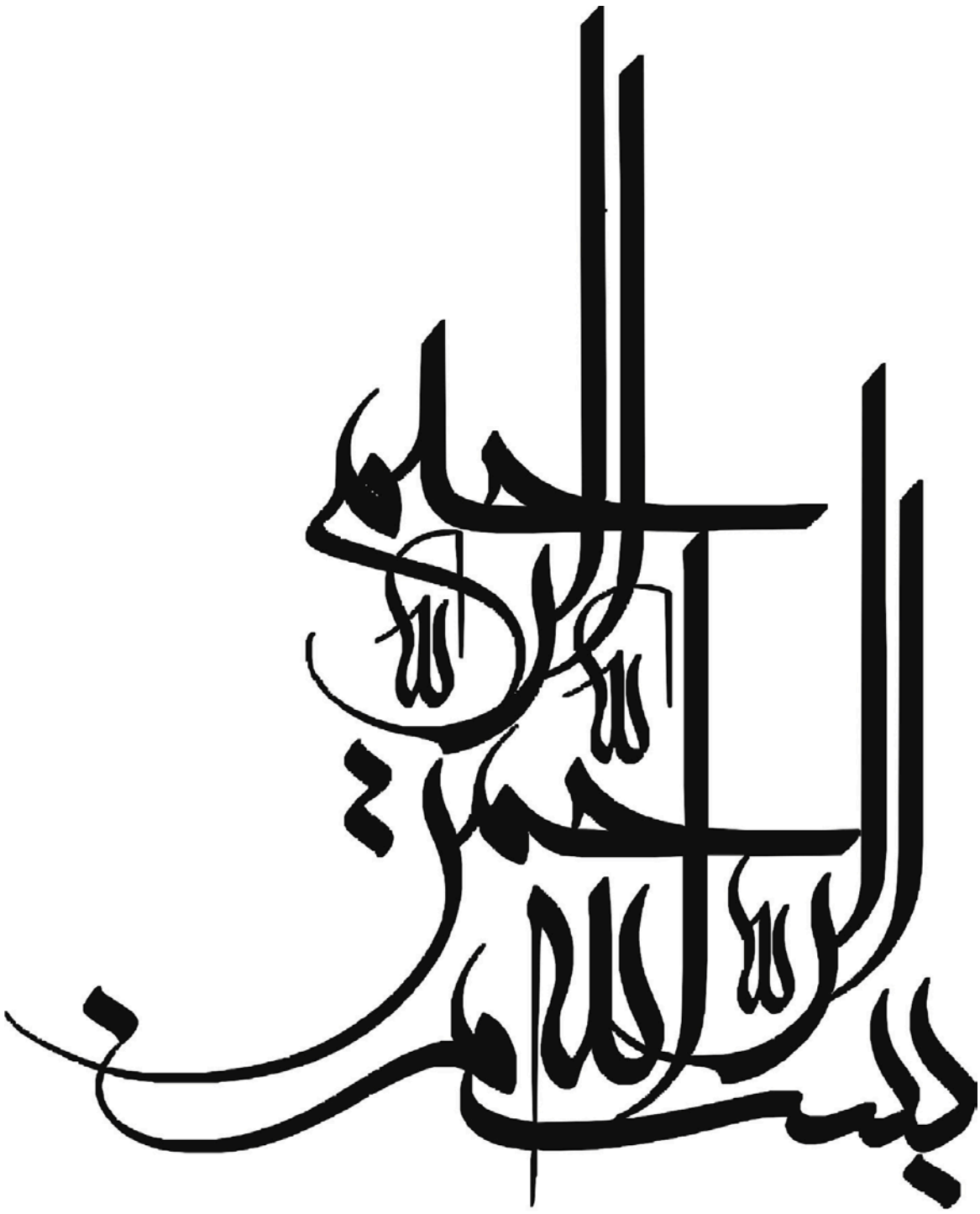
بنام خدا

جزوه درس نقشه برداری ۱

تهیه کننده: مهندس هرمز حسنی

مناسب برای رشته های نقشه برداری، عمران، معماری، زمین شناسی و دیگر رشته های مرتبط

پاییز ۱۳۹۴


بسم الله الرحمن الرحيم

فهرست

فهرست ۱
فصل اول ۳
تعریف نقشه برداری ۳
تاریخچه نقشه و نقشه برداری ۳
فصل دوم ۵
کاربردهای نقشه برداری ۵
مراحل کلی عملیات نقشه برداری در پروژههای عمرانی ۵
طبقه بندی نقشه برداری بر اساس اوضاع طبیعی ۷
انواع مختلف نقشه از نظر ارائه ۸
آشنایی با وسایل ساده نقشه برداری ۹
امتداد گذاری ساده ۱۱
روش‌های اندازه گیری طول ۱۲
مساحت شکلهای هندسی ۱۳
محاسبه سطح ۱۶
فصل سوم ۱۷
شکل زمین ۱۷
اصطلاحات ۱۷
دستگاه مختصات کروی ۱۹
سیستم‌های تصویر ۲۱
فصل چهارم ۲۴
روش‌های مستقیم اندازه گیری طول ۲۴
سطوح هم پتانسیل (Equipotential Surface) ۲۴
خواص سطوح هم پتانسیل ۲۵
انواع مترها برای اندازه گیری طول ۲۵
عمل متر کشی طی مراحل زیر انجام می‌شود: ۲۶
متر کشی در زمین‌های شیب دار ۲۶
فصل پنجم ۲۸
تعریف نقطه ۲۸
ترازیابی (Leveling) ۲۸
انواع بنچ مارک ۲۹

طبقه بندی شبکههای ترازیابی ۲۹
اختلاف ارتفاع نقاط ۳۰
روش‌های مختلف ترازیابی ۳۰
ترازیابی هندسی (Geometric Leveling) ۳۳
اجزای یک دستگاه ترازیاب ۳۴
طبقه بندی دوربین‌های ترازیاب ۳۵
ترازها در دستگاه ترازیاب ۳۶
حساسیت تراز ۳۷
خصوصیات یک دستگاه ترازیاب سالم ۳۸
سه پایه دوربین ۳۸
شاخص (میر) (Staff) ۳۸
مستقر کردن تراز یاب (ایستگاه گذاری) ۳۹
تراز کردن ترازیاب ۴۰
طرز کار تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه به روش هندسی ۴۰
روش‌های مختلف ترازیابی هندسی ۴۱
خطای کولیماسیون ۴۶
کنترل عملیات در ترازیابی هندسی ۵۱
روش‌های سر شکن کردن خطاها ۵۳
کاربردهای ترازیابی ۵۴
تعریف متساوی البعد (Equidistant) ۵۵
مقطع (Section) یا پروفیل (Profile) ۵۶

فصل اول

مقدمه

تعریف نقشه برداری

نقشه برداری علم و فن تعیین موقعیت نسبی عوارض و نقاط روی زمین، زیر زمین و یا نزدیک سطح زمین نسبت به هم از طریق ترکیب تمام مشاهدات و اندازه‌گیری‌های مکانی و نمایش آن‌ها به صورت نقشه با استفاده از یک سری علائم قرار دادی نظیر خط، نقطه، هاشور و غیره گویند. و به عبارتی دیگر: به مجموعه عملیاتی که برای تهیه نقشه انجام می‌شود، نقشه برداری می‌گویند.

نقشه برداری در معنای کلی: علم تعیین و نمایش موقعیت نقاط است.

تعریف بر اساس همایش نقشه برداری و سیستم تصویر انجمن نقشه برداری آمریکا در سال ۱۹۸۴

به دست آوردن و جمع آوری داده های کمی و کیفی از طریق اندازه گیری، برآورد، طبقه بندی و ثبت مختصات مورد نیاز. این تعریف دارای دو فعالیت اساسی است. یکی اندازه‌گیری داده‌های بین عوارض موجود مثل اندازه‌گیری طول و زاویه در پیمایش و دیگری پیاده کردن عوارض روی زمین مثل پیاده کردن مسیر محور اصلی یک بزرگراه و یا پیاده کردن پلان یک ساختمان. در نتیجه نقشه برداری از جمله علوم کاربردی و مهندسی در زمینه پروژه های عمرانی، صنعتی و معدنی است که با توجه به گستردگی و تنوع فعالیت‌های آن، شاخه‌های متعددی دارد که از جمله می‌توان به نقشه برداری زمینی، هوایی، دریایی و زیر زمینی و ... اشاره کرد.

تاریخچه نقشه و نقشه برداری

نقشه و نقشه برداری از زمان‌های بسیار قدیم مطرح و مورد توجه بوده است. قرن‌ها قبل از میلاد مسیح، انسان‌ها برای جدا کردن زمین‌ها و تعیین حدود مالکیت‌ها نیازمند نقشه برداری بوده‌اند. با پیشرفت تمدن و صنعت، این علم وسعت و اهمیت زیادی پیدا کرده و رشته های

مختلفی در آن به وجود آمده است،از این نظر تقسیم بندی‌های مختلفی در آن صورت گرفته است، نقشه‌ها نیز به شکل‌های مختلف دسته بندی شده‌اند.

انسان‌های اولیه از زمان‌های بسیار قدیم علاقه‌مند به شناسایی محیط اطراف خود بودند و با کمک قطعات سنگ و استخوان‌های حیوانات بر روی ماسه و یا برف، نواحی اطراف و موقعیت محل خود را مشخص می‌نمودند. کوچ کردن از یک محل به محل دیگر، صید و شکار و بعدها تعیین حدود مالکیت‌ها، احداث کانال‌های آبیاری و جمع آوری مالیات‌ها از جمله مواردی بوده که آن‌ها را محتاج تهیه نقشه نموده است.

بر روی نقشه های مربوط به ۴۵۰۰ سال قبل که بر روی خشت خام به دست قبایل «بابلیون» تهیه شده رودخانه چند رشته‌ای و سلسله جبال و اراضی وسیع بابل نشان داده شده است. نمونه نقشه‌های مصر باستان بر روی پاپیروس متعلق به ۳۴۰۰ سال قبل به دست آمده که بر روی آن‌ها کوه‌های دارای معادن، حوض‌ها و استخرهای محل شستشوی طلا، نقاط مسکونی، معابر و محل‌هایی که اشیای قیمتی را آنجا نگهداری می‌کردند مشخص گردیده است.

بین ۲۵۰۰ تا ۳۰۰۰ سال قبل یونانیان از راه دریا به سرزمین‌های دوردست مسافرت می‌کردند در آن زمان زمین را مانند دیسک بر آمده‌ای می‌پنداشتند و معتقد بودند که زمین به وسیله اقیانوس رودخانه مانندی محصور شده است. نقشه های متعلق به ۲۵۰۰ سال قبل که روی صفحه مس ترسیم شده این مطلب را نشان می‌دهد.

در روم باستان جنگ‌های بی‌شماری با کشورهای همسایه و سایر کشورهای دور دست جریان داشت، به همین جهت و به منظور هدف‌های جنگی و همچنین امور اداری، نقشه‌های راه‌ها را تهیه دیدند. این نقشه‌ها دارای هفت متر طول و ۳۳ سانتی متر عرض بوده است. نمونه‌هایی از نقشه‌های این دوران مربوط به ۱۷۰۰ سال قبل که مسیر حرکت از انگلستان به هند روی آن رسم شده نیز به دست آمده است.

در ایران باستان، در سده‌های ششم و هفتم قبل از میلاد گواه بر این است که ایرانیان قدیم اطلاعات دقیق جغرافیایی کمی و کیفی از سرزمین‌های خود داشته‌اند. متأسفانه در حمله اعراب به ایران بسیاری از منابع با ارزش از جمله نقشه‌های تهیه شده از بین رفته است. نمونه‌ای دیگر از فعالیت‌های نیازمند به نقشه، ایجاد «دیوان برید» بوده است این اصطلاح که به معنای وزارت راه امروز است، برای نگهداری راه‌ها و شاهراه‌ها و چاپارخانه‌ها در میان راه‌ها و گماردن مأموران ویژه نامه رسانی از قبیل پیک سواره و پیاده بوده و وظیفه کارکنان هر چاپارخانه برای مبادله کیسه نامه‌ها و بسته‌ها و نگهداری اسبان و اشتران تندرو در هر چاپارخانه به فراخور نیاز بوده است.

ابوریحان بیرونی بیش از هزار سال پیش برای اولین بار طول و عرض جغرافیایی را مطرح و نقشه جهان نمایی را تهیه نموده بود که خطوط فوق بر روی آن رسم شده بود.

محمد خوارزمی ریاضیدان بزرگ ایرانی، مقاله اول کتاب جغرافیای خود را به نقشه برداری اختصاص داده است. خواجه نصیرالدین طوسی نیز تألیفات ارزنده‌ای در ریاضیات دارد که به دانش نقشه برداری کمک بسیار کرده است، از جمله این رساله‌ها، رساله کشف الغناء اوست که یک دوره مثلثات است که در آن به خصوص قضیه‌های هندسه و مثلثات کروی به تفضیل بررسی شده است. او همچنین بنیان‌گذار رصد خانه‌ای در مراغه بوده که از لحاظ آلات رصدی بسیار مجهز بوده است.

شروع نقشه برداری معاصر در ایران را باید از زمان مرحوم میرزا تقی خان امیر کبیر، بنیان‌گذار مدرسه دارالفنون دانست. اولین نقشه از دارالفنون در سال ۱۲۲۹ هجری شمسی تهیه و سپس تدریجاً به وسیله دانشجویان دارالفنون از مناطق مختلف تهران و دیگر نقاط ایران نقشه‌هایی تهیه شد. از جمله دانشجویان مدرسه فوق عبدالرزاق بغایری بود که به فراگرفتن ریاضیات و نقشه برداری پرداخت و بنیان گذار نقشه برداری جدید ایران شد و کارهای سودمندی انجام داد. از جمله از سال ۱۲۶۸ تا ۱۲۷۴ هجری شمسی تهیه نقشه ایران مشغول بود. تألیفات زیادی از ایشان به یادگار مانده است.

فصل دوم

کاربردهای نقشه برداری

۱. کنترل کارهای اجرایی و تعیین میزان نشست ساختمان‌ها در عملیات ساختمانی و مونتاژ واحدهای تولیدی و صنعتی
۲. طرح‌های مربوط به تسطیح اراضی در شهر سازی و کشاورزی
۳. کنترل دائمی انحراف سدها از نظر فشار آب در تأسیسات آبی
۴. انتقال نقاط و امتدادها در معادن و راه‌های زیر زمینی
۵. بررسی تغییرات پوسته زمین در زمین شناسی
۶. تعیین میزان عمق آب و تهیه نقشه‌های دریا نوردی در کشتی‌رانی و بندر سازی
۷. تهیه نقشه ابنیه و آثار تاریخی در باستان شناسی، پیکره‌های دیگری از دامنه فعالیت‌های نقشه برداری را تشکیل می‌دهد.

مراحل کلی عملیات نقشه برداری در پروژه‌های عمرانی

الف) ایجاد شبکه کنترل و برداشت (نقشه برداری زمینی)

اولین مرحله برای وجود اندازه‌گیری‌های مختلف روی سطح، ایجاد شبکه نقاط کنترل روی زمین است. این اندازه‌گیری‌ها عمدتاً فاصله و زاویه می‌باشند. فاصله به سه صورت افقی، مایل و قائم یا اختلاف قائم می‌باشد. زاویه نیز به صورت افقی و قائم می‌باشد. لازمه اندازه‌گیری این نوع مشاهدات در نقشه برداری، ایجاد شبکه‌ای از ایستگاه‌های ثابت به نام شبکه کنترل می‌باشد. این نقاط بایستی در محل‌های مناسب و با استفاده از مصالح ساختمانی یا سکوهای بتنی طبق استانداردهای تیپ نقشه برداری ساخته شود. پس از تثبیت این نقاط به روش‌های مناسب، ابتدا موقعیت دقیق این نقاط (مثلاً x , y , z) در یک سیستم مختصات محلی یا جهانی تعیین می‌گردد و سپس عوارض و جزئیات زمین نسبت به این نقاط برداشت می‌شوند.

دلایل ایجاد شبکه کنترل

۱. این شبکه از یک سری روابط ریاضی، هندسی و مثلثاتی تبعیت می‌کند. که می‌توان از محدود بودن دقت مشاهدات نقشه برداری به حداکثر دقت در تعیین مختصات نقاط رسید.
۲. شبکه کنترل به ما این امکان را می‌دهد که مشاهدات انجام شده را کنترل کنیم تا مقدار خطای آن معلوم گردد و در صورت قابل قبول بودن این مقدار خطا، آن را بین مشاهدات تعدیل نماییم.
۳. با ایجاد نقاط یا شبکه کنترل می‌توان عوارض و جزئیات منطقه را از نقاط مختلف برداشت نمود و از تجمع خطاهای مشاهداتی و خطاهای اتفاقی در یک نقطه جلوگیری کرد.

ب) کنترل مشاهدات و انجام محاسبات

بعد از انجام مشاهدات، حتماً بایستی مقدار خطاها را بررسی کنیم و از درستی و نادرستی مشاهدات اطمینان حاصل نماییم. با انجام یک نسبت آماری، در صورت قابل قبول بودن مقدار خطا، پس از سرشکنی خطا و توزیع مناسب آن روی مشاهدات، محاسبات لازم را جهت به دست آوردن مختصات انجام می‌دهیم.

ج) ارائه نتایج و خروجی

نتایج می‌تواند به صورت گرافیکی با نقشه‌ها، پروفیل‌ها، مقاطع عرضی، و دیاگرام‌ها و یا جداول به فرمت دیجیتال *(Soft copy)* و یا به صورت صفحات کاغذ، فیلم و ... *(Hard copy)* نمایش داده می‌شوند. به این مرحله کارتوگرافی نیز می‌گویند.

تقسیم بندی کلی نقشه برداری

الف) نقشه برداری ژئودتیک *(Geodetic Surveying)*

در این شاخه از نقشه برداری، شکل واقعی زمین، انحناء، اثر میدان ثقل آن در اندازه گیری‌ها و محاسبات نقشه برداری، در نظر گرفته می‌شود. در این شاخه از نقشه برداری مشاهدات انجام شده به دلیل این که تحت تأثیر عوامل فیزیکی مانند انکسار، انحناء نور، کرویت، دما و ... قرار دارند، قبل از استفاده بایستی تصمیمات بر روی آن‌ها اعمال گردد. نقشه برداری به کمک روش تعیین موقعیت ماهواره ای (گیرنده GPS)، نیاز به مهندسین نقشه بردار با اطلاعات نقشه برداری ژئودتیک دارد.

در شبکه های ژئودتیکی مسطحاتی، از مشاهدات گوناگونی برای به دست آوردن پارامترهای مجهول شبکه (یعنی مختصات ایستگاه‌ها) استفاده می‌شود. عوامل محیطی، دستگاهی و انسانی، مشاهدات را تحت تأثیر قرار می‌دهند و باعث به وجود آمدن خطاهای تصادفی، سیستماتیک و اشتباهات در مشاهدات می‌شوند. با به وجود آمدن این خطاها، کیفیت نتایج (دقت و صحت) کاهش می‌یابد.

ب) نقشه برداری مستوی *(Plane Surveying)*

در این بخش فرض بر آن است که اندازه گیری‌ها در زمینی مسطح انجام می‌شود. حداکثر شعاع عملی که می‌توان در آن شعاع عمل، قطعه زمینی را مسطح فرض نمود بستگی به مقیاس دارد و به طور خلاصه جدول زیر را می‌توان تنظیم نمود که در آن حداکثر شعاع‌های عمل را که در محدوده آن می‌توان منطقه را مسطح فرض نمود ارائه شده است.

ردیف	عدد مقیاس	حد فاصله برای دقت مسطحاتی *(km)*	حد فاصله برای دقت ارتفاعی *(km)*
۱	۲۰۰	۱۳.۴۰	۰.۹۲
۲	۵۰۰	۱۸.۲۰	۱.۴۰
۳	۱۰۰۰	۲۳.۰۰	۲.۱۰
۴	۲۰۰۰	۳۹.۳۰	۴.۶۰
۵	۱۰۰۰۰	۴۹.۵۰	۶.۵۰
۶	۵۰۰۰۰	۸۴.۷۰	۱۴.۶۰
۷	۱۰۰۰۰۰	۱۰۶.۸۰	۲۰.۶۰

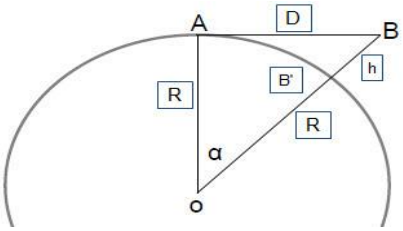
در نقشه برداری مستوی فرضیات زیر در نظر گرفته می‌شود:

۱. خط واصل بین دو نقطه روی زمین خطی مستقیم است.
۲. کلیه امتدادهای شاقولی در نقاط مختلف موازی یکدیگرند.
۳. کلیه زوایا در یک سطح مستوی افقی اندازه گیری می‌شوند.
۴. سطح مبنای ارتفاعات نیز یک صفحه افقی مستوی است.

سادگی عملیات نقشه برداری مستوی به دلایل زیر است:

۱. سیستم تصویر لازم نیست چون زمین مسطح فرض می‌شود.
۲. کلیه محاسبات روی صفحه انجام می‌گردند.
۳. رسم مدارات و نصف‌النهار لزومی ندارد و مختصات قائم‌الزاویه نقاط مستقیماً نسبت به دور محور مختصات اختیاری محاسبه می‌گردد و معمولاً محور y را بر شمال جغرافیایی منطبق فرض کرده، شمال جغرافیایی به کمک قطب نما پس از تصحیح انحراف مغناطیسی به دست می‌آید.

مثلاً در نقشه‌های توپوگرافی با مقیاس ۱:۱۰۰۰ برای دقت مسطحاتی تا $۲۳km$ و برای دقت ارتفاعی تا دو کیلومتر، می‌توان زمین را مسطح و در صفحه افقی فرض کرد.



$$\Delta L = AB - AB' = \frac{D^3}{3R^2} \qquad \Delta h = h = OB - OB' = \sqrt{D^2 + R^2} - R$$

ΔL: خطای کرویت مسطحاتی اختلاف بین فاصله D بین دو نقطه روی زمین از تصویر آن روی سطح کره

Δh: اختلاف ارتفاع بین همین دو نقطه از کره را خطای کرویت ارتفاعی می‌نامند.

طبقه بندی نقشه برداری بر اساس اوضاع طبیعی

۱. نقشه برداری زمینی

***a*) نقشه برداری توپوگرافی**

به منظور تعیین شکل و جزئیات و موقعیت منطقه ای زمین از قبیل تپه‌ها، دره‌ها، رودخانه‌ها، جاده‌ها، راه آهن، شهرهای کوچک و استان‌ها کاربرد دارد.

***b*) نقشه برداری کاداستر (ثبتی)**

برای تعیین حدود املاک و مالکیت اراضی، قطعات ملکی، منازل، مسیر خیابان‌ها و بزرگراه‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

***c*) نقشه برداری شهری**

برای پیاده کردن طرح‌های ساختمانی، خیابان‌ها، کانال‌ها، زه‌کشی سیستم‌های آب رسانی و فاضلاب و عملیات مهندسی دیگر مورد استفاده قرار می‌گیرد.

***d*) نقشه برداری مسیر**

بخشی از نقشه برداری است که برای طرح و پیاده کردن مسیرها از قبیل بزرگراه‌ها، راه‌های آهن، خطوط انتقال نیروی برق، لوله کشی و کانال‌ها و در بعضی موارد محاسبات مربوط به آن‌ها قابل استفاده است.

۲. نقشه برداری آبی یا هیدروگرافی

این بخش از نقشه برداری مشتمل بر عملیات تعیین موقعیت دریاچه‌ها، مرزها، سواحل دریاها، رودخانه‌ها، کف دریاها و کلیه مناطق آبی می‌شود که در دریا نوردی مورد استفاده فراوانی دارد.

۳. نقشه برداری نجومی

به منظور تهیه نقشه‌هایی از ستارگان و یا مسیرهای حرکت هواپیماها و فضانوردها به کار گرفته می‌شود.

۴. نقشه برداری فضایی

در خصوص استفاده از مختصات اجرام آسمانی برای دادن مختصات به نقاط زمینی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

طبقه بندی نقشه برداری بر اساس موضوع

۱. نقشه برداری مهندسی

a) نقشه برداری اجرای پروژه های عمرانی:

برای کسب و جمع آوری معلومات و اطلاعات مهندسی در مورد کارهایی از قبیل ایجاد سدها، پل‌ها، جاده‌ها و مخازن آب.

b) نقشه برداری شناسایی

برای برآورد تقریبی هزینه های اجرای پروژه.

c) نقشه برداری مقدماتی

برای جمع آوری اطلاعات دقیق جهت انتخاب بهترین محل انجام پروژه‌های ساختمانی از قبیل سد، راه و ... و همچنین تخمین هزینه های مربوط به آن‌ها.

۲. نقشه برداری زمین شناسی

برای تعیین طبقات مختلف پوسته زمین.

۳. نقشه برداری زیر زمینی

در زمینه تعیین موقعیت و پیاده کردن عوارض زیر زمین مانند معادن و تونل‌ها بحث می‌کند.

۴. نقشه برداری باستان شناسی

برای تعیین موقعیت آثار تاریخی و قدیمی کاربرد دارد.

۵. نقشه برداری نظامی

برای تعیین نقاط استراتژیک و تهیه نقشه‌های دفاعی و تاکتیکی کاربرد دارد.

کروکی

کروی عبارتست از ترسیمی که فاقد اندازه دقیق باشد.

نقشه

نمایش ترسیمی کوچک و ساده شده عوارض یک منطقه پس از تعیین موقعیت دقیق نقاط لازم را نقشه آن منطقه می‌گویند.

انواع مختلف نقشه از نظر ارائه

۱. نقشه عددی

چنانچه نقشه پس از انجام عملیات تعیین موقعیت، به صورت جداول اطلاعاتی که در آن‌ها نقاط به صورت سه بعدی مکان یابی شده‌اند ارائه گردد، آن را «نقشه عددی» می‌نامند.

۲. نقشه خطی

چنانچه نقشه پس از انجام عملیات تعیین موقعیت، به صورت ترسیمی ارائه گردد به آن «نقشه خطی» می‌گویند.

۳. نقشه عکسی

چنانچه با استفاده از عکس هوای و با اندازه گیری فواصل روی عکس نقشه تهیه گردد به آن «نقشه عکسی» می‌گویند.

مقیاس

مقیاس یعنی میزان کوچک شدن ابعاد افقی عوارض روی زمین برای این که بر روی یک سطح نسبتاً کوچک نمایش داده شوند.

اشکال مختلف مقیاس در نقشه برداری

۱. مقیاس عددی یا کسری

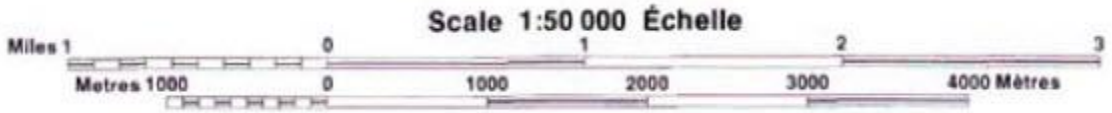
این نوع مقیاس را معمولاً به صورت کسری، به شکل $\frac{1}{n \times 1000}$ نشان می‌دهند که در آن یک میلی‌متر معادل n متر روی زمین است.

مثلاً مقیاس $\frac{1}{2000}$ یا $\frac{1}{2 \times 1000}$ نشان می‌دهد که، یک میلی‌متر روی نقشه، نشان دهنده دو متر روی زمین است.

$$\text{مقیاس عددی} = \frac{\text{فاصله افقی دو نقطه روی زمین}}{\text{فاصله دو نقطه روی نقشه}}$$

۲. مقیاس ترسیمی (خطی)

این نوع مقیاس قطعه خطی است که متناسب با مقیاس عددی نقشه تقسیم بندی گردیده است. مثلاً پاره خط زیر شکل ترسیمی مقیاس $\frac{1}{2000}$ است (هر قطعه دو سانتی متری معرف ۴۰ متر می‌باشد). خصوصیت ویژه‌ای که برای مقیاس ترسیمی می‌توان بیان نمود آن است که به همان نسبتی که ممکن است ابعاد نقشه تحت شرایطی از قبیل خشکی یا رطوبت هوا یا سردی و گرمی و حتی کوچک و بزرگ کردن آن با دستگاه‌های چاپ و تکثیر تغییر پیدا کند، طول مقیاس نیز همراه با آن تغییر می‌نماید.



تقسیم بندی نقشه‌ها از نظر مقیاس

۱. نقشه های کوچک مقیاس که در آن‌ها مقیاس کوچک‌تر از $\frac{1}{200000}$ (مانند نقشه های جغرافیایی)

۲. نقشه های متوسط مقیاس: با مقیاس $\frac{1}{200000}$ تا $\frac{1}{10000}$ (مانند نقشه های توپوگرافی)

۳. نقشه های بزرگ مقیاس: با مقیاس $\frac{1}{10000}$ تا $\frac{1}{1000}$ (مانند نقشه های شهری)

۴. نقشه های خیلی بزرگ مقیاس: پلان‌ها با مقیاس $\frac{1}{1000}$ تا $\frac{1}{50}$ (مانند نقشه های ساختمانی)

اهمیت و لزوم تهیه نقشه

امروزه انجام هر گونه فعالیتی در زمینه های عمرانی، اقتصادی و کشاورزی در یک منطقه از زمین از قبیل ایجاد سدها، کانال‌های آبیاری، زه‌کشی راه‌ها، ایجاد نیروگاه‌های برق و خطوط انتقال نیرو، شناخت معادن زیر زمینی امور زمین شناسی و جنگل بانی، عملیات نظامی دفاعی و تهاجمی، تأسیسات، مخازن و منابع آب و تصفیه خانه‌ها، برنامه ریزی در زمینه بهداشت محیط، طرح، ساختمان و نگه داری وسایل و تجهیزات آب رسانی به منظور تأمین آب سالم به مقدار کافی برای همه افراد جامعه، بر قراری روشن صحیح و بهداشتی برای جمع آوری و دفع فضولات انسانی، فاضلاب‌ها، زباله‌ها و تأمین شرایط بهداشتی در اماکن، نصب دقیق کارخانجات و ماشین آلات، ایجاد فضای سبز در داخل و خارج شهرها و بسیاری از موارد دیگر، مستلزم تهیه نقشه دقیق مناطق مربوط می‌باشد.

آشنایی با وسایل ساده نقشه برداری

مقدمه: یکی از مراحل کاری برای تهیه نقشه از یک منطقه، به کار گیری وسایل ساده و اولیه نقشه برداری به همراه دستگاه های معمولی و پیشرفته است.

۱. ژالون

میله‌ای استوانه‌ای شکل و مستوی، فلزی و یا چوبی به طول معمولاً دو متر و یا اندازه‌های دیگر. از این وسیله بیشتر برای اندازه گیری فاصله افقی بین نقاط و یا در اندازه گیری زاویه به وسیله دستگاه‌های نقشه برداری به همراه متر استفاده می‌گردد.

۲. تراز نبشی

ابزاری است که برای قائم نگه داشتن ژالن و یا میر از آن استفاده می‌شود. و قاب آن کاملاً گونیا بوده است.

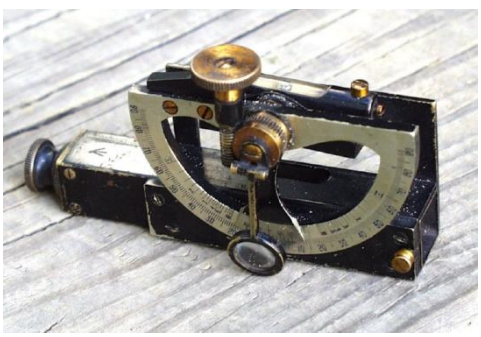
۳. گونیای مساحی

وسیله‌ای است برای اخراج عمود از نقطه‌ای روی امتداد برهمان امتداد و یا پیدا کردن پای عمود است؛ و بر اساس قوانین فیزیکی عبور نور از یک منشور قائم‌الزاویه ساخته شده است.

در بعضی از انواع گونیای مساحی، می‌توان زوایای $30^\circ, 45^\circ, 60^\circ$ هم جدا کرد.

۴. قطب نما

وسیله‌ای برای پیدا کردن جهت شمال مغناطیسی می‌باشد. به انضمام یک تراز کروی که به وسیله آن می‌توان دستگاه را افقی کرد. در نوعی از آن با داشتن سیستم نشانه روی می‌توان زاویه هر امتداد را با شمال مغناطیسی اندازه گیری کرد و نهایتاً زاویه افقی بین دو امتداد را در محل قطب نما محاسبه کرد.



۵. شیب سنج

وسیله‌ای که برای اندازه گیری زاویه شیب یک امتداد به کار گرفته می‌شود. از داخل دوربین می‌توان به هدف نشانه روی کرد و نقاله ثابتی به آن بسته شده است. زاویه نقاله از دو طرف از صفر تا ۹۰ درجه تقسیم بندی شده است. به این نقاله یک تراز لوله‌ای که با سیستم نوری تصویر آن در داخل دوربین دیده می‌شود متصل شده و می‌تواند حول محوری عمود بر نقاله، دوران نماید.

۶. پلانیمتر

دستگاهی است که برای تعیین مساحت یک شکل بسته از آن استفاده می‌شود.

اجزاء واحد طول

dm: یک دسی متر $\rightarrow 0.1m$

cm: یک سانتی متر $\rightarrow 0.001m$

mm: یک میلی متر $\rightarrow 0.001m$

اضعاف واحد طول

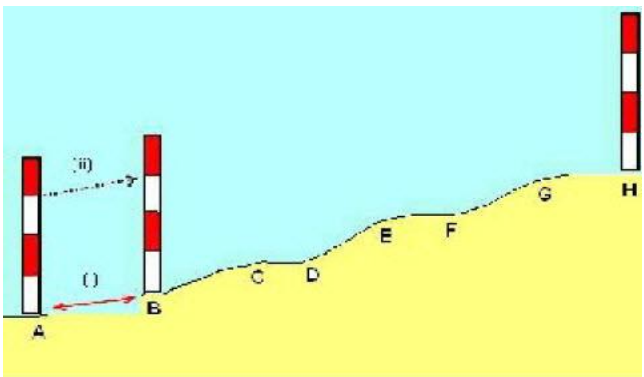
dam یک دکامتر $\rightarrow 10m$

hm یک هکتومتر $\rightarrow 100m$

km یک کیلومتر $\rightarrow 1000m$

امتداد گذاری ساده

یعنی ایجاد یک سری نقطه بین دو نقطه A و H که همگی در یک راستا باشند.



وسایل امتداد گذاری ساده

ژالون، تراز نبشی، ریسمان کار، گچ، میخ چوبی، رنگ، پتک و ژالون گیر.

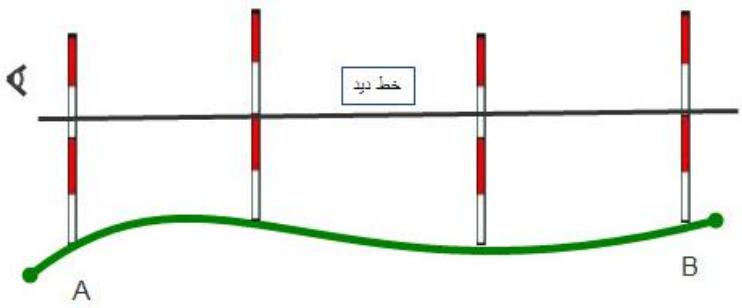
روش‌های امتداد گذاری ساده

الف) امتداد گذاری به روش ریسمان کار:

چنانچه زمین صاف و هموار و فاصله دو نقطه کوتاه باشد، می‌توان از ریسمان کار استفاده کرد.

ب) امتداد گذاری به روش ژالن گذاری:

در حالتی که زمین نا هموار و یا بوته زار باشد از این روش استفاده می‌شود. ابتدا یک ژالن را به کمک تراز نبشی و به صورت قائم در روی یکی از نقاط مثلاً A قرار داده و به کمک ژالن گیر این ژالن را روی نقطه A ثابت می‌کنیم و آنگاه ژالن گیری همانند فوق در روی نقطه B به طور قائم قرار می‌دهیم. (مانند شکل)



فردی که ژالن A را در روی این نقطه قرار داده است، از فاصله ای در حدود یک متری پشت آن به ژالن مستقر در روی نقطه B نگاه می‌کند و کناره سمت راست یا چپ دو ژالن را در یک راستا قرار می‌دهد. آن گاه شخص سوم با استفاده از ژالن سوم می‌بایست بین این دو نقطه، نقطه سومی مانند C را در امتداد AB ایجاد کند. این شخص به طور تقریبی در جهت عمود بر امتداد AB با هدایت دست‌های عامل مستقر در A به امتداد نزدیک شده و هنگامی که به راستای این امتداد رسید، با اشاره دست عامل مستقر در A متوقف می‌شود و آن نقطه را به عنوان نقطه C واقع در راستای AB میخ کوبی می‌کند.

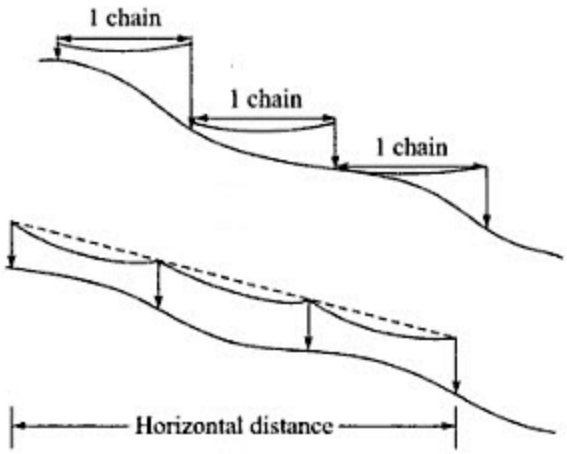
روش‌های اندازه گیری طول

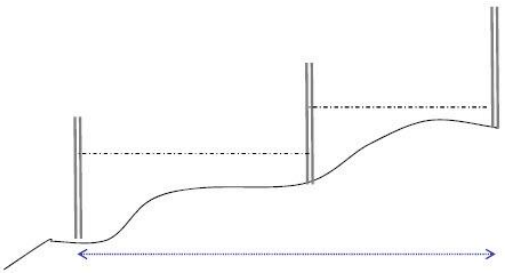
روش مستقیم

۱. اندازه گیری فاصله با قدم، چرخ و کیلومتر شمار (تقریبی)

۲. اندازه گیری فاصله با متر که شامل:

۱- روش افقی دهانه به دهانه، ۲- روش افقی روی سطح شیب دار، ۳- روش وجود مانع همسطح و غیر همسطح





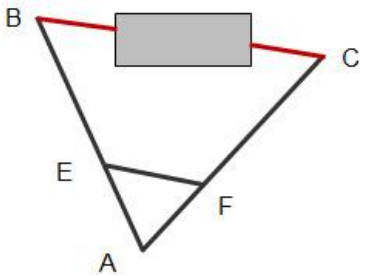
توضیح ۳

اندازه گیری فاصله با وجود مانع دید و عبور استقرار ناپذیر:

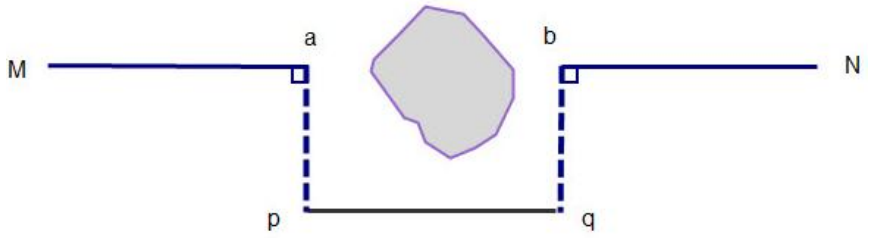
$$AF = \frac{1}{m} AC$$

$$AE = \frac{1}{m} AB$$

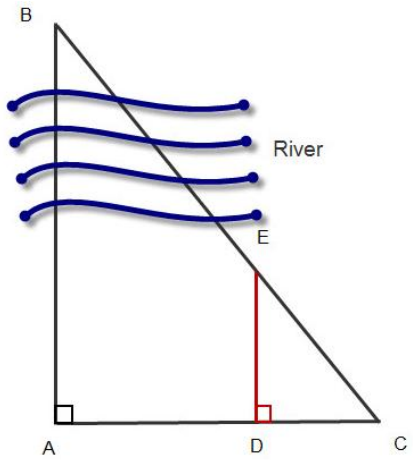
$$BC = m * EF$$



اندازه گیری فاصله با وجود مانع عبور قابل دور زدن:



اندازه گیری فاصله با وجود مانع عبور غیر قابل دور زدن:



$$\frac{DC}{BC}=\frac{ED}{AB}\Rightarrow AB=\frac{ED\times BC}{DC}$$

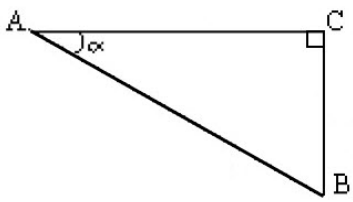
روش غیرمستقیم

محاسبه فاصله با اندازه گیری طول، زاویه و اختلاف ارتفاع: ۱- روش روی سطح شیب دار، ۲- روش نقطه یا نقاط کمکی

مساحت شکل‌های هندسی

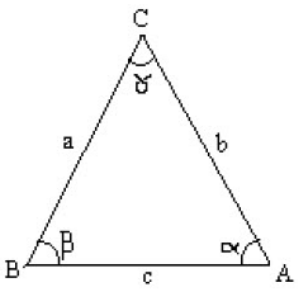
مثلث

۱) *مثلث قائم‌الزاویه*



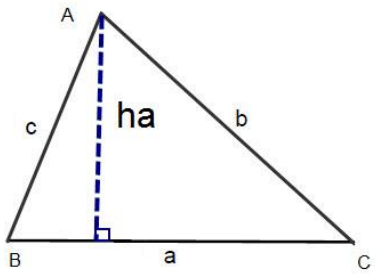
$$\sin x=\frac{BC}{AB}$$
$$\cos x=\frac{AC}{AB}$$
$$tgx=\frac{BC}{AC}$$

۲) *مثلث غیر قائم‌الزاویه*



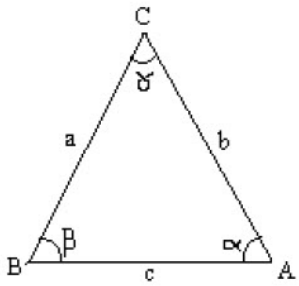
$$AB^2=AC^2+BC^2-2(AC)(BC)\cos\gamma$$
$$AC^2=AB^2+BC^2-2(AB)(BC)\cos B$$
$$BC^2=AB^2+AC^2-2(AB)(AC)\cos x$$
$$\alpha=\cos^{-1}\left(\frac{AB^2+AC^2-BC^2}{2(AB)(AC)}\right)$$
$$\beta=\cos^{-1}\left(\frac{AB^2+BC^2-AC^2}{2(AB)(BC)}\right)$$
$$\gamma=\cos^{-1}\left(\frac{AC^2+BC^2-AB^2}{2(AC)(BC)}\right)$$
$$\frac{\sin(\alpha)}{\overline{BC}}=\frac{\sin(\beta)}{\overline{AC}}=\frac{\sin(\gamma)}{\overline{AB}}$$

مساحت مثلث با داشتن قاعده و ارتفاع



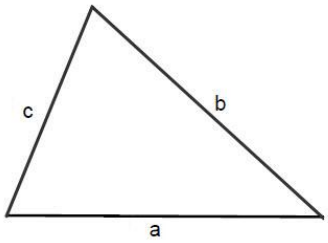
$$S = \frac{1}{2} a \times hA$$

مساحت مثلث با داشتن دو ضلع و زاویه بین



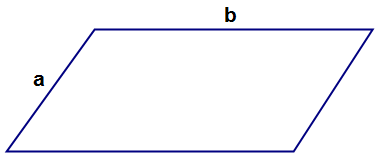
$$S = \frac{1}{2} a.b.\sin\gamma$$
$$S = \frac{1}{2} .b.c.\sin\beta$$
$$S = \frac{1}{2} a.c.\sin\alpha$$

مساحت مثلث با داشتن سه ضلع



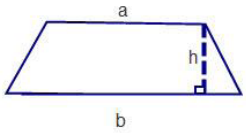
$$P = \frac{a+b+c}{2}$$
$$S = \sqrt{P(P-a)(P-b)(P-c)}$$

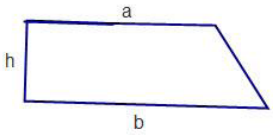
مساحت متوازی‌الاضلاع



$$S = \frac{1}{2} a.b$$

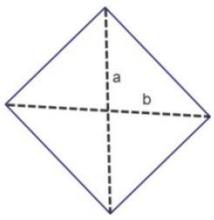
مساحت ذوزنقه





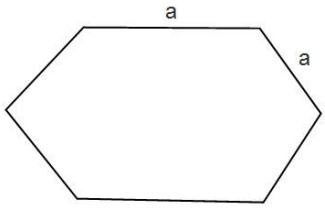
$$S = \frac{a+b}{2} \times h$$

مساحت لوزی



$$S = \frac{1}{2} a.b$$

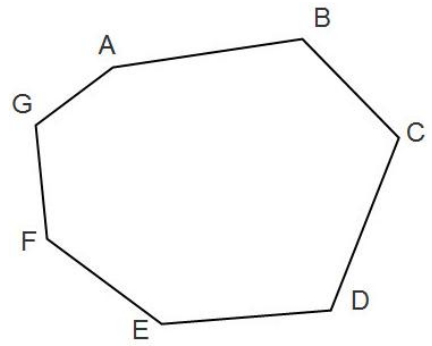
مساحت چند ضلعی منتظم



$$S = \frac{n.a^2}{4Tg\frac{180}{n}}$$

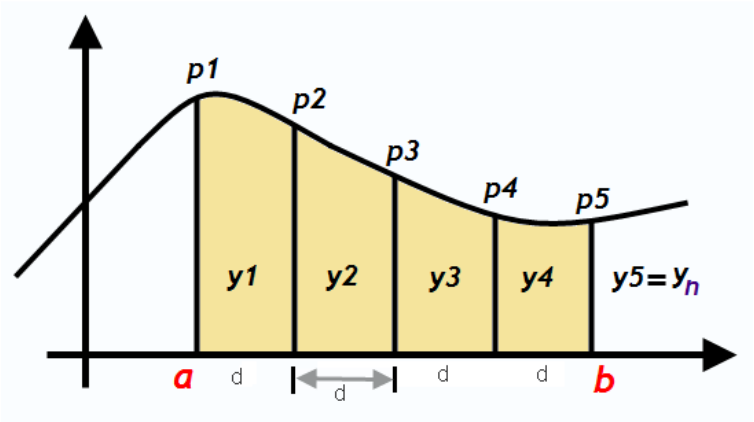
n: تعداد اضلاع

محاسبه مساحت با داشتن مختصات نقاط گوشه یک چند ضلعی (فرمول گوس)



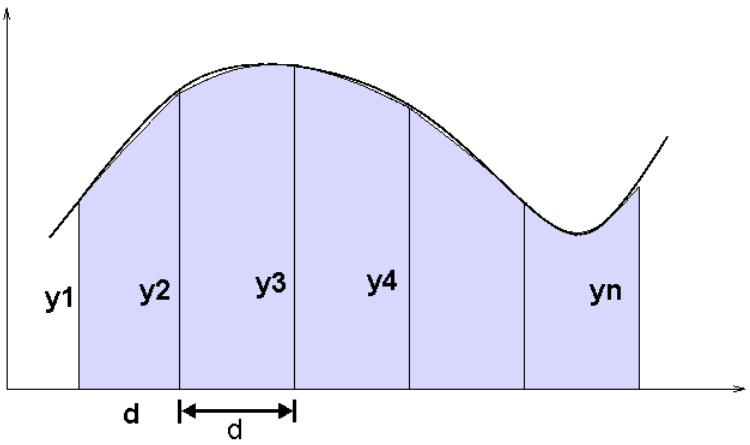
$$S=\frac{1}{2}\begin{vmatrix} x_A & x_B & x_C & x_D & x_E & x_F & x_G & x_A \\ y_A & y_B & y_C & y_D & y_E & y_F & y_G & y_A \end{vmatrix}=\frac{1}{2}\left|(x_A\times y_B)+(x_B\times y_C)+(x_C\times y_D)\right.$$
$$\left.+(x_D\times y_E)+(x_E\times y_F)+(x_F\times y_G)+(x_G\times y_A)-(x_A\times y_G)-(x_G\times y_F)-(x_F\times y_E)-(x_E\times y_D)-(x_D\times y_C)-(x_C\times y_B)-(x_B\times y_A)\right|$$

محاسبه مساحت با استفاده از فرمول ذوزنقه



$$S=d\left(\frac{y_1+y_n}{2}+y_2+\ldots+y_{n-1}\right)$$

محاسبه مساحت با روش سیمپسون



$$\sum y_i = y_3+y_s+y_7+y_9$$
$$\sum y_P = y_2+y_4+y_6+y_8+y_{10}$$
$$S=\frac{d}{3}\left(y_1+2\sum y_i+4\sum y_P+y_n\right)$$

محاسبه سطح

اجزاء واحد سطح

$$\begin{cases} 1dm \times 1dm = 1dm^2 \\ 1cm \times 1cm = 1cm^2 \\ 1mm \times 1mm = 1mm^2 \end{cases} \qquad \begin{cases} 1m^2 = 100dm^2 \\ 1m^2 = 10000cm^2 \\ 1m^2 = 1000000mm^2 \end{cases}$$

اضعاف واحد سطح

$10_m = 1dam$

$10_m = 1dam \qquad 1_{dam^2} = 100_{m^2}$

$100_m = 1hm$

$100_m = 1hm \qquad 1_{hm^2} = 10000_{m^2}$ هکتار (هکتومتر مربع)

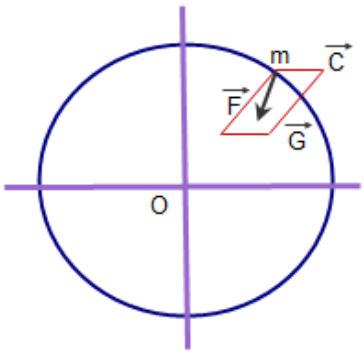
$1000_m = 1km$

$1000_m = 1km \qquad 1_{km^2} = 1000000_{m^2}$ کیلومتر مربع

فصل سوم

شکل زمین

زمین به شکل یک بیضوی دورانی است که در قطبین فشرده است. سطح این بیضوی در هر نقطه بر برآیند نیروهای وارد بر آن نقطه عمود است مثلاً نقطه m را روی سطح این بیضوی دوار در نظر بگیرید (در صورتی که این نقطه روی محورهای زمین واقع نباشد) دو نیرو بـه آن اثر می‌کنند:



الف) نیروی جاذبه نیوتنی $\vec{F}$ که تقریباً از مرکز ثقل O زمین می‌گذرد.

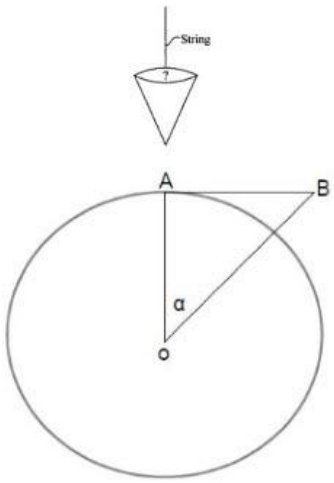
ب) نیروی گریز از مرکز $\vec{C}$ که در اثر دوران زمین به وجود می‌آید و بر امتداد محـور دوران زمین عمود است. بر آیند این دو نیرو را $\vec{C}$ می‌نامیم.

اصطلاحات

۱. خط قائم

نیروی بر آیند $\vec{C}$ این دو نیرو $(\vec{C},\vec{F})$ را نیروی ثقل در نقطه A و امتداد آن را خط قائم نقطه A می‌گویند. این امتداد عملاً با نخ شاغولی که در نقطه A آویزان شده باشد مشخص می‌گردد.

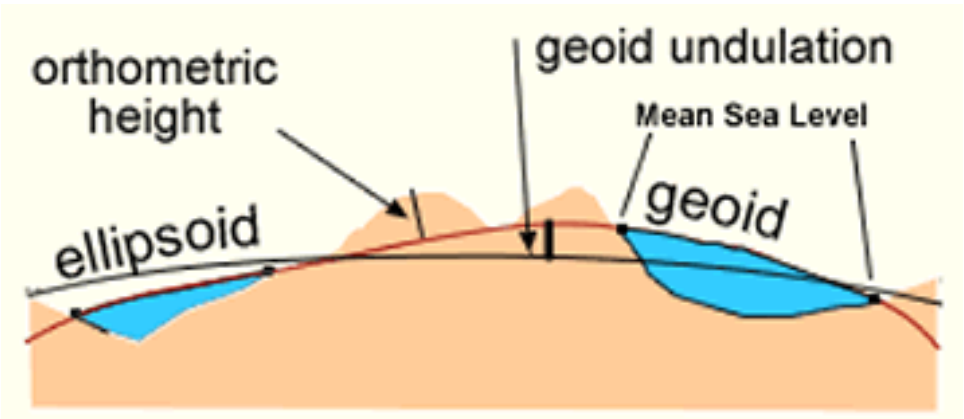
۲. سطح تراز



امتداد نیروی ثقل در هر نقطه از زمین خط قائم آن نقطه نامیده می‌شود. حال اگر سطح پیوسته‌ای را در نظر بگیرید که در هر یک از نقاطش بر امتداد نیروی ثقل در آن نقطه (یا خط قائم آن نقطه) عمود باشد به آن سطح تراز می‌گویند.

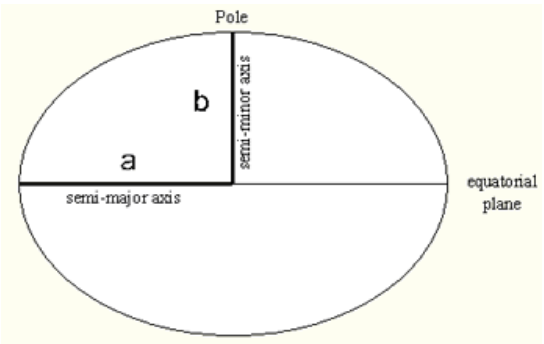
۳. سطح تراز متوسط دریاها *(Mean sea level "MSL") (Geoid)*

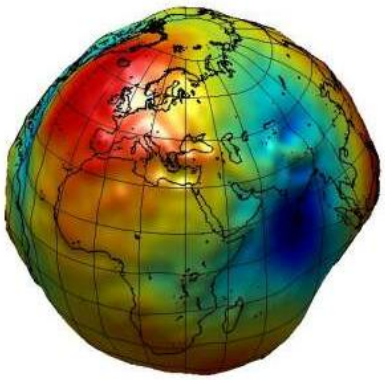
سطح متوسط آب دریاها را که در زیر خشکی‌ها هم به طور فرضی ادامه یافته است و در مدت زمان مشخص اندازه‌گیری کـرده‌انـد «سـطح تراز متوسط دریا» می‌گویند. این سطح به عنوان سطح مبنای ارتفاعات نقاط مختلف زمین انتخاب شده است.



۴. بیضوی مقایسه *(Referenee Elipsoide)*

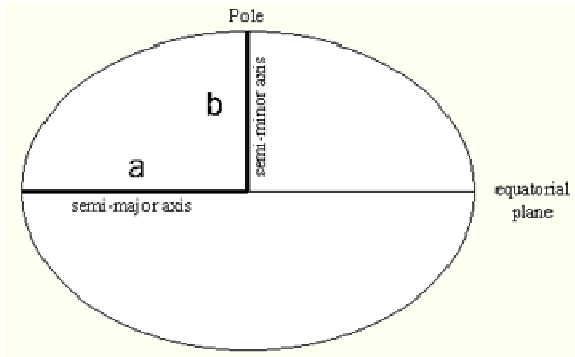
چون سطح مبنای ارتفاعات سطح نامنظمی است، نمی‌توان مختصات و تصاویر نقاط را روی آن تعیین کرد. بدین جهت در عملیات تعیین موقعیت مناطق بزرگ، سطح دیگری که معادله ریاضی داشته باشد و حتی‌المقدور به سطح تراز متوسط دریاها هم نزدیک باشد انتخاب می‌کنند به چنین سطحی، سطح مراجعه و یا بیضوی دورانی مقایسه گویند.





۵. مشخص ساختن بیضوی مقایسه

در نقشه برداری بیضوی مقایسه را با دو عامل b, a (a نصف طول محور استوایی و b نصف طول محور قطبی) و یا با دو عامل α یا f مشخص می‌کنند و α را فشردگی می‌نامند.



فشردگی $\left(\alpha = \frac{a-b}{a}\right)$

معادله بیضوی دورانی $\frac{x^2+y^2}{a^2} + z^2/b^2 = 1$

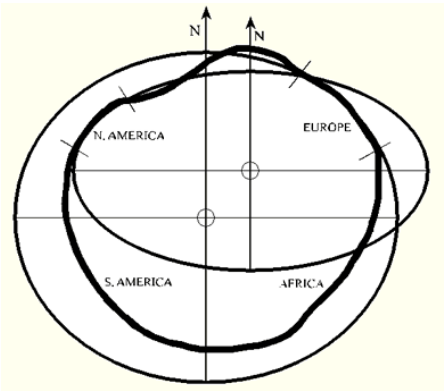
معادله بیضی سه محوری $x^2/a^2 + y^2/b^2 + z^2/c^2 = 1$

معادله بیضی $x^2/a^2 + y^2/b^2 = 1$

خروج از مرکزیت $e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad e'^2 = \frac{a^2 - b^2}{b^2}$

a) بیضوی مقایسه محلی *(Local Elipsoide)*

یعنی یک بیضوی مقایسه‌ای که در منطقه محدودی از سطح زمین به بهترین حالت بر شکل واقعی زمین منطبق باشد. کلارک ← فرانسه و بلژیک



b) بیضوی مقایسه بین‌المللی *(International Elipsoide)*

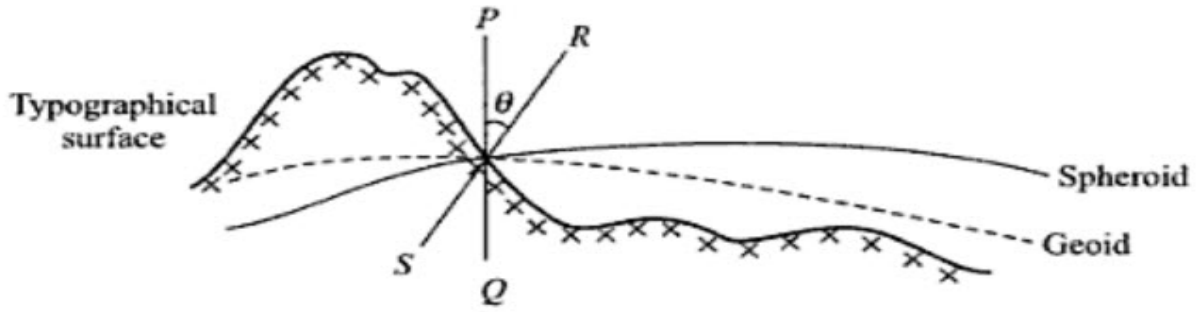
در تمام نقاط سطح زمین به بهترین حالت بر سطح زمین منطبق باشد ← هایفورد

هایفورد $\begin{cases} a = 6378388m \\ b = 6356912 \\ \alpha = f = \dfrac{1}{297} \end{cases}$ کلارک $\begin{cases} a = 6378249m \\ b = 6356515m \\ \alpha = f = \dfrac{a-b}{a} = \dfrac{1}{293.5} \end{cases}$

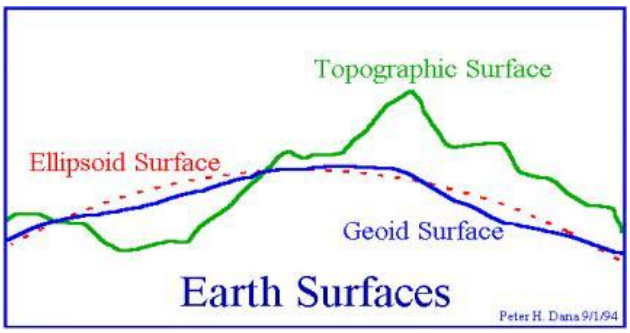
مقدار α را اصطلاحاً ضریب فشردگی *(Flattening)* می‌نامند. این عدد درجه نزدیکی یا دوری بیضوی را بـه کـره تعیـین مـی‌کنـد. هـر چقدر f کوچک‌تر باشد بیضوی به کره نزدیک‌تر است.

۶. انحراف قائم

ژئویید در زیر برجستگی‌های زمین نسبت به بیضوی مراجعه قدری بر آمده و در گودی‌های اقیانوس‌ها قدری فرو رفته است. برای مشـخص کردن این وضعیت بین خط قائم در هر نقطه و خط عمود بر بیضوی مراجعه زاویه کوچکی را پیدا می‌کند که بـه آن زاویـه انحـراف نسـبی قائم می‌گویند.



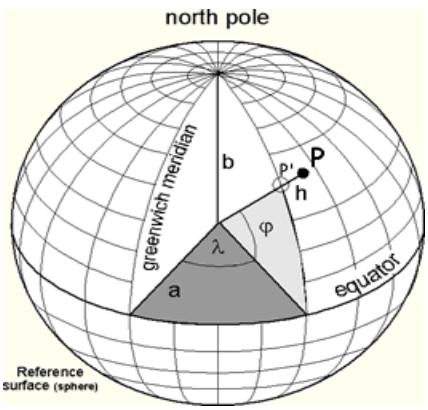
به طور کلی در نقشه برداری با سه سطح سر و کار داریم



۱. سطح طبیعی زمین که اندازه گیری‌ها روی آن انجام می‌شود.
۲. بیضوی مقایسه که محاسبات بر مبنای آن صورت می‌گیرد.
۳. ژئویید که سطح مبنای ارتفاعات است.

دستگاه مختصات کروی

۱. محور دورانی زمین



یک خط فرضی است که از دو قطب زمین می‌گذرد. (در حقیقت محوری است که زمـین حـول آن دوران می‌کند).

۲. استوا

دایره عظیمی است که در مرکز زمین بر محور دوران زمین عمود شده باشد.

۳. نصف‌النهار

یک دایره عظیم که از دو قطب زمین بگذرد.

۴. مدار

اگر صفحه‌ای به موازات استوا کره را در یک دایره قطع کند «مدار» گفته می‌شود. برای این که موقعیت یک نقطه روی سطح کره را مشخص نماییم شبکه‌ای از نصف‌النهارها و مدارها را بر روی این سطح در نظر می‌گیریم که به این شبکه «دستگاه مختصات کروی» می‌گویند. در این سیستم، نصف‌النهاری که از رصد خانه گرینویچ *(Greenwich)* در انگلستان می‌گذرد به عنوان نصف‌النهار مبدأ و مدار استوا به عنوان مدار مبنا در نظر گرفته می‌شود. در این دستگاه مختصات هر نقطه مانند P با سه عنصر تعیین می‌شود:

۱. طول جغرافیایی (λ) *(Longitvde)*

یعنی زاویه‌ای که صفحه نصف‌النهار گذرنده از نقطه P با صفحه نصف‌النهار مبدأ می‌سازد.

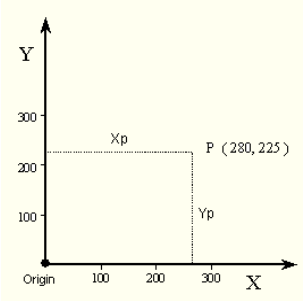
۲. عرض جغرافیایی (φ) *(Latitude)*

یعنی زاویه‌ای که خط قائم بر کره در نقطه p با صفحه استوا می‌سازد.

۳. ارتفاع *(Altitvde)*

ارتفاع از سطح مبنای ارتفاعات. نقطه‌ای به نام P بر روی زمین با $P\ (\lambda, \phi, h)$ مشخص می‌گردد.

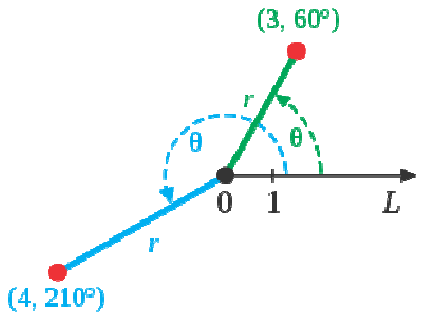
دستگاه مختصات متعامد



$P(x, y)$

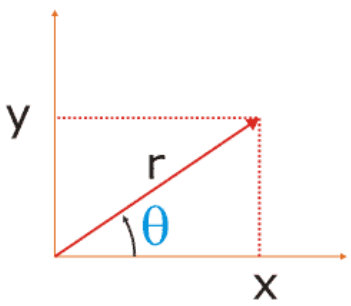
دستگاه مختصات قطبی

در این دستگاه نقطه O را قطب و محور OL را محور قطبی و r را شعاع قطبی و زاویه θ را آرگومان نقطه P می‌گویند.



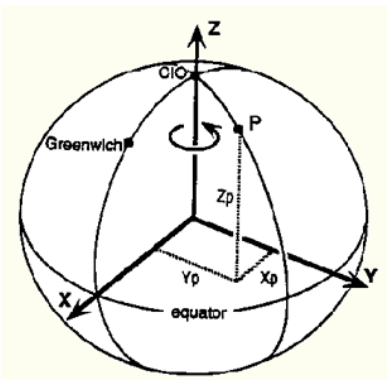
$P(r, \theta)$

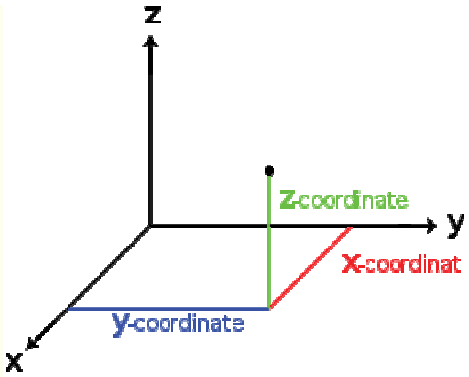
رابطه بین مختصات قطبی و متعامد



$$\begin{cases} x = r\cos\theta \\ y = r\sin\theta \end{cases}$$

دستگاه مختصات فضایی (سه بعدی)



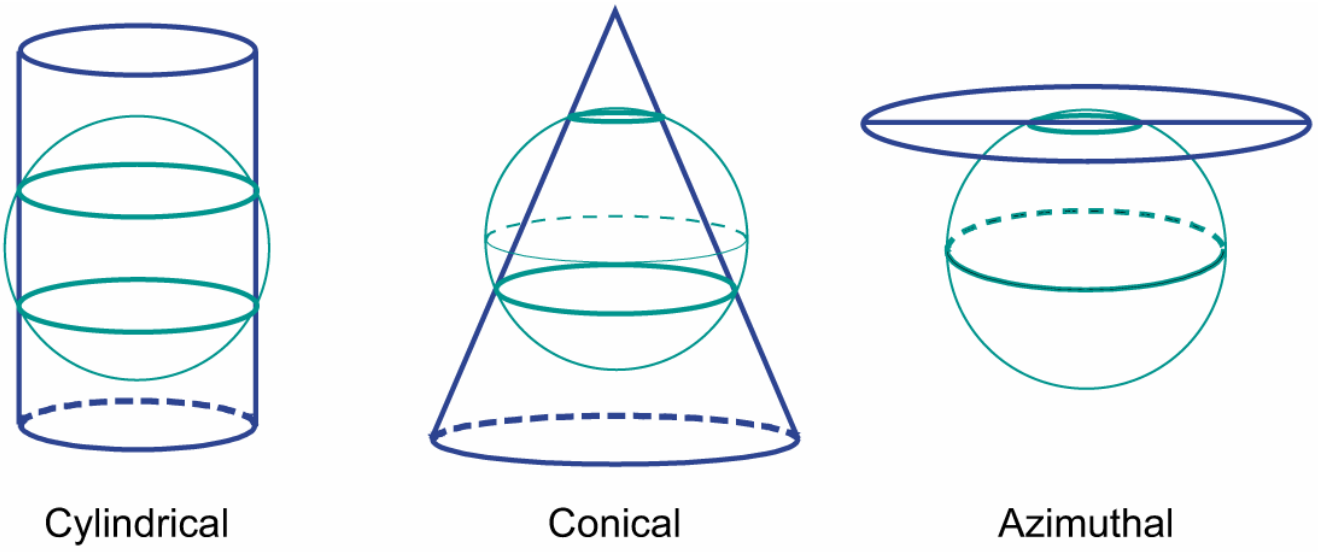


سیستم‌های تصویر

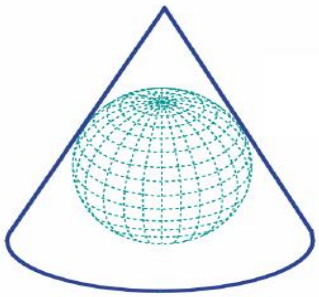
هدف از نقشه برداری تهیه نقشه می‌باشد، در واقع نشان دادن جزئیات زمین بر روی صفحه تصویر (نقشه) است. باید ترتیبی اتخاذ کرد که موقعیت هر نقطه زمینی را به کمک مختصاتش در صفحه تصویر مشخص گردد. در نقشه برداری مستوی که وسعت منطقه کار کوچک است سطوح تصویر را می‌توان مسطح فرض کرد. در این صورت هر نقطه از سطح زمین با رسم عمودی از آن نقطه بر صفحه تصویر مشخص می‌شود. اما در نقشه برداری ژئودتیک که منطقه وسیع است نمی‌توان سطوح تصویر را مسطح فرض کرد، در این حال برای مشخص کردن نقاط در صفحه تصویر باید بین مختصات جغرافیایی نقطه (φ,λ) از یک طرف و مختصاتش در صفحه تصویر (y,x) یا (r,θ) رابطه ای بر قرار کنیم. به نحوی که با داشتن مختصات هر نقطه روی بیضوی بتوانیم یک نقطه روی برگه تصویر مشخص کنیم و بر عکس با معلوم بودن مختصات هر نقطه در صفحه تصویر مختصات جغرافیایی آن را محاسبه کنیم.

مجموعه روابط ریاضی که بین مختصات جغرافیایی یک نقطه و مختصات قائم‌الزاویه آن وجود دارد اساس مبحث خاصی را در ژئودزی تحت عنوان (سیستم‌های تصویر) تشکیل می‌دهد. به دلیل آن که بیضوی یا کره سطح قابل گسترشی مثل مخروط یا استوانه نیست که بتوانیم آن را بدون ایجاد پارگی باز کنیم و کاملاً بر صفحه تصویر منطبقش سازیم از حجم‌های هندسی قابل گسترش به عنوان واسطه کمک می‌گیریم، به این ترتیب که نقاط روی بیضوی را بر روی این حجم‌های هندسی تصویر کرده و سپس این حجم‌ها را گسترش داده و روی صفحه تصویر منطبق می‌کنیم.

سیستم‌های تصویر معمولاً به گونه ای انتخاب می‌شوند که اولاً زاویه‌ها را تغییر ندهند و ثانیاً مقیاس تبدیل را در یک منطقه ثابت نگه دارند، در چنین حالتی تصویر هر عارضه با شکل اصلی آن بر روی زمین مشابه است. این نوع سیستم تصویر را مشابه *(conform)* می‌نامند در اینجا به طور خلاصه چند نمونه از سیستم‌های تصویر مشابه را بررسی می‌کنیم.



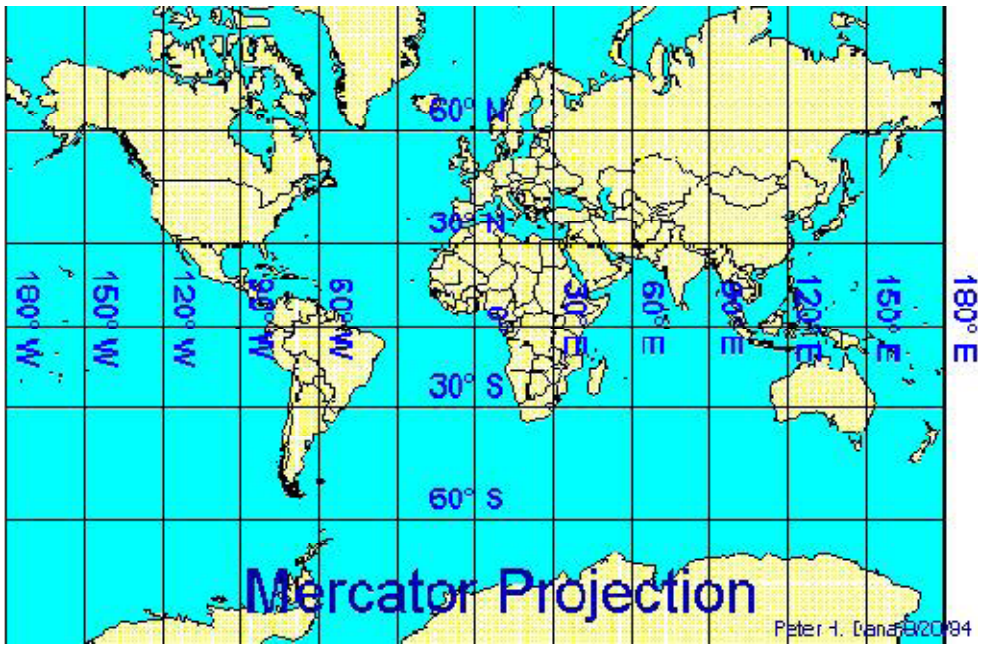
سیستم تصویر لامبرت (*Lambert*)


Conical

در این سیستم یک مخروط در طول مدار معینی (که معمولاً مدار مرکزی منطقه است) بر بیضوی مماس می‌شود. نقاط روی بیضوی در امتداد قائم آن‌ها بر روی این مخروط تصویر می‌شوند. سپس مخروط در امتداد یکی از یال‌هایش شکافته و بر روی صفحه تصویر گسترده می‌شود. در این سیستم تصویر نصف‌النهارها خط مستقیم و تصویر مدارها دایره‌های متحدالمرکزی هستند که مراکز آن‌ها روی رأس مخروط است. محل برخورد نصف‌النهار مرکزی منطقه و مدار مرکزی منطقه را مبدأ مختصات اختیار می‌کنند. هر چه از مدار مرکزی منطقه دور شویم مقیاس تصویر بیشتر تغییر می‌کند بنابراین چنین سیستمی برای کشورهایی که به صورت شرقی غربی‌اند مناسب است.

سیستم تصویر مرکاتور (*Mercator*)

در این سیستم، استوانه‌ای در طول استوا بر کره مماس می‌شود و یا در دو مدار متوازی کره را قطع می‌کند. تصویر مدارها با هم و تصویر نصف النهارها نیز با هم موازی‌اند. هرچه از استوا دور شویم مقیاس تصویر بیشتر تغییر می‌کند. بنابراین چنین سیستمی برای مناطق نزدیک قطب مناسب نمی‌باشد.

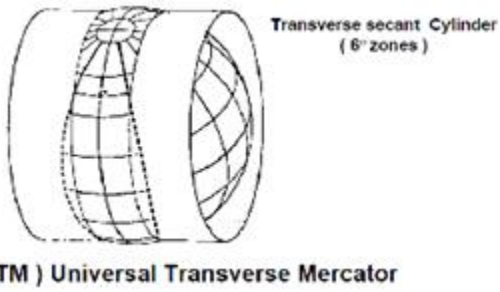


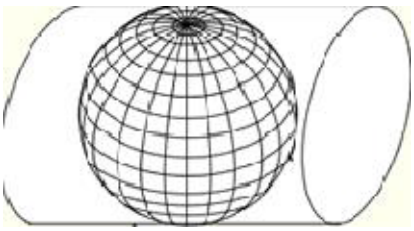
سیستم تصویر *UTM(Universal Transverse Mercator)*

این سیستم مشابه سیستم تصویر مرکاتور است، با این تفاوت که به جای آن که استوانه در امتداد خط استوا بر کره مماس شود در طول نصف النهار مبدأ بر آن مماس می‌شود؛ و دور استوایی زمین را به ۶۰ قاچ تقسیم می‌کند و هر قاچ را یک منطقه می‌گویند. هر منطقه ۶ درجه از طول جغرافیایی را تشکیل می‌دهد. هر کدام از این ۶۰ قاچ به طور جداگانه تصویر می‌شوند.

تصاویر استوا و نصف النهار مرکزی منطقه به صورت خطوط مستقیم‌اند ولی سایر مدارها و نصف النهارها به صورت منحنی تصویر می‌شوند.

این سیستم برای مناطقی از بیضوی که بین مدارهای ۸۰ درجه عرض جنوبی و ۸۰ درجه عرض شمالی واقع هستند به کار می‌رود.





مبدأ مختصات قائم الزاویه هر قاچ را محل برخورد استوا و نصف النهار مرکزی آن تعیین می‌کند. مختصات این نقطه را به جای صفر و صفر به ترتیب ۱۰۰۰۰۰۰۰ و ۵۰۰۰۰۰ انتخاب کرده‌اند بنابراین $\Delta y, \Delta x$ هر نقطه در شرق نصف‌النهار مرکزی و شمال استوا به این اعداد اضافه می‌شوند $\Delta y, \Delta x$ نقاط واقع در غرب این نصف‌النهار و جنوب استوا از این اعداد کسر می‌شوند.

فصل چهارم

مقدمه

اندازه‌گیری طول یکی از اجزای اصلی اندازه گیری می‌باشد. به همین دلیل بیشتر مواقع به عنوان مبنای برداشت‌ها محسوب می‌گردد و از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. از جمله واحدهایی که مورد استفاده قرار می‌گیرد: متر (واحد بین‌المللی)، یارد، فوت، اینچ، مایل و ... می‌باشد.

روش‌های مستقیم اندازه گیری طول

۱. قدم انسانی *(Pacing)*

برای اندازه‌گیری فاصله در کارهای کم دقت و همچنین در برآوردهای اولیه مسافت‌یابی در نقشه برداری زمین شناسی، کشاورزی و کربردهای نظامی می‌توان از پیمودن قدم انسانی استفاده کرد. دقت نسبی این روش توسط افراد با تجربه به $\frac{1}{100}$ می‌رسد.

۲. چرخ غلطان *(Odometer)* یا رول فیکس

این دستگاه شبیه چرخ دوچرخه است که بر روی سطح زمین می‌چرخد. دقت نسبی اندازه‌گیری با این روش به $\frac{1}{200}$ می‌رسد.

۳. زنجیر مساحی

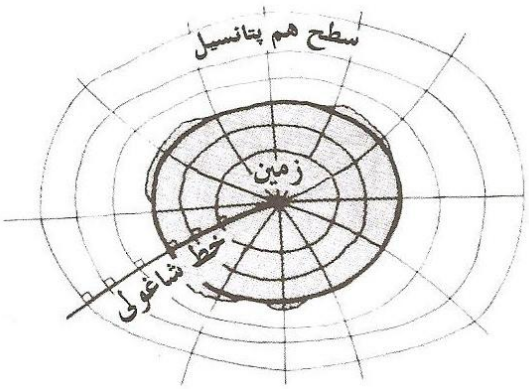
این وسیله از سلسله مفتول‌های فلزی تشکیل شده است که به وسیله حلقه‌های مخصوص به هم اتصال می‌یابند. طول هر مفتول ۱۰ تا ۲۰ سانتیمتر است و هر رشته از ۵۰ تا ۱۰۰ مفتول تشکیل شده است. دقت نسبی اندازه‌گیری در این روش به $\frac{1}{1000}$ می‌رسد.

۴. اندازه گیری فاصله با نوار اندازه گیری (متر کشی)

امروزه نوارهای اندازه‌گیری طول که اصطلاحاً آن را (متر) می‌نامیم رایج‌ترین وسایل اندازه‌گیری طول با دقت متوسط می‌باشند، به همین دلیل عمل اندازه‌گیری فاصله با متر را اصطلاحاً (متر کشی) می‌نامند.

سطوح هم پتانسیل *(Equipotential Surface)*

سطوحی را که در تمامی نقاط واقع بر آن امتداد نقاط عمودی باشند را اصطلاحاً «سطوح تراز» یا «سطوح هم پتانسیل» گویند. این سطوح تراز، سطوحی هستند که تقریباً مشابه پوسته‌های پیاز، کل زمین را در بر گرفته‌اند. بدین ترتیب، بی‌نهایت سطوح هم پتانسیل را می‌توان فرض کرد. تعدادی از آن‌ها در بالای سطح زمین، تعدادی نیز داخل سطح زمین و تعدادی هم از این سطوح هستند که در جاهایی بالای سطح زمین و در جای دیگر در زیر سطح زمین ادامه دارند. سطوح هم پتانسیل شامل اطلاعاتی است درباره میدان ثقل زمین، در مناطقی که میدان ثقل تغییرات یک نواختی داشته باشد، در آن صورت سطح هم پتانسیل هم در آن منطقه دارای سطح یک نواخت است و در جایی هم اگر تغییرات ثقل نامنظم باشد، سطوح هم پتانسیل در آن محل نیز دارای تغییرات نامنظم خواهد بود.



خواص سطوح هم پتانسیل

۱. سطوح هم پتانسیل یکدیگر را قطع نمی‌کنند و آن‌ها سطوح بسته‌ای هستند، یعنی یک نقطه در فضا نمی‌تواند دارای دو پتانسیل در یک زمان باشد.

۲. سطوح هم پتانسیل سطوح پیوسته‌ای بدون انفصال هستند.

۳. سطوح هم پتانسیل سطوح نسبتاً نرمی بوده و دارای گوشه های تیز و تغییرات شدید نیستند.

انواع مترها برای اندازه گیری طول

***a*) مترهای پارچه ای و پلاستیکی**

این مترها بیشتر برای فواصل کوتاه مناسب می‌باشند، دقت آن‌ها بین $\frac{1}{1000}$ تا $\frac{1}{3000}$ است. برای کارهای دقیق از آن‌ها استفاده نمی‌شوند، زیرا در اثر تأثیر عوامل جوی مانند گرما و سرما نوع پلاستیکی تغییر طول می‌دهد و نوع پارچه ای در اثر تغییر رطوبت هوا، طولش کم یا زیاد می‌شود. در مقابل نیروی کشش نیز هر دو مقاومت کمی دارند و طولشان زیاد می‌گردد. بنابراین در فواصل بلند که نیاز به کشش بیشتری برای افقی نگه داشتن و جلوگیری از شکم دادن متر داریم مناسب نمی‌باشد.

***b*) مترهای فلزی**

متداول‌ترین وسیله برای نقشه برداری مترهای فلزی است. جنس فلز این مترها معمولاً فولاد است که دارای خاصیت فنری نیز می‌باشد. این خاصیت فنری بودن سبب می‌شود که به راحتی حول یک استوانه (قرقره) پیچیده شده است و حجم کوچکی را اشغال می‌کند. همچنین باز کردن و استفاده کردن از آن را نیز آسان می‌سازد.

نکات مهم هنگام استفاده از مترهای فلزی

۱. در نزدیکی سیم برق از آن‌ها استفاده نماییم حتی اگر سیم برق دارای روکش عایق باشد.
۲. هنگام استفاده از قرار گرفتن متر زیر پای افراد و یا وسایل نقلیه به شدت جلوگیری کنیم.
۳. هر گاه در حال استفاده متر به سنگ یا بوته‌ای گیر کرده باشد بهتر است به محل مورد نظر رفته و متر را آزاد نماییم. در چنین مواردی از کشیدن متر خودداری کنید.
۴. قبل از جمع کردن متر باید گل و یا گرد و خاک چسبیده به آن را پاک کرده و کاملاً خشک نماییم.
۵. روی متر دمای مناسب به منظور استفاده از آن نوشته شده است، که باید به آن دقت نماییم.

برای این که متر افقی قرار بگیرد باید با نیروی کشش مناسب کشیده شود که معمولاً این نیروی کشش مناسب را بر حسب نیوتن روی آن نوشته‌اند. مترهای فلزی دارای دقت خوبی می‌باشند و معمولاً می‌توان به دقت $\frac{1}{5000}$ دست یافت. و با رعایت اصول متر کشی و همچنین محاسبه و اعمال خطاها به دقت $\frac{1}{10000}$ نیز می‌توان رسید. مترهای فلزی را به صورت کمری یا به شکل قرص‌های بزرگ و همین طور به صورت دسته داری سازند که طول آن از یک متر تا ۵۰ متر متغیر می‌باشد، و عرض آن‌ها معمولاً 13_{mm} و ضخامت آن‌ها 0.2_{mm} است.

عمل متر کشی طی مراحل زیر انجام می‌شود:

۱. امتداد گذاری
۲. گرفتن نوار اندازه‌گیری بین دو نقطه
۳. ثبت قرائت‌ها و محاسبه طول

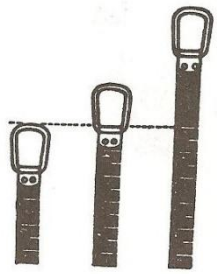
متر کشی در زمین‌های افقی

این حالت کمتر پیش می‌آید، زیرا معمولاً زمین دارای پستی و بلندی و شیب‌هایی می‌باشد که آن را از حالت هموار و افقی خارج می‌کند. البته در کارهای کم دقت از ناهمواری‌های کوچک و شیب‌های کم صرف نظر کرده و زمین را افقی و هموار فرض می‌شود سپس امتداد گذاری بین دو نقطه را انجام می‌دهیم.

امتداد گذاری

هنگام امتداد گذاری باید توجه داشته باشید که فاصله نقاطی را که امتداد گذاری می‌کنید متناسب با طول متری که به کار می‌برید و دقتی که انتظار دارید انتخاب نمایید. یعنی اگر دقت کمتری نیاز دارید می‌توانید فاصله دو نقطه‌ای را که در امتداد مورد نظر میخ کوبی می‌کنید بین ۴۰ تا ۵۰ متر انتخاب شوند و از نوار اندازه گیری ۵۰ متری استفاده نمایید. اگر دقت بیشتری نیاز دارید فاصله نقاط را در امتداد مورد نظر کمتر انتخاب کنید تا خطاهای متر کشی شما کوچک‌تر باشند. همچنین برای به دست آوردن دقت بیشتر به جای متر پارچه‌ای یا پلاستیکی از متر فلزی استفاده کنید.

نکاتی راجع به اصول متر کشی

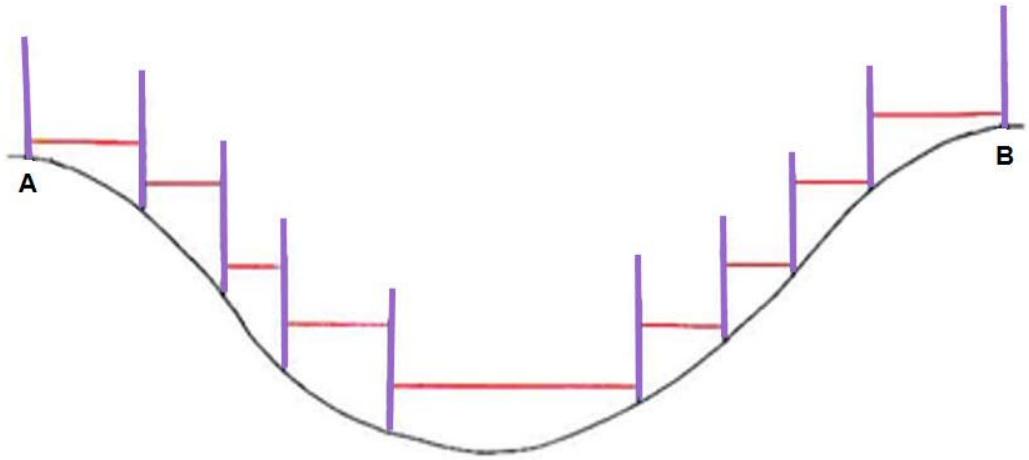


۱. شروع درجه بندی مترها (صفر مترها) ممکن است با هم فرق داشته باشد. عدم توجه به این نکته مهم، اشتباهی است که بسیار خطر ناک می‌باشد. و در کارهای دقیق از صفر شروع نمی‌کنند.
۲. توجه به درجه‌بندی‌های روی متر، و واحد آن‌ها می‌باشد. زیرا بعضی از نوارهای اندازه گیری طول در یک روی نوار بر حسب متر و سانتی متر و در روی دیگر بر حسب فوت و اینچ درجه بندی شده‌اند.
۳. متر باید کاملاً کشیده باشد و اگر پیچ و تاب داشته باشد باید آن را صاف نمود.
۴. یک طول را دو بار و به صورت رفت و برگشت اندازه گیری نمایید.

متر کشی در زمین‌های شیب دار

الف) متر کشی به صورت افقی

اولین کار قبل از متر کشی امتداد گذاری است. هنگام امتداد گذاری در زمین‌های شیب دار باید به این نکته دقت کنیم که فاصله بین دهانه‌ها را متناسب با شیب زمین انتخاب نماییم. یعنی هر چه شیب زمین تندتر باشد، باید دهانه‌ها را کوچک‌تر انتخاب نماییم تا شخصی که متر را نگه می‌دارد قادر باشد به راحتی متر را نگه داشته و قرائت نماید. برای مثال اگر بخواهیم بین دو نقطه A , B را متر کشی نماییم، در قسمت‌هایی که شیب بیشتر می‌باشد ژالن‌ها را نزدیک به هم و در قسمت‌هایی که شیب کم می‌باشد ژالن‌ها را با فاصله بیشتر امتدادگذاری می‌کنیم.

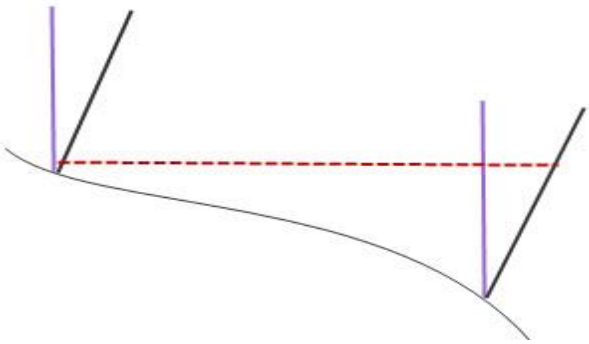


متر را به دو صورت می‌توان افقی نگه داشت

روش اول: یک سر متر را در کنار ژالن نگه داشته و سر دیگر متر (علاوه بر این که در کنار ژالن نگه داشته) یک تراز دستی را مماس با آن قرار داده و آن قدر متر را بالا و پایین می‌آوریم تا حباب تراز دستی در وسط تراز قرار گیرد. در این حالت متر افقی بوده و می‌توانیم آن را قرائت نماییم.

روش دوم: قبل از نگه داشتن متر بین دو ژالن ابتدا امتداد افقی بین دو ژالن را به وسیله تراز دستی بر قرار می‌نماییم و علامت گذاری می‌کنیم. سپس متر را در کنار علامت‌هایی که در روی دو ژالن زده‌ایم نگه می‌داریم و قرائت می‌نماییم. جهت این کار می‌بایست تراز دستی را در کنار ژالن در جای معینی قرار داده و به ژالن بعدی یا قبلی قراول می‌رویم، در این حال سعی می‌کنیم تراز دستی را طوری در کنار ژالن نگه داریم که حباب تراز از طریق خط نشانه قراول روی نصف شود. سپس در همین حال افراد گروه را هدایت می‌نماییم تا در محل برخورد خط نشانه افقی بر ژالن مقابل، علامت مناسبی بگذارد تا امتداد افقی بین دو ژالن برای متر کشی افقی مشخص شود.

دو نکته

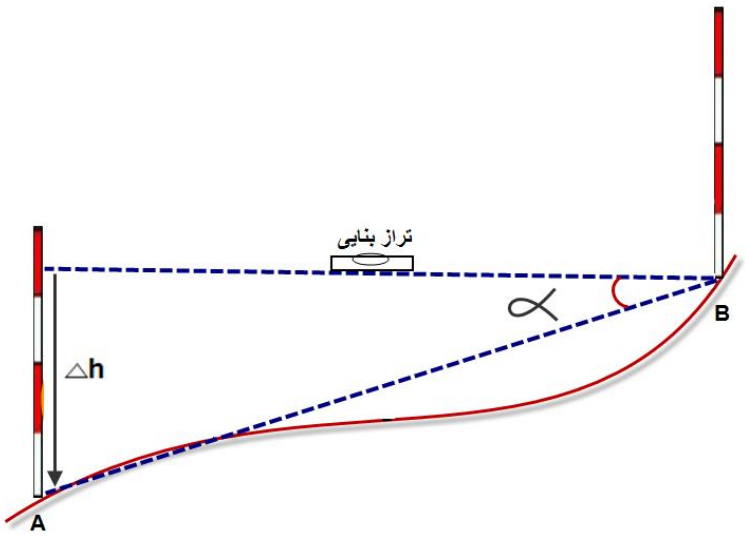


اولاً ← ژالن هایی را که در دو سر هر دهانه می‌خواهیم نگه داریم به وسیله تراز نبشی آن‌ها را کاملاً شاقولی کنیم.

ثانیاً ← تا آن جایی که ممکن است، متر را در قسمت پایین ژالن نگه داریم. زیرا خطای شاقولی نبودن ژالن در پایین آن جا به جایی کمتری را از امتداد قائم دارد.

ب) متر کشی به صورت مایل

در این روش به جای اندازه گیری فاصله افقی بین دو نقطه فاصله مایل (شیب دار) را مانند شکل متر کشی می‌نماییم. سپس اندازه‌گیری Δh روی ژالن یا با اندازه‌گیری شیب (α) می‌توانیم طول افقی را محاسبه نماییم.



فصل پنجم

تعریف نقطه

نقطه در نقشه برداری، عبارت است از مکان مشخصی روی زمین که نشانه گذاری شده و موقعیت آن تعیین می‌گردد و به شکل‌های مختلف بر روی زمین نشان داده می‌شود.

ارتفاع نقطه

ارتفاع نقطه، عبارت است از فاصله نقطه تا سطح مبنای ارتفاعات در جهت یا خلاف جهت امتداد شاقول.

ارتفاع مطلق و ارتفاع نسبی

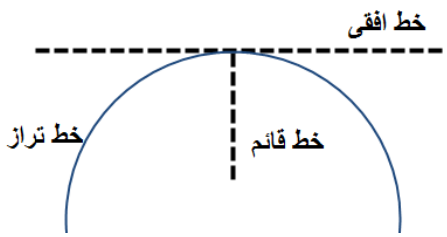
چنانچه مبنا برای تعیین ارتفاع نقطه «ژئوئید» باشد ارتفاع نقطه را مطلق و در صورتی که مبنا سطح دیگری باشد، ارتفاع نقطه را نسبی می‌گویند.

ترازیابی *(Leveling)*

به مجموعه عملیاتی که منجر به تعیین ارتفاع یک نقطه و یا اختلاف ارتفاع دو نقطه نسبت به هم می‌گردد ترازیابی می‌گویند. ترازیابی در واقع به معنی تعیین موقعیت سطح تراز یک نقطه نسبت به سطح تراز مبنا می‌باشد. سطح تراز یک نقطه عبارت است از سطحی که از آن نقطه بگذرد و در هر نقطه عمود بر امتداد شاقول باشد. از آن جا که امتدادهای شاقول در مناطق مختلف زمین موازی هم نیستند سطح تراز نیز سطح صافی نیست و شکلی نظیر سطح مبنای ارتفاعات دارد. *تمام نقاط واقع بر یک سطح تراز دارای ارتفاع یکسان هستند.*

خط تراز *(level Line)*

عبارت است از خطی که کلیه نقاط واقع بر روی آن دارای یک ارتفاع هستند بنابراین خط تراز یک نقطه در سطح تراز همان نقطه قرار دارد.



خط افقی *(Horizontal Line)*

خطی است که در یک نقطه مماس بر خط تراز و عمود بر امتداد شاقول است.

صفحه افق *(Horizontal plane)*

صفحه مماس بر یکی از نقاط سطح تراز با صفحه عمود بر امتداد شاقولی را صفحه افق می‌گویند. صفحه افق شامل بی نهایت خط افقی است.

صفحه قائم *(Vertical Plane)*

صفحه قائم در یک نقطه صفحه ای است که از یک خط قائم (یا امتداد شاقول) در آن نقطه بگذرد.

خط قائم *(Vertical Line)*

منظور از امتداد قائم در یک نقطه همان امتداد شاقول یا امتدادثقل در آن نقطه است. (و یا امتدادی که نقطه روی زمین را به مرکز زمین متصل می‌کند و این امتداد همواره بر سطح تراز در آن نقطه عمود می‌باشد).

بنچ مارک *(Bench- Mark)*

بنچ مارک، نقطه مرجع و ثابتی است که ارتفاع آن روی زمین معلوم یا تعیین گردد که به اختصار با $B.M$ نشان می‌دهند.

انواع بنچ مارک

۱. بنچ مارک‌های ژئودزی

ارتفاع این نقاط با عملیات ترازیابی دقیق نسبت به (سطح مبنای ارتفاعات) تعیین می‌گردد. این نقاط در سطح کشور پراکنده بوده و دارای شناسنامه، مشخصات و آدرس می‌باشند.

۲. بنچ مارک‌های دائمی

انتخاب آن‌ها در فواصل کمتر نسبت به بنچ مارک‌های ژئودزی صورت می‌گیرد و ارتفاع آن‌ها به کمک بنچ مارک‌های مذکور تعیین می‌گردد.

۳. بنچ مارک‌های اختیاری

نقاطی که در یک منطقه کوچک و محدود انتخاب می‌کنیم و یک ارتفاع فرضی به آن‌ها نسبت می‌دهیم و ارتفاع دیگر نقاط نسبت به آن‌ها تعیین می‌گردد. مواقعی که این بنچ مارک‌ها در نظر گرفته می‌شوند ارتفاع اختیاری آن‌ها باید عددی باشد که ارتفاعات سایر نقاط به آن منفی محاسبه نگردد.

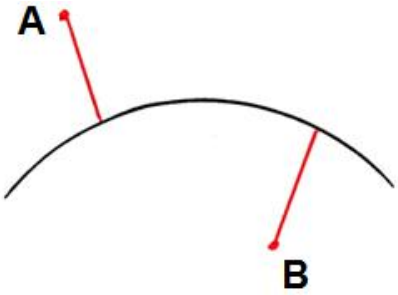
۴. بنچ مارک‌های موقتی *(Temporary. B.M)*

نقاطی هستند که موقتاً به عنوان مبنا برای عملیات ترازیابی انتخاب می‌گردند.

طبقه بندی شبکه‌های ترازیابی

شبکه‌های ارتفاعی از نظر دقت به درجات مختلفی تقسیم می‌گردند. هر قدر درجه شبکه‌ها بالاتر باشد دقت آن‌ها بیش‌تر است و عموماً فاصله بین بنچ مارک‌ها متناسب با درجه شبکه‌هاست. البته استانداردهای مختلفی وجود دارد که کشورهای مختلف از آن استفاده می‌کنند. در جدول نمونه ای از این استانداردها را مشاهده می‌کنید.

	اهداف	فاصله بین نقاط	طول شبکه‌ها	مشاهدات گراویتی	وسایل لازم	ماکزیمم خطا
درجه *I*	۱. استخوان بندی کلیه شبکه‌های کشوری ۲. بررسی حرکات پوسته‌های ناحیه‌ای زمین ۳. به دست آوردن مقادیر پتانسیل جاذبه ۴. کنترل شبکه‌های بزرگ ترازیابی	۱-۳*km*	۳۰۰-۵۰ کیلومتر	لازم است	ترازیاب دقیق با میکرو متر و میر انوار	$3_{MM}\sqrt{K}$
درجه *II*	۱. استفاده در پروژه‌های بزرگ مهندسی ۲. بررسی حرکات پوسته‌های محلی و بررسی نشست آن‌ها ۳. مبنا برای شبکه کنترل در درجات پایین‌تر ۴. مبنا برای تهیه نقشه‌های توپوگرافی	۱-۳ *km*	۵۰-۱۰ کیلومتر	لازم نیست	ترازیاب دقیق با میکرومتر و میر انوار و یا ترازیاب اتوماتیک	$6_{MM}\sqrt{K}$
درجه *III*	۱. مبنا برای پروژه‌های کوچک مهندسی ۲. مبنا برای تهیه نقشه های توپوگرافی در حجم کوچک‌تر ۳. مطالعه برای زهکش‌ها و شیب‌های کانال‌ها و زهکش‌ها	نباید بیشتر از ۳ کیلومتر باشد	هر اندازه که مورد نیاز است	لازم نیست	تراز یاب معمولی به همراه شاخص	$12_{MM}\sqrt{K}$



اختلاف ارتفاع نقاط

تفاضل ارتفاع مطلق دو نقطه را اختلاف ارتفاع آن دو نقطه می‌گویند. مثلاً اگر یک نقطه بالای سطح مبنای ارتفاعی و نقطه دیگر در زیر سطح مبنای ارتفاعی باشد، در این حالت مطابق شکل رو به رو اختلاف ارتفاع بین دو نقطه به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\Delta H(B,A) = h_A - h_B = h_A - (-h_B) = h_A + h_B$$

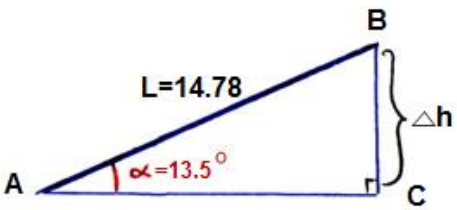
روش‌های مختلف ترازیابی

۱. ترازیابی به کمک وسایل ساده (شیب سنج، تراز دستی و ژالون، شمشه تراز)
۲. ترازیابی هیدرواستاتیکی (روش استفاده از شیلنگ تراز و یا ترازیاب آبی)
۳. ترازیابی هندسی (به کمک ترازیاب‌های مهندسی)
۴. ترازیابی به کمک ترازیاب‌های الکترونیکی
۵. ترازیابی به کمک انواع تئودولیت‌های اپتیکی و الکترونیکی
۶. ترازیابی بارومتری
۷. ترازیابی به کمک عکس‌های هوایی
۸. ترازیابی از طریق ثقل سنجی *(Gravimetry)*
۹. ترازیابی به کمک سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای

توضیح ۱

۱. ترازیابی با متر و شیب سنج

برای اندازه گیری اختلاف ارتفاع بین دو نقطه A , B فاصله مایل بین آن‌ها را با متر اندازه‌گیری می‌کنیم سپس به وسیله شیب سنج زاویه شیب امتداد AB را نسبت به افق اندازه‌گیری می‌کنیم و بعد از روابط مثلثاتی استفاده می‌نماییم.

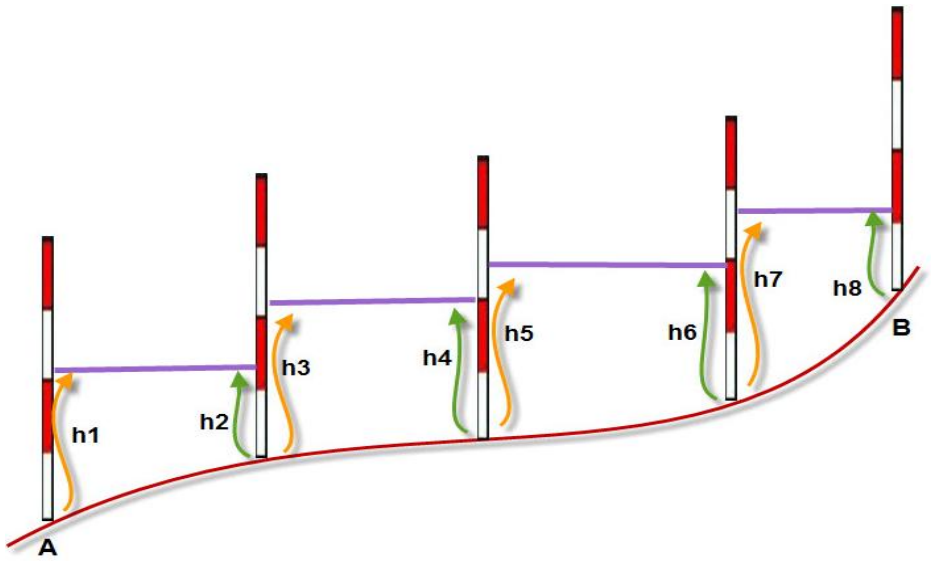


مثال: در شکل زیر اگر طول مایل بین دو نقطه A , B برابر با ۱۴.۷۸ اندازه گیری کرده باشیم و همچنین زاویه امتداد A , B با شیب سنج $\alpha = 13.5^\circ$ خوانده باشیم اختلاف ارتفاع یا Δh_{AB} به صورت زیر به دست می‌آید.

$$\sin\alpha = \frac{\Delta h}{L} \Rightarrow \sin 13.5 = \frac{\Delta h}{14.78} \Rightarrow \Delta h = 0.233 \times 14.78 \Rightarrow \Delta h = 3.44_m$$

۲. ترازیابی با تخته و شاقول بنایی

برای کارهای کوچک ساختمانی بین دو نقطه که شیب یک نواختی داشته باشند و در فواصل کوتاه، می‌توانیم یک تخته دو متری انتخاب کرده و آن را به وسیله دستک‌های چپ و راست به هم کلاف کنیم و در وسط آن یک شاقول چنان آویزان کنیم که نوک شاقول در لبه تخته دو متری قرار بگیرد. سپس یک تخته را در یک جای کاملاً افقی قرار داده و محل قرار گرفتن شاقول را علامت می‌گذاریم. اکنون فرض کنید می‌خواهیم اختلاف ارتفاع دو نقطه A , B را پیدا کنیم، یک سر تخته را روی نقطه B قرار داده و سر دیگر تخته را آن قدر بالا می‌بریم تا شاقول در محل علامت قرار بگیرد، در این حالت تخته به صورت افقی قرار گرفته، و با اندازه گیری به وسیله متر اختلاف ارتفاع به دست می‌آید.



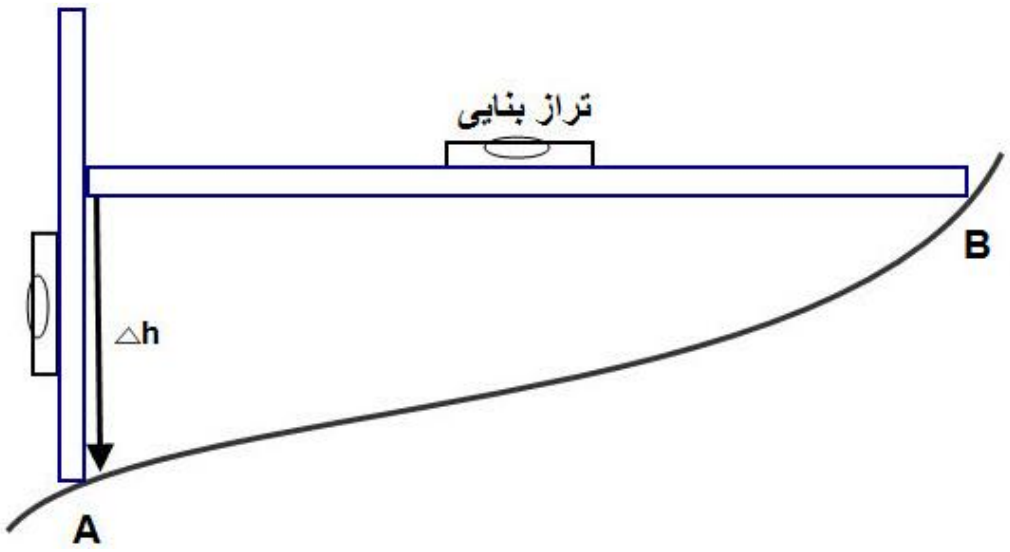
$$\Delta H_{AB} = \sum \Delta h \begin{cases} \Delta h_1 = h_1 - h_2 \\ \Delta h_2 = h_3 - h_4 \\ \Delta h_3 = h_5 - h_6 \\ \Delta h_4 = h_7 - h_8 \end{cases}$$

۳. ترازیابی با شمشه و تراز بنایی

این روش به شمشه تراز معروف است. و در نقشه برداری برای برداشت مقطع قائم (پروفیل) بدون دوربین ترازیاب از آن استفاده می‌شود. البته نقشه برداران از دو شاخص مدرج (میر) استفاده می‌کنند، که یکی را به صورت قائم و دیگری را به صورت افقی مورد استفاده قرار می‌دهند. در کارهای کوچک ساختمانی این روش با کمک دو عدد شمشه و دو عدد تراز بنایی انجام پذیر است.

روش کار

یک شمشه را در نقطه A به طور قائم (شاقولی مستقر می‌کنیم) سپس شمشه دیگر را به طور افقی چنان نگه می‌داریم که یک سر آن روی نقطه B و سر دیگر آن در کنار شمشه A قرار بگیرد و به وسیله یک تراز بنایی آن را کاملاً افقی می‌کنیم. اکنون از محل تماس شمشه افقی با شمشه قائم تا روی نقطه A را با متر اندازه گیری می‌کنیم. این فاصله برابر است با اختلاف ارتفاع بین دو نقطه A , B.



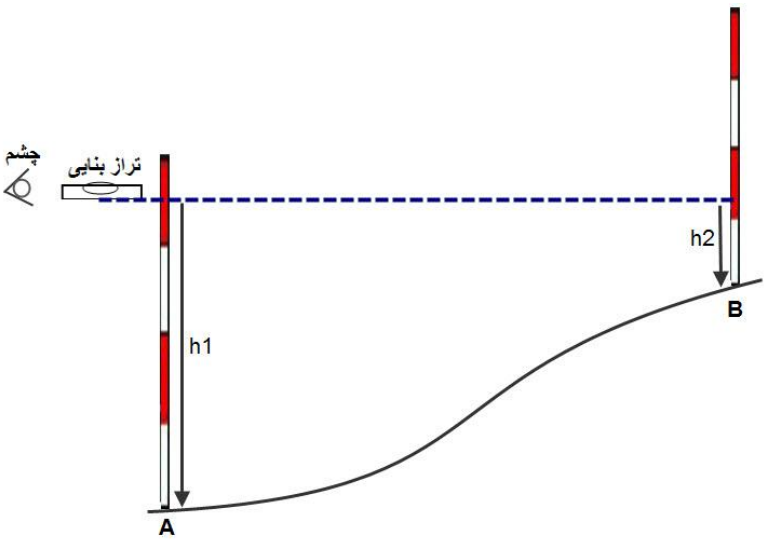
۴. تراز یابی با شمشه و شاقول بنایی

مانند روش قبل یک شمشه و تراز به کار برده و به جای شمشه قائم نیز می‌توانیم از یک شاقول بنایی استفاده کنیم.

۵. تراز یابی با ژالن و تراز دستی

این روش ترازیابی بیشتر در عملیات نقشه برداری مربوط به پروژه های ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. وسایل این ترازیابی دو عدد ژالن، یک عدد تراز دستی و یک عدد متر می‌باشد.

روش کار



ابتدا یک ژالن در نقطه A و ژالن دیگری در نقطه B مستقر می‌کنیم. سپس تراز دستی را در کنار یک ژالن، مثلاً ژالن A در حالی که آن را افقی نگه داشته و به ژالن دیگر (B) قراول روی کرده و محل تار افقی را که روی ژالن B منطبق شده به کمک افراد گروه علامت می‌زنیم. اکنون به وسیله یک متر فاصله تراز دستی تا نقطه A را اندازه گیری کرده و h_1 می‌نامیم، و سپس فاصله محل انطباق تار تا ژالن B را اندازه گرفته و h_2 می‌نامیم. برای اندازه گیری اختلاف ارتفاع دو نقطه A , B کافی است که این دو مقدار را از هم کم کنیم.

$$\Delta h_{AB} = h_1 - h_2$$

توضیح ۲

ترازیابی با شیلنگ تراز

در بسیاری از کارهای ساختمانی کوچک که نیاز به هم ارتفاع کردن یا اندازه گرفتن اختلاف ارتفاع داشته باشیم از یک شیلنگ پلاستیکی شفاف استفاده می‌کنیم. که به آن شیلنگ تراز می‌گویند.

روش کار

برای پیدا کردن اختلاف ارتفاع دو نقطه A , B ابتدا شیلنگ را پر از آب کرده، دقت کنید که حباب هوا در داخل شیلنگ نباشد. سپس دو سر شیلنگ تراز را روی نقاط A , B قرار دهید. و ارتفاع آب را اندازه گیری کنید و از هم تفریق کنید. بدین ترتیب اختلاف ارتفاع دو نقطه به دست می‌آید.

توضیح ۴

در این نوع ترازیابی از ترازیاب های الکترونیکی همراه با شاخص مخصوص استفاده می‌شود. این ترازیاب‌ها قادرند اشعه‌ای از خود صادر کنند و این اشعه پس از برخورد به شاخص و برگشت اختلاف ارتفاع را مشخص می‌نمایند. مزیت مهم این دستگاه‌ها آن است که خطای قرائت و ثبت اعداد در آن‌ها وجود ندارد. این دستگاه‌ها قادرند فاصله دو نقطه ایستگاه و محل استقرار شاخص را اندازه گیری نمایند. همچنین تعداد دفعات لازم اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع و فاصله را تکرار می‌کنند.

توضیح ۶

ترازیابی بارو متری *(Barometric Leveling)*

در این روش اختلاف ارتفاع نقاط بر اساس اختلاف فشار هوا در دو نقطه تعیین می‌گردد. فشار هوا در لایه‌های کم ارتفاع یکسان است و هر چه ارتفاع از سطح زمین بیشتر باشد فشار هوا کاهش می‌یابد. یعنی فشار هوا در اتمسفر با ارتفاع نسبت معکوس دارد. دقت این روش کم است و برای مناطق کوهستانی مناسب است. اگر دو نقطه را A , B و اختلاف ارتفاع آن‌ها را با $\Delta H_{(A,B)}$ نشان دهیم، داریم:

$$\Delta H_{(A,B)} = 18477\left(\log P_A - \log P_B\right)\left[1+0.0037\left(\frac{t_A + t_B}{2}\right)\right]$$

بر حسب متر

P_A: فشار هوا در نقطه A بر حسب میلی متر جیوه.

P_B: فشار هوا در نقطه B بر حسب میلی متر جیوه.

t_A: درجه حرارت هوا در نقطه A بر حسب سانتی‌گراد.

t_B: درجه حرارت هوا در نقطه B بر حسب سانتی‌گراد.

مثال: نقطه A به ارتفاع ۱۷۳۶.۵۰ متر معلوم است، به منظور تعیین ارتفاع نقطه M به کمک فشار سنج و میزان الحراره، فشار هوا و درجه حرارت در این دو نقطه به شرح زیر اندازه گیری شده است، ارتفاع نقطه M چقدر است؟

فشار هوا و درجه حرارت نقطه A = $660mmHg, 22^\circ C$

فشار هوا و درجه حرارت نقطه M = $710mmHg, 34^\circ C$

حل:

$$\Delta H_{(A,M)} = 18470\left(\log P_A - \log P_M\right)\left[1+0.0037\left(\frac{t_A + t_B}{2}\right)\right] \Rightarrow$$

$$18470\left(2.85126 - 2.81954\right)\left[1+0.0037\left(\frac{22^\circ c + 34^\circ c}{2}\right)\right] \Rightarrow$$

$$18470(0.03172)(1.1036) = 646.564 \text{ متر}$$

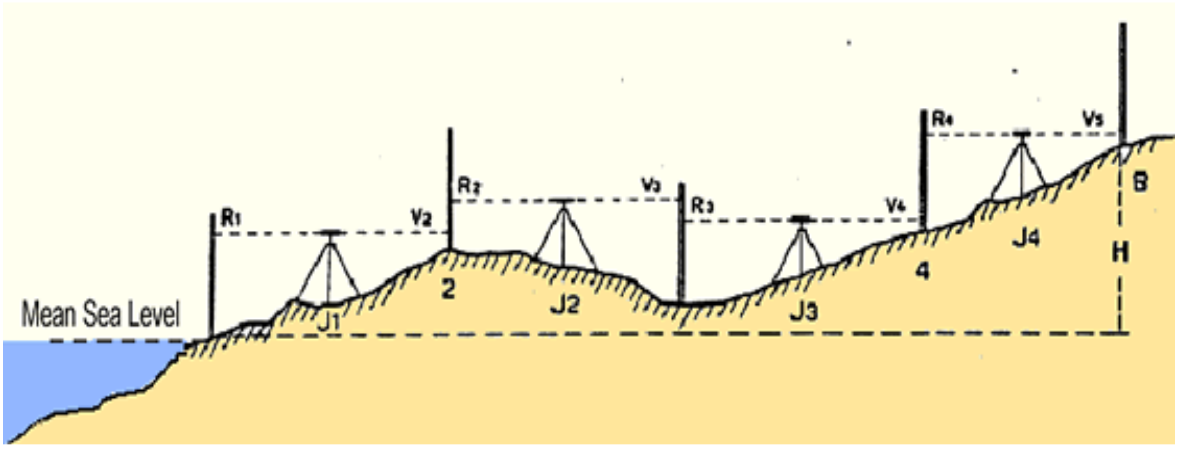
$$h_m = h_A - \Delta H_{(A,M)} = 1736.50 - 646.564 = 1089.936m$$

توضیح ۷

با استفاده از عکس‌های هوایی می‌توان اختلاف ارتفاع نقاط را به دست آورد این کار با اندازه‌گیری اختلاف پارالاکس نقاط امکان پذیر است.

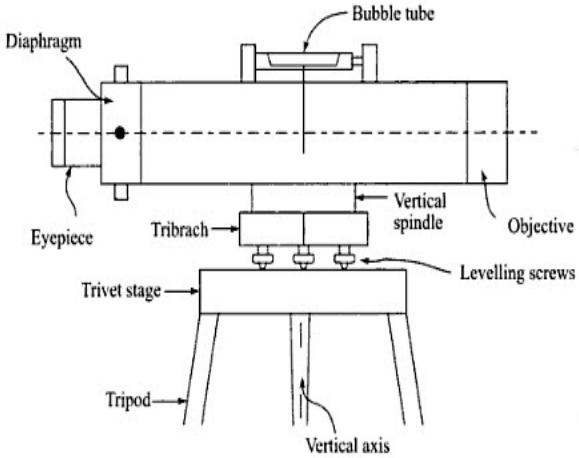
ترازیابی هندسی *(Geometric Leveling)*

دقیق‌ترین روش تعیین اختلاف ارتفاع ترازیابی هندسی است. در این روش از دستگاهی به نام ترازیاب استفاده می‌شود با این دستگاه می‌توان یک سطح افقی در فضا ایجاد کرد وبا اندازه گیری فاصله این سطح تا سطوح افقی گذرنده از دو نقطه مشخص روی زمین اختلاف ارتفاع آن دو نقطه تعیین می‌گردد. اندازه‌گیری فواصل سطوح فوق به کمک وسیله‌ای بنام شاخص انجام می‌گیرد. روش تعیین اختلاف ارتفاع به کمک دستگاه ترازیاب و شاخص را ترازیابی هندسی می‌گویند.



اجزای یک دستگاه ترازیاب

الف) دوربین‌های ترازیاب از **سه قسمت عمده تشکیل شده است:**



۱. *قسمت فوقانی (بالایی):* این قسمت شامل تلسکوپ و وسایل قراول روی است.

۲. *قسمت میانی:* این قسمت شامل تراز کروی، قسمتی از بدنه و در بعضی از انواع ترازیاب ها شامل صفحه مدرج (نقاله) برای اندازه گیری زاویه افقی است که به آن لمب افقی گویند.

۳. *قسمت تحتانی:* این قسمت شامل پیچ‌های تراز کننده و صفحه اتصال دستگاه به سه پایه می‌باشد.

ب) قسمت‌های مختلف ظاهری یک دستگاه ترازیاب:

۱. *جعبه ترازیاب:* دوربین ترازیاب دارای جعبه مخصوصی می‌باشد که آن را در مقابل ضربات حفظ می‌کند، و هنگام حمل ترازیاب باید ترازیاب را به دقت در داخل آن قرار داد.

۲. مگسک *قراول روی (Pepsight)*: برای آن که با دوربین به سمت یک نقطه قراول برویم. ابتدا به کمک مگسک به سمت نقطه قراول می‌رویم، در این حالت نقطه مورد نظر از داخل دوربین قابل رویت خواهد بود.

۳. پیچ *تنظیم تصویر (وضوح تصویر) (Focussing knob)*: پس از قراول روی به یک نقطه برای آن که تصویر آن را به طور واضح مشاهده کنید از این پیچ استفاده کنید. این به سرعت و خیلی خوب تصویر را واضح می‌کند.

۴. پیچ *حرکت کند سمتی (Horizontal fine motion Screw)*: این پیچ که در دو طرف دوربین قرار دارد برای حرکت دادن آهسته دوربین به کار می‌رود، تا بتوانیم دوربین را به دقت به نقطه قراول برویم.

۵. میکروسکوپ *قرائت (پیچ وضوح و ظهور قرائت)*: با چرخاندن این میکروسکوپ می‌توانید تصویر تارهای رتیکول را واضح و روشن کنید. چند نمونه تار رتیکول در شکل زیر نشان داده شده است.

۶. *منشور نشان دهنده تراز کروی (Mirror)* : این منشور به شما امکان می‌دهد که به راحتی تراز کروی را مشاهده نمایید.

۷. *پیچ‌های زیر دوربین (پیچ تراز)*: این پیچ‌ها که سه عدد می‌باشند در زیر دوربین تعبیه شده‌اند که به کمک آن‌ها می‌توانیم حباب تراز کروی را تنظیم نماییم.

۸. *لبه دندانه دار*: این لبه دندانه‌دار جهت تنظیم دایره افقی (نقاله افقی) به کار می‌رود.

۹. *عدسی شیء ای*: در جلو دوربین قرار گرفته و به وسیله آن شیء دیده می‌شود.

۱۰. *عدسی چشمی (Telesocope)*: عدسی‌ای است که در جلو چشم انسان قرار می‌گیرد.

ج) محورهای یک دستگاه ترازیاب:

۱. *محور نوری دوربین*: محور افقی است که از محل تقاطع دو تار بلند رتیکول می‌گذرد. این محور همچنین محور نشانه روی، قراول روی، اپتیکی، کولیماسیون گفته می‌شود.

۲. *محور اصلی دستگاه*: محور قائمی است که از مرکز اپتیکی دوربین و نقطه وسط صفحه مدرج افقی می‌گذرد.

۳. *محور تراز*: محور افقی مماس بر سطح کروی تراز را محور تراز گویند.

طبقه بندی دوربین‌های ترازیاب

دوربین‌های ترازیاب را از نظر کاربرد به سه دسته تقسیم می‌کنند که هر کدام توضیح داده خواهند شد.

الف) ترازیاب های ساختمانی

این نوع ترازیاب‌ها نسبت به ترازیاب‌های مهندسی از دقت کمتری برخوردارند و حساسیت تراز و درشت نمایی آن‌ها کم می‌باشد و در عوض از نظر دستگاهی ساده و محکم بوده و طرز کار با آن آسان و سریع می‌باشد و بیشتر در کارهای ساختمانی و زمین‌های نسبتاً مسطح جهت پیاده کردن طرح‌های ساختمانی استفاده می‌شود. در تهیه نیمرخ‌ها و تعیین حجم عملیات خاکی و مواردی از این قبیل به کار می‌رود و به همین دلیل اغلب دارای یک دایره مدرج افقی می‌باشد.

مشخصات ترازیاب های ساختمانی عبارتند از:

۱. دقت ۵ تا ۱۵m بر کیلومتر

۲. درشت نمایی ۱۰ تا ۲۵ برابر

۳. حساسیت تراز ۶۰ ثانیه.

ب) ترازیاب های مهندسی

این ترازیاب‌ها از ترازیاب‌های ساختمانی دقیق‌تر و حساس‌تر می‌باشند و علاوه بر کارهای ساختمانی، در نقشه برداری‌های دقیق‌تر نیز به کار می‌روند. و در بعضی از انواع ترازیاب‌های مهندسی با اضافه کردن یک میکرومتر بر روی عدسی شیء ای می‌توان به عنوان ترازیاب‌های دقیق از آن استفاده نمود. از ترازیاب‌های مهندسی در پروژه‌های راه، راه آهن، ایجاد کارخانه، ساختمان، پل، تونل و ... استفاده می‌شود.

مشخصات ترازیاب های مهندسی عبارتند از:

۱. دقت ۲ تا ۴ میلی‌متر بر کیلومتر

۲. درشت نمایی حدود ۲۰ الی ۳۵ برابر

۳. حساسیت تراز حدود ۳۰ ثانیه

ج) ترازیاب های دقیق

این ترازیاب‌ها دقیق‌ترین نوع ترازیاب می‌باشند و برای کارهای معمولی مورد استفاده قرار نمی‌گیرد بلکه از آن‌ها برای کارهای دقیق مثل تشکیل شبکه نقاط کنترل ارتفاعی در ژئودزی، ساخت کارخانه‌هایی که دقت ارتفاعی زیاد در آن‌ها مورد توجه است (نصب دستگاه‌ها)،

کنترل نشست زمین و تغییر شکل آن، بررسی نشست سد، پل و ... استفاده می‌شود. به همین دلیل درشت نمایی دوربین در این تراز یاب-ها بیشتر از سایر تراز یاب‌ها می‌باشد و همچنین حساسیت تراز و دقت این دوربین‌ها، بسیار زیاد می‌باشد.

مشخصات ترازباب های دقیق

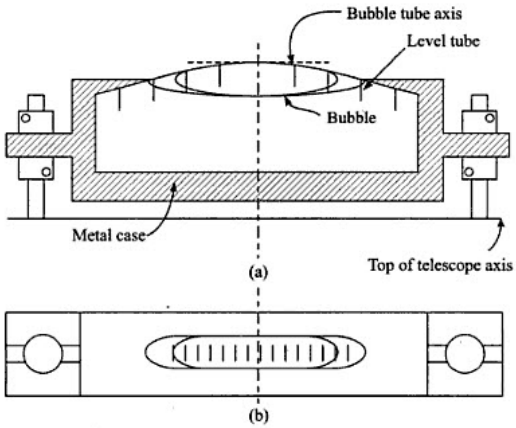
۱. دقت حدود ۰/۵ میلی‌متر در کیلومتر می‌باشد
۲. درشت نمایی حدود ۵۰ برابر
۳. حساسیت تراز حدود ۱۰ ثانیه

ترازها در دستگاه ترازیاب

برای کنترل افقی یا قائم بودن محورها در دستگاه‌های نقشه برداری از تراز استفاده می‌شود. تراز یک محفظه شیشه‌ای کروی است که داخل آن مایعی با غلظت کم نظیر الکل یا اتر یا اسید سولفوریک پر شده و سپس یک حباب هوا وارد این محفظه گردیده است.

ترازها بر حسب شکل ظاهری به سه نوع کلی تقسیم می‌شوند:

۱. تراز استوانه ای یا لوله ای

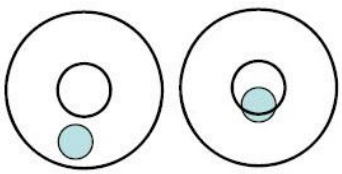


محفظه شیشه‌ای این نوع تراز و حباب آن استوانه‌ای شکل است و این استوانه بخشی از یک تیوپ شیشه‌ای گرد به شعاع حدود ۲۰۶ متر می‌باشد که در داخل یک قالب فولادی جاسازی شده است. طول حباب هوا در $20^{\circ}c$ معمولاً $1/3$ طول کل محفظه شیشه‌ای است و بر اثر تغییرات درجه حرارت محیط کم و زیاد می‌شود. بالاترین نقطه قوس را نقطه مرکزی تراز می‌گویند. (بر روی شکل این نقطه با N نشان داده شده است). در دو طرف این نقطه تقسیماتی حک گردیده و فاصله هر دو خط متوالی این تقسیمات 2_{mm} است. (این فاصله به پالس معروف است) که به کمک آن‌ها مقدار انحراف تراز تشخیص داده می‌شود.

۲. تراز لوبیایی

در بعضی دستگاه‌ها یک سیستم منشوری بر روی تراز استوانه‌ای نصب می‌نمایند به طوری که تصویر حباب داخل تراز در جهات طولی به دو قسمت شده و تصویر آن به صورت دو نیمه لوبیایی شکل در کنار یکدیگر دیده می‌شود.

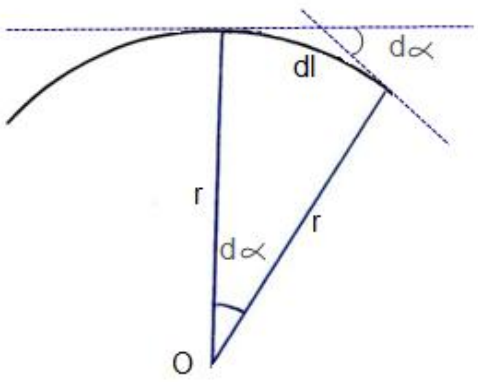
۳. تراز کروی



در این نوع تراز که محفظه شیشه ای آن قسمتی از یک کره به شعاع حدود $0.8(80cm)$ متر است. حباب غیر کروی شکل است و در وسط سطح تراز و در اطراف نقطه مرکزی دوایر متحدالمرکزی برای تنظیم حباب تراز و تشخیص میزان انحراف آن حک گردیده است.

حساسیت تراز

مقدار قوسی که به ازای آن زاویه مرکزی قوس یک ثانیه تغییر نماید را حساسیت تراز گویند. ($d\alpha$ بر حسب رادیان)



$$dl = r.d\alpha$$

$$d\alpha = \frac{d1}{r}$$

چون مقدار $d1$ معمولاً دو میلی متر است، می‌توان نوشت: $d\alpha = \frac{2}{r} \times 206265$ و در کل مقدار حساسیت تراز از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$d\alpha'' = \frac{d1}{r} \times 206265 = \frac{d1}{r \sin i''}$$

* اگر $d\alpha$ را بر حسب ثانیه شصت قسمتی در نظر بگیریم جهت تبدیل آن به رادیان کافی است آن را بر عدد ۲۰۶۲۶۵ تقسیم و یا در $\sin 1''$ ضرب نماییم.

به عنوان مثال مقدار حساسیت تراز برای چند شعاع انحناء تراز در جدول زیر محاسبه گردیده است. (با فرض $d1 = 2_{mm}$)

بر حسب متر r	$d\alpha''$
۴۱۲	۱
۲۰۶	۲
۴۱.۲	۱۰
۲۴.۴	۲۰
۱۳.۶	۳۰

نتیجه گرفته می‌شود که هر چه شعاع انحناء سطح تراز بیشتر شود، تراز حساس‌تر می‌شود.

نکته: در مقایسه ترازهای استوانه‌ای با ترازهای کروی از آن جا که شعاع ترازهای استوانه‌ای (حدود ۲۰۶ متر) بیشتر از شعاع ترازهای کروی (حدود ۰/۸ متر) است، نتیجه می‌گیریم که ترازهای استوانه‌ای به مراتب حساس‌تر از ترازهای کروی هستند.

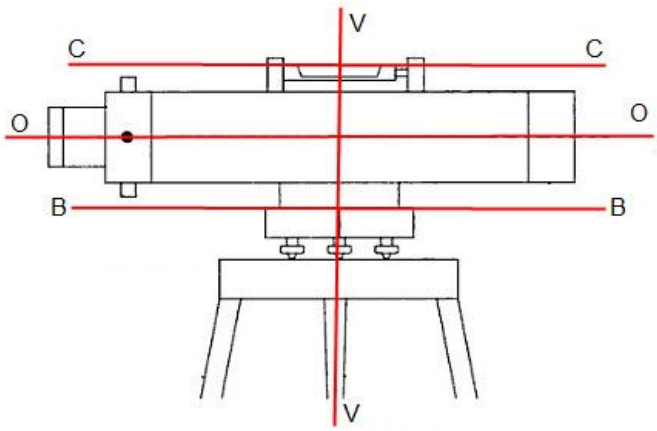
۴. تراز اتوماتیک یا کمپانساتور *(compensatar)*

در ترازیاب‌های جدید به جای آن که دوربین از تراز به منظور افقی نمودن محور نشانه‌روی استفاده شود وسیله‌ای به نام «کمپانساتور» در داخل لوله دوربین کار گذارده شده و پس از تنظیم تراز کروی (یا استوانه‌ای) به کمک این وسیله بدون آن که عامل حرکتی انجام دهد محور نشانه روی افقی می‌گردد. به این ترازیاب‌ها «تراز یاب‌های اتوماتیک» می‌گویند.

در کمپانساتورهای اپتیکی به منظور کنترل درست کار کردن کمپانساتورها دکمه‌ای در کنار آن کار گذارده شده و با فشار این دکمه موقع قرائت شاخص با تغییر وضعیت در منشور داخل کمپانساتور برای لحظاتی محور نشانه‌روی از حالت افقی خارج و دوباره به وضع سابق بر می‌گردد، بنابراین چنانچه قرائت محور شاخص با قرائت قبل از فشار دادن دکمه یکسان باشد کمپانساتور سالم است و درست عمل می‌کند.
در کمپانساتورهایی که دکمه کنترل وجود ندارد، قبل از قرائت چند ضربه ملایم به تلسکوپ وارد می‌نماییم تا مطمئن شویم منشور معلق در حالت آزاد قرار دارد و درست کار می‌کند.

خصوصیات یک دستگاه ترازیاب سالم

وقتی می‌خواهیم از یک دستگاه تراز یاب استفاده کنیم باید مطمئن شویم که دستگاه سالم است. علاوه بر عیوب مکانیکی که هر دستگاه ترازیاب پیدا می‌نماید. از نظر اپتیکی نیز ممکن است در شرایط نا مناسبی قرار گیرد و اندازه گیری‌هایی که با آن می‌شود قابل اعتماد نباشد.



(VV) محور قائم

(CC) محور تراز استوانه‌ای

(BB) محور تراز کروی

(OO) محور اپتیکی

شرط اصلی سالم بودن یک دستگاه تراز یاب آن است که بعد از تراز شدن دستگاه :

۱. محور OO موازی محور CC قرار گیرد.
۲. محور CC عمود بر VV باشد، یعنی اگر دو محور CC , OO افقی و موازی هم باشند بنابراین CC عمود بر VV خواهد بود.
۳. محور VV نیز عمود بر BB باشد یعنی تراز کروی تنظیم باشد.
۴. تارهای رتیکول نباید چرخش داشته باشند.
۵. صفحات قائمی که از محورهای OO و CC عبور می‌کنند باید کاملاً موازی باشند.

سه پایه دوربین

برای آنکه بتوانیم دوربین را تراز نموده و مورد استفاده قرار دهیم و همچنین برای استقرار دوربین تراز یاب بر روی یک نقطه معین معمولاً آن را بر روی یک سه پایه قرار می‌دهیم. روی هر پایه پیچی تعبیه شده که طول پایه با آن کوتاه و بلند می‌شود. در قسمت فوقانی یک صفحه مسطح وجود دارد که پیچی در آن تعبیه شده تا به وسیله آن دوربین ترازیاب را به سه پایه محکم ببندیم، به این پیچ می‌توانیم یک شاقول آویزان کرد تا محل استقرار سه پایه را دقیقاً مشخص نماییم یک پوشش پلاستیکی از این صفحه محافظت می‌کند تا هنگام جا به جایی سه پایه صفحه و پیچ متصل به آن آسیب نبیند. روی هر پایه در قسمت انتهایی یک برجستگی (رکاب فلزی) وجود دارد که هنگام استقرار دوربین باید با پا روی آن فشار وارد کنیم تا نوک تیز پایه کاملاً در زمین فرو رفته و از جا به جایی سه پایه جلوگیری شود. معمولاً جنس سه پایه‌ها را از مواد سبک وزن درست می‌کنند. مانند چوب، آلومینیم و ...

شاخص (میر) (Staff)

برای قرائت اختلاف ارتفاع نقاط، شاخص مدرجی ساخته شده است که به آن شاخص *(Staff)* می‌گویند. معمولاً طول آن چهار متر است و از چهار قطعه یک متری که به همدیگر لولا شده‌اند ساخته شده است. روی میر با دو رنگ متضاد (سفید و قرمز و یا سفید و مشکی) و معمولاً سانتی مترها را در آن درجه بندی کرده‌اند و dm (دسی مترها) را با عدد روی آن نوشته‌اند میرها را به صورت کشویی نیز می‌سازند که در داخل هم فرو رفته و جمع می‌شوند. از این نوع شاخص‌ها در محل‌های کم ارتفاع مانند تونل‌ها نیز می‌توان استفاده نمود.

شاخص معکوس

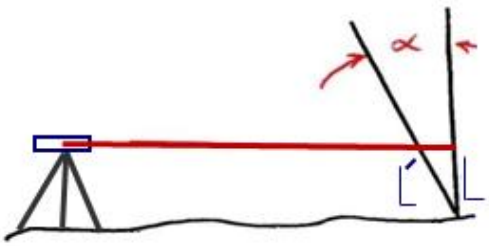
دوربین‌های ساده قدیمی به جهت سیستم ساده عدسی‌هایی که در آن‌ها به کار رفته بود تصویر را به صورت معکوس نشان می‌دادند، لذا متناسب با این دوربین‌ها شاخص‌هایی ساخته شده که اعداد مندرج بر روی آن به صورت معکوس است تا عامل بتواند آن را در جهت درست مشاهده نموده و به راحتی قرائت نماید. شاخص‌های مخصوص ترازیابی دقیق از آلیاژ انوار (فولاد + نیکل) ساخته شده که در مقابل تغییرات دما بسیار مقاوم است.

طرز نگه داشتن شاخص

شاخص در ترازیابی به صورت قائم روی نقطه مورد نظر قرار می‌گیرد. برای قائم نگه داشتن شاخص از یک تراز کروی استفاده می‌شود که در بعضی از انواع شاخص‌ها در پشت شاخص نصب می‌شود.

خطای انحراف شاخص

باید توجه داشت که یکی از عوامل وجود خطا در عملیات ترازیابی نوع میر و یا شکل نگه داشتن آن از لحاظ قائم بودن است. مثلاً اگر شاخصی در اثر فشار یا ضربه از حالت قائم خارج شود و به صورت منحنی درآید و به اصطلاح تاب بردارد، خواندن آن توأم با خطا خواهد بود. یا چنانچه شاخص به صورت قائم نگه داشته نشود، خطای ناشی از قائم نبودن در قرائت صورت گرفته تأثیر می‌گذارد. به طوری که اگر زاویه انحراف شاخص نسبت به امتداد قائم α باشد، به جای L عدد L' قرائت می‌شود، که اختلاف آن با مقدار واقعی (یعنی L) به این طریق به دست می‌آید:



مقدار واقعی $L = L'.\cos\alpha$

اختلاف فوق را با C_v نشان می‌دهیم:

$$C_V = L' - L = L' - L'\cos\alpha = L'(1-\cos\alpha)$$

مثال: اگر شاخصی نسبت به امتداد قائم به اندازه سه درجه منحرف شده و قرائت انجام شده برای تار وسط روی شاخص ۳۶۸۰ میلی متر باشد، قرائت صحیح شاخص به این طریق به دست می‌آید:

$$C_v = L'(1-\cos\alpha) = 3680(1-\cos 3^\circ) = 3675_{mm}$$

مستقر کردن تراز یاب (ایستگاه گذاری)

منظور از مستقر کردن تراز یاب بر روی یک نقطه آن‌است‌که دستگاه را طوری قرار دهیم که، اولاً محور قائم دستگاه از آن نقطه عبور کند (این کار به کمک شاقول که در زیر دستگاه اضافه می‌شود انجام می‌پذیرد) ثانیاً دستگاه تراز شود.

طرز استقرار ترازیاب بر روی یک نقطه مشخص

برای استقرار ترازیاب بر روی یک نقطه مشخص، ابتدا سه پایه را که در زیر آن شاقول اضافه شده را طوری قرار می‌دهیم که نقطه وسط سه پایه قرار بگیرد، سپس با تغییر مکان دو (یا سه پایه) نوک شاقول را بر روی نقطه می‌آوریم در حین این کار سعی می‌کنیم صفحه بالای سه پایه را تقریباً افقی کنیم. پس از محکم کردن نوک پایه‌ها در زمین دستگاه را به نحوی که گفته می‌شود، تراز می‌نماییم.

تراز کردن ترازیاب

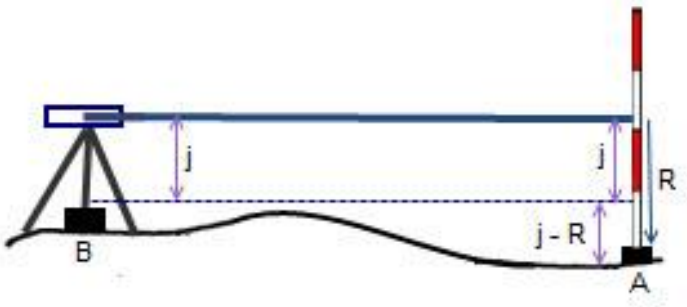
الف) برای دستگاه‌هایی که تراز کروی دارند پس از قرار دادن تراز کروی بین دو تا از پیچ‌های تراز کننده این دو پیچ را در جهت مخالف یکدیگر می‌چرخانیم تا حباب تراز در امتداد پیچ سوم تراز کننده قرار بگیرد. سپس با چرخاندن پیچ سوم حباب را در وسط دایره تنظیم تراز می‌آوریم.

ب) در دستگاه‌هایی که تراز استوانه دارند برای تراز کردن ابتدا محور تراز دستگاه را موازی امتداد دو تا از پیچ‌های تراز کننده قرار می‌دهیم و با چرخاندن این دو پیچ در جهت مخالف یکدیگر حباب تراز را وسط می‌آوریم (بین دو نشانه) سپس دوربین را می‌چرخانیم تا تراز آن در امتداد پیچ سوم قرار گیرد و این بار فقط با چرخاندن همین پیچ در جهت مناسب، حباب را دوباره به وسط (بین دو نشانه) می‌آوریم باید دستگاه تراز باشد. در صورت اشکال عملیات گفته شده تکرار می‌شود (البته چنانچه قبلاً دستگاه را تقریباً به حالت افقی قرار داده باشیم عمل تراز کردن سریع‌تر انجام می‌شود).

طرز کار تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه به روش هندسی

بر حسب آن که محل ایستگاه کجا در نظر گرفته شود، به دو طریق عمل می‌گردد:

الف) ایستگاه یکی از نقاط است:

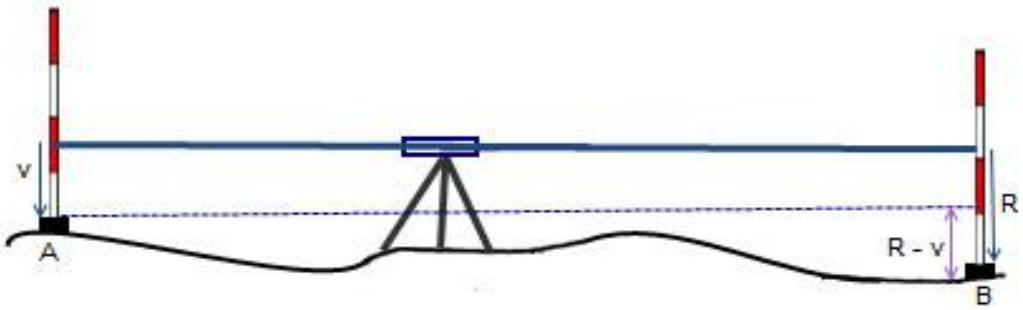


فرض کنید می‌خواهیم اختلاف ارتفاع دو نقطه A , B را پیدا کنیم. دستگاه را بر روی یکی از نقاط (مثلاً B) مستقر می‌کنیم و ارتفاع دستگاه (J) (یعنی فاصله مرکز دوربین تا نقطه روی زمین) را اندازه می‌گیریم و شاخص را بر روی نقطه دوم (A) به طور قائم نگه می‌داریم و عدد R را روی آن می‌خوانیم. در این صورت اختلاف ارتفاع برابر $\Delta h = J - R$ خواهد بود.

از روی علامت Δh می‌توان تشخیص داد که کدام یک از دو نقطه بالاتر است. چنان چه ارتفاع یکی از دو نقطه A , B معلوم باشد. چون اختلاف ارتفاع دو نقطه به دست می‌آید می‌توان ارتفاع نقطه دیگر را به دست آورد.

ب) ایستگاه روی هیچ کدام از نقاط نیست:

برای پیدا کردن اختلاف ارتفاع دو نقطه A , B در نقطه‌ای دلخواه که از آن نشانه روی به شاخص در دو نقطه A , B امکان پذیر باشد. تراز یاب را مستقر می‌نماییم. اگر بعد از نشانه روی به شاخص در دو نقطه A , B اعداد R , V را خوانده باشیم: $\Delta H = R - V$ اولین قرائت را قرائت عقب *Back sight (B.S)* و دومین قرائت را قرائت جلو *Front Sight (F.S)* می‌نامیم.



مثال: برای پیدا کردن اختلاف ارتفاع دو نقطه A , B ابتدا روی نقطه B و بعد روی نقطه A شاخص را قرار داده‌ایم و به ترتیب اعداد ۳۲۱۳ و ۱۰۵۵ را خوانده‌ایم. اختلاف ارتفاع مزبور چقدر است؟

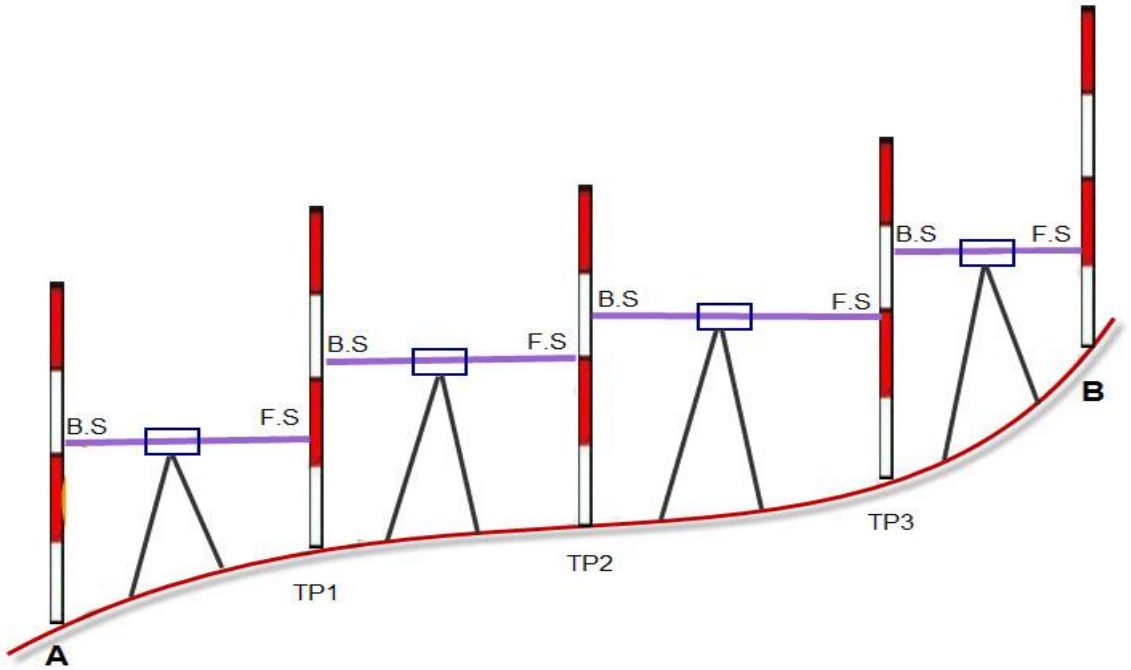
$$\Delta H = B.S - F.S = 3213 - 1055 = 2158_{mm}$$

روش‌های مختلف ترازیابی هندسی

بر حسب موقعیت نقاط بر روی زمین، عمل ترازیابی به شیوه‌های مختلفی به شرح زیر انجام می‌شود.

الف) ترازیابی تدریجی

اگر دو نقطه‌ای که می‌خواهیم اختلاف ارتفاع آن‌ها را پیدا کنیم از هم دور باشند و یا شیب زمین زیاد باشد به طریقی که با یک‌بار ایستگاه گذاری پیدا کردن اختلاف ارتفاع مقدور نباشد به طریق ترازیابی تدریجی به شرح ذیل عمل می‌نماییم:



$$\Delta H_1 = \Delta h\left(A, TP_1\right) = B.S_1 - F.S_1$$

$$\Delta H_2 = \Delta h\left(TP_1, TP_2\right) = B.S_2 - F.S_2$$

$$\Delta H_3 = \Delta h\left(TP_2, TP_3\right) = B.S_3 - F.S_3$$

$$\Delta H_4 = \Delta h\left(TP_3, B\right) = B.S_4 - F.S_4$$

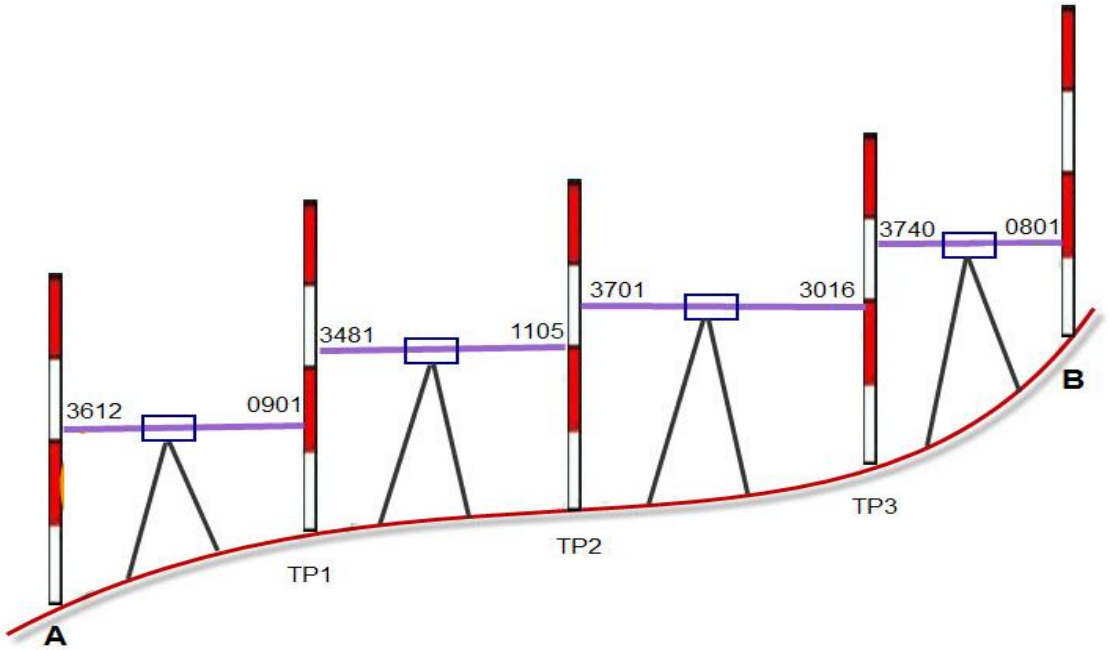
$$\Delta H_{(A-B)} = \Delta h_{(A,TP_1)} + \Delta h_{(TP_1,TP_2)} + \Delta h\left(TP_2, TP_3\right) + \Delta h\left(TP_3, B\right) = \sum \Delta Hi$$

$$\Delta H_{(A,B)} = \left(B.S_1 - F.S_1\right) + \left(B.S_2 - F.S_2\right) + \left(B.S_3 - F.S_3\right) + \left(B.S_4 - F.S_4\right)$$

$$\Delta H_{(A,B)} = \left(B.S_1 + B.S_2 + B.S_3 + B.S_4\right) - \left(F.S_1 + F.S_2 + F.S_3 + F.S_4\right) \Rightarrow$$

$$\Delta H_{(A,B)} = \sum B.S - \sum F.S$$

مثال: برای پیدا کردن اختلاف ارتفاع دو نقطه A , B از نقطـه A شـروع بـه ترازیـابی کـرده‌ایـم و تـا رسـیدن بـه نقطـه B از نقطـه هـای (TP_3, TP_2, TP_1) کمک گرفته‌ایم. اختلاف ارتفاع دو نقطه مزبور چقدر است؟



$$\Delta H_{(A,B)} = \sum B.S - \sum F.S$$

$$\sum B.S = 14534$$

$$\sum F.S = 5823$$

$$\Delta H_{(A,B)} = 14534 - 5823 = 8711$$

B بالای A اختلاف = ۸۷۱۱ میلی متر

نقاط	$B.S$	$F.S$
A	۳۶۱۲	
TP_1	۳۴۸۱	۰۹۰۱
TP_2	۳۷۰۱	۱۱۰۵
TP_3	۳۷۴۰	۳۰۱۶
B		۰۸۰۱
$\sum$	۱۴۵۳۴	۲۸۲۳

* چنان چه ارتفاع نقطه A در دست باشد و آن را با اختلاف ارتفاع به دست آمده جمع جبری کنیم ارتفاع نقطه B به دست می‌آید.

مثال: در مثال قبلی ارتفاعات نقاط ۱ و ۲ و ۳ و B چقدر است؟ (در صورتی که ارتفاع نقطه A صد متر فرض شود).

نقاط	$B.S$	$F.S$	ΔH		H_{mm}
			−	+	
A	۳۶۱۲				۱۰۰۰۰۰
TP_1	۳۴۸۱	۰۹۰۱		۲۷۱۱	۱۰۲۷۱۱
TP_2	۳۷۰۱	۱۱۰۵		۲۳۷۶	۱۰۵۰۸۷
TP_3	۳۷۴۰	۳۰۱۶		۰۶۸۵	۱۰۵۷۷۲
B		۰۸۰۱		۲۹۳۹	۱۰۸۷۱۱

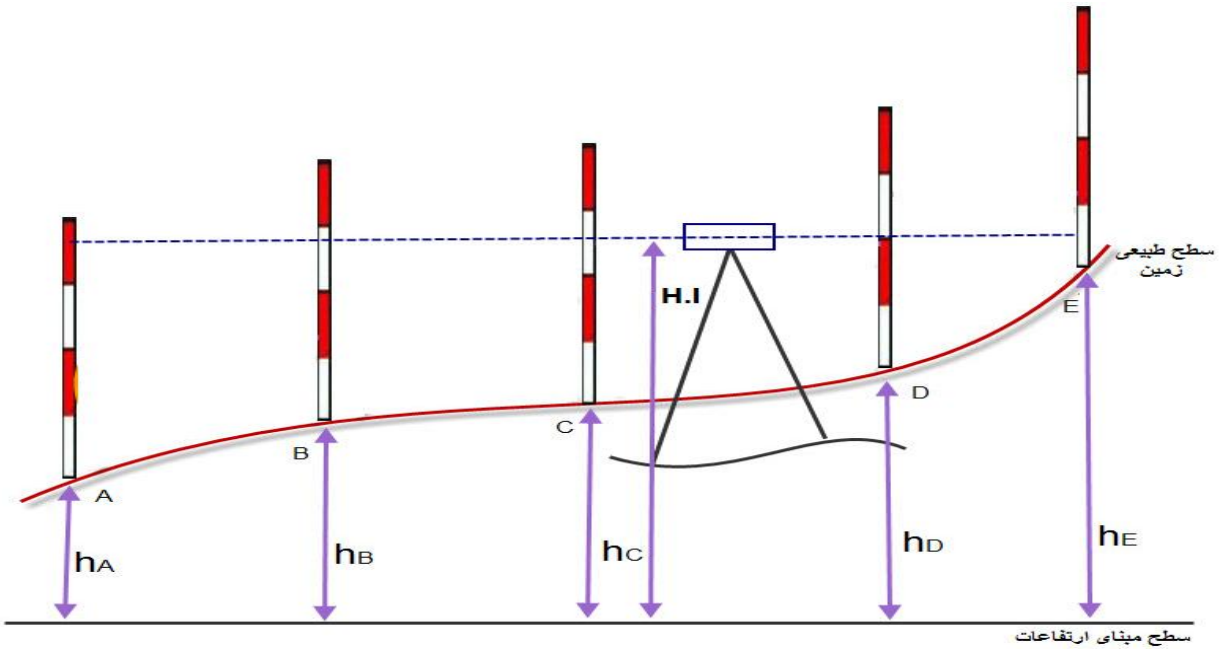
اگر به ستون اختلاف ارتفاع (ΔH) نگاه کنید، همه اختلاف ارتفاع‌ها مثبت هستند. بدان معنی که زمین همه جا در حالت فراز (سر بالایی) است. اگر اختلاف ارتفاع دو نقطه منفی می‌شد بین آن دو نقطه زمین حالت نشیب (سرازیری) داشت. در این جدول بین هر دو نقطه حالت فراز و نشیب زمین مشخص شد که در اصطلاح روش «نشیب و فراز» *(Fall and rise)* نامیده می‌شود.

در روشی دیگر بدون محاسبه اختلاف ارتفاعات و با محاسبه ارتفاع خط دید تراز یاب ارتفاعات نقاط به دست می‌آید که در اصطلاح روش ارتفاع خط دید ترازیاب *(Hight of Instrument)* نامیده می‌شود.

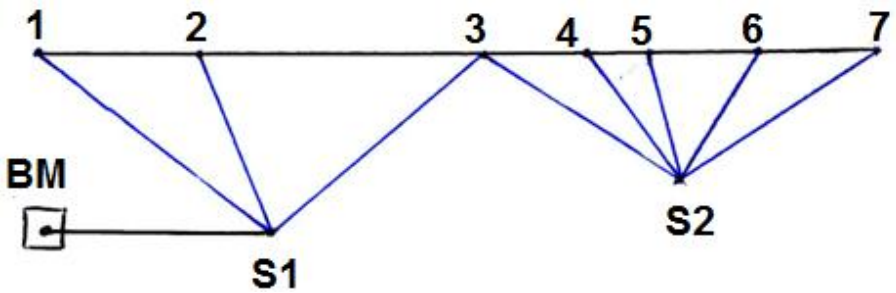
Station	Point	B.S	HI	F.S	H
S1	a	3612	103612		100000
	1	3418		0901	102711
S2			106129		
	2	3701		1105	105024
S3	3	3740	108725	3016	105709
S4	b		109499	0801	108648

ب) ترازیابی شعاعی

این نوع تراز یابی که به آن ترازیابی نقاط پراکنده نیز گفته می‌شود زمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد که بتوان با قرار دادن دستگاه ترازیاب در محل مناسب، بتوان بیش از دو قرائت انجام داد. اولین قرائت را از هر ایستگاه قرائت عقب و آخرین قرائت را قرائت جلو و بقیه را به عنوان قرائت وسط *(Intermediate sight)* در جدول می‌نویسند.



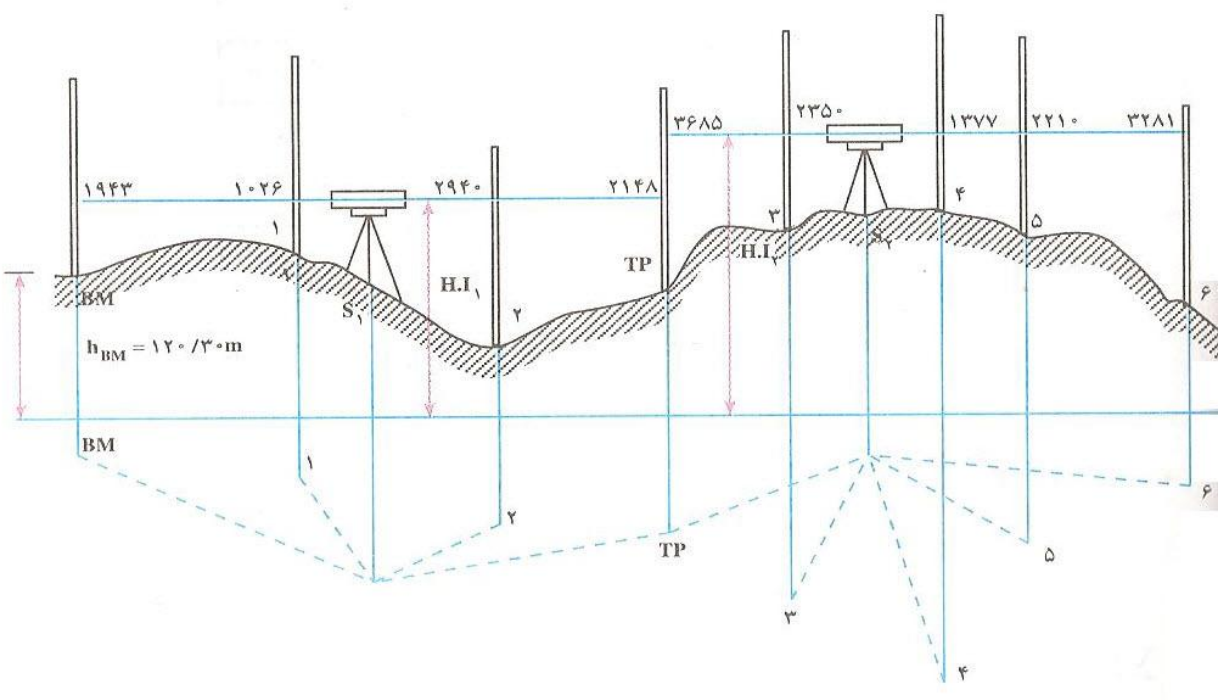
مثال: اگر در یک عملیات ترازیابی مطابق شکل برای پیدا کردن ارتفاعات نقاط ۱ و ۲ و ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷ از ایستگاه S_1 قرائت شاخص در نقطه *(BM)* با ارتفاع صد متر برابر 1852_{mm} و قرائت‌های شاخص در نقاط ۱ و ۲ و ۳ به ترتیب ۲۰۲۷ و ۲۸۹۶ و ۰۰۳۵ میلی متر و از ایستگاه S_2 قرائت‌های شاخص در نقاط ۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷ به ترتیب ۱۲۵۵ و ۳۰۱۸ و ۲۹۱۵ و ۱۰۴۵ و ۱۵۱۵ شده باشد، ارتفاع هر یک از نقاط ۱ تا ۷ چقدر است؟



P	*B.S*	*M.S*	*F.S*	ΔH		H_{mm}
				−	+	
B.M	۱۸۵۲					۱۰۰۰۰۰*mm*
۱		۲۰۲۷		۰۱۷۵		۹۹۸۲۵
۲		۲۸۹۶		۱۰۴۴		۹۸۹۵۶
۳	۱۲۵۵		۰۰۳۵		۱۸۱۷	۱۰۱۸۱۷
۴		۳۰۱۸		۱۷۶۳		۱۰۰۰۵۴
۵		۲۹۱۵		۱۶۶۰		۱۰۰۱۵۷
۶		۱۰۴۵			۰۲۱۰	۱۰۲۰۲۷
۷			۱۵۱۵	۰۲۶۰		۱۰۱۵۵۷

نکته: در روش شعاعی محاسبه ارتفاع نقاط به کمک روش ارتفاع دستگاه ساده تر و سریع‌تر از روش فراز و نشیب است.

مثال: مطابق شکل اگر ارتفاع نقطه BM برابر $102.30m$ و قرائت‌هایی مطابق شکل از نقاط ۱ تا ۶ انجام شده باشد، ارتفاع کلیه نقاط را محاسبه و جدول ترازیابی را تنظیم نمایید.



P	$B.S$	$I.S$	$F.S$	$H.I_m$	H_m
BM	۱۹۴۳			۱۰۴.۲۴۳	۱۰۲.۳۰۰
۱		۱۰۲۶		۱۰۴.۲۴۳	۱۰۳.۲۱۷
۲		۲۹۴۰		۱۰۴.۲۴۳	۱۰۱.۳۰۳
TP	۳۶۸۵		۲۱۴۸	۱۰۵.۷۸۰	۱۰۲.۰۹۵
۳		۲۳۵۰		۱۰۵.۷۸۰	۱۰۳.۴۳۰
۴		۱۳۷۷		۱۰۵.۷۸۰	۱۰۴.۴۰۳
۵		۲۲۱۰		۱۰۵.۷۸۰	۱۰۳.۵۷۰
۶			۳۲۸۱	۱۰۵.۷۸۰	۱۰۲.۴۹۹

ترازیابی دقیق *(Precise Leveling)*

طرز عمل در ترازیابی دقیق شبیه ترازیابی معمولی است با تفاوت‌هایی که در زیر گفته می‌شود.

۱. دستگاه مورد استفاده
۲. شاخص مورد استفاده

شاخص‌های معمولی در اثر شرایط مختلف جوی تغییرات نامنظمی می‌نماید، همچنین در شاخص‌های معمولی عواملی مانند خمیدگی، تقسیم بندی و شماره گذاری ناخوانا، محکم نبودن فلز حفاظت دو سر شاخص باعث ایجاد خطا در هنگام اندازه‌گیری می‌شود.

شاخص‌های انوار به صورت یک پارچه و به طول‌های مختلف و بیشتر به طول 3_m ساخته شده‌اند و از این نظر که در هنگام عملیات ترازیابی شاخص باید به طور ثابت و کاملاً قائم قرار گیرد، ترازی که روی بدنه شاخص تعبیه گردیده که از آن برای تراز کردن شاخص استفاده می‌گردد. تنظیم نمودن تراز در هنگام اتصال پایه‌ها به شاخص به وسیله حرکت پیچ‌هایی که روی پایه‌ها قرار گرفته است، انجام می‌شود.

۳. چتر مخصوص
۴. سکل

خطاها در ترازیابی هندسی

۱. خطاهای دستگاهی

مهم‌ترین خطاها در ترازیابی خطای کولیماسیون می‌باشد. همچنین:

a) تنظیم نبودن ترازهای کروی و استوانه‌ای
b) خطای پارالاکس دستگاه
c) انحنا پیدا نمودن شاخص (تاب برداشتن)
d) خطای ناشی از تقسیمات یا درجه‌بندی شاخص
e) خطای ناشی از سالم نبودن سه پایه دستگاه
f) خطای صفر یا مبنای شاخص
g) خطای کولیماسیون

خطای کولیماسیون

در صورتی که محور نشانه روی (که به آن محور کولیماسیون نیز می‌گویند) افقی نباشد، در این صورت می‌گویند دستگاه دارای خطای کولیماسیون است. در این وضعیت محور فوق نسبت به امتداد افق دوربین، انحرافی به اندازه زاویه α دارد بنابراین باید مقدار خطا را به‌دست آورده و اختلاف ارتفاع تعیین شده را تصحیح نماییم و یا این که محور کولیماسیون را تنظیم نماییم تا اختلاف ارتفاع که با دستگاه به دست می‌آید عاری از خطای کولیماسیون باشد. معمولاً قبل از انجام کار ترازیابی باید دستگاه را کنترل نمود تا چنان چه دارای خطای کولیماسیون باشد مقدار آن محاسبه گردد و در محاسبات بعدی منظور شود تا اختلاف ارتفاع تصحیح شده به دست آید.

برای کنترل این خطا دو روش به کار می‌رود:

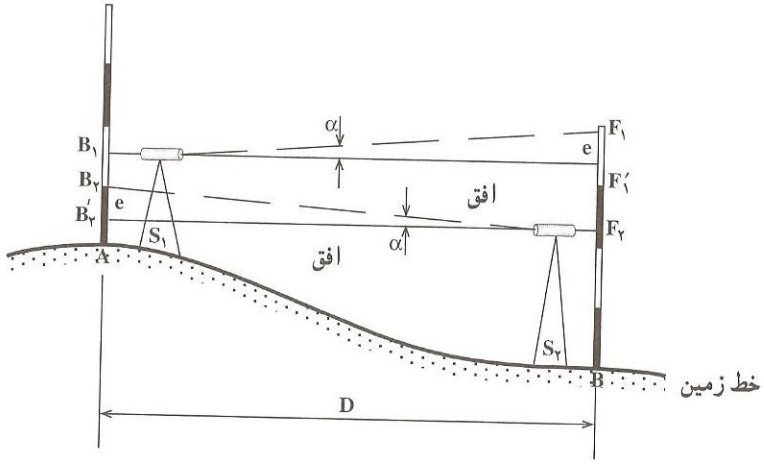
۱. روش دستگاهی
۲. روش صحرایی

کنترل و تنظیم محور کولیماسیون به روش دستگاهی

در این روش، ترازیاب در تعمیرگاه به وسیله دستگاه کولیمیشن سیستم *(Collimation System)* عیب‌یابی و در صورت معیوب بودن محور نشانه‌روی را تنظیم می‌نمایند، این دستگاه چند دوربین دارد که در اصطلاح کولیماتور *(Collimator)* نامیده می‌شود و بر روی دو پایه سوار شده‌اند که پایه‌ها در محل اتصال به زمین ثابت هستند و برای کنترل افقی بودن محور کولیماسیون با قرار دادن دستگاه ترازیاب بر روی یک پایه مرکزی که کولیماتورها در طرفین آن هستند و هم محور نمودن آن با کولیماتورهایی به افقی بودن یا نبودن محور فوق پی می‌برند. چنانچه محور کولیماسیون افقی نباشد با جا به جایی صفحه رتیکول آن را تنظیم می‌نمایند تا دستگاه عاری از خطای کولیماسیون شود.

کنترل و تنظیم محور کولیماسیون به روش صحرایی

الف)



$$e=\frac{(B_2-f_2)-(B_1-f_1)}{2}=\frac{\Delta H''-\Delta H'}{2}$$

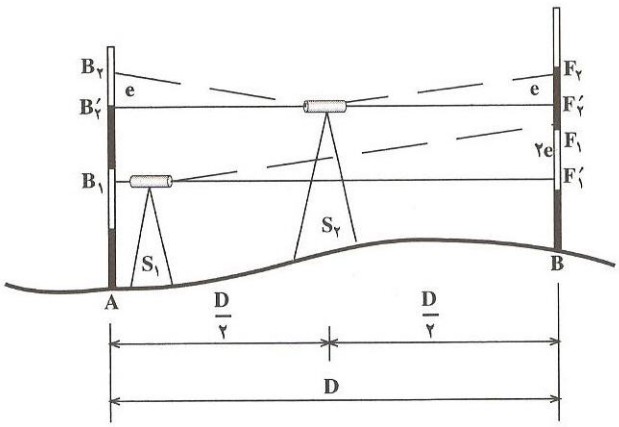
برای فاصله D

$$\Delta H_{A,B}=\frac{\Delta H'+\Delta H''}{2}$$ واقعی

$$\begin{cases} f_1'=f_1-e \\ B_2'=b_2-e \end{cases}$$ مقدار تصحیح قرائت

برای از بین بردن مقدار (e) بر روی یک ایستگاه S_1 یا S_2 ایستگاه گذاری کرده (در حالت آخرین دوربین را تغییر نمی‌دهیم) و با پیچ‌های تنظیم مقدار واقعی قرائت را تصحیح می‌کنیم و تار رتیکول را بر روی آن عدد می‌اندازیم. و دوباره ترازیابی کرده و در این بار باید مقدار خطا صفر شود. اگر $e\rangle 0$ باشد، یعنی محور نشانه روی نسبت به خط افق به سمت بالاست و اگر $e\langle 0$ باشد یعنی محور نشانه روی نسبت به افق پایین است.

ب)

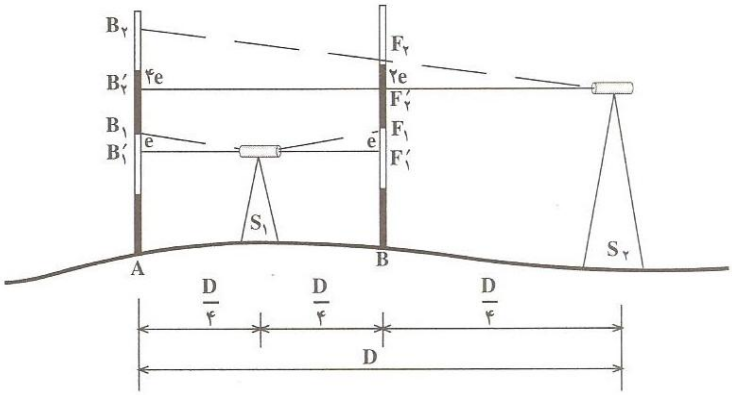


$$\Delta H_{A,B}=B_2-f_2=B_2'-f_2'$$ واقعی

$$tag\alpha=2e/D$$ زاویه کولیماسیون

$$e=\frac{(B_2-f_2)-(B_1-f_1)}{2}$$ برای فاصله $D/2$

ج) فاصله D به چهار قسمت تقسیم می‌شود.



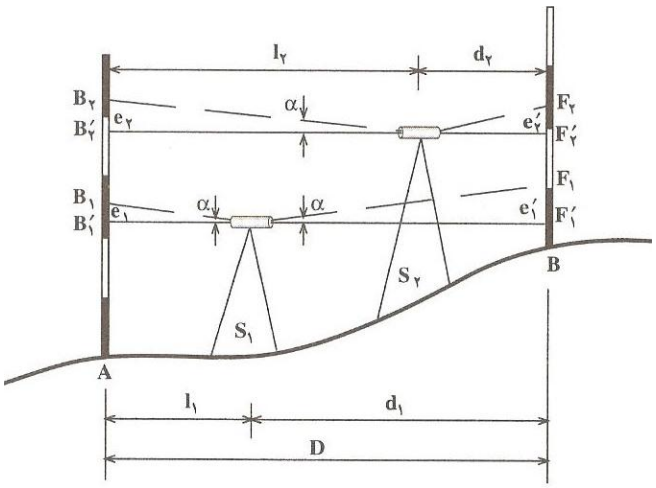
$$e=\frac{(B_2-f_2)-(B_1-f_1)}{2}$$ برای $D/4$

$$\Delta H=B_1-f_1$$ واقعی

تصحیح قرائت‌ها

$$B_1'=B_1-e \quad f_1'=f_1-e$$
$$B_2'=B_2-4e \quad f_2'=f_2-2e$$

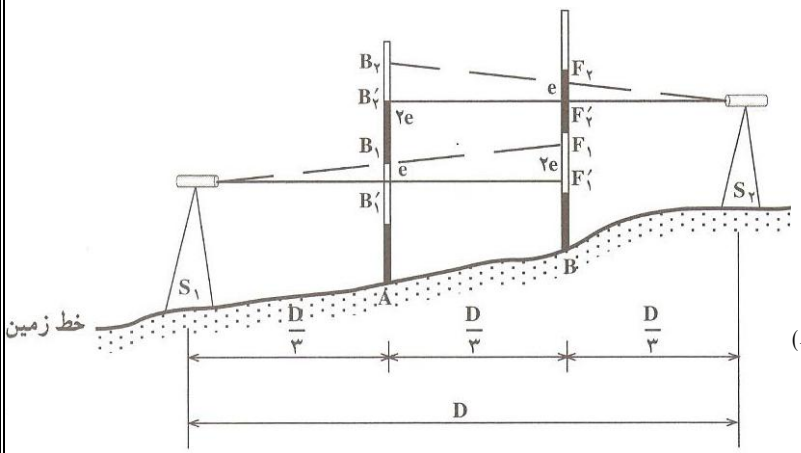
د) دستگاه را در وضعیت دلخواه نسبت به شاخص‌های A , B قرار می‌دهیم. و فاصله‌ها را با دقت زیاد اندازه گیری می‌کنیم.



$$e = \frac{\text{مجموع قرائت‌های نزدیک} - \text{مجموع قرائت‌های دور}}{\text{مجموع فاصله های نزدیک} - \text{مجموع فاصله های دور}} = \frac{(B_2 + f_1) - (B_1 + f_2)}{(L_2 + d_1) - (L_1 + d_2)} = \text{e برابر یک}$$

قرائت‌ها بر واحد mm و کلیه فاصله‌ها بر حسب متر است، در نتیجه واحد e میلی متر بر متر است.

ه)



$$e = \frac{(B_2 - F_2) - (B_1 - F_1)}{2} = \frac{\Delta H''_{(A,B)} - \Delta H'_{(A,B)}}{2}$$

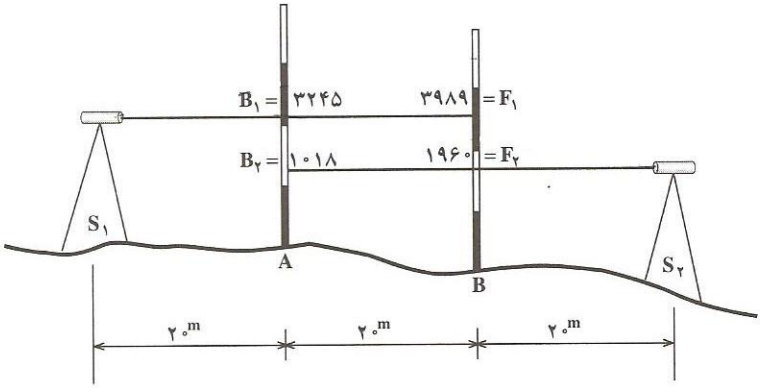
برای $D/3$

$$_{(A,B)} = \frac{(B_1 - F_1) + (B_2 - F_2)}{2} = \frac{\Delta H'_{(A,B)} + \Delta H''_{(A,B)}}{2}$$

واقعی

قرائت‌های صحیح $B_1' = B_1 - e \quad F_1' = F_1 - 2e$

$B_2' = B_2 - 2e \quad F_2' = F_2 - e$



مثال: با توجه به قرائت‌های انجام شده در شکل، مقدار اختلاف ارتفاع واقعی دو نقطه و خطای کولیماسیون دستگاه برای فاصله 40_m و همچنین مقدار صحیح قرائت‌های صورت گرفته روی شاخص‌های A , B را به دست آورید.

$$\Delta H_{(A,B)} = \frac{(-744)+(-942)}{2} = -843mm$$ واقعی

$$\Delta H'_{(A,B)} = 3245 - 3989 = -744_{mm}$$

$$\Delta H''_{(A,B)} = 1018 - 1960 = -942_{mm}$$

$$e = \frac{(-942)-(-744)}{2} = -99_{mm}$$

مقدار e برای فاصله 20_{mm} برابر با -99_{mm} محور کولیماسیون سمت پایین منحرف است.

$$B_1 = B_1 - e = 3245 - (-99) = 3344_{mm}$$

$$F_1 = F_1 - 2e = 3989 - (-198) = 4187_{mm}$$

$$B_2 = B_2 - 2e = 1018 - (-198) = 1216_{mm}$$

$$F_2 = F_2 - e = 1960 - (-99) = 2059_{mm}$$

کنترل محاسبات: $\Delta H_{(A,B)} = \Delta H_{(A,B)}$

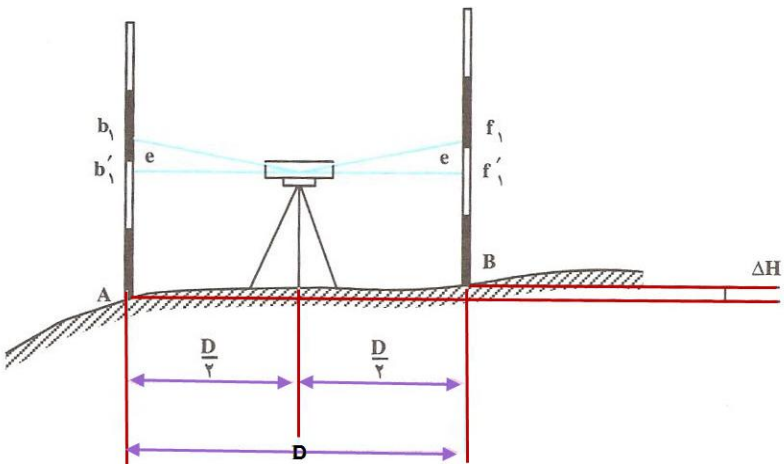
$$B_1 - F_1 = B_2 - F_2$$

$$3344 - 4187 = 1216 - 2059$$

$$-843_{mm} = -843_{mm}$$ قابل قبول

روش عملی حذف خطای کولیماسیون

به طوری که در روش تعیین خطای کولیماسیون ملاحظه گردید اگر فاصله دستگاه ترازیاب از شاخص‌های مساوی باشد، عملاً خطای کولیماسیون در محاسبات حذف گردیده و اختلاف ارتفاع واقعی به دست می‌آید.



واقعی $\Delta H_{(A,B)} = b'_1 - f'_1$

قرائت شده $\Delta H_{(A,B)} = b_1 - f_1 \Rightarrow$

$$(b'_1 + e) - (f'_1 + e) = (b'_1 - f'_1) + e - e$$

واقعی $\Rightarrow b'_1 - f'_1 = \Delta H_{(A,B)}$

بنابراین توصیه می‌گردد که همواره (حتی اگر دستگاه ترازیاب خطای کولیماسیون نداشته باشد)، دستگاه در فاصله مساوی تا شاخص‌ها قرار داده شود، زیرا علاوه بر حذف خطای کولیماسیون خطاهایی چون کرویت و انکسار را نیز حذف می‌کند.

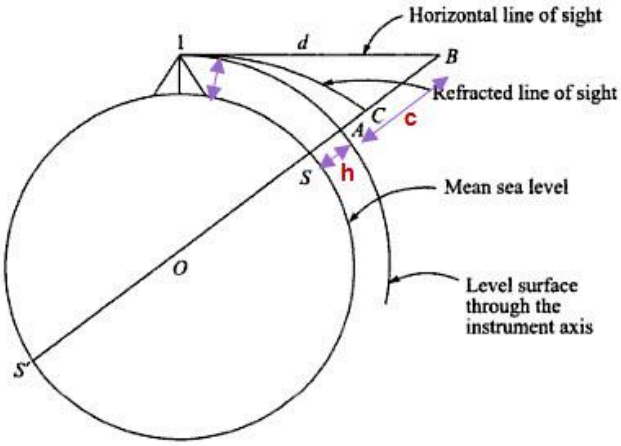
۲. خطاهای طبیعی

الف) خطای کرویت *(Curvature)*

تا کنون در عملیات و محاسبات ترازیابی، سطح زمین را افقی فرض نمودیم. در صورتی که می‌دانید سطح مبنای ارتفاعات (ژئوئید) است که سطحی است غیر افقی، و اگر فاصله نقاط زیاد باشد باید برای تصحیح آن اقدام نمود.

$$C = D^2 / 2R$$

خطای کرویت باید از قرائت انجام شده روی شاخص کم گردد:



$$C = -D^2/2R$$

مثلاً برای $D = 113_m$ داریم:

$$C = \frac{113^2}{2\times 6370_{km}\times 100} = 0.001_m = 1_{mm}$$

خطای کرویت mm	-۱	-۲	-۳	-۵
فاصله $(D)_m$	۱۱۳	۱۶۰	۱۹۵	۲۵۲

ب) خطاهای ایجاد شده توسط عوامل جوی (مانند بادهای شدید، گرما، سرما و ...)

ج) خطای انکسار *(Refraction)*

اشعه ای که به چشم انسان می‌رسد، مسیری مستقیم نداشته و در اثر عبور از لایه های مختلف جو به تدریج شکسته شده و مسیری منحنی را طی می‌کند. و ضریبی از خطای کرویت است.

r تصحیح انکسار k ضریب انکسار $r = k.c$ $\quad r = k\,D^2/2R$

مثلاً: اگر $D = 1000_m, R = 6370_{km}$ و ضریب انکسار ۰/۱۴ باشد، خطای انکسار برابر است با:

$$r = k.c - k\,D^2/2R \Rightarrow 0.14\frac{1000^2}{2\times 6370\times 1000} = 0.011_{m^2} = 11_{mm}$$

ترکیب خطای کرویت و انکسار

$$e = D^2/2R(1-k) = 0.43\,D^2/R \xrightarrow[R=6370]{} e = 67.5D^2$$

مثلاً برای فاصله ۱۸۰۰۰ متر تأثیر خطای کرویت و انکسار برابر مقدار زیر می‌شود:

$$e = 0.43\,D^2/R = 0.43\left(\frac{1.8^2}{6370}\right)\times 10^6 = 219_{mm}$$

۳. خطاهای انسانی

منبع اصلی این خطاها انسان است که معمولاً در اثر توجهی به اصول صحیح کار هنگام عملیات تراز یابی به وجود می‌آید که مهم‌ترین آن‌ها عبارتند از:

۱. دقیق تراز نکردن تراز کروی و استوانه‌ای
۲. تراز نکردن تراز لوبیایی در هر قرائت
۳. واضح و روشن نکردن تارهای رتیکول
۴. انحراف شاخص به جلو و یا عقب

۵. انحراف شاخص به راست یا چپ
۶. خطای ناشی از ناپایدار بودن پایه‌های دوربین در زمین‌های نرم
۷. خطای ناشی از قرار دادن شاخص در محل‌های نشست‌پذیر
۸. انتخاب فاصله زیاد برای قرائت‌ها که متناسب با دقت دوربین نباشد
۹. ترازیابی در شرایط نامناسب جوی

اشتباهات در ترازیابی هندسی

۱. اشتباه در قرائت کردن تار بالا یا پایین به جای تار وسط
۲. اشتباه در ثبت قرائت (یعنی عددی را صحیح خوانده اما اشتباه یادداشت کنیم)
۳. عدم قرائت صحیح روی شاخص
۴. انجام محاسبات غلط
۵. اشتباه در قرائت شاخص‌های معکوس هنگامی که دوربین معکوس نباشد
۶. اشتباه در وارد کردن قرائت در خانه های جدول ترازیابی
۷. اشتباه در انتخاب نقطه هنگام تغییر ایستگاه

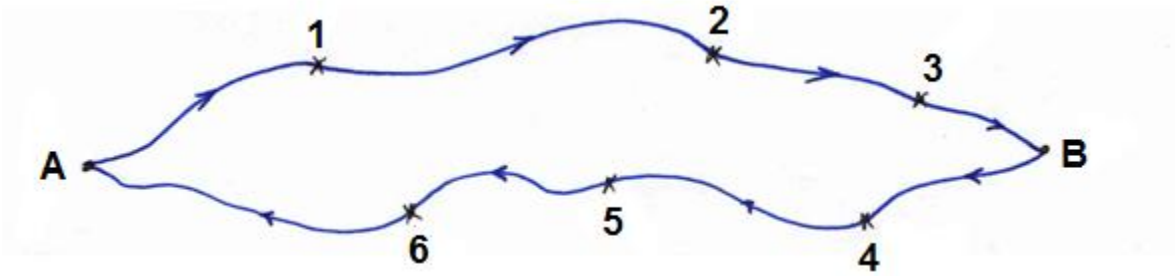
کنترل عملیات در ترازیابی هندسی

برای بررسی خطاهای صورت گرفته هنگام عملیات ترازیابی و این که آیا خطاهای موجود قابل قبول هستند یا نه باید عملیات ترازیابی را کنترل کرد.

روش‌های متداول برای کنترل عملیات ترازیابی

الف) انجام عملیات ترازیابی به طریقه رفت و برگشت

در این روش عملیات ترازیابی دو بار در حالت رفت و برگشت صورت می‌گیرد. مثلاً مطابق شکل زیر جهت تعیین اختلاف ارتفاع A , B عملیات ترازیابی در مسیر رفت از نقطه A شروع و به نقطه B ختم گردیده و سپس مجدداً از مسیر دیگری ترازیابی برگشت از B به A صورت گرفته است.



به سه شکل می‌توان خطای بست ترازیابی را محاسبه و آن را با مقدار مجازش مقایسه نمود

۱. اختلاف ارتفاع AB , BA را با توجه به قرائت‌های صورت گرفته در مسیر رفت و برگشت تعیین می‌کنیم و باید جمع جبری این دو اختلاف ارتفاع صفر گردد. اما ممکن است به دلیل تأثیر خطاهای دستگاهی، طبیعی و انسانی در قرائت‌ها جمع جبری دو اختلاف ارتفاع صفر نگردد که حاصل را خطای بست عملیات ترازیابی نامیم و با el نشان می‌دهیم:

$$el = \Delta H_{(A,B)} = \Delta H_{(B,A)}$$

برای کنترل عملیات در صورتی که مقدار خطای بست ترازیابی از حداکثر مقدار خطا کمتر باشد عملیات قابل قبول بوده و باید خطای بست موجود در عملیات را بین ارتفاع‌های محاسبه شده سر شکن نمود.

۲. بر اساس ترازیابی انجام شده (از نقطه A شروع و به نقطه A ختم می‌شود) ارتفاع به دست آمده برای A می‌بایست برابر با ارتفاع معلوم آن که از قبل وجود داشته است باشد.

$$el = h'_A - h_A$$

h_A = ارتفاع معلوم از قبل

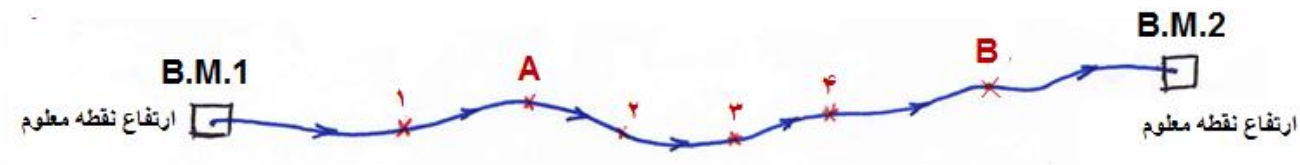
h'_A = ارتفاع محاسبه شده برای A

۳. چون عملیات ترازیابی از نقطه A شروع و نهایتاً به نقطه A ختم گردیده است بنابراین مجموع قرائت‌های عقب منهای مجموع قرائت‌های جلو باید صفر گردد که در صورت صفر نشدن مقدار موجود خطای بست ترازیابی خواهد بود:

$$eL = \sum B.S - \sum F.S$$

ب) طریقه استفاده از دو نقطه ثابت ارتفاع دار

از یک نقطه ارتفاع دار شروع و به یک نقطه ارتفاع دیگر برسیم.



$$eL = \Delta H'_{(1,2)} - \Delta H_{(1,2)}$$

$\Delta H'_{(1,2)}$ محاسبه شده

$\rightarrow \Delta H_{(1,2)} = h_2 - h_1$ معلوم از قبل

حداکثر مقدار مجاز خطا در ترازیابی

بعد از محاسبه مقدار خطای بست تراز یابی باید این مقدار را با حد مجاز آن مقایسه کنیم که مقدار مجاز خطا در عملیات ترازیابی از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$e_{\max} = \pm k\sqrt{L}$$

که k خطای کیلومتری یا خطای مجاز در هر کیلومتر به واحد میلی‌متر و L طول مسیر ترازیابی شده به کیلومتر و $e_{\max}$ حداکثر خطای مجازست ترازیابی می‌باشد.

مقدار k بر اساس دقت ترازیابی انجام شده انتخاب می‌گردد، به صورت زیر:

نوع ترازیابی	ترازیابی دقیق	ترازیابی درجه ۱	ترازیابی درجه ۲	ترازیابی درجه ۳ (معمولی)	ترازیابی درجه ۴	ترازیابی تقریبی
خطای کیلومتری mm	$k=2$	$k=4$	$k=8$	$k=12$	$k=20$	$k=100$

در صورتی که خطای بست ترازیابی از حد مجاز آن کمتر یا حداکثر برابر با آن باشد عملیات را قابل قبول دانسته و باید مقدار خطا را بر روی ارتفاعات و یا قرائت‌ها و یا اختلاف ارتفاع‌ها سرشکن کنیم و در صورتی که خطای بست از حد مجاز تجاوز کند عملیات اشتباه محسوب می‌گردد.

$e_L \langle e_{\max}$

مثال: در یک عملیات ترازیابی خطای بست برابر ۱۷ میلی متـر محاسـبه گردیـده اسـت، در صـورتی کـه خطـای کیلـومتری ترازیـابی ۱۲ میلی‌متر و طول مسیر ترازیابی شده ۳۴۶۰ متر باشد آیا عملیات ترازیابی قابل قبول است یا خیر؟

حل: بلی

$e_{\max} = \pm k\sqrt{L} \Rightarrow 12_{mm}\sqrt{3.46km} = 22_{mm}$

$e_L = 17_{mm} \langle e_{\max} = 22_{mm}$

مثال: برای تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه A , B عملیات ترازیابی به صورت رفت و برگشت انجام گرفته است. با توجه به قرائت‌های صورت گرفته در جدول زیر خطای بست ترازیابی چقدر است؟

(دقت کنید که مقدار خطا از اختلاف مجموع قرائت‌های عقب و مجموع قرائت‌های جلو بدست می‌آید)

P	$B.S$	$F.S$
A	۱۲۳۲	-
TP_1	۰۹۴۱	۲۵۳۱
TP_2	۳۲۱۸	۳۸۱۲
B	۱۵۴۸	۱۰۶۵
TP_3	۳۴۲۷	۲۴۱۸
TP_4	۳۱۰۲	۱۲۸۵
TP_5	۱۵۳۳	۱۷۴۲
A	-	۲۱۲۰

$e_L = \sum B.S - \sum F.S$

$\sum B.S = 1232 + ... + 1533 = 15001_{mm}$

$\sum F.S = 2531 + ... + 2120 = 14973_{mm}$

$e_L = 15001 - 14973 = 28_{mm}$

اگر طول مسیر ترازیابی شده ۳ کیلومتر و عملیات ترازیابی از نوع معمولی (درجه ۳) فرض شود حداکثر مقدار مجاز خطا چقدر اسـت؟ آیـا عملیات ترازیابی انجام شده قابل قبول است یا خیر؟

$e_{mca} = \pm k\sqrt{L} = \pm 12\sqrt{3} = \pm 21_{mm} \langle e_L = 28_{mm}$

روش‌های سر شکن کردن خطاها

۱. ابتدا ارتفاع تصحیح نشده کلیه نقاط را به کمک قرائت‌های صورت گرفته محاسبه و سپس مقدار تصحیح بـرای هـر دهنـه ترازیـابی را از رابطه زیر به دست می‌آوریم:

$$C = \frac{-e_L}{N}$$

N: تعداد دهانه‌های ترازیابی یا تعداد قرائت‌های عقب و یا تعداد قرائت‌های جلو است. در این روش باید توجه داشت که چـون ارتفـاع نقـاط در هر دهنه ترازیابی به کمک ارتفاع معلوم آخرین نقطه از دهنه قبل (نقطه مشـترک دو دهنـه) محاسـبه مـی‌گـردد، لـذا مقـدار تصـحیح ارتفاعات برای هر دهنه به طور تصاعدی اضافه شده و نهایتاً در دهنه آخر تصحیح برابر $C.N = -e_L$ می‌گردد.

مثال: با توجه به معلومات مثال قبل اگر دقت ترازیابی از نوع درجه چهار و طول ترازیابی شده سه کیلـومتر فـرض گـردد. محاسـبه ارتفـاع تصحیح نشده کلیه نقاط در صورتی که ارتفاع نقطه A برابر با ۱۰۰ متر باشد. همچنین محاسبه خطای بسـت ترازیـابی و در صـورت قابـل قبول بودن عملیات ترازیابی، ارتفاع تصحیح شده کلیه نقاط را سرشکن کنید.

P	$B.S_{mm}$	$F.S_{mm}$	$H.I_m$	H_m تصحیح نشده	C_{mm}	hc_m تصحیح شده
A	۱۲۳۲	-	۱۰۱.۲۳۲	۱۰۰.۰۰۰	۰	۱۰۰.۰۰۰
TP_1	۰۹۴۱	۲۵۳۱	۹۹.۶۴۲	۹۸.۷۰۱	-۴	۹۸.۶۹۷
TP_2	۳۲۱۸	۳۸۱۲	۹۹.۰۴۸	۹۵.۸۳۰	-۸	۹۵.۸۲۲
B	۱۵۴۸	۱۰۶۵	۹۹.۵۳۱	۹۷.۹۸۳	-۱۲	۹۷.۹۷۱
TP_3	۳۴۲۷	۲۴۱۸	۱۰۰۵۴۰	۹۷.۱۱۳	-۱۶	۹۷.۰۶۷
TP_4	۳۱۰۲	۱۲۸۵	۱۰۲.۳۵۷	۹۹.۲۵۵	-۲۰	۹۹.۲۳۵
TP_5	۱۵۳۳	۱۷۴۲	۱۰۲.۱۴۸	۱۰۰.۶۱۵	-۲۴	۱۰۰.۵۹۱
A	-	۲۱۲۰	-	۱۰۰.۰۲۸	-۲۸	۱۰۰.۰۰۰

$1) e_L = +28_m$

$2) e_L = h'_A - h_A = 100.028 - 100_m = +28_{mm}$

$e_{\max} = \pm k\sqrt{L} = \pm\sqrt{3_{km}} = 35_{mm}$

$e_L \langle e_{\max} OK$

$C = \frac{-e_L}{N} = \frac{-(+28)}{7} = -4_{mm}$

۲. اعمال سرشکنی خطا در عملیات ترازیابی توزیع خطای بست (e_l) بر روی قرائت‌های عقب و جلو است که برای انجام این عمل مقدار تصحیح برای هر قرائت عقب و جلو از رابطه زیر تعیین می‌گردد:

$$C = \pm\frac{e_L}{2N}$$

که در آن e_L خطای بست ترازیابی و N تعداد قرائت‌های عقب یا جلو یا تعداد دهانه های ترازیابی است. در رابطه فوق علامت منفی برای تصحیح قرائت‌های عقب و علامت مثبت برای تصحیح قرائت‌های جلو به کار می‌رود.

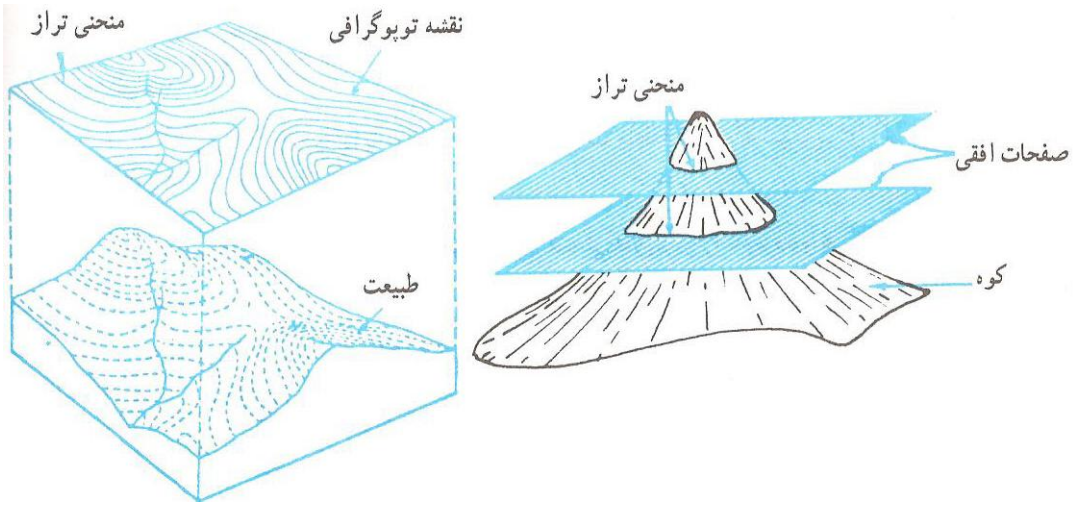
۳. خطای بست را فقط بر روی قرائت‌های عقب سرشکن می‌کنیم که در این حالت مقدار تصحیح برابر است با:

$$C = \frac{-e_L}{N}$$

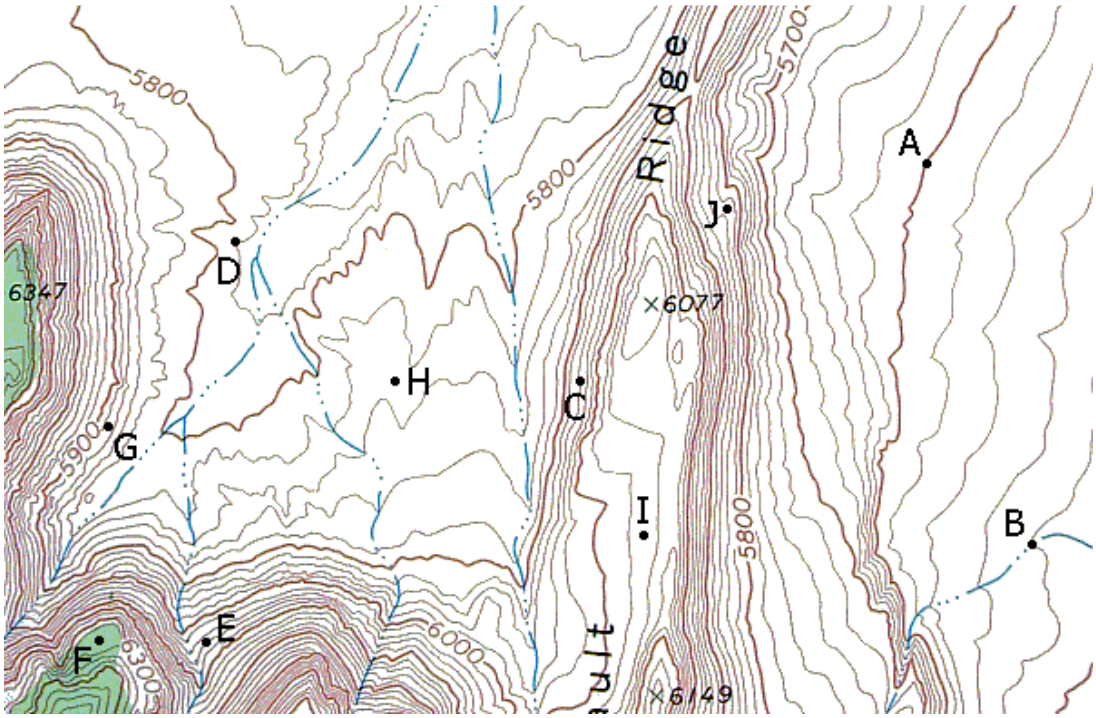
کاربردهای ترازیابی

منحنی تراز

اگر یک سطح تراز زمین را قطع کند به فصل مشترک این سطح تراز با سطح خارجی زمین منحنی تراز می‌گوییم. تجسم فرورفتگی‌ها و برجستگی‌ها و فرم هندسی زمین با ترسیم خطوط منحنی تراز امکان پذیر است. برای درک این رابطه فرض کنید تپه‌ای با صفحات نازک افقی به فواصل معین قطع شود هر صفحه که تپه را قطع می‌کند بر حسب شکل تپه کوچک‌ترند، این‌ها همان منحنی‌های تراز هستند.

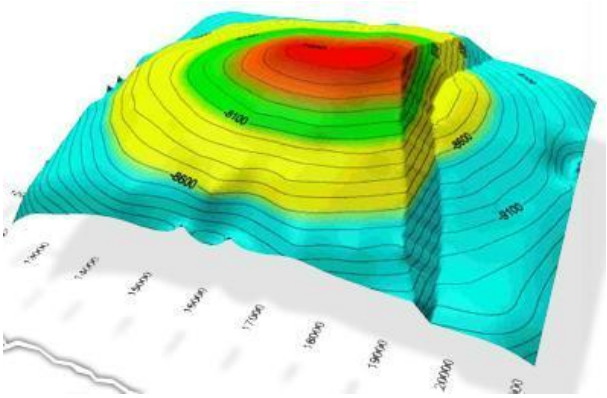


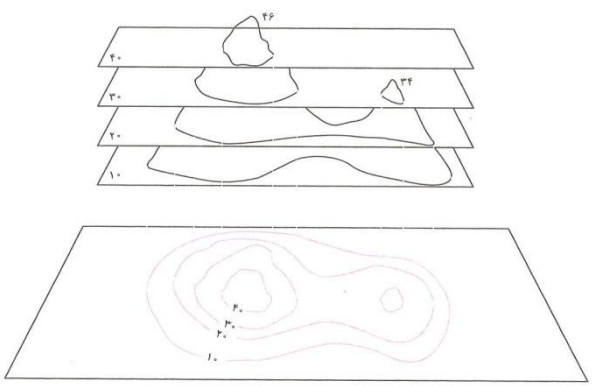
تصویر منحنی‌های تراز معمولاً بر روی کاغذ به صورت منحنی‌های بسته ظاهر می‌شوند. اما به علت محدود بودن ابعاد کاغذ چنان چه شعاع عمل زیاد باشد منحنی‌ها در روی نقشه بسته نمی‌شوند.



تعریف متساوی البعد (Equidistant)

به فاصله صفحات افقی هم فاصله که زمین را قطع می‌کنند و منحنی‌های تراز را تشکیل می‌دهند متساوی البعد می‌گویند. به عبارت دیگر متساوی البعد اختلاف ارتفاع دو منحنی تراز متوالی است. هر چه متساوی البعد کمتر باشد شکل واقعی زمین بهتر مجسم می‌گردد به همین دلیل هرگاه بخواهند دقت نقشه‌ای را زیاد کنند فواصل را تا آن جا که امکان دارد کمتر می‌گیرند. ارتباط میان منحنی‌های تراز و متساوی البعد به شکل زمین (از لحاظ کوهستانی یا دشت بودن) و دقت نقشه برداری و روش برداشت و به خصوص مقیاس نقشه بستگی دارد. برای سهولت قرائت منحنی‌های تراز، هر پنج منحنی یا هر ده منحنی تراز یکی را ضخیم‌تر ترسیم می‌کنند که به نام منحنی تراز اصلی خوانده می‌شود و میان منحنی‌های تراز اصلی، منحنی‌های تراز فرعی با ضخامت کمتر رسم می‌گردند. رقم ارتفاعات معمولاً روی منحنی‌های تراز اصلی نوشته می‌شود. خطوط منحنی تراز در طبیعت وجود ندارد ولیکن نقاطی که روی یک منحنی تراز هستند دارای ارتفاعات برابرند. از این خاصیت برای رسم منحنی‌های تراز استفاده می‌کنند.



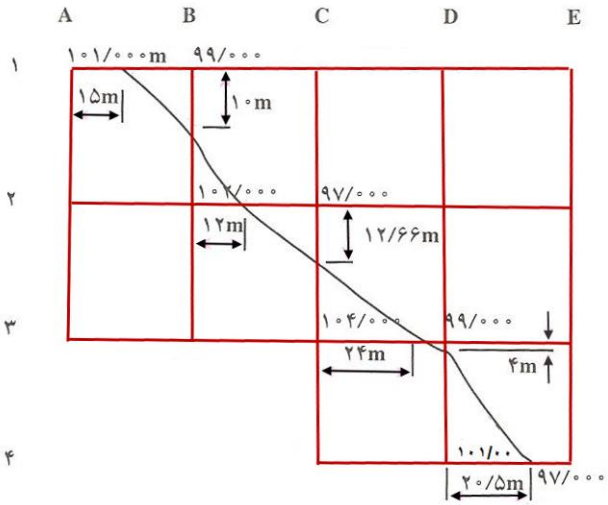


روش‌های تهیه پلان با منحنی‌های تراز

الف) شبکه بندی *(Grid Method)*

ب) تاکؤمتری

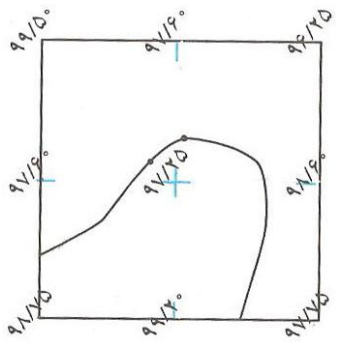
توضیح الف) زمینی را با میخ کوبی (یا ریختن گچ) شبکه بندی می‌نماییم و برای نام گذاری نقاط می‌توان امتدادهای موازی را با حروف و امتدادهای عمود بر آن‌ها را با اعداد نشان داد. در این صورت نام نقطه تقاطع دو خط مثلاً *A7* , *D4* خواهد بود. سپس به وسیله ترازیابی ارتفاع هر نقطه که میخ کوبی شده (یا علامت زده شده) را پیدا می‌کنیم. با معلوم بودن ابعاد شبکه می‌توان آن را با توجه به مقیاس روی کاغذ رسم کرده و ارتفاع پیدا شده هر نقطه را در کنار آن نوشت، آن چه به دست می‌آید پلان رقوم دار نامیده می‌شود.



این نوع پلان برای بررسی فرم زمین در اراضی نا هموار و مخصوصاً در پروژه های مربوط به آب رسانی و زهکشی مورد استفاده قرار می‌گیرند، چنانچه پس از تهیه پلان رقوم‌دار با عمل واسطه‌یابی نقاط هم ارتفاع را پیدا کرده به هم وصل کنیم منحنی‌های تراز مشخص می‌شوند. به این ترتیب یک پلان با خطوط یا منحنی‌های تراز به دست می‌آید.

روش‌های مختلف واسطه یابی برای رسم منحنی‌های تراز

۱. روش محاسبه‌ای
۲. روش تخمینی



مقطع (Section) یا پروفیل (Profile)

هنگامی که در یک امتداد معین روی زمین می‌خواهیم وضعیت ارتفاعی را مشخص کنیم مقطع تهیه می‌نماییم و در واقع مقطع یا پروفیل فصل مشترک یک صفحه قائم با زمین است که در امتداد محور معین، آن را قطع می‌نماید. منظور از تهیه برش یا مقطع مشخص کردن ارتفاع نقاط مختلف سطح زمین در امتداد محور مشخص شده‌ای می‌باشد. وقتی مقطع روی کاغذ رسم شود در مراحل مختلف کارهای مهندسی اعم از مطالعه و ارزیابی یا اجرای طرح‌ها مورد استفاده قرار می‌گیرد.

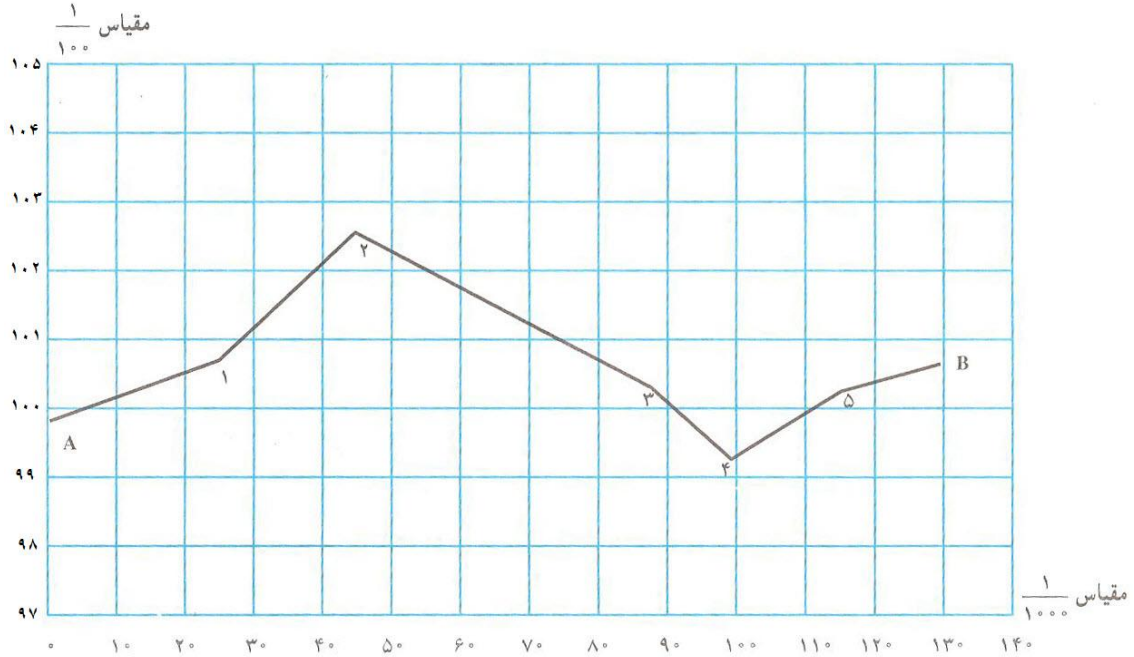
روش‌های اجرایی تهیه مقطع

۱. روش مستقیم:

امتداد مورد نظر را با میخ‌کوبی روی زمین مشخص می‌کنیم (میخ‌ها فاصله ثابتی پیدا می‌کنند و تعداد آن‌ها بستگی به شیب زمین دارد و هر جا شیب زمین تغییر می‌کند باید نقطه در نظر گرفته و میخ کوبی کرد). سپس فاصله میخ‌های متوالی را دقیقاً اندازه گیری کرده و با ترازیابی، ارتفاعات نقاط را با توجه به ارتفاع یک بنچ مارک که در منطقه وجود دارد پیدا می‌کنیم. پس از محاسبات لازم با معلوم بودن ارتفاعات تصحیح شده نقاط و فواصل آن‌ها برای رسم مقطع روی کاغذ مشبک (کاغذ میلی متری) دو محور عمود بر هم به عنوان محورهای فواصل و ارتفاعات در نظر گرفته و هر نقطه را با مختصات دوگانه‌اش روی دستگاه مختصات فوق پیدا می‌کنیم سپس نقاط به دست آمده را به ترتیب به هم وصل می‌کنیم.

P	*B.S*	*I.S*	*F.S*	−	+	*D*	*H*	*H*گرد شده
A	*3627*					*22.15*	*100000*	*100.0*
1		*2751*			*0876*	*20.00*	*100.876*	*100.9*
2	*0480*		*0915*		*1836*	*44.52*	*102.712*	*102.7*
3		*2602*		*2122*		*9.98*	*100.590*	*100.6*
4		*3871*		*1269*		*13.25*	*99.321*	*99.3*
5		*2692*			*1179*	*18.05*	*100.500*	*100.5*
B			*2279*		*0413*		*100.913*	*100.9*

نکته ۱: برای دقیق‌تر رسم شدن مقطع می‌توان بین نقاطی که شیب یک نواخت، اما فاصله زیاد است نقاط اضافی در نظر گرفت.



نکته ۲: چنانچه تغییرات ارتفاعات نسبت به فواصل کوچک باشد معمولاً مقیاس محور ارتفاعات ده برابر مقیاس محور فواصل اختیار می‌شود.

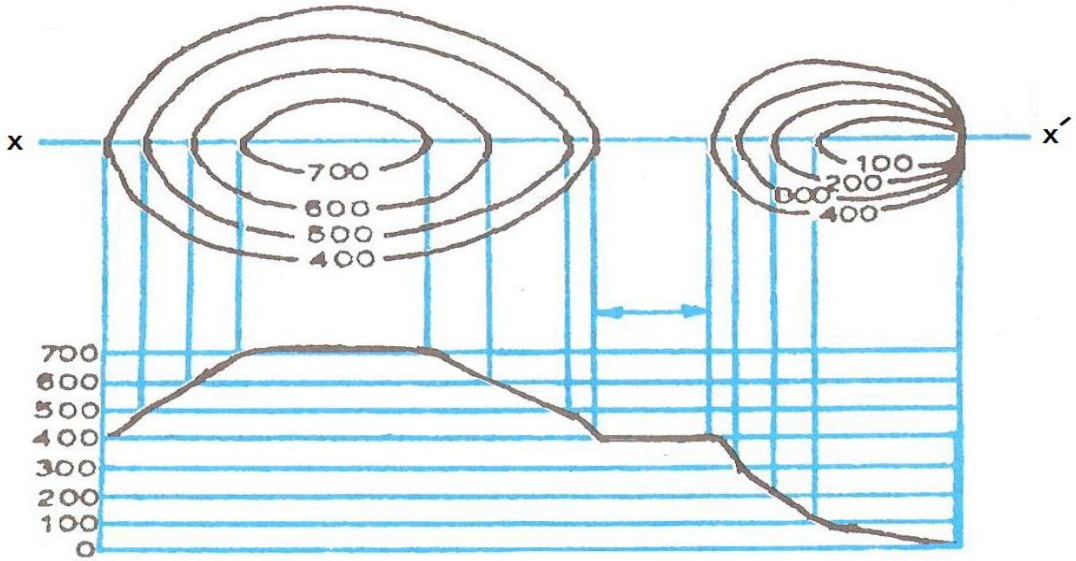
۲. *روش غیر مستقیم:*

a) امتداد مورد نظر را بر روی پلان رسم می‌کنیم (امتداد xx').

b) پس از مشخص کردن ارتفاع پایین‌ترین و بالاترین منحنی ترازی که امتداد مورد نظر را قطع می‌کند بر روی کاغذ دو محور افقی و قائم رسم می‌کنیم. به این ترتیب که محور قائم با توجه به دو ارتفاع ذکر شده مدرج شود و محور افقی موازی امتداد xx' باشد.

c) از هر نقطه که امتداد مورد نظر، منحنی ترازی را قطع کرده است خطی عمود بر خط افقی هم ارتفاع آن رسم می‌کنیم.

d) از تقاطع هر دو، نقطه‌ای به دست می‌آید که پس از وصل کردن این نقاط به هم مقطع امتداد مشخص می‌شود.



منابع

۱) نقشه برداری مهندسی

تألیف: مهندس محمود دیانت خواه

مرکز نشر دانشگاه صنعتی اصفهان

۲) نقشه برداری کارگاهی و زیر زمینی

مؤلفین: حسن امامی/سید قاسم رستمی

ناشر: انتشارات فروزش

۳) جزوات، کتاب‌های نقشه برداری و سایت‌های مربوطه