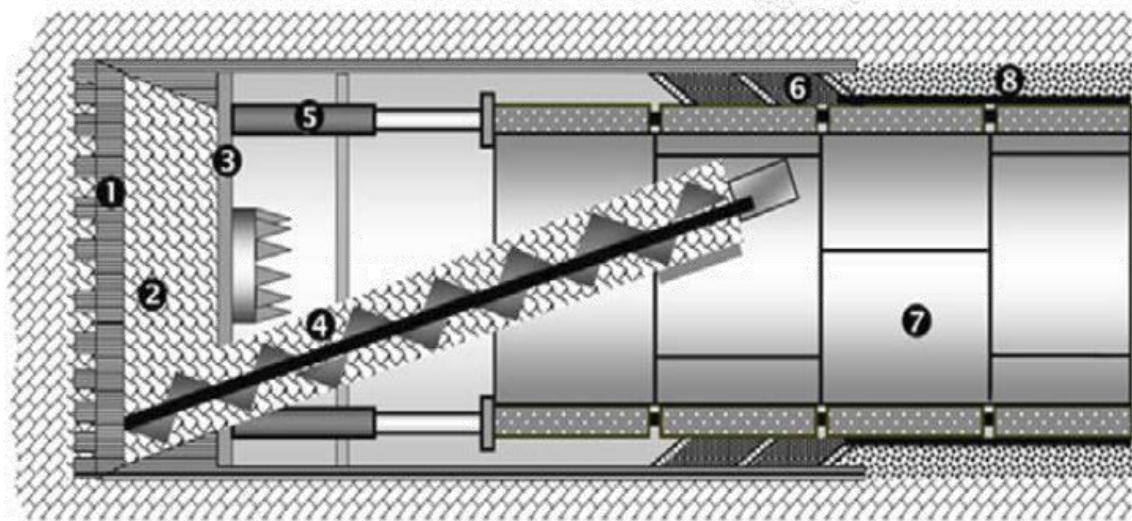
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

<sup>۱</sup> Tunnel Boring Machine

<sup>۲</sup> Mole



ایراد عمده این دستگاه قیمت بالای آن است. تی بی ام ها برای استفاده در ساخت وسازها گران قیمت بوده و آن ها را به سختی می توان جابجا کرد. هر چند با وجود طولیل بودن تونل های مدرن، هزینه استفاده از دستگاه های حفاری تونل، در مقابل روش های سنتی حفر و انفجار به مراتب پایین تر است. به همین دلیل تونل سازی با دستگاه های تی بی ام در یک پروژه کوتاه تأثیر بیشتری دارد.



- |                            |                                      |                  |
|----------------------------|--------------------------------------|------------------|
| ① سرخفاز                   | ④ نقاله های حلزونی                   | ⑦ پوشش تونل      |
| ② محفظه های فشرده سازی خاک | ⑤ جک های پیش براننده                 | ⑧ گروت تزریق شده |
| ③ صفحه های آب بند          | ⑥ قسمت تزریق گریس برای آب بندی بیشتر |                  |



## عملیات بعد از حفاری

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

### تهویه :

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

### کنترل :

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

### ترمیم :

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

### تحکیم :

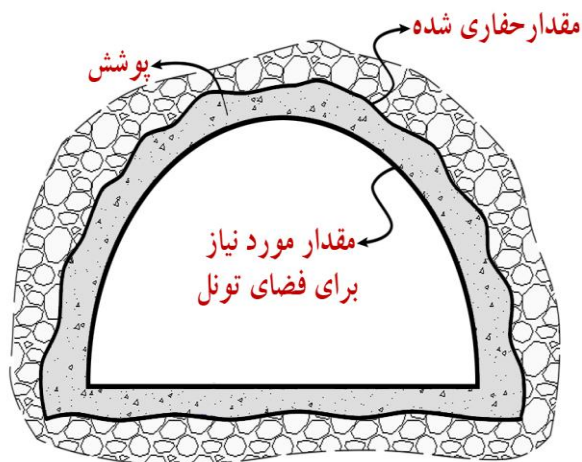
از شاتکریت جهت تحکیم مواردی که متزلزل هستند استفاده می شود (سیمان را به داخل شبکه های فلزی می پاشند تا ریزش نکنند)

### پوشش :

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

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





کانال تلگرامی تونلسازی  
telegram.me/iran\_tunnel

### محاسبه ضخامت پوشش در تونل ها :

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

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

t : ضخامت آستر بتنی بر حسب سانتیمتر

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

$\sigma_b$  : مقاومت بتن ۲۸ روزه بر حسب کیلوگرم بر سانتیمتر مربع

F : ضریب ایمنی که معمولاً ۲ در نظر گرفته می شود.

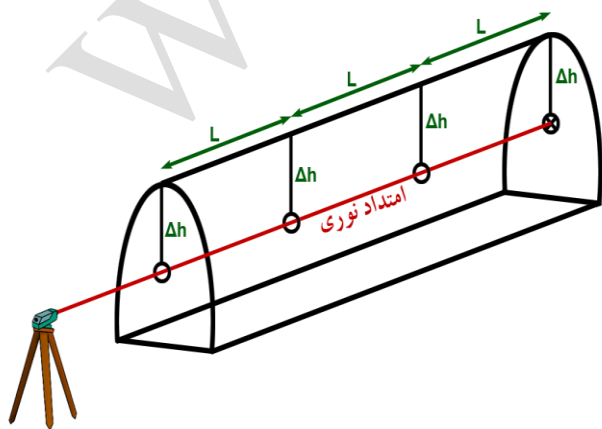
r : شعاع تونل بر حسب سانتیمتر

H : عمق تونل نسبت به سطح زمین

### روش های هدایت ارتفاعی و طولی تونل بدون استفاده از سیستم مختصات

(۱) روش حلقه ای (۲) روش لیزری

(۱) روش حلقه ای: در این روش حلقه ای از سقف تونل آویزان می کنند و حلقه بعدی را با توجه به شیب



تونل با اختلاف ارتفاع مشخص نسبت به حلقه قبل

آویزان می شود. 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  $70 \text{ cm}$  خواهد بود

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

از معایب این روش کم بود دید در فواصل زیاد (بیش از  $35^m$ ) می باشد.  
**۲) روش لیزری:** در این روش از یک دستگاه ایجاد پرتو لیزر جهت لاینینگ استفاده می شود. که معمولاً این دستگاه دوربین توتال استیشن لیزری می باشد. این روش تا حدی مشکل کمبود دید روش قبل را حل می کند (تا فاصله ۷۰ متر)

کانال تلگرامی تونلسازی  
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

### جبهه های 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 تونل های دسترسی و چاه های عمودی
- ۱- یک جبهه:
- یک جبهه به صورت ورودی معمولاً در عملیات های ساده زیرزمینی استفاده می شود.

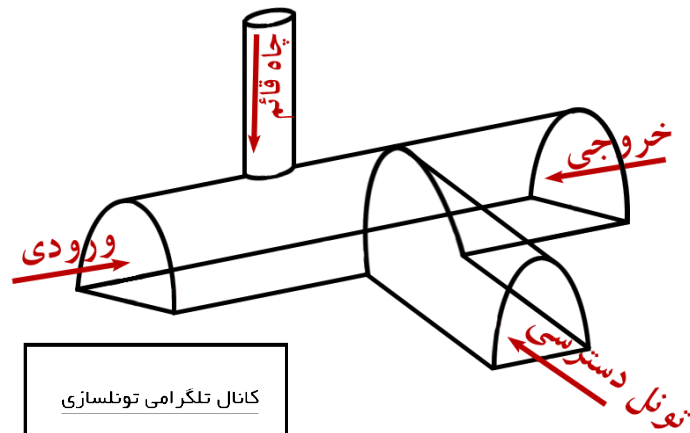


### ۲- دو جبهه :

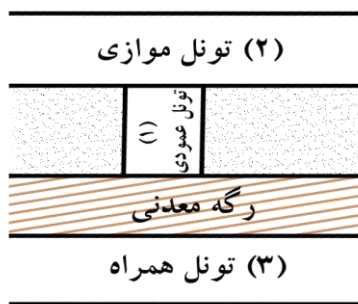
این نوع عملیات اکثراً در پروژه های حفر تونل های حمل و نقل مورد استفاده قرار می گیرد؛ و از دو طرف عملیات حفاری صورت می گیرد و باید در یک نقطه به هم برسند. این روش نیاز به کار محاسباتی و عملیاتی دقیق دارد تا انحرافی در امتدادهایی که از دو طرف حفر می شوند رخ ندهند.



۳- بیش از دو جبهه : در این روش که بیشتر در تونل های طویل بکار می رود بجز جبهه ورودی و خروجی، جبهه هایی به صورت تونل های دسترسی و یا چاه های قائم نیز خواهیم داشت.



کانال تلگرامی تونلسازی  
telegram.me/iran\_tunnel

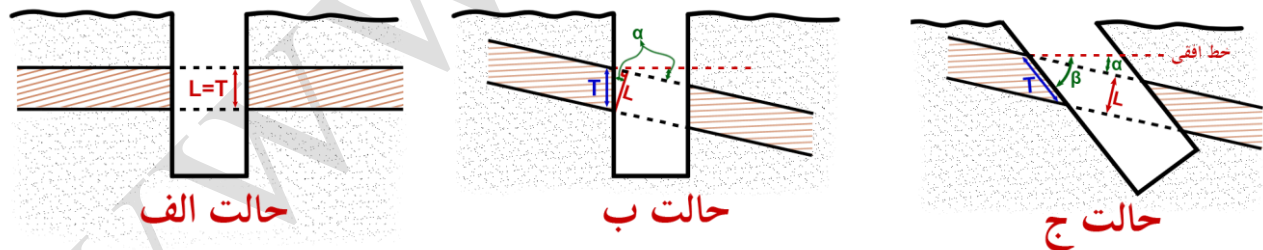


موقعیت‌های مختلف تونل نسبت به موقعیت رگه‌های معدنی

- (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  $\alpha$  با سطح افق دارد پس داریم:

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

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

(شیب به اندازه  $\alpha$ ) پس در این حالت خواهیم داشت:

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

کارهایی که در یک عملیات نقشه برداری زیرزمینی انجام می شود را می توان به دسته های کلی زیر تقسیم کرد :

کانال تلگرامی تونلسازی  
telegram.me/iran\_tunnel

(A) علامت گذاری نقاط

(B) اندازه گیری فاصله

(C) اندازه گیری زاویه

(D) تعیین وضعیت یک امتداد در زیرزمین به کمک نقاط در سطح زمین

(E) تعیین وضعیت یک امتداد در زیر زمین به کمک دستگاه های 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 می کنیم و لازمه آن استقرار دوربین بر روی نقاط ایستگاه و توجیه دوربین است به دلایلی که گفته شد ایستگاه ها بیشتر در سقف و در دیواره تونل ایجاد می شوند و برای استقرار دوربین در محل این نقاط از روش های زیر می توان استفاده کرد.

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

(۲) **اپتیکی:** برای استفاده از روش اپتیکی از شاقول های 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 می شود.

**(B) اندازه گیری فاصله**

اندازه گیری فاصله به دو روش زیر در نقشه برداری زیرزمینی قابل انجام است :

(الف) روش مستقیم (ب) روش غیر مستقیم

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

**(ب) روش غیر مستقیم:** در این روش از روش های زیر می توان استفاده کرد

(۱) استادیومتری (۲) پارالاکتیک (۳) استفاده از طولیاب های الکترونیکی (EMD)

### (C) اندازه گیری زاویه:

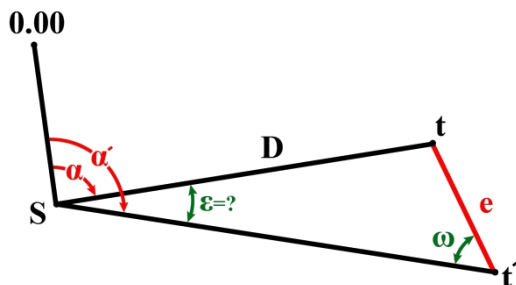
جهت اندازه گیری زاویه در زیر زمین از همان روش های معمول کوپل، تکرار، تجدید و دور افق استفاده می شود ولی به علت محدودیت فضا ممکن است شرایطی رخ دهد که نتوان بر روی ایستگاه مستقر شد یا تارگت را بر روی نقطه نشانه مستقر کرد که در این شرایط اندازه گیری زوایا را به روشی به نام خارج از ایستگاهی انجام می دهند.

کانال تلگرامی تونلسازی  
telegram.me/iran\_tunnel

#### روش های خارج از ایستگاهی

الف) تارگت فقط خارج از ایستگاه قرار گرفته باشد.

در این حالت به جای زاویه  $\alpha$  زاویه  $\alpha'$  قرائت می شود.



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

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

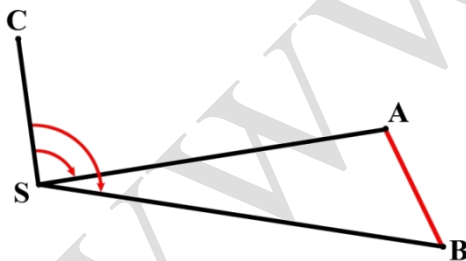
$$\Rightarrow \varepsilon = \sin^{-1} \left( \frac{e}{D} \sin \omega \right) \Rightarrow \varepsilon = \rho \left( \frac{e}{D} \sin \omega \right)$$

**نکته:** زمانی می توان  $\sin \varepsilon = \varepsilon$  به نظر گرفت که

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

$\sigma_\alpha$ : 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  $\hat{C}SA$  را بدست آورید:



$$\hat{C}SB = 100^\circ 21' 35''$$

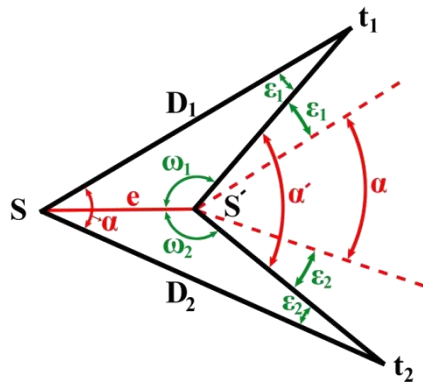
$$\hat{A}BS = 66^\circ 50' 39''$$

$$SA = 425.134^m$$

$$AB = 61.839^m$$

$$\Rightarrow \hat{A}SB = \sin^{-1} \left( \frac{61.839}{425.134} * \sin(66^\circ 50' 39'') \right) = 7^\circ 41' 8.64''$$

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



(ب) تنها زاویه یاب خارج از ایستگاه قرار گرفته باشد.  
در این حالت بجای زاویه  $\alpha$  زاویه  $\alpha'$  قرائت می شود.

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

$$\frac{D_1}{\sin \omega_1} = \frac{e}{\sin \varepsilon_1} \Rightarrow \sin \varepsilon_1 = \frac{e}{D_1} \sin \omega_1$$

$$\varepsilon_1 = \left( \frac{e}{D_1} \times \sin \omega_1 \right) \text{ اگر } \Rightarrow \varepsilon_1 \text{ باشد کم مقدارش کم باشد}$$

$$\varepsilon_2 = \left( \frac{e}{D_2} \sin \omega_1 \right) \text{ اگر } \Rightarrow \varepsilon_2 \text{ باشد کم مقدارش کم باشد}$$

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

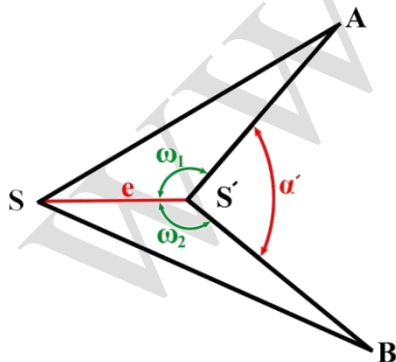
ولی زمانی که مقدار  $\varepsilon$  کوچک نباشد باید فرمول را به شکل زیر نوشت.

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

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

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

**مثال:** در شکل زیر به علت اینکه در کنار ایستگاه (نقطه s) مانعی وجود داشته نتوانسته ایم در آن محل ایستگاه گذاری کنیم و در نقطه s' زاویه یاب را مستقر کرده ایم و قرائت های زیر را انجام داده ایم زاویه  $\hat{A}S'B$  را بدست آورید.



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

$$\omega_1 = 144^\circ 6' 26''$$

$$\omega_2 = 151^\circ 7' 35''$$

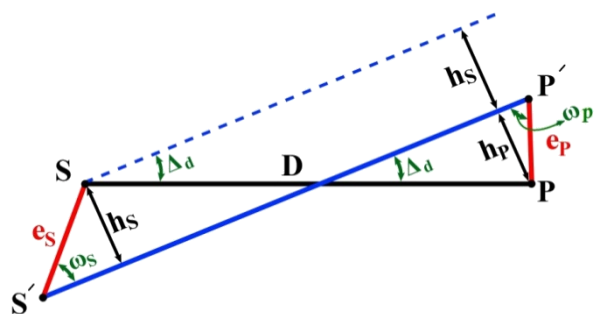
$$e = 14.0422^m$$

$$SA = 87.1325^m$$

$$SB = 95.4051^m$$

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

ج) زمانی که هم زاویه یاب و هم تارگت خارج از محل خود قرار داشته باشند در این حالت برای قرائت هر امتداد خارج از ایستگاهی تصحیح‌ها زیر نیاز می‌باشد.

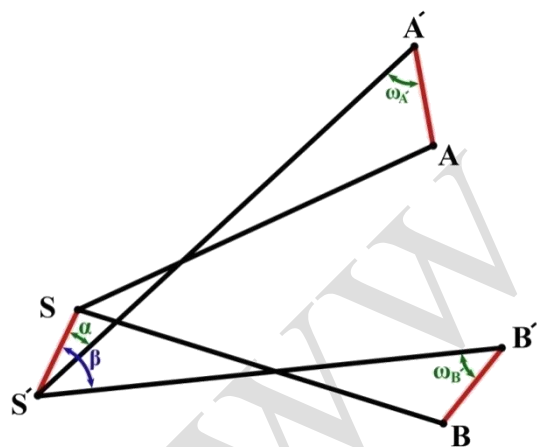


و اگر مقدار  $\Delta d$  را برای هر دو امتداد یک زاویه بدست آوریم که به این شکل قرائت شده می‌توان به مقدار واقعی آن زاویه دست یافت.

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

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

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  $\hat{A}SB$  را بدست آورید.



$$\begin{aligned} \overline{SA} &= 76.4096 & \overline{SB} &= 82.8029 \\ \overline{AA'} &= 19.4121 & \overline{BB'} &= 16.1984 \\ \omega_{A'} &= 51^\circ 22' 0'' & \omega_{B'} &= 41^\circ 47' 17'' \\ \alpha &= 27^\circ 54' 18'' & \hat{\beta} &= 63^\circ 57' 13'' \\ \overline{SS'} &= 24.9105 \end{aligned}$$

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

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

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

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

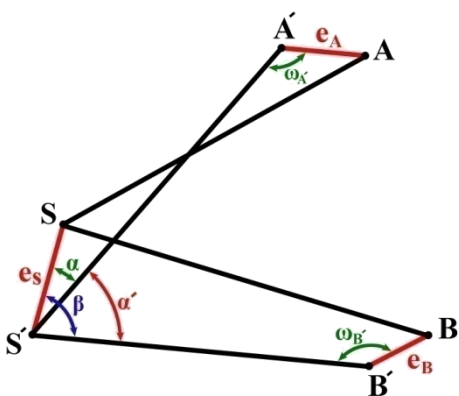
$$h_{B'S'} = \overline{BB'} \sin(\omega_{B'}) = 16.1984 \times \sin(41^\circ 47' 17'') = 10.7942^m$$

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

$$\alpha' = \alpha - \beta = 36^\circ 2' 55''$$

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

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  $\hat{A}SB$  را بدست آورید.



$$\begin{aligned} \overline{SA} &= 85.7861^m & \overline{SB} &= 92.3769^m \\ \overline{e_A} &= 18.7354^m & \overline{e_B} &= 16.6278^m \\ \omega_{A'} &= 121^\circ 51' 45'' & \omega_{B'} &= 151^\circ 23' 5'' \\ \alpha' &= 49^\circ 9' 5.3'' & \hat{\beta} &= 103^\circ 2' 33'' \\ \overline{e_S} &= 20.4491^m & & \end{aligned}$$

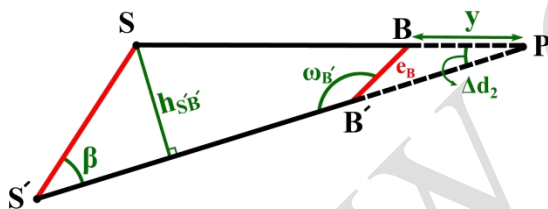
$$h_{S'A'} = \overline{e_S} \times \sin(\alpha) = 20.4491 \times \sin(49^\circ 9' 5.3'') = 15.4686^m$$

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

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

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

اگر دو امتداد  $\overline{S'B'}$  و  $\overline{SB}$  را ادامه دهیم تا همدیگر را قطع کنند و زاویه  $\Delta d_B$  را تشکیل دهند می توان نوشت.



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

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

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

سینوس ها را برای مثلث  $B'PB$  می توان نوشت

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

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

$$\Rightarrow 19.9216 - 7.9635 = 92.3769 \times \sin(\Delta d_2)$$

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

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

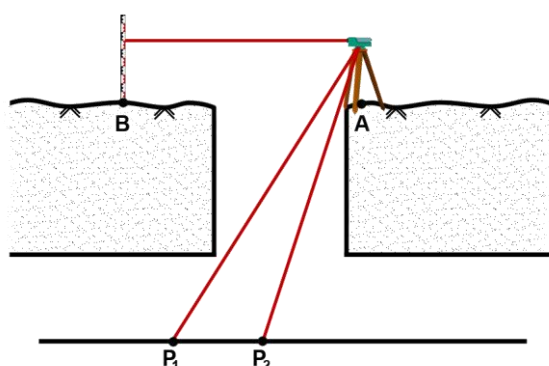
$$\Rightarrow \alpha = \alpha' + (\Delta d_2 - \Delta d_1) = 53^\circ 53' 27.7'' - 21^\circ 27' 25.32'' + 7^\circ 26' 15.89'' = 39^\circ 52' 18.27''$$



### (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 روش های زیر می توان 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

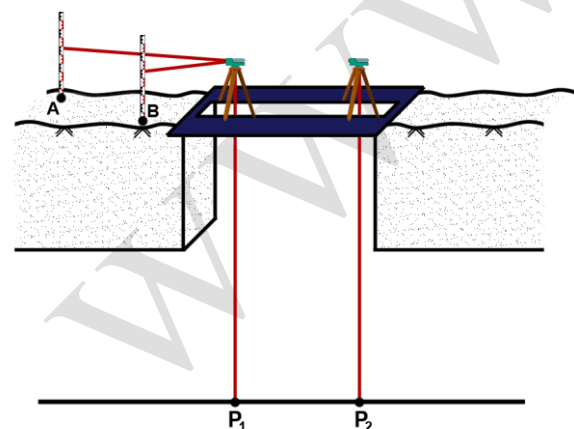


#### (۱) استفاده از منشور گونیا ساز:

منشورهایی وجود دارند که در جلو تلسکوپ دوربین نصب می شوند و راستای محور دیدگانی را  $90^\circ$  به سمت زنیت تغییر می دهند. در این روش مانند شکل بعد از توجیه دوربین نسبت به امتداد A به B منشور گونیا ساز را نصب کرده و دو نقطه  $P_1$  و  $P_2$  را با زاویه مدنظر نسبت به امتداد  $\overline{AB}$  پیاده سازی می کنیم.

**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 می شود و دوربین زنیت نادیر پس از توجیه نسبت به نقاط کنترل زمین A و B 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 می کند و با داشتن مختصات این دو ایستگاه در اصل مختصات مسطحاتی نقاط  $P_1$  و  $P_2$  را داریم.

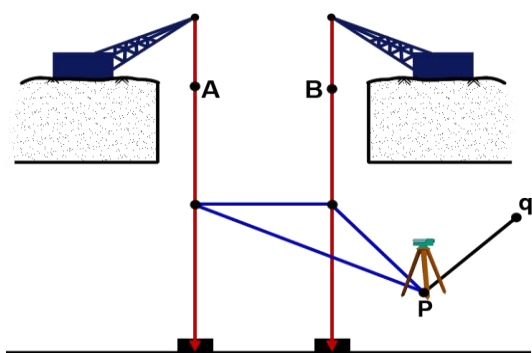
#### (۳) استفاده از دو شاقول

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

می باشد زمانی که بخواهیم از دو شاقول استفاده کنیم (می توان از دو چاه و دو شاقول یا از یک چاه و دو شاقول استفاده کرد) می توان از یکی از روش های زیر استفاده کرد و آزیموت امتداد مورد نظر را مشخص نمود.

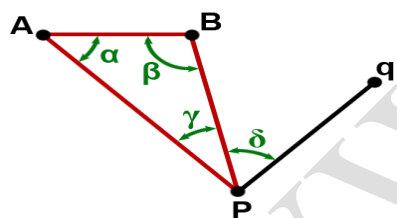
الف) استفاده از مشاهدات یک ایستگاه (استفاده از مثلث ویزباخ) :

در این روش همانند شکل دو وزنه با سیم (سیم بکسل) به جرثقیل های ثابتی آویزان شده (دو شاقول) و وزنه ها درون سطل روغنی به صورت شناور قرار داده می شوند تا از حرکت و تاب خوردن آن جلوگیری شود سپس مختصات مسطحاتی این دو شاقول یا همان مختصات نقاط A و B از ایستگاه های کنترل زمینی مشخص می گردد. حال در این روش می تواند تعیین امتداد به دو حالت زیر صورت می گیرد:



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

قرائت زوایای  $\delta$  و  $\gamma$  و طول های AP و BP و از روابط زیر به ژیزمان امتداد pq دست می یابیم.



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

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

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

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

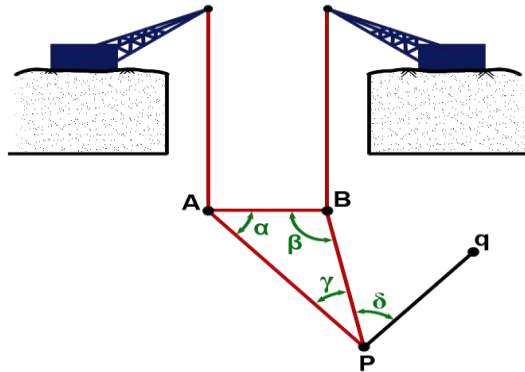
$$e = 180 - \alpha - \beta - \gamma \Rightarrow \begin{cases} \alpha' = \alpha + (-\frac{e}{3}) \\ \beta' = \beta + (-\frac{e}{3}) \\ \gamma' = \gamma + (-\frac{e}{3}) \end{cases}$$

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

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

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

مطلوب است محاسبه آزیموت این امتداد



$$G_{AB} = 80^{\circ}13'15'' \quad \gamma = 25^{\circ}11'5''$$

$$L_{PA} = 8.653^m \quad \delta = 118^{\circ}36'12''$$

$$L_{PB} = 6.241^m$$

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

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

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

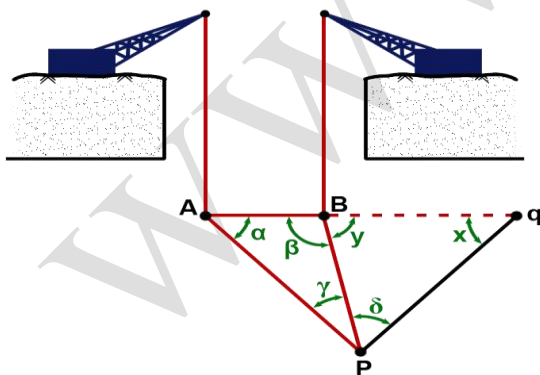
چون زاویه  $\beta$  مقابل وتر می باشد و مقدار آن از  $90^{\circ}$  بیشتر می باشد در نتیجه جواب رابطه سینوسی زاویه خارجی خواهد بود و برای رسیدن به زاویه داخلی ( $\beta$ ) باید از  $180^{\circ}$  کم شود.

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

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

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

$$\Rightarrow G_{Pq} = 121^{\circ}41'17.44'' + 25^{\circ}11'5'' + 118^{\circ}36'12'' - 180 = 85^{\circ}28'34.44''$$



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

در این حالت همانند حالت قبل زاویه  $\beta$  را یافته و سپس زوایای X و Y را یافته با داشتن یک طول و سه زاویه در مثلث PBQ می توان طول pq را از روابط مثلثاتی حساب کرد و همچنین آزیموت امتداد Bq برابر آزیموت امتداد

AB می باشد. قابل ذکر است که در این حالت زاویه  $\beta$  را می توان از یک رابطه دیگر نیز بدست آورد که در زیر به آن می پردازیم.

$$AB = \sqrt{(X_B - X_A)^2 + (Y_B - Y_A)^2}$$

یا  $AB^2 = PA^2 + PB^2 - 2 \times PA \times PB \times \cos \gamma$

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

روش دوم بدست آوردن زاویه  $\beta$

$$\frac{\sin \beta}{PA} = \frac{\sin \alpha}{PB} = \frac{\sin(180 - (\beta + \gamma))}{PB} = \frac{\sin(\beta + \gamma)}{PB} = \frac{\sin \beta \cos \gamma + \cos \beta \sin \gamma}{PB}$$

$$\Rightarrow PB \sin \beta = PA \sin \beta \cos \gamma + PA \cos \beta \sin \gamma \quad \text{طرفین تقسیم بر } \sin \beta$$

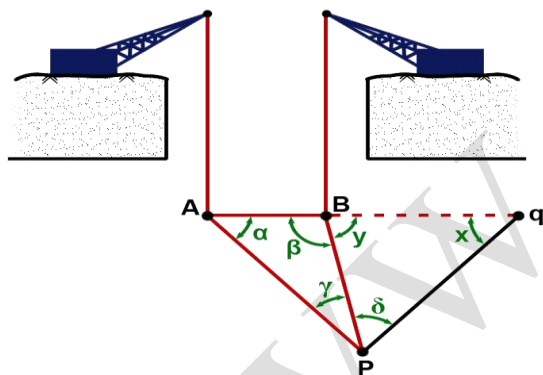
$$\Rightarrow PB = PA \cos \gamma + PA \cot \beta \sin \gamma = PB - PA \cos \gamma = \cot \beta \sin \gamma$$

$$\Rightarrow \cot \beta = \frac{PB - PA \cos \gamma}{\sin \gamma} \Rightarrow \beta = \tan^{-1} \left( \frac{\sin \gamma}{PB - PA \cos \gamma} \right)$$

پس از یافتن زاویه  $\beta$  در مثلث BPq داریم:

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

$$\frac{\sin X}{PB} = \frac{\sin(180 - \beta + \delta)}{PB} = \frac{\sin Y}{pq} = \frac{\sin \beta}{pq} \Rightarrow pq = \frac{PB \times \sin \beta}{\sin(180 - \beta + \delta)} = \frac{PB \times \sin(\alpha + \gamma)}{\sin(\alpha + \gamma + \delta)}$$



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

A		100	B		105.73
		100			100.00
		$\delta = 79^\circ 27' 14''$			$\overline{PB} = 8.541^m$
		$\gamma = 35^\circ 42' 50''$			$\overline{PA} = 9.750^m$

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

$$\frac{\sin 35^\circ 42' 50''}{5.73} = \frac{\sin \alpha}{8.541} \Rightarrow \alpha = \sin^{-1} \left( \frac{\sin(35^\circ 42' 50'') \times 8.541}{5.73} \right) = 60^\circ 28' 15.4''$$

$$\beta = 180 - \alpha - \gamma = 180 - 60^\circ 28' 15.4'' - 35^\circ 42' 50'' = 83^\circ 48' 54.6''$$

$$Y = 180 - \beta = 180 - 83^\circ 48' 54.6'' = 96^\circ 11' 5.4''$$

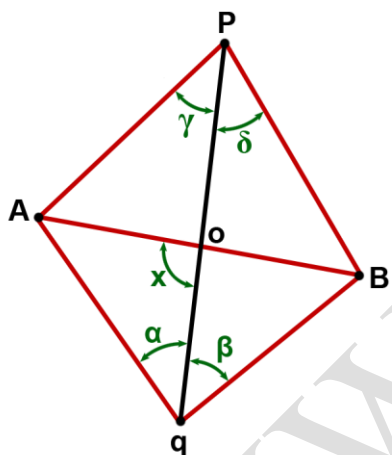
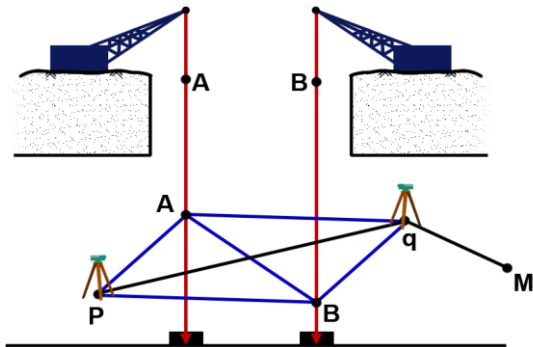
$$pq = \frac{8.541 \times \sin 83^\circ 48' 54.6''}{\sin(96^\circ 11' 5.4'' + 79^\circ 27' 14'')} = 111.66^m$$

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 می شود و مختصات نقاط A و B توسط ایستگاه های کنترل زمینی مشخص می شود. حال با انجام مشاهداتی از دو نقطه امتدادی که از میان دو نقطه A و B می گذارد اقدام به محاسبه وضعیت امتداد مستقر شده (امتداد pq) می نماییم. در این روش که روش دقیقی است مشاهدات ما را زوایای  $\alpha$  و  $\beta$  و  $\gamma$  و  $\delta$  تشکیل می دهد و مجهول زاویه تقاطع یا همان x می باشد که با یافتن آن می توان به آزیموت pq دست یافت و وضعیت امتداد pq را مشخص نمود.



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

$$POB \begin{cases} \frac{\sin \delta}{OB} = \frac{\sin(X + \delta)}{OP} \Rightarrow OP = \frac{OB \times \sin(X + \delta)}{\sin \delta} \end{cases}$$

$$POA \begin{cases} \frac{\sin \gamma}{OA} = \frac{\sin(X - \gamma)}{OP} \Rightarrow OP = \frac{OA \times \sin(X - \gamma)}{\sin \gamma} \end{cases}$$

$$qOB \begin{cases} \frac{\sin \beta}{oB} = \frac{\sin(X - \beta)}{oq} \Rightarrow Oq = \frac{OB \times \sin(X - \beta)}{\sin \beta} \end{cases}$$

$$qOA \begin{cases} \frac{\sin \alpha}{OA} = \frac{\sin(X + \alpha)}{Oq} \Rightarrow Oq = \frac{OA \times \sin(X + \alpha)}{\sin \alpha} \end{cases}$$

$$\frac{oP}{oq} = \frac{\frac{OB \times \sin(X + \delta)}{\sin \delta}}{\frac{OB \times \sin(X - \beta)}{\sin \beta}} = \frac{oB \times \sin \beta \times \sin X \times \cos \delta + \sin \beta \times \sin \delta \times \cos X}{oB \times \sin \delta \times \sin X \times \cos \beta - \sin \beta \times \cos X}$$

$$\frac{oP}{oq} = \frac{\frac{\sin \beta \times \sin X \times \cos \delta + \sin \beta \times \sin \delta \times \cos X}{\sin X \times \sin \delta \times \sin \beta}}{\frac{\sin \delta \times \sin X \times \cos \beta - \sin \delta \times \sin \beta \times \cos X}{\sin X \times \sin \delta \times \sin \beta}} = \frac{\frac{\cos \delta}{\sin \delta} + \frac{\cos X}{\sin X}}{\frac{\cos \beta}{\sin \beta} - \frac{\cos X}{\sin X}} = \frac{\cot \delta + \cot X}{\cot \beta - \cot X} \quad (1)$$

$$\frac{oP}{oq} = \frac{oA \times \sin(X - \gamma)}{oA \times \sin(X + \alpha)} = \frac{oA \times \sin \alpha \times \sin X \times \cos \gamma - \sin \alpha \times \sin \gamma \times \cos X}{oA \times \sin \gamma \times \sin X \times \cos \alpha + \sin \gamma \times \sin \alpha \times \cos X}$$

$$\frac{oP}{oq} = \frac{\sin \alpha \times \sin X \times \sin \gamma - \sin \alpha \times \sin \gamma \times \cos X}{\sin \gamma \times \sin X \times \cos \alpha + \sin \gamma \times \sin \alpha \times \cos X} = \frac{\frac{\cos \gamma}{\sin \gamma} - \frac{\cos X}{\sin X}}{\frac{\cos \alpha}{\sin \alpha} + \frac{\cos X}{\sin X}} = \frac{\cot \gamma - \cot X}{\cot \alpha + \cot X} \quad \langle 2 \rangle$$

$$\xrightarrow{\langle 1 \rangle = \langle 2 \rangle} \frac{\cot \delta + \cot X}{\cot \beta - \cot X} = \frac{\cot \gamma - \cot X}{\cot \alpha + \cot X} = \cot \delta \cdot \cot \alpha + \cot \delta \cdot \cot X + \cot X \cdot \cot \alpha + \cot^2 X =$$

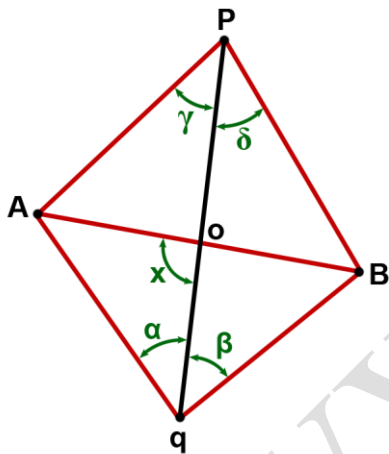
$$\cot \beta \cdot \cot \gamma - \cot \beta \cdot \cot X - \cot X \cdot \cot \gamma + \cot^2 X$$

$$\Rightarrow \cot \delta \cdot \cot \alpha + \cot \delta \cdot \cot X + \cot X \cdot \cot \alpha + \cot^2 X - \cot \beta \cdot \cot \gamma + \cot \beta \cdot \cot X + \cot X \cdot \cot \gamma - \cot^2 X = 0$$

$$\Rightarrow \cot \delta \cdot \cot X + \cot X \cdot \cot \alpha + \cot \beta \cdot \cot X + \cot X \cdot \cot \gamma = \cot \beta \cdot \cot \gamma - \cot \delta \cdot \cot \alpha$$

$$\Rightarrow \cot X = \frac{\cot \beta \cdot \cot \gamma - \cot \delta \cdot \cot \alpha}{\cot \delta + \cot \alpha + \cot \beta + \cot \gamma}$$

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



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

$$A \begin{array}{l} | 100 \\ | 100 \\ AB = 10^m \end{array}$$

$$B \begin{array}{l} | 110 \\ | 100 \end{array}$$

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

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

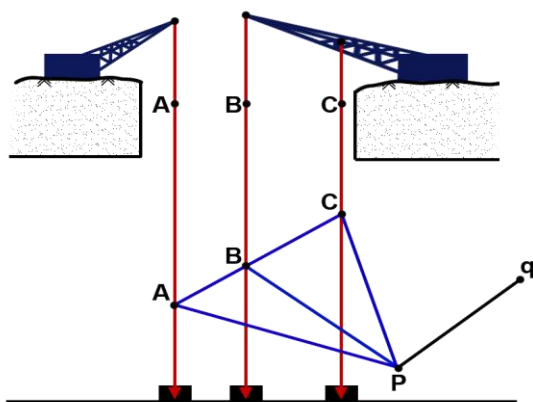
کانال تلگرامی تونلسازی  
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

$$\tan x = \frac{\cot \delta + \cot \alpha + \cot \beta + \cot \gamma}{\cot \beta \cot \gamma - \cot \delta \cot \alpha}$$

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

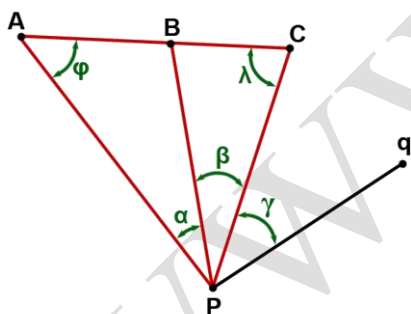
$$\Rightarrow G_{pq} = 90 - 86^\circ 40' 31.06'' + 180 = 183^\circ 19' 28.94''$$

#### ٤) استفاده از سه شاقول:



در این روش همانند شکل سه شاقول به کمک جرثقیل‌های ثابتی آویزان شده و وزنه این شاقول‌ها در سطح 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 زاویه مجهول  $\lambda$  یا  $\varphi$  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.  $(\overline{BC}, \overline{AB})$ .



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

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

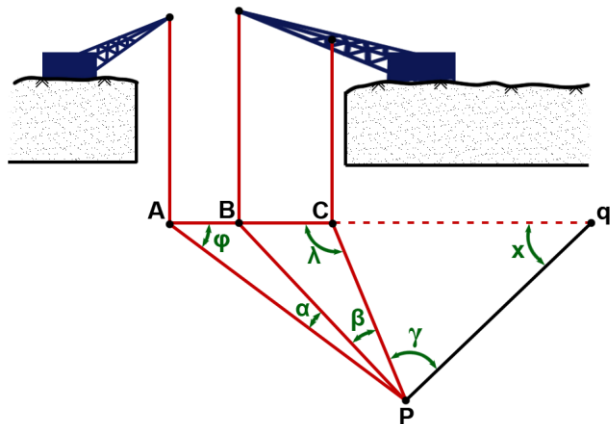
$$\frac{\sin \varphi}{\sin \lambda} = \kappa_2 \Rightarrow \kappa_2 = \frac{\sin(\kappa_1 - \lambda)}{\sin \lambda}$$

$$\lambda + \varphi = \kappa_1 \Rightarrow \varphi = \kappa_1 - \lambda$$

$$\kappa_2 = \frac{\sin \kappa_1 \cos \lambda - \sin \lambda \cos \kappa_1}{\sin \lambda} \Rightarrow \kappa_2 = \sin \kappa_1 \cot \lambda - \cos \kappa_1$$

$$\Rightarrow \cot \lambda = \frac{\kappa_2 + \cos \kappa_1}{\sin \kappa_1} \Rightarrow \lambda = \tan^{-1} \left( \frac{\sin \kappa_1}{\kappa_2 + \cos \kappa_1} \right) \Rightarrow \lambda = \tan^{-1} \left( \frac{\sin(180 - \alpha - \beta)}{\frac{BC \sin \alpha}{AB \sin \beta} + \cos(180 - \alpha - \beta)} \right)$$

**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 .



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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

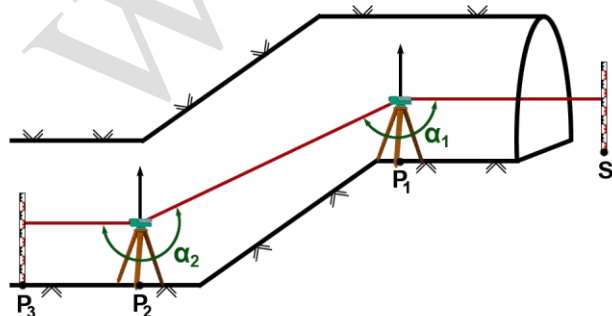
$$\frac{\sin(\lambda - \gamma)}{pc} = \frac{\sin \lambda}{pq} \Rightarrow pq = \frac{10.414 \times \sin(61^{\circ}06'29.46'')}{\sin(61^{\circ}06'29.46'' - 50^{\circ}18'08'')} = 48.634^m$$

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

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

### 5) استفاده از روش پیمایش:

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

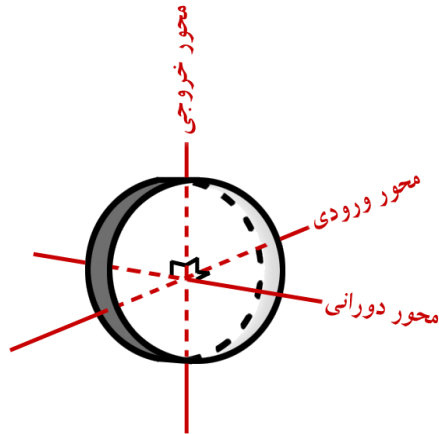


از توضیح این روش صرف نظر می کنیم چون در نقشه برداری 2 به صورت مفصل به آن پرداخته شده است.



## (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 ژيروسکوپ است.



ژيروسکوپ: 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.

ژيروسکوپ 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. ژيروسکوپ 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 ژيروسکوپ 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 ژيروسکوپ در امتداد شمال واقع می‌شود که محور دورانی زاویه‌اش با خط نصف‌النهار محل صفر شود. ولی ژيروسکوپ 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 ژيروسکوپ بیشترین کارایی خود را دارد و تا عرض ۷۰ درجه نیز برای کارهای نقشه برداری دقت دارد ولی از عرض‌های بالاتر از ۷۰ جهت کارهای نقشه برداری از دقت خوبی برخوردار نیست.

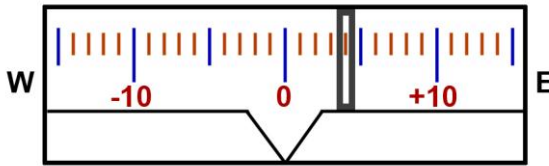
۲۰"	با دقت	GAK1	ویلد	(۱) مکانیکی	انواع ژيروسکوپ
۲۰"	با دقت	GP1	سوکیا		
۳۰"	با دقت	Gyromat2000		(۲) اتوماتیک	

کانال تلگرامی تونسازری  
telegram.me/iran\_tunnel

## روش های بدست آوردن شمال حقیقی با ژيروسکوپ:

### الف) روش نقطه بازگشت<sup>۱</sup>

در این روش ابتدا لازم است که تلسکوپ دستگاه با دقتی در حدود ۱ تا ۲ درجه در راستای نصف النهار



محل قرار گیرد که جهت این کار از یک قطب نما استفاده می کنیم. چنانچه به چشمی قرائت نوسان نگاه کنید شکلی مشابه شکل روبرو را خواهید دید. حال برای شروع کار پیچ آلیاد را باز کرده و ژيروسکوپ را روشن کنید

یک علامت روی درجه بندی نشان داده شده و شروع به نوسان از شرق به غرب می کند چند لحظه صبر می کنیم تا سرعت نوسان پایین بیاید (در حدود ۵ دقیقه) سپس علامت نوسان گر را دنبال می کنیم تا در نقطه ای 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 می کنیم سپس همین کار را برای نیمه بعدی انجام می دهیم و مقدار آن را ثبت می کنیم و دوباره این کار را تکرار می کنیم مانند شکل. کمترین تعداد مشاهده ۴ مشاهده (دو قرائت شرقی و دو قرائت غربی) می باشد، هر چه تعداد این قرائت ها بیشتر شود دقت شمال حاصل بهتر خواهد بود.

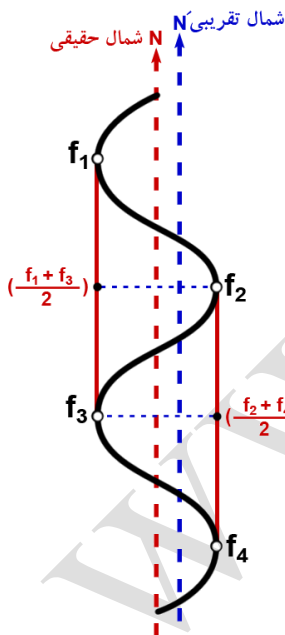
حال برای بدست آوردن ژیزمان یک امتداد از رابطه زیر استفاده می کنیم.

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

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

N زاویه شمال حقیقی که از میانگین گیری از قرائت ها بدست می آید.

جهت میانگین گیری روش های زیادی بیان شده ولی یکی از بهترین این روش ها روش زیر می باشد.



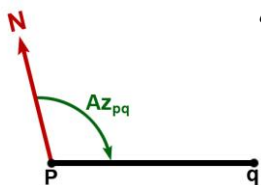
$$\left. \begin{aligned} N_1 &= \frac{1}{2} \left( \frac{f_1 + f_3}{2} + f_2 \right) \\ N_2 &= \frac{1}{2} \left( \frac{f_2 + f_4}{2} + f_3 \right) \\ &\vdots \quad \quad \quad \vdots \end{aligned} \right\} \Rightarrow N = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^n N_i$$

AZ' : آزیموت امتداد مورد نظر نسبت به شمال تقریبی

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

<sup>1</sup> Turning Point

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



کانال تلگرامی تونلسازی  
telegram.me/iran\_tunnel

نشانه	قرائت دایره به چپ	قرائت دایره به راست
$AZ'_{pq}$	$120^{\circ}20'15''$	$300^{\circ}20'20''$

شماره	قرائت شرقی	قرائت غربی
$f_1$	$1^{\circ}10'00''$	
$f_2$		$358^{\circ}10'00''$
$f_3$	$1^{\circ}09'15''$	
$f_4$		$358^{\circ}11'10''$

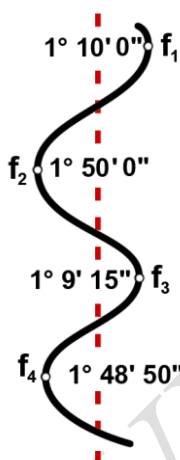
$$AZ'_{pq} = \frac{120^{\circ}20'15'' + (300^{\circ}20'20'' - 180)}{2} = 120^{\circ}20'17.5''$$

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

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

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

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



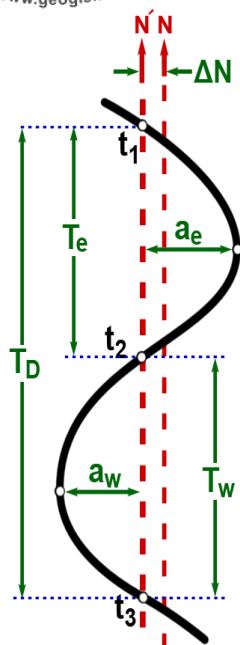
چون تمایل نوسانت بیشتر به سمت غرب بوده با توجه به شکل پس از علامت + در معادله محاسبه ژیزمان استفاده می کنیم.

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

کانال تلگرامی تونلسازی  
telegram.me/iran\_tunnel

### ب) روش عبور

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



می شود ولی همراه با ثبت زمان، به این صورت که از یک کرنومتر استفاده می کنیم و زمان آن را صفر می کنیم و زمانی که علامت نوسانگر ژيروسکوپ به صفر (وسط V شکل) رسید کرنومتر را به راه می اندازیم و علامت نوسانگر را نیز دنبال می کنیم و زمانی که به حداکثر انحراف های شرقی و غربی (نقاط برگشت) می رسند دامنه را ثبت می کنیم و همچنین زمان هایی که علامت نوسانگر از صفر یا همان V شکل نیز عبور می کند زمان را ثبت می کنیم. اگر تلسکوپ در امتداد نصف النهار باشد زمان عبورهای شرقی و غربی با هم برابر خواهد بود و همچنین میزان انحراف های شرقی و غربی نیز برابر خواهد بود. مقدار اختلاف دو زمان عبور شرقی و غربی متناسب با مقدار انحراف تلسکوپ از شمال واقعی می باشد.

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

کانال تلگرامی تونسازری  
 $AZ = AZ' \pm \Delta N + E$   
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

$E$ : مقدار اختلاف آزیموت نجومی و آزیموتی که از ژيروسکوپ بدست می آید 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 اندازه گیری شده

$\Delta N$ : 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  $T_W$  باشد. منفی (-) خواهد بود و در غیر این صورت مثبت (+) خواهد بود؛ و مقدار آن از رابطه زیر بدست می آید.

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

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

$A$ : میانگین دامنه نوسانات شرقی و غربی ژيروسکوپ است که از رابطه زیر بدست می آید.

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

$\Delta t$ : اختلاف دامنه زمانی غربی و شرقی می باشد که از رابطه زیر بدست می آید:

$$\Delta t = (T_w - T_E) \quad , \quad T_E = t_2 - t_1 \quad , \quad T_w = t_3 - t_2$$

$A_E$ : 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 آزمون دقیق امتداد pq از دستگاه ژيروسکوپ و از روش عبور استفاده شده است و مشاهدات زیر انجام شده ژیزمان دقیق pq را بدست آورید در صورتی که

ضریب مناسب ژيروسکوپ برابر  $\frac{\min of Arc}{S} \times 0.00478$  باشد.

شماره	زمان ترانزیت	دامنه زمانی شرقی	دامنه زمانی غربی	دامنه نوسان شرقی	دامنه نوسان غربی	میانگین دامنه	اختلاف زمانی شرقی و غربی	$\Delta N_i$
Pi	$T_t$	$T_E$	$T_W$	$A_E$	$A_W$	a	$\Delta t$	$\Delta N_i$
$t_1$	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 <sub>Pq</sub>	120°20'15"	300°20'20"

$$T_{E1} = 3'16.3" - 00'00" = 3'16.1"$$

$$T_{W1} = 6'39.4" - 3'16.1" = 3'23.3"$$

$$T_{E2} = 9'55" - 6'39.4" = 3'15.6"$$

$$T_{W2} = 13'18.2" - 9'53" = 3'23.2"$$

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

$$\Delta t_1 = 3'23.3" - 3'16.1" = 7.2"$$

$$\Delta t_2 = 3'23.3" - 3'15.6" = 7.7"$$

$$\Delta t_3 = 3'23.2" - 3'15.6" = 7.6"$$

$$\Delta N_1 = 0.0478 \times 12.35 \times 7.2" = 4.25'$$

$$\Delta N_2 = 0.0478 \times 12.30 \times 7.7" = 4.53'$$

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

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

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

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

$$\Rightarrow AZ_{pq} = 120^{\circ}20'17.5'' + \underset{TW > TE}{00^{\circ}4.42'} = 120^{\circ}24'42.7''$$

کانال تلگرامی تونلسازی  
telegram.me/iran\_tunnel

## (F) انتقال ارتفاع از سطح زمین به زیر زمین

تا این مرحله به نحوه انتقال مختصات مسطحاتی (x,y) و جهت (ازیموت) به زیر زمین پرداخته ایم 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 تراز یابی (۲) استفاده از متر یا سیم بکسل مدرج آویزان (۳) روش پاندولی

(۱) **انجام تراز یابی:** حالت اول خود به دو دسته تقسیم می شوند: الف) تراز یابی مستقیم (ترازیابی هندسی)

ب) تراز یابی غیر مستقیم (ترازیابی مثلثاتی)

الف) تراز یابی مستقیم:

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

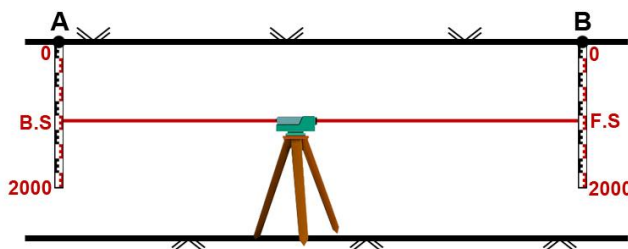
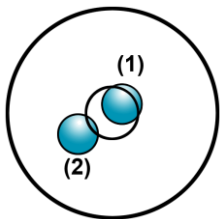
تراز بودن دستگاه: زمانی که از دستگاه هایی استفاده می کنید که دارای تراز خودکار

(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

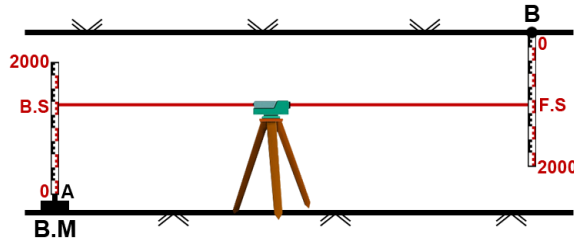
علت شرایط تراز یابی زیرزمینی، سه حالت زیر در امر تراز یابی هندسی ممکن است رخ دهد که آن ها را بررسی می کنیم.



حالت اول: هر دو شاخص معکوس

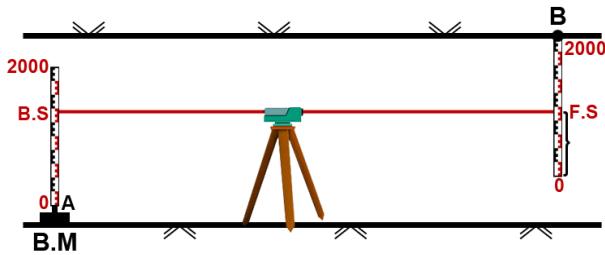
$$\Delta H_{AB} = -(B.S - F.S) = F.S - B.S$$

حالت دوم: یک شاخص معکوس و یک شاخص مستقیم



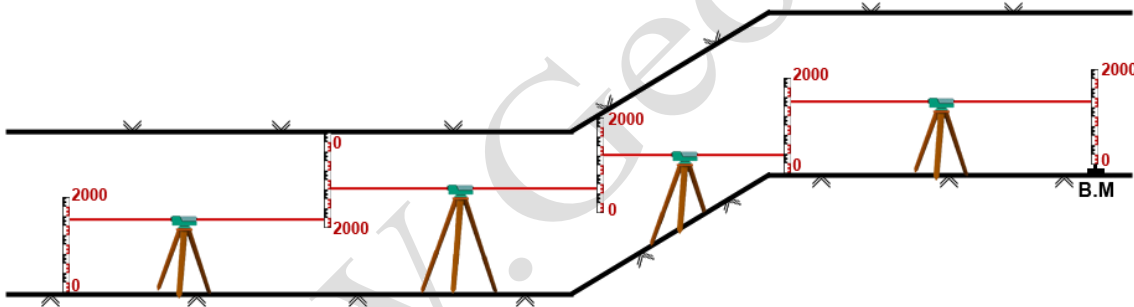
$$\Delta H_{AB} = B.S - (-F.S) = B.S + F.S$$

حالت سوم: هر دو شاخص مستقیم

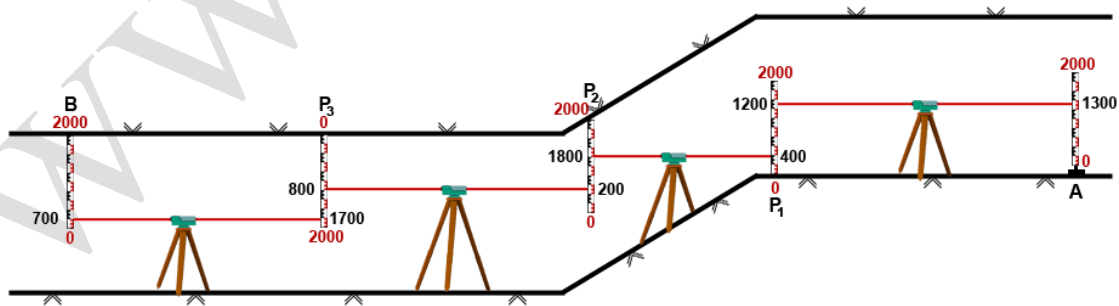


$$\Delta H_{AB} = B.S + (2000 - F.S)$$

زمانی از روش ترازیابی هندسی می توان 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 حالت های فوق رخ دهد.



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



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

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

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



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

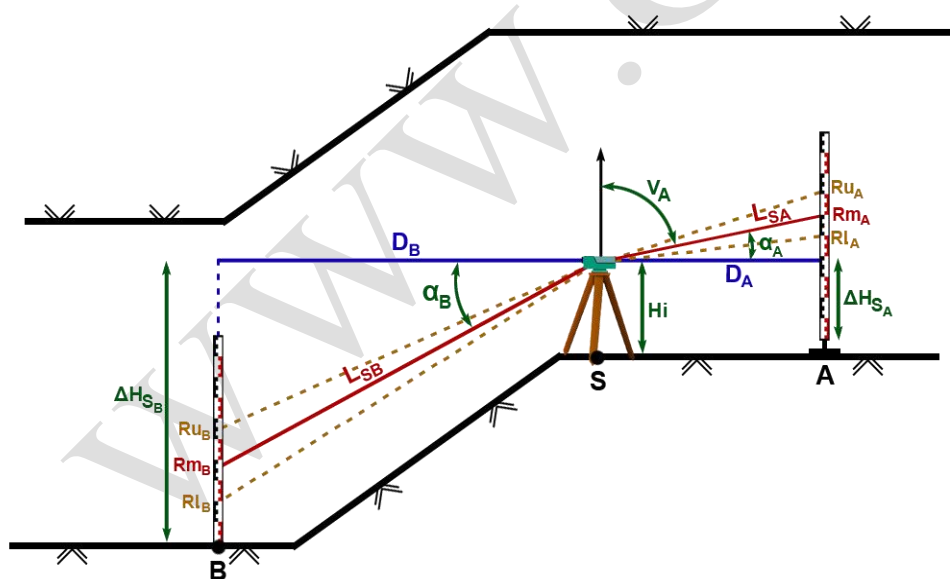
نقاط	B.S	F.S	نوع شاخص	$\Delta H_i$	H
A	1300		مستقیم		100
P <sub>1</sub>	400	1200	مستقیم	+0.10	100.10
P <sub>2</sub>	200	1800	مستقیم	+0.60	100.70
P <sub>3</sub>	1700	800	معکوس	-1.00	99.70
B		700	مستقیم	-0.40	99.30

در محاسبه  $H_{\Delta P_2 P_3}$  باید به این نکته توجه کرد که تراز یابی در سقف انجام شده و اختلاف ارتفاع مثبت در اصل اختلاف ارتفاع منفی می باشد.

(ب) تراز یابی غیر مستقیم (مثلثاتی)

این روش نسبت به روش مستقیم از دقت کمتری برخوردار است ولی در زمان هایی که شیب زیاد است این روش خیلی کاربردی تر نسبت به روش تراز یابی مستقیم می باشد. ولی باید به این نکته توجه کرد که هر چه زاویه شیب بیشتر شود احتمال وقوع خطا در محاسبه فاصله به روش استادیومتری بیشتر خواهد بود پس زمانی این روش در تونل هایی 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 استادیومتری بررسی می کنیم.

(۱) تراز یابی مثلثاتی با فاصله یابی به روش استادیومتری



V: زاویه زینیتی یا زاویه قائم

$\alpha$ : زاویه شیب

R<sub>U</sub>: قرائت تار بالا

R<sub>M</sub>: قرائت تار میانی

R<sub>L</sub>: قرائت تار پایین

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

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

یا

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

$$L_{SA} = 100 \times \left( \frac{R_{UA} - R_{LA}}{1000} \right) \times \cos \alpha_A$$

یا

$$L_{SA} = 100 \times \left( \frac{R_{UA} - R_{LA}}{1000} \right) \times \sin V_A$$

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

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

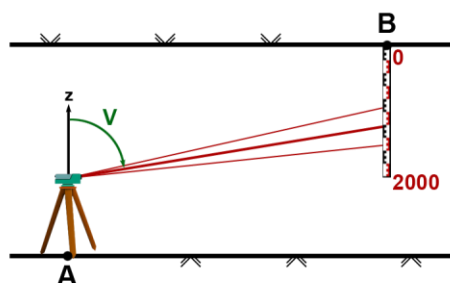
$$\Delta H_{SA} = 100 \times \left( \frac{R_{UA} - R_{LA}}{1000} \right) \times \sin \alpha_A \cdot \cos \alpha_A + HI_S - R_{MA}$$

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

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

$$\sin \alpha \cdot \cos \alpha = \frac{1}{2} \sin^2 \alpha$$

**مثال:** برای تعیین ارتفاع نقطه B واقع در سقف تونل از روش ترازیبی مثلثاتی کمک گرفته ایم و مشاهدات زیر را انجام داده ایم. ارتفاع نقطه B را بدست آورید.



$$v = 86^\circ \quad R_L = 1800^{mm} \quad R_M = 1650^{mm} \quad R_U = 1500^{mm}$$

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

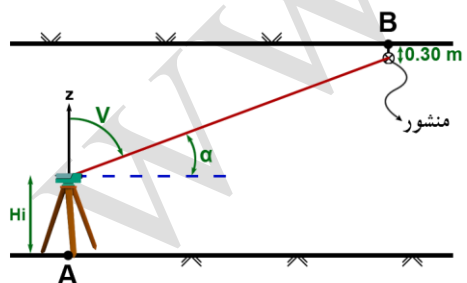
$$L = \left( \frac{R_U - R_L}{1000} \right) = 0.30^m$$

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

(۲) ترازیبی 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 می توانستید این طول را محاسبه کنید. در این حالت داریم:

حالت اول:

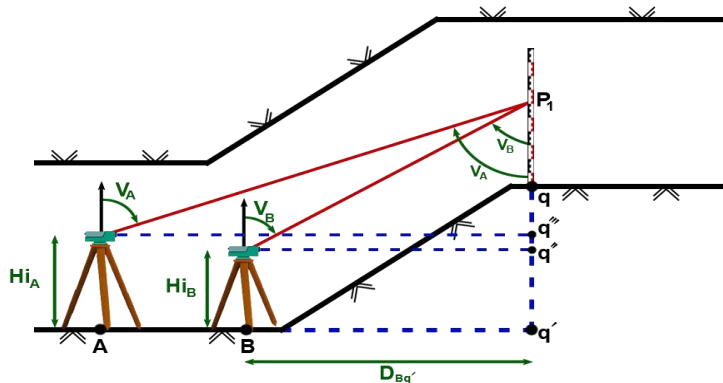


$$HB = HA + HI + L \times \cos v + \Delta H_B$$

$$HB = HA + HI + L \times \sin v + \Delta H_B$$



حالت چهارم: قرائت یک نقطه از شاخص از دو ایستگاه



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

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

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

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

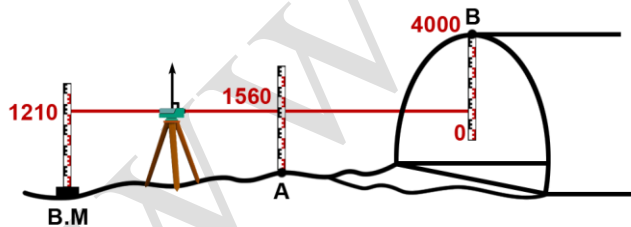
$$\Rightarrow \frac{D_{Bq'} (\tan V_A - \tan V_B)}{\tan V_A \times \tan V_B} = \left( HI_A - HI_B + \frac{\overline{AB}}{\tan V_A} \right) \frac{(\tan V_A \tan V_B)}{\tan V_A \tan V_B}$$

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

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

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

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



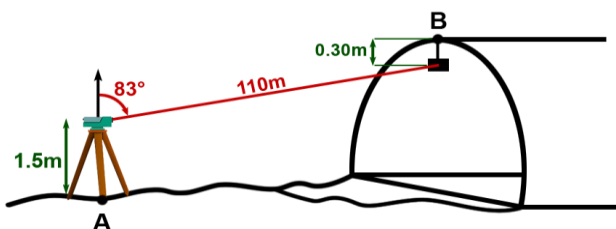
$$BM = 100^m$$

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

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

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

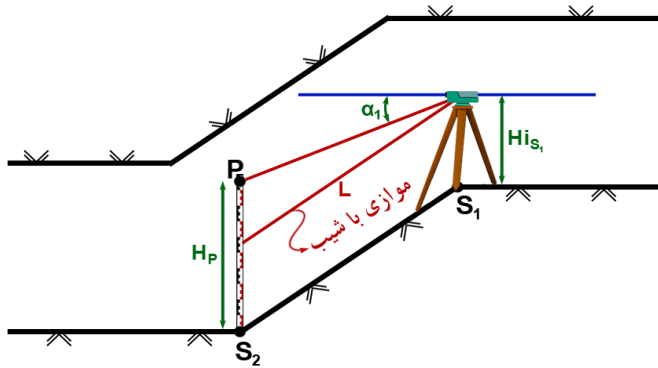
مثال: ارتفاع نقطه B را بدست آورید.



$$H_A = 160^m$$

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

مثال: ارتفاع نقطه  $S_2$  را بدست آورید



$$H_{S1} = 140^m$$

$$HI_{S1} = 1.55$$

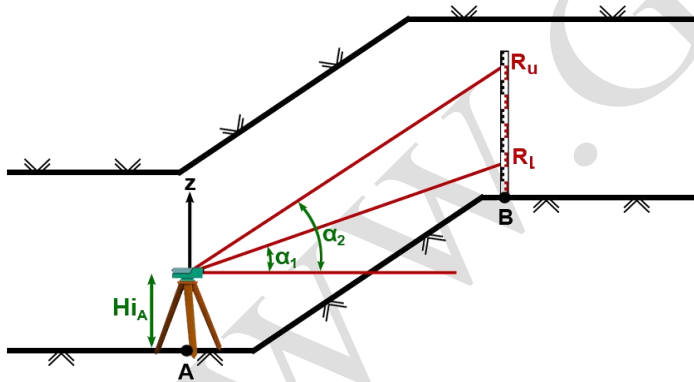
$$\alpha_1 = 48^\circ 11' 51''$$

$$H_P = 3451^{mm}$$

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

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

مثال: ارتفاع نقطه B را بدست آورید.



$$H_A = 210^m$$

$$HI_A = 1.6^m$$

$$R_L = 700^{mm}$$

$$\alpha_1 = 40^\circ 15' 12''$$

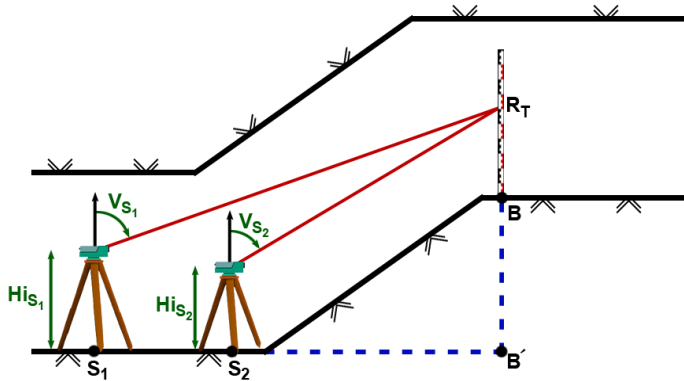
$$\alpha_2 = 44^\circ 13' 50''$$

$$R_u = 1800^{mm}$$

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

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

مثال: ارتفاع نقطه B را بدست آورید.



$$H_{S_2} = 150^m \quad HI_{S_1} = 1.75^m$$

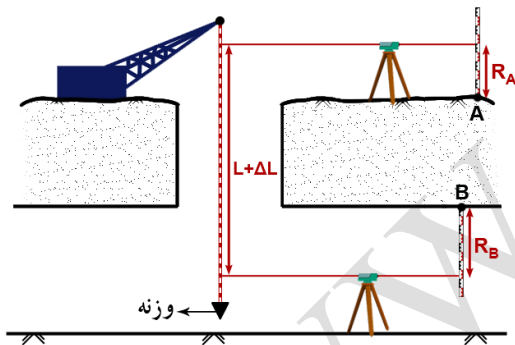
$$HI_{S_2} = 1.50^m \quad V_{S_1} = 41^\circ 21' 17''$$

$$V_{S_2} = 35^\circ 34' 46'' \quad R_T = 1750^{mm}$$

$$\overline{S_1 S_2} = 5.34^m$$

$$D_{S_2 B'} = \left( \frac{1.75 - 1.5 + 5.34 \frac{1}{\tan 41^\circ 21' 17''}}{\frac{1}{\tan 35^\circ 34' 46''} - \frac{1}{\tan 41^\circ 21' 17''}} \right) = 24.132^m$$

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



ج) استفاده از متر یا سیم بکسل مدرج آویزان

در این روش مطابق شکل عمل می‌کنیم و یک متر یا سیم بکسل 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 ( $\Delta L$ ) خواهیم داشت که باید محاسبه و اعمال شود.

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

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

S : سطح مقطع متر یا سیم بکسل

E: ضریب یانگ (کیلوگرم بر میلیمتر مربع)

P<sub>1</sub> : وزن وزنه

L: طول سیم بکسل مابین قرائت بالا و پایین

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

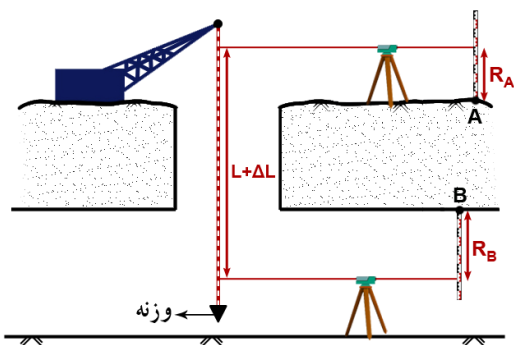
$$\Delta L_2 = \int \frac{P_2 \times L}{S \times E} dL = \frac{P_2 \times L^2}{2 \times S \times E} \Big|_0^L \Rightarrow \Delta L_2 = \frac{P_2 \times L^2}{2 \times S \times E}$$

$P_2$ : 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 کرده ایم و مشاهدات زیر را بدست آورده ایم، مطلوب است تعیین ارتفاع نقطه B. (در نقطه B از شاخص معکوس استفاده شد)



$$\begin{aligned} H_A &= 256.35^m & R_A &= 1.317^m & R_B &= 1.211^m \\ L &= 138.12^m & E &= 5 \times 10^2 & S &= 200^{mm^2} \\ P_1 &= 15^{Kg} & P_2 &= 0.85^{Kg} \end{aligned}$$

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

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

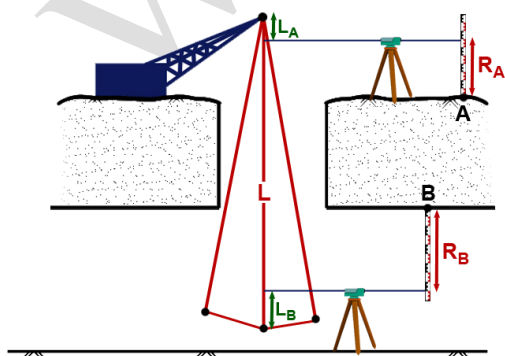
در این روش برای جلوگیری از نوسان سیم وزنه ای که به سیم آویزان است را در مخزن روغنی قرار می دهند همان طور که گفته شد در این روش دو نیرو به سیم وارد می شود  
 (۱) نیروی وزنه آویزان به سیم  
 (۲) نیروی وزن خود سیم

(د) روش پاندولی

در این روش پاندولی درون چاه قائم آویزان می گردد مانند شکل و با شمارش تعداد نوسانات پاندول در یک بازه زمانی می توان 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 می شوند جز

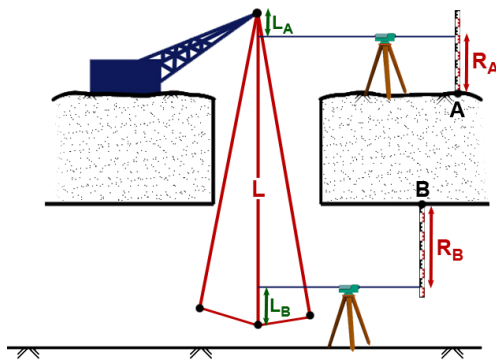
L که از رابطه زیر بدست می آید.

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

و  $T = \frac{t}{N}$

t : مدت زمان نوسانات      N : تعداد نوسانات      T : مدت زمان یک نوسان کامل      L : طول پاندول  
g : شتاب ثقل  $9.81 \frac{m}{s^2}$

**مثال:** جهت انتقال ارتفاع از سطح زمین به زیر زمین در یک پروژه زیرزمینی از روش پاندول استفاده شده و مشاهدات زیر انجام شده است. مطلوب است ارتفاع نقطه B. مدت زمان نوسانات پاندول  $40^s$  و تعداد نوسانات در این مدت زمان 4 نوسان بوده.



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

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

$$T = \frac{40}{4} = 10^s$$

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

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

در این روش از وزنه و سیم که باعث افزایش طول سیم می شود صرفه نظر شده و از دقت خیلی خوبی برخوردار نیست و می توان از رابطه ی 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

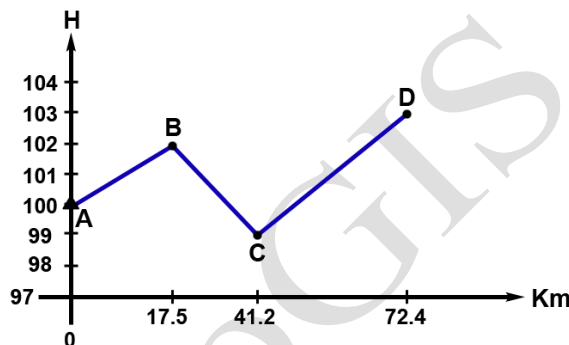
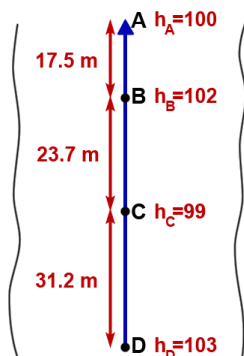
کانال تلگرامی تونلسازی

[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)



### (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 کارتیزین)

(B) روش قطبی

(C) روش لیزری

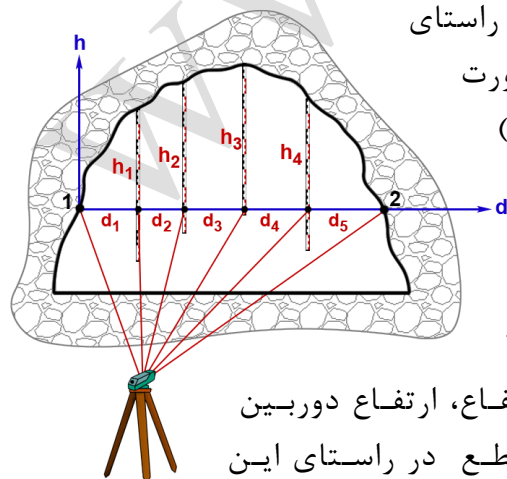
(D) روش فتوگرامتری برد کوتاه

کانال تلگرامی تونلسازی

[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

#### (A) روش افست

اساس کار در این روش تعریف یک سیستم مختصات کارتیزین 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 زینت) در راستای مقطع عرضی قرار گیرد. مانند شکل مراحل کار:



۱- دوربین تراز یاب را در نقطه‌ای نزدیک محل مقطع مستقر

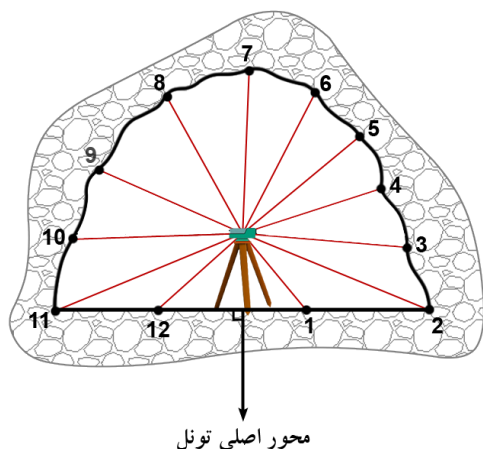
کرده و ارتفاع دستگاه را بدست می‌آوریم. ۲- دو نقطه‌ی ۱ و ۲

در دیواره‌ی تونل را علامت‌گذاری 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 تراز یابی کنید (h) هم زمان فاصله ی بین برداشت ها را نیز بر روی ریسمان با متر اندازه گیری و ثبت کنید (d). ۴- بدهی است هرچه فواصل بین نقاط برداشت کوچک تر باشد شکل نهایی به شکل مقطع واقعی نزدیکتر است. ۵- با داشتن مختصات قائم الزاویه هر نقطه واقع در سقف و جدایی های آن ها می توان مقطع عرضی تونل را بر روی نقشه با مقیاس مناسب ترسیم کرد.

### (B) روش قطبی

این روش خود به روش های مختلف قابل اجرا می باشد.



B.1) استقرار زاویه یاب در محل مقطع و برداشت طول و زاویه (به روش گل آفتابگردان<sup>۱</sup>)

در این روش مشاهدات نقاط نمونه برداری در جداره و کف تونل به صورت طول و زاویه می باشد.

مراحل کار:

۱- ایستگاه گذاری 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 اندازه گیری فاصله نقاط نشانه روی (نقاط نمونه برداری) تا مرکز تلسکوپ دوربین (بر روی آلیداد دوربین با یک علامت + مشخص می باشد)

### (B.2) روش دو قطبی (استفاده از دو زاویه یاب)

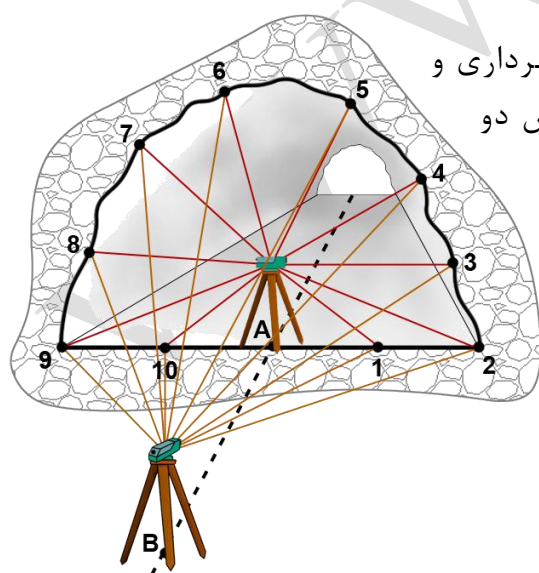
اگر به هر دلیلی در روش قطبی نتوان طول بین نقاط نمونه برداری و دوربین را به صورت مستقیم اندازه گیری کرد می توان از روش دو قطبی و با قرائت زوایا مقدار طول ها را بدست آورد.

مراحل کار:

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

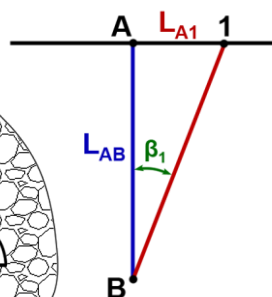
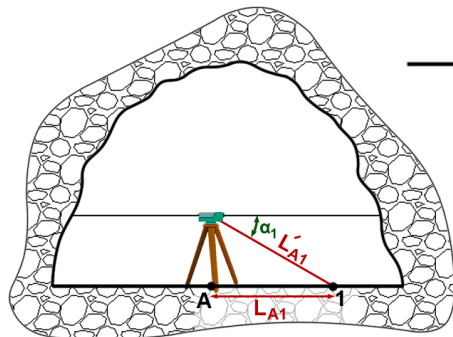
۲- صفر صفر کردن امتداد افقی ایستگاه B نسبت به ایستگاه A

۳- اندازه گیری فاصله افقی بین دو ایستگاه ( $L_{AB}$ )



<sup>1</sup> Sun Flower

- ۴- اندازه‌گیری همزمان زاویه قائم نقاط نمونه از ایستگاه A و زوایای افقی همان نقاط از ایستگاه B  
 ۵- بدست آوردن طول نقاط نمونه تا دوربین واقع در نقطه‌ی A از 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 طول‌یابهای لیزری می‌توان به راحتی مقادیر مختصات X و Y و Z مقطع 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 فتوتئودولیت جهت تهیه عکس از مقطع استفاده می‌شود. دستگاه فتوتئودولیت را باید طوری قرارداد که کل مقطع در عکس تصویر شود.

(مقداری عقب‌تر از مقطع)

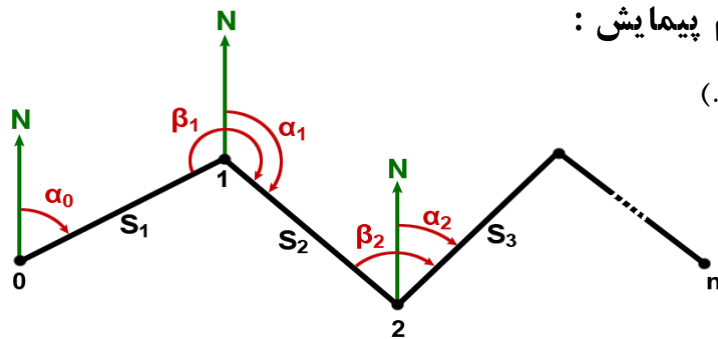
مراحل کار:

- 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 فتوتئودولیت 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.)



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

$$X_1 = X_0 + S_1 \sin \alpha_0$$

$$Y_1 = Y_0 + S_1 \cos \alpha_0$$

$$X_2 = X_0 + S_1 \sin \alpha_0 + S_2 \sin \alpha_1$$

$$Y_2 = Y_0 + S_1 \cos \alpha_0 + S_2 \cos \alpha_1$$

⋮ ⋮ ⋮

$$X_n = X_0 + S_1 \sin \alpha_0 + S_2 \sin \alpha_1 + \dots + S_n \sin \alpha_{n-1}$$

$$Y_n = Y_0 + S_1 \cos \alpha_0 + S_2 \cos \alpha_1 + \dots + S_n \cos \alpha_{n-1}$$

اندازه.  $\sigma_s$  و طولها نیز با دقت  $\sigma_\beta$  فرض می‌کنیم زوایا با دقت

$$\sigma_{s_1} = \sigma_{s_2} = \dots = \sigma_{s_i} = \sigma_{s_n} = \sigma_s$$

$$\sigma_{\beta_1} = \sigma_{\beta_2} = \dots = \sigma_{\beta_i} = \sigma_{\beta_n} = \sigma_\beta$$

$$\sigma_{x_1}^2 = (\sin \alpha_0)^2 \sigma_s^2 + (S_1 \times \cos \alpha_0)^2 \sigma_\beta^2$$

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

$$\sigma_{x_1}^2 = \left( \frac{X_1 - X_0}{S_1} \right)^2 \sigma_s^2 + \left( S_1 \times \frac{y_1 - y_0}{S_1} \right)^2 \sigma_\beta^2$$

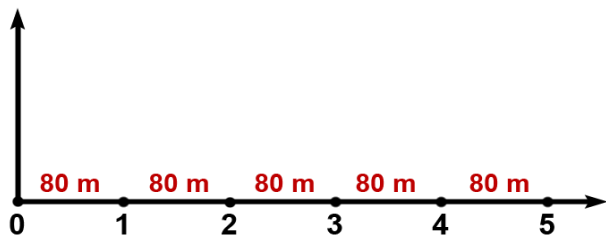
$$\sigma_{y_1}^2 = \left( \frac{y_1 - y_0}{S_1} \right)^2 \sigma_s^2 + \left( S_1 \times \frac{X_0 - X_1}{S_1} \right)^2 \sigma_\beta^2$$

$$\Rightarrow \sigma_{x_2}^2 = \left( \frac{X_2 - X_1}{S_2} \right)^2 \sigma_s^2 + (Y_2 - Y_1)^2 \sigma_\beta^2$$

$$\Rightarrow \sigma_{y_2}^2 = \left( \frac{Y_2 - Y_1}{S_2} \right)^2 \sigma_s^2 + (X_1 - X_2)^2 \sigma_\beta^2$$

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

**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.



$$\sigma_{y_5} = ?$$

$$\sigma_{x_5} = ?$$

0.00	80.00	160.00
0.00	0.00	0.00
240.00	320.00	400.00
0.00	0.00	0.00

$$\sigma_{x_5}^2 = \left( \frac{80-1}{80} \right)^2 \times \sigma_{S_{01}}^2 + \dots + \left( \frac{400-320}{80} \right)^2 \times \sigma_{S_{45}}^2 = 5\sigma_S^2$$

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

$$\Rightarrow \sigma_{x_5}^2 = 5 \times 3.32 = 16.6 \Rightarrow \sigma_{x_5} = \pm 4.1^{mm}$$

کانال تلگرامی تونلسازی  
telegram.me/iran\_tunnel

$$\sigma_{y_5}^2 = (80-0)^2 \sigma_\beta^2 + (160-80)^2 \sigma_\beta^2 + \dots + (400-320)^2 \sigma_\beta^2 = 80^2 \times (5\sigma_\beta^2)$$

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

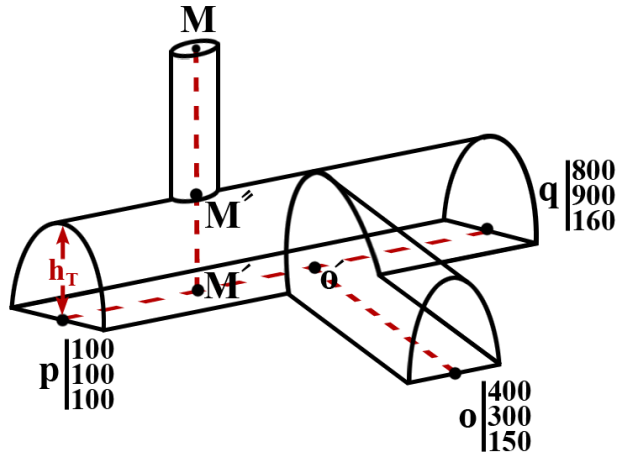
$$\sigma_\beta = \frac{10}{206265} = 4.85 \times 10^{-5}$$

$$\sigma_{y_5}^2 = 80^2 \times 5 \times (4.85 \times 10^{-5})^2 = 7.52 \Rightarrow \sigma_{y_5} = 8.673^{mm}$$

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  $150^m$  به چاه عمودی به عمق  $20^m$  حفر کنیم مطلوب است موقعیت این چاه بر راستای تونل qP ارتفاع سقف تونل از کف تونل (Th) 6 متر می‌باشد

$$h_M = 150^m$$

$$MM'' = 20^m$$

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

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

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

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

$$\Delta h_{pq} = 160 - 100 = 60^m$$

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

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

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

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

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

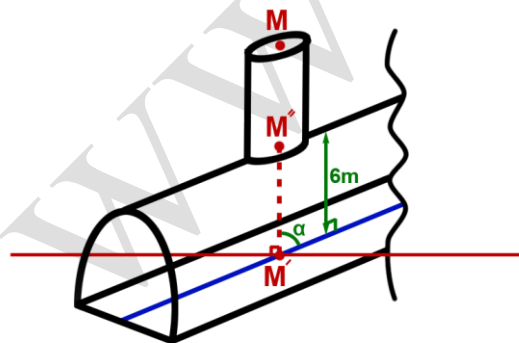
$$\Delta h_{oo'} = 119.646 - 150 = -30.354^m$$

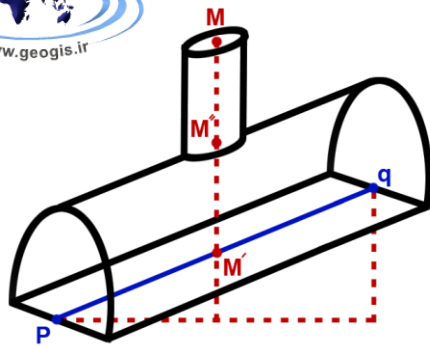
$$oo'_{Slope} = \frac{-30.354}{94.072} = -0.323 = -32.27\%$$

(ب)

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

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





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

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

کانال تلگرامی تونلسازی

telegram.me/iran\_tunnel

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

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

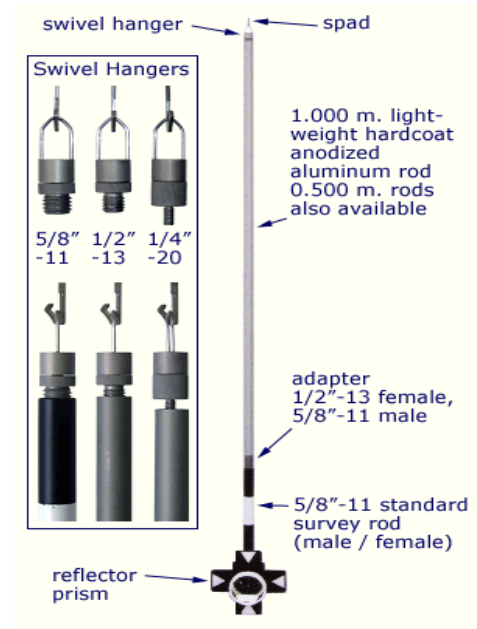
### خصوصیات وسایل و تجهیزات نقشه برداری زیر زمین:

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

تارگتها در زیر زمین:

از مهمترین تارگتها در زیر زمین شاقول ها هستند که کاربردهای بسیار زیادی داشته و به انواع زیر تقسیم می شوند:

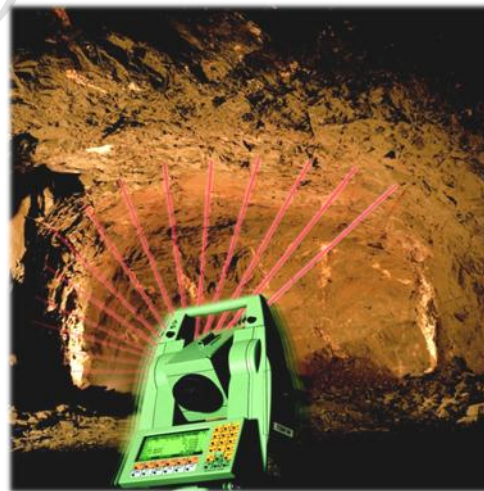
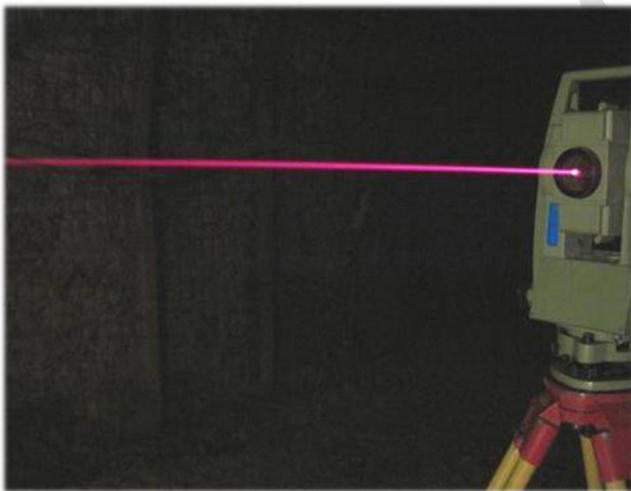
شاقول ساده، شاقول زنجیره ای، شاقول چاه، شاقول اپتیکی و لیزری.





### وسایل طول یابی در زیر زمین:

۱. قرمای معمولی که مرغوب ترین آن ها تر و ایشتبایخ آلمانی می باشند
۲. مفتول های مدرج آویزان و (تراز یاب با تئودولیت) و شاقول های چاه
۳. طولیابهای الکترونیکی (EDM) و وسایل جانبی مخصوص آن ها برای کار در زیر زمین



کانال تلگرامی تونلسازی  
[telegram.me/iran\\_tunnel](https://t.me/iran_tunnel)

### وسایل اندازه گیری زاویه در زیر زمین:

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



۴. ژیروتئودولیتها



وسایل تراز یابی در زیر زمین:

تفاوت دوربین های تراز یاب در زیر زمین در این است که این دوربین ها در برابر سرما، گرما، گرد و غبار، ضربه و.... مقاوم بوده و از دقت بیشتری برخوردارند. این دوربین ها در فواصل کوتاه نیز می توانند اندازه گیری کنند.

### ترازیاب لیزری



خصوصیات شاخص در زیر زمین:

۱. کوتاه باشد در حد یک و نیم تا سه متر که به صورت کشویی ارتفاع آن تغییر می کند.
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. شاخص های منعکس کننده
۲. شاخص های شفاف یا شیشه ای
۳. شاخص های قابل آویزان



## انواع اسکنرهای لیزری :

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



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

سانتی گراد، 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 سانتی گراد 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، بی سیم، شیب سنج، حافظه داخلی، وزن ۹.۸ کیلو