

### ترازیابی

هدف‌های رفتاری : از دانش‌آموز انتظار می‌رود در پایان این فصل :

- ۱- ترازیابی را تعریف کند.
- ۲- هدف از ترازیابی را بیان کند.
- ۳- اصطلاحات : امتداد قائم، سطح تراز، سطح تراز مبنا، صفحه‌ی افق، خط افق، صفحه‌ی قائم و ارتفاع نقطه را تعریف کند.
- ۴- بنچمارک را تعریف نموده انواع آن را توضیح دهد.
- ۵- انواع ترازیابی را بیان کند.
- ۶- ترازیابی با ژالون و تراز دستی را تشریح کند.
- ۷- قسمت‌های مختلف دستگاه ترازیاب را روی تصویر آن توضیح دهد.
- ۸- طبقه‌بندی دوربین‌های ترازیاب و خصوصیات آن‌ها را توضیح دهد.
- ۹- سه‌پایه دوربین و قسمت‌های مختلف آن را توضیح دهد.
- ۱۰- میر و انواع آن و تکیه‌گاه میر را توضیح دهد.
- ۱۱- تعاریف و اصطلاحات «حساسیت تراز، محور لوله‌ی تراز، محور قائم یا محور اصلی دستگاه» را بیان کند.
- ۱۲- انواع تراز در دستگاه‌های نقشه‌برداری را توضیح دهد.
- ۱۳- نحوه‌ی تنظیم ترازهای دستگاه را شرح دهد.
- ۱۴- ترازیاب را بر روی یک نقطه به روش‌های مختلف مستقر کند.
- ۱۵- قرائت روی میر را انجام دهد.
- ۱۶- اصول ترازیابی مستقیم را شرح دهد.
- ۱۷- ترازیابی تدریجی را شرح دهد.
- ۱۸- انواع ارتفاع را تعریف کرده روش محاسبه ارتفاع را در ترازیابی تدریجی بیان کند.
- ۱۹- ارتفاع نقاط در جدول را به روش فراز و نشیب محاسبه کند.
- ۲۰- ارتفاع نقاط را به روش «ارتفاع دستگاه» محاسبه کند.
- ۲۱- دو روش فراز و نشیب و ارتفاع دستگاه را به‌طور اجمالی مقایسه کند.
- ۲۲- کاربرد ترازیابی را در ساختمان بیان کند.

### ۸-۱- تعریف ترازیابی

۴- یافتن شکل مقاطع قائم<sup>۱</sup> (پروفیل‌ها) برای محاسبه حجم عملیات خاکی.

ترازیابی عبارتست از تعیین اختلاف ارتفاع نقاط نسبت

به هم.

### ۸-۳- اصطلاحات مهم در ترازیابی

به ترازیابی لولینگ (Levelling) یا نیولمان (Nivellement)

نیز می‌گویند.

۸-۳-۱- امتداد قائم یک نقطه: امتداد شاقولی

(ثقل) گذرنده از یک نقطه را «امتداد قائم آن نقطه» می‌گویند.

۸-۳-۲- سطح تراز: سطحی را که بر امتدادهای

شاقولی عمود باشد «سطح تراز<sup>۲</sup>» می‌گویند.

۸-۳-۳- سطح تراز مبنا: سطح آب دریاهاى آزاد

و اقیانوس‌ها یک سطح تراز است که دانشمندان آن را به نام سطح صفر یا سطح مبنای ارتفاعات انتخاب نموده‌اند. از ادامه دادن این سطح در زیرخسکی‌ها سطحی به وجود می‌آید که به این سطح «ژئوید<sup>۳</sup>» می‌گویند. ژئوید سطح مبنای ارتفاعات است (شکل ۸-۱).

### ۸-۲- هدف از ترازیابی

عمل ترازیابی در پروژه‌های عمرانی، تسطیح، آبرسانی و

کشاورزی و سایر رشته‌ها کاربرد فراوانی دارد و به منظورهای متفاوتی انجام می‌شود. از آن جمله:

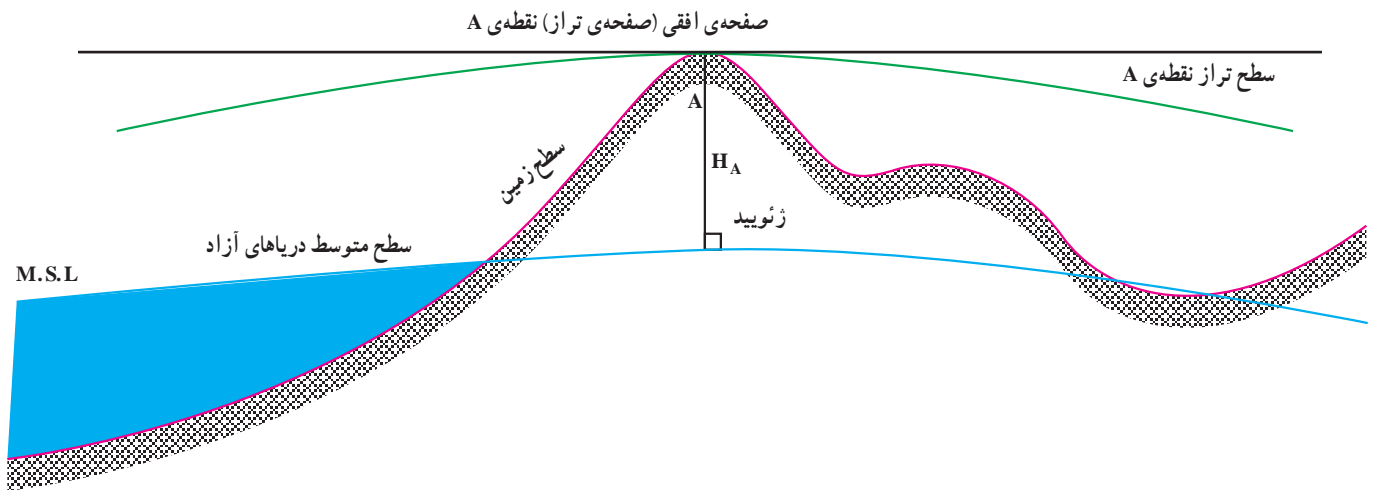
۱- یافتن شکل طبیعی یک قطعه زمین از نظر پستی و

بلندی؛

۲- یافتن شیب یک امتداد یا یک سطح و یا پیاده‌کردن یک

شیب معین در طول یک مسیر یا روی یک سطح؛

۳- ایجاد سطوح افقی یا کنترل افقی بودن سطوح؛



شکل ۸-۱

۸-۳-۴- صفحه‌ی افقی یک نقطه: صفحه‌ای را که افقی دارد.

۸-۳-۵- خط افقی: کلیه‌ی خطوط واقع بر صفحه‌ی افقی

را خط افقی می‌نامند. از هر نقطه بی‌نهایت خط افقی می‌گذرد.

از یک نقطه بگذرد و بر سطح تراز آن نقطه مماس باشد «صفحه‌ی

افقی آن نقطه» می‌گویند (شکل ۸-۱). هر نقطه فقط یک صفحه‌ی

۱- برشهای قائم از زمین را پروفیل می‌گویند.

۲- از آن‌جا که امتدادهای شاقولی با هم موازی نیستند، از این رو سطح تراز نیز یک سطح صاف و هموار نیست.

انجام می‌گیرد.

- ۱- تراز یابی بارومتریک (ترازیابی به کمک فشارسنج)؛
- ۲- تراز یابی غیرمستقیم (مثلثاتی)؛
- ۳- تراز یابی مستقیم (هندسی).

#### ۸-۵- تراز یابی بارومتریک (ترازیابی فشارسنجی)

با توجه به این که تغییرات فشار هوا رابطه‌ی عکس با تغییرات ارتفاع دارد، با اندازه‌گیری تغییر فشار هوا می‌توان اختلاف ارتفاع را محاسبه نمود. این نوع تراز یابی را تراز یابی بارومتریک (Barometric) می‌گویند.

از این روش زمانی استفاده می‌شود که سرعت عمل زیاد و دقت کم مورد نظر باشد. در این روش معمولاً از دستگاه‌های ارتفاع‌سنج که براساس تأثیر فشار هوا کار می‌کنند استفاده می‌شود. این دستگاه‌ها را در دو نوع بزرگ و جیبی می‌سازند که دقت انواع دستگاه‌های جیبی حدود  $\pm 1^\circ$  متر و دقت دستگاه‌های بزرگ حدود  $\pm 2$  متر است. در شکل ۸-۲ دو نوع بارومتر جیبی را مشاهده می‌کنید.

۶-۳-۸- صفحه‌ی قائم : صفحه‌ی گذرنده بر امتداد

شاقولی را صفحه‌ی قائم می‌گویند. هر امتداد شاقولی بی‌نهایت صفحه‌ی قائم دارد.

۷-۳-۸- ارتفاع نقطه : فاصله‌ی قائم یک نقطه از

سطح مبنا را ارتفاع آن نقطه می‌گویند (شکل ۸-۱). به این ارتفاع، «ارتفاع مطلق» نقطه نیز گفته می‌شود.

۸-۳-۸- بنچمارک<sup>۱</sup> : برای به‌دست آوردن ارتفاع

مطلق نقاط باید اختلاف ارتفاع آن‌ها را با سطح تراز دریا‌های آزاد (سطح مبنا) به‌دست آوریم از آن‌جا که انتقال ارتفاع از سطح دریا‌های آزاد تا محل کار نقشه‌برداری کاری بسیار مشکل، پرهزینه و وقت‌گیر است، از این رو سازمان‌های مسؤل نقشه‌برداری در هر کشور تعدادی نقطه را به‌صورت نقاط مبنا در سراسر کشور انتخاب و ارتفاع آن‌ها را از سطح مبنا، به‌دست می‌آورند تا مورد استفاده‌ی نقشه‌برداران قرار بگیرد به این نقاط «بنچمارک» (Bench mark) که به‌اختصار با B.M نمایش می‌دهند) می‌گویند.

#### ۴-۸- انواع تراز یابی

با توجه به دقت خواسته شده معمولاً تراز یابی به سه صورت



شکل ۸-۲- دستگاه بارومتر

روش ترازیابی با متروشیب سنج: برای اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع بین دو نقطه‌ی A و B فاصله‌ی مایل بین آن‌ها و زاویه‌ی شیب امتداد AB را اندازه‌گیری می‌کنیم (شکل ۸-۳). در مثلث قائم‌الزاویه‌ی ABC داریم:

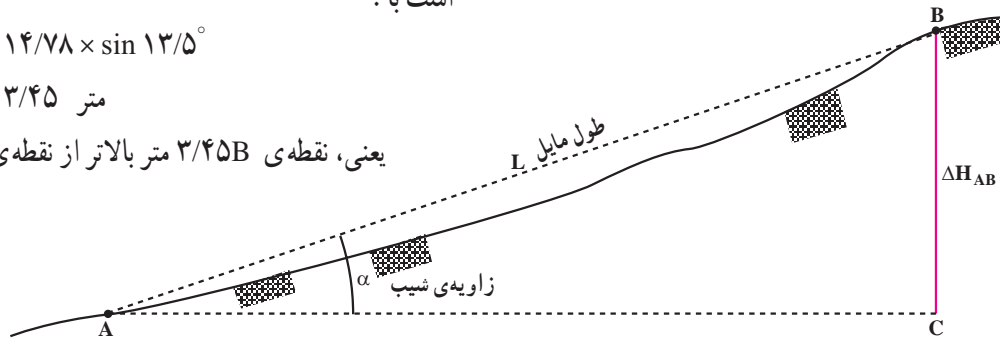
$$\Delta h_{AB} = L \cdot \sin \alpha$$

مثال: اگر طول مایل بین دو نقطه  $L = ۱۴/۷۸$  m و زاویه‌ی شیب  $\alpha = ۱۳/۵^\circ$  باشد، اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B برابر است با:

$$\Delta h_{AB} = ۱۴/۷۸ \times \sin ۱۳/۵^\circ$$

$$\Delta h_{AB} = ۳/۴۵ \text{ متر}$$

یعنی، نقطه‌ی B  $۳/۴۵$  متر بالاتر از نقطه‌ی A قرار دارد.



شکل ۸-۳- ترازیابی غیرمستقیم

### ۸-۶- ترازیابی غیرمستقیم (مثلثاتی)

ترازیابی غیرمستقیم با وسایل و روش‌های مختلفی انجام می‌گیرد، اما در همه‌ی این روش‌ها از روابط مثلثاتی استفاده می‌شود. دقت این نوع ترازیابی از ترازیابی بارومتریک بیشتر است. در این‌جا روشی را که در آن از متر و شیب سنج دستی استفاده‌شده توضیح می‌دهیم.

### ۸-۷-۱- ترازیابی با شیلنگ تراز: در بسیاری از

کارهای ساختمانی کوچک که نیاز به هم‌ارتفاع کردن یا اندازه‌گرفتن اختلاف ارتفاع داشته باشیم، از یک شیلنگ پلاستیکی شفاف مدرج استفاده می‌کنیم که به آن «شیلنگ تراز» می‌گویند.

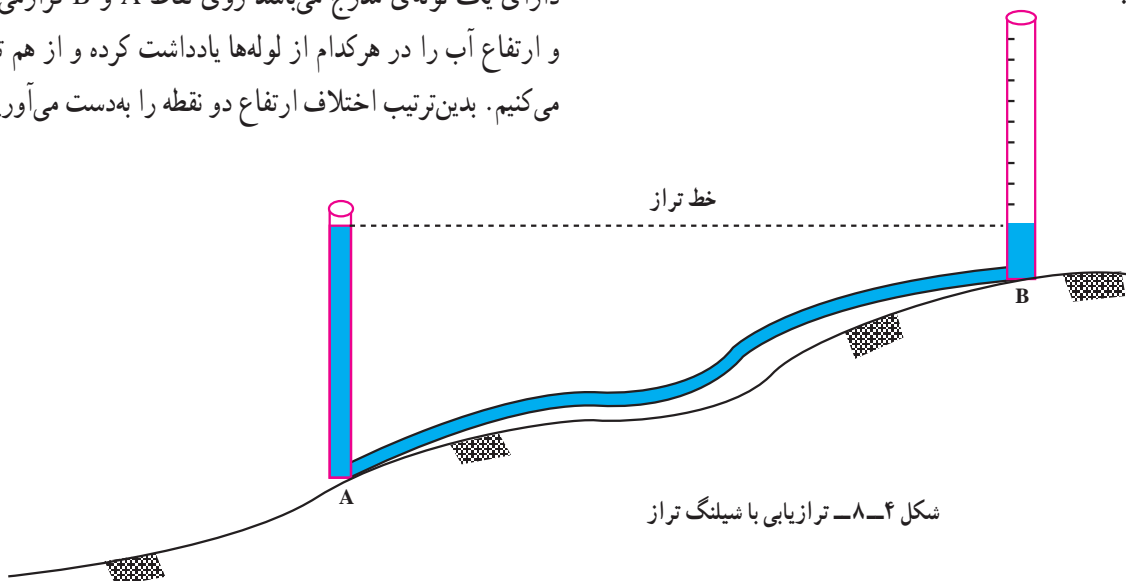
روش کار: برای پیدا کردن اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B (شکل ۸-۴) ابتدا شیلنگ را پر از آب کرده، دقت می‌کنیم که حباب هوا در داخل شیلنگ نباشد، سپس دو سر شیلنگ تراز را که هر کدام دارای یک لوله‌ی مدرج می‌باشد روی نقاط A و B قرار می‌دهیم و ارتفاع آب را در هر کدام از لوله‌ها یادداشت کرده و از هم تفریق می‌کنیم. بدین ترتیب اختلاف ارتفاع دو نقطه را به دست می‌آوریم.

### ۸-۷- ترازیابی مستقیم یا هندسی

ترازیابی مستقیم یا هندسی از دیرباز، با وسایل ساده و ابتدایی انجام می‌شده است و امروزه نیز بعضاً از این وسایل ابتدایی در کارهای کم دقت یا معمولی ساختمانی استفاده می‌شود. البته برای کارهای دقیق مهندسی و پروژه‌های عظیم ساختمانی دوربین‌های بسیار دقیق ترازیابی (نیو) به کار گرفته می‌شود.

در این‌جا تعدادی از روش‌های ترازیابی مستقیم را معرفی

می‌کنیم:

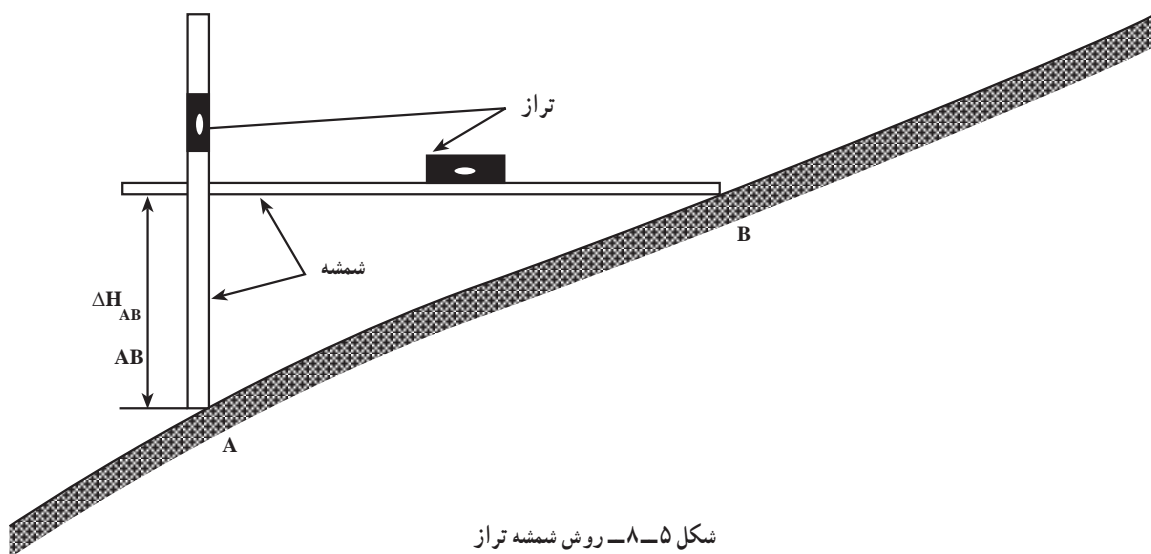


شکل ۸-۴- ترازیابی با شیلنگ تراز

## ۲-۷-۸- تراز یابی با شمشه و تراز بنایی : این روش

می‌دهند. در کارهای ساده و کوچک ساختمانی نیز این روش با کمک دو عدد شمشه و دو عدد تراز بنایی انجام پذیر است (شکل ۸-۵).

به «شمشه تراز» معروف است و در نقشه برداری برای برداشت مقطع قائم (پروفیل) بدون دوربین تراز یاب، از آن استفاده می‌شود. البته نقشه برداران از دو شاخص مدرج (میر) استفاده می‌کنند که یکی را به صورت قائم و دیگری را به طور افقی مورد استفاده قرار



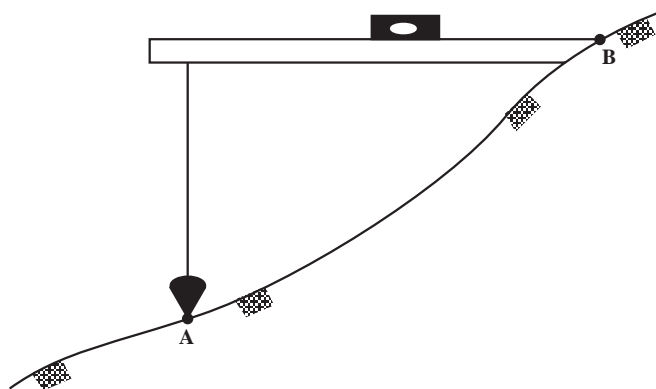
شکل ۸-۵- روش شمشه تراز

برابر است با اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B.

## ۳-۷-۸- تراز یابی با شمشه و شاقول بنایی :

مانند روش قبل یک شمشه و تراز به کار برده به جای شمشه‌ی قائم نیز می‌توانیم از یک شاقول بنایی استفاده کنیم. این روش را در شکل ۸-۶ مشاهده می‌نمایید.

روش کار: یک شمشه را در نقطه‌ی A به طور قائم (شاقولی) مستقر می‌کنیم. سپس شمشه دیگر را به طور افقی چنان نگه می‌داریم که یک سر آن روی نقطه‌ی B و سر دیگر آن در کنار شمشه‌ی A قرار بگیرد و به وسیله‌ی یک تراز بنایی آن را کاملاً افقی می‌کنیم. اکنون از محل تماس شمشه‌ی افقی با شمشه‌ی قائم، تا روی نقطه‌ی A را با متر اندازه‌گیری می‌کنیم. این فاصله



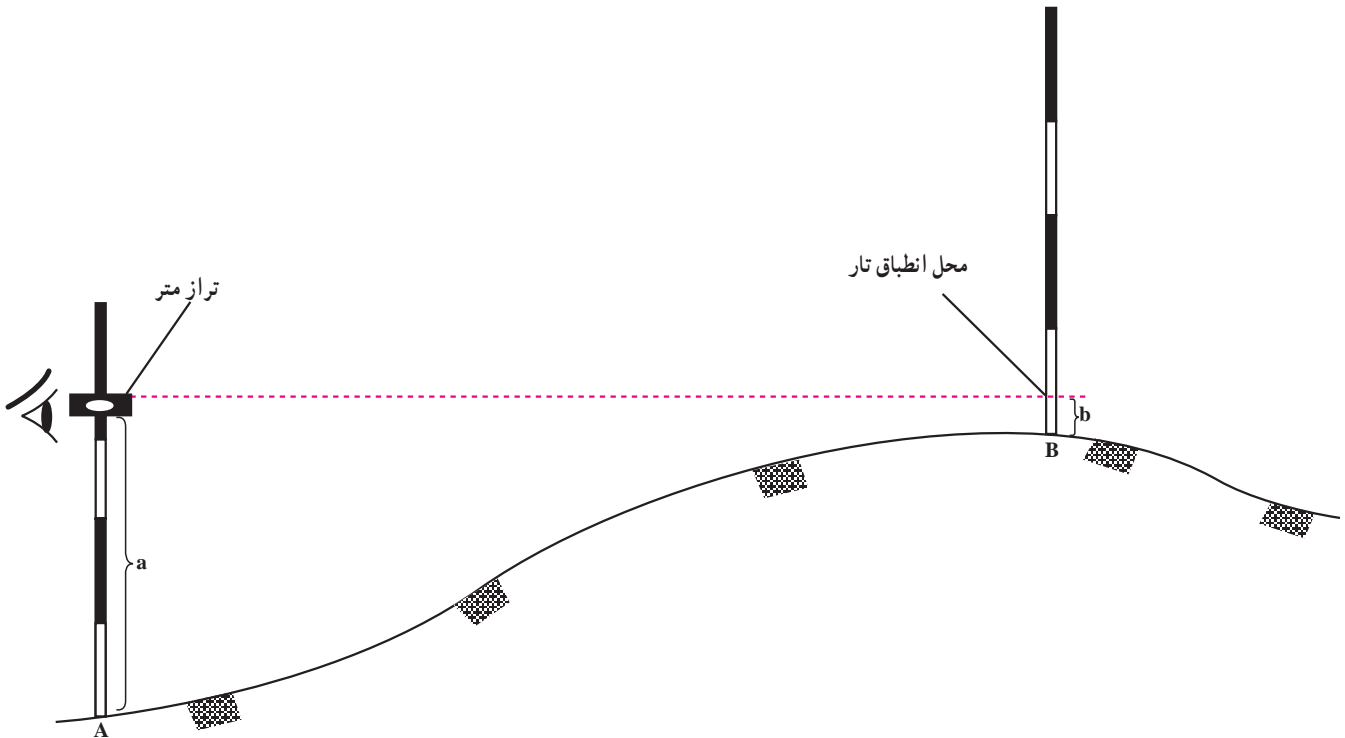
شکل ۸-۶- تراز یابی با شمشه و شاقول

می‌رویم و محل تار افقی تراز دستی را که روی ژالون B منطبق شده به کمک افراد گروه علامت می‌زنیم اکنون به وسیله یک متر فاصله‌ی تراز دستی تا نقطه‌ی A را اندازه‌گیری کرده و «a» می‌نامیم و سپس فاصله‌ی محل انطباق تار روی ژالون B را تا نقطه‌ی B اندازه گرفته و «b» می‌نامیم. برای اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B کافی است این دو مقدار را از هم کم کنیم.

$$\Delta h_{AB} = a - b$$

#### ۴-۷-۸- تراز یابی با ژالون و تراز متر (تراز دستی):

این روش تراز یابی بیشتر در عملیات نقشه برداری مربوط به پروژه‌های ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد. وسایل این تراز یابی دو عدد ژالون، یک عدد تراز متر و یک عدد متر می‌باشد. مطابق شکل ۷-۸ برای تراز یابی بین دو نقطه‌ی A و B. ابتدا یک ژالون در A و ژالون دیگری در B مستقر می‌کنیم. سپس تراز متر را در کنار یک ژالون - مثلاً ژالون A - قرار داده در حالی که آنرا افقی نگاه داشته‌ایم به ژالون دیگر - B - قراول



شکل ۷-۸- تراز یابی با تراز دستی

را به دست می‌آوریم. اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B عبارتست از:

$$\Delta H_{AB} = \Delta H_1 + \Delta H_2 + \Delta H_3$$

و می‌دانیم:

$$\Delta H_1 = a_1 - b_1 \text{ و } \Delta H_2 = a_2 - b_2$$

$$\Delta H_3 = a_3 - b_3$$

با جای گذاری در  $\Delta H_{AB}$  داریم:

$$\Delta H_{AB} = a_1 - b_1 + a_2 - b_2 + a_3 - b_3$$

و پس از ساده کردن داریم:

اگر دو نقطه‌ی A و B که می‌خواهیم اختلاف ارتفاع آن‌ها را پیدا کنیم در فاصله‌ی دوری از هم قرار گرفته باشند و یا شیب بین دو نقطه زیاد باشد، ابتدا باید چندین نقطه‌ی کمکی بین دو نقطه تعیین کنیم و سپس بین تمام نقاط تراز یابی کرده اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B را از روی آن‌ها محاسبه نماییم. این نوع تراز یابی را تراز یابی تدریجی می‌نامند. شکل (۸-۸)، یک نمونه از تراز یابی تدریجی بین دو نقطه‌ی A و B را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌کنید بین دو نقطه A و B شیب زیاد می‌باشد و با گرفتن نقاط کمکی  $P_1$  و  $P_2$  اختلاف ارتفاع  $\Delta H_1$ ،  $\Delta H_2$  و  $\Delta H_3$

با جای گذاری در فرمول داریم :

$$\Delta H_{AB} = (163 + 158 + 152) - (14 + 17 + 24)$$

اختلاف ارتفاع A و B:

$$\Delta H_{AB} = 473 - 55 = 418 \text{ cm} = 4/18 \text{ m}$$

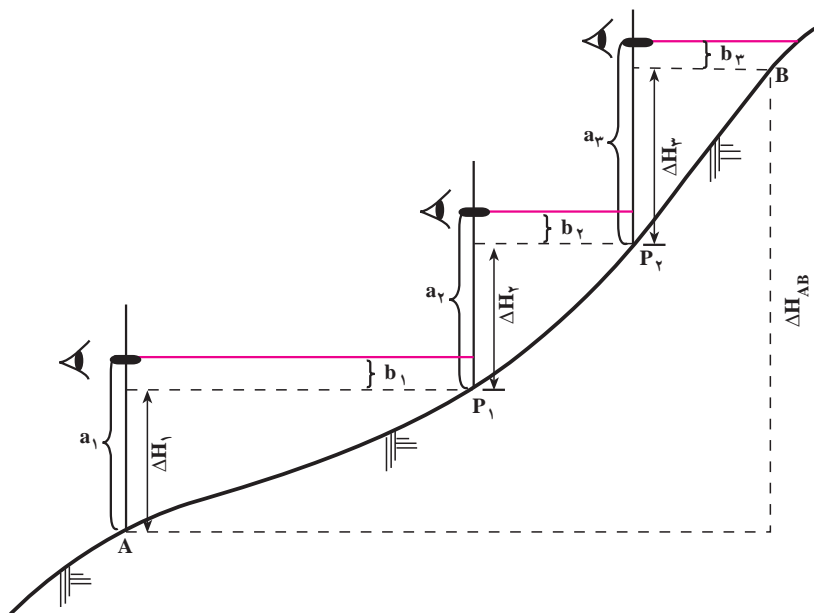
$$\Delta H_{AB} = (a_1 + a_r + a_p) - (b_1 + b_r + b_p)$$

مثلاً اگر در شکل ۸-۸، مقادیر زیر را اندازه گیری کرده

باشیم :

$$a_1 = 163 \text{ cm} \quad a_r = 158 \text{ cm} \quad a_p = 152 \text{ cm}$$

$$b_1 = 14 \text{ cm} \quad b_r = 17 \text{ cm} \quad b_p = 24 \text{ cm}$$



شکل ۸-۸- تراز یابی تدریجی با تراز دستی

افقی قرار بگیرد و عدسی‌هایی در آن به کار رفته که امکان دوربینی را فراهم می‌کند. برای قرائت و اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع نیز از یک وسیله‌ی مخصوص که به آن میر (شاخص) می‌گویند استفاده می‌شود که مدرج است و کار ژالون و متر را به تنهایی انجام می‌دهد. اکنون به معرفی وسایل تراز یابی می‌پردازیم.

### ۱-۸-۸- وسایل تراز یابی با دوربین :

۱- دوربین تراز یاب : دوربین‌های تراز یاب از سه قسمت

تشکیل شده‌اند :

(الف) قسمت فوقانی : این قسمت شامل تلسکوپ و وسایل

قراولروی است.

(ب) قسمت میانی : این قسمت شامل تراز کروی، قسمتی از بدنه

و در بعضی از انواع تراز یاب‌ها شامل یک صفحه مدرج (نقاله) برای

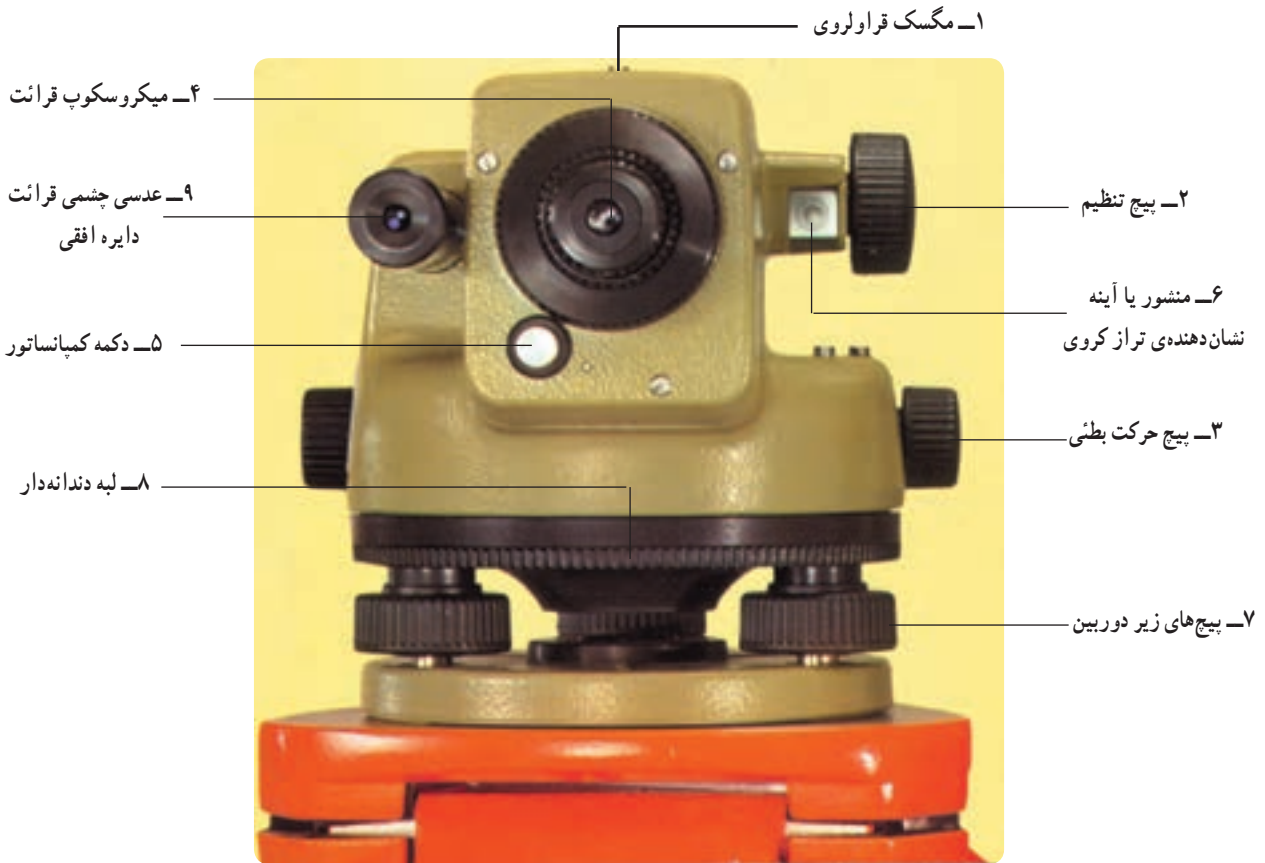
اندازه‌گیری زاویه‌ی افقی است که به آن «لمب افقی» می‌گویند.

### ۸-۸-۸- تراز یابی با دوربین

تراز یابی با تراز متر و ژالون یک روش نسبتاً مناسب برای تراز یابی در روی زمین می‌باشد اما این روش دارای مشکلات و معایبی است که از سرعت و دقت عمل آن می‌کاهد به عنوان مثال نگاه داشتن تراز دستی در کنار ژالون در یک نقطه‌ی معین و یا قراولروی با آن و انطباق تار افقی آن روی ژالون مقابل، همچنین هدایت فردی که باید محل انطباق تار را روی ژالون علامت بزند، همگی دارای خطاهای انسانی قابل توجهی می‌باشند. به همین دلیل برای آن‌که عمل تراز یابی با سرعت لازم، به راحتی و با دقت مطلوب انجام شود، وسایل و دستگاه‌های مخصوصی ساخته شده است. به عبارت دیگر به جای تراز دستی یک دستگاه تراز یاب ساخته شده است که بر روی یک سه پایه استوار و ثابت مستقر می‌گردد، ترازهای دقیقی روی آن نصب شده تا کاملاً در حالت

را به دقت در داخل آن قرار داد. در شکل ۸-۹ قسمت‌های مختلف ظاهری یک دستگاه ترازیاب را مشاهده می‌نمایید.

ج) قسمت تحتانی : این قسمت شامل پیچ‌های ترازکننده و صفحه‌ی اتصال دستگاه به سه‌پایه است. دوربین ترازیاب دارای جعبه‌ی مخصوصی می‌باشد که آن را در مقابل ضربات حفظ می‌کند و هنگام حمل ترازیاب باید ترازیاب



شکل ۸-۹- قسمت‌های ظاهری یک ترازیاب

۳- پیچ حرکت بطئی (کند) (Endless horizontal drive) : این پیچ که در دو طرف دوربین نیز قرار دارد، برای حرکت دادن آهسته‌ی دوربین به کار می‌رود تا بتوانیم دوربین را به دقت به یک نقطه، قراول برویم.

۴- میکروسکوپ قرائت (Reading microscope) : با پیچاندن این میکروسکوپ می‌توانید تصویر تارهای رتیکول را واضح و روشن ببینید.

۵- دکمه‌ی کمپانساتور (Push button for compensator control) : این دکمه در دوربین‌های اتوماتیک که دارای ترازاوماتیک می‌باشند

۱- مگسک قراولروی (Open sight) : برای آن که با دوربین به سمت یک نقطه قراول برویم (نشانه‌روی کنیم) ابتدا با کمک مگسک به سمت نقطه قراول می‌رویم در این حالت نقطه مورد نظر از داخل دوربین قابل رؤیت خواهد بود.

۲- پیچ تنظیم تصویر (وضوح تصویر) - (Rapid/finefocusing knob) : پس از قراولروی به یک نقطه، برای آن که تصویر آن را به‌طور وضوح مشاهده کنیم از این پیچ استفاده می‌کنیم. این پیچ به سرعت و خیلی خوب تصویر را واضح می‌کند.





شکل ۱۰-۸- یک تراز یاب ساختمانی

در شکل ۱۰-۸ یک نوع تراز یاب ساختمانی و قسمت های داخلی آن را مشاهده می کنید.

**ترازیاب های مهندسی:** این تراز یاب ها از تراز یاب های ساختمانی دقیق تر و حساس تر می باشند و علاوه بر کارهای ساختمانی در نقشه برداری های دقیق تر نیز به کار می روند و در بعضی از انواع تراز یاب های مهندسی با اضافه کردن یک میکرومتر بر روی عدسی شیئی می توان به عنوان تراز یاب های دقیق نیز از آنها استفاده نمود. از تراز یاب های مهندسی در طرح و اجرای بیشتر پروژه های مهندسی مثل راه، راه آهن، ایجاد کارخانه، ساختمان پل و تونل و... استفاده می شود. این تراز یاب ها معمولاً دارای یک دایره ای مدرج افقی می باشند که دقیق تر از دایره ای افقی تراز یاب های ساختمانی می باشد و با یک میکروسکوپ قرائت می شود.

مشخصات تراز یاب های مهندسی عبارتند از:

- دقت ۲ تا ۴ میلی متر بر کیلومتر

- درشت نمایی حدود ۲۰ تا ۳۵ برابر

- حساسیت تراز حدود ۳۰ ثانیه

۱- تراز یاب های دقیق: این تراز یاب ها که دقیق ترین

قرار دارد که قبل از هر قرائت دکمه ای آن را می فشاریم.

۶- منشور یا آینه نشان دهنده ی تراز کروی -

(Pentaprism for viewing circular level): این به شما امکان

می دهد که به راحتی تراز کروی را مشاهده نمایید.

۷- پیچ های زیر دوربین (پیچ تراز) (Footscrew): این پیچ ها

که سه عدد می باشند در زیر دوربین تعبیه شده اند که به کمک آنها

می توانیم حباب تراز کروی را تنظیم نماییم.

۸- لبه ی دندانه دار - (Milled rim for setting horizontal circle):

این لبه ی دندانه دار جهت تنظیم دایره ای افقی (نقاله ای افقی) به کار

می رود.

۹- عدسی چشمی قرائت دایره افقی -

(Horizontal circle reading eyepiece): از این دوربین چشمی

برای قرائت لمب افقی دوربین استفاده می شود و به وسیله آن

می توانیم زوایای افقی بین امتدادها را قرائت کنیم.

موارد ذکر شده در بند ۸ و ۹ در برخی از دوربین های

ترازیاب وجود دارد.

**طبقه بندی دوربین های تراز یابی:** دوربین های تراز یاب

را از نظر کاربرد به سه دسته تقسیم می کنند که عبارتند از:

- تراز یاب های ساختمانی (Dumpy levels)

- تراز یاب های مهندسی (Engineer's levels)

- تراز یاب های دقیق (Precision levels)

**ترازیاب های ساختمانی:** این نوع تراز یاب ها نسبت به

ترازیاب های مهندسی از دقت کمتری برخوردارند و حساسیت

تراز و درشت نمایی آنها کم می باشد، در عوض از نظر دستگاهی،

ساده و محکم بوده و طرز کار با آنها آسان و سریع می باشد و بیشتر در

کارهای ساختمانی، زمین های نسبتاً مسطح، پیاده کردن طرح های

ساختمانی، تهیه ی نیمرخ ها و تعیین حجم عملیات خاکی و مواردی

از این قبیل به کار می رود و به همین جهت اغلب دارای یک دایره ای

مدرج افقی می باشد.

مشخصات مهم تراز یاب های ساختمانی عبارتند از:

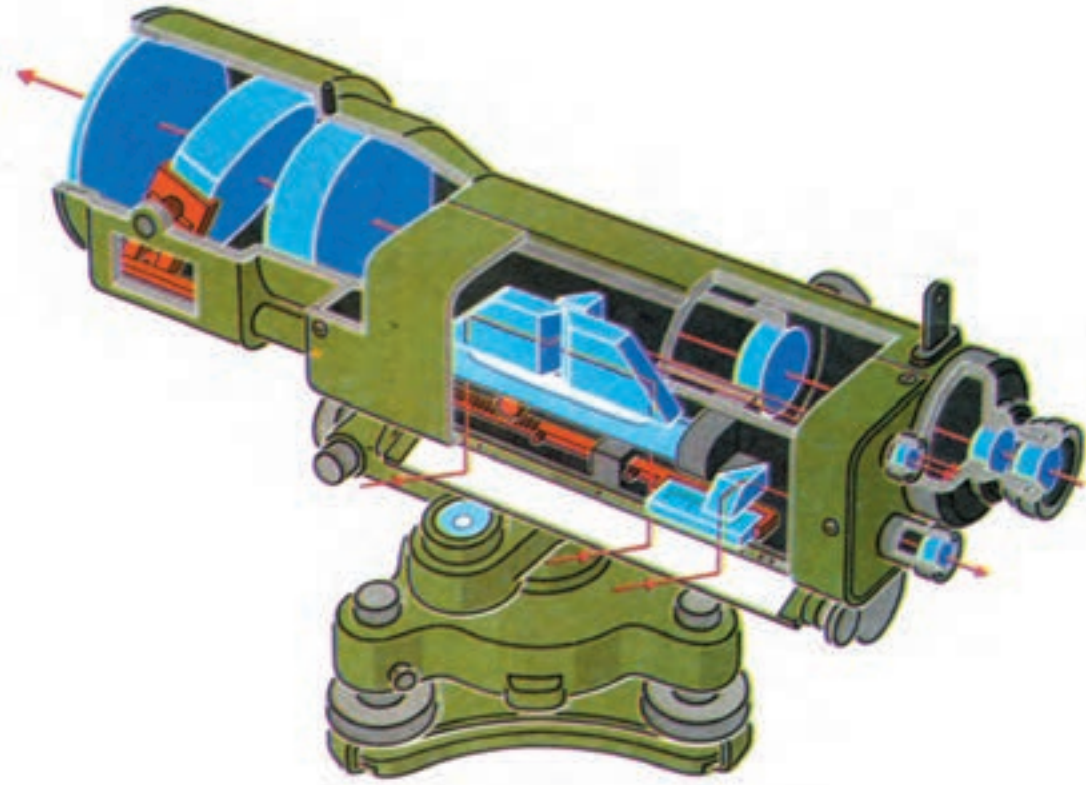
- دقت ۵ تا ۱۵ میلی متر بر کیلومتر

- درشت نمایی حدود ۱۰ تا ۲۵ برابر

- حساسیت تراز حدود ۶۰ ثانیه

و... بهره‌برداری می‌شود. به همین دلیل درشت‌نمایی دوربین در این ترازیاها بیشتر از سایر انواع ترازیاها می‌باشد و همچنین حساسیت تراز و دقت این دوربین‌ها بسیار زیاد می‌باشد و دارای ساختمانی پیچیده می‌باشند و روش کار با آن‌ها نیز متفاوت بوده و در آن‌ها میرهای مخصوصی نیز بکار می‌رود (شکل ۸-۱۱).

نوع ترازیاها می‌باشند برای کارهای معمولی مورد استفاده قرار نمی‌گیرند. بلکه از آن‌ها برای کارهای دقیق مثل تشکیل شبکه‌ی نقاط کنترل ارتفاعی در ژئودزی، ساخت کارخانه‌هایی که دقت ارتفاعی زیادی در آن‌ها مورد توجه است و نصب دستگاه‌های آن‌ها، کنترل نشست زمین و تغییر شکل بناهایی مانند: پل، سد



شکل ۸-۱۱- ترازیا دقیق

محکم ببندیم (شکل b-۸-۱۲). به این پیچ می‌توانیم یک شاقول آویزان نماییم تا محل استقرار سه‌پایه را دقیقاً مشخص نماید یک پوشش پلاستیکی از این صفحه محافظت می‌کند تا هنگام جابه‌جایی سه‌پایه صفحه و پیچ متصل به آن ضربه نخورد (شکل c-۸-۱۲). روی هرپایه در قسمت انتهایی یک برجستگی (رکاب فلزی) وجود دارد که هنگام استقرار دوربین باید با پا روی آن‌ها فشار وارد کنیم تا نوک تیز پایه کاملاً در زمین فرو رفته از جابه‌جایی سه‌پایه جلوگیری شود شکل (d-۸-۱۲) را مشاهده نمایید. سه‌پایه‌های مخصوص دوربین‌های ترازیا معمولاً سبک‌تر از سایر سه‌پایه‌ها می‌باشند.

مشخصات ترازیاها دقیق عبارتند از:

- دقت حدود  $2^{\circ}$  میلی‌متر بر کیلومتر

- درشت‌نمایی حدود  $5^{\circ}$  برابر

- حساسیت تراز حدود  $10^{\circ}$  ثانیه

۲- سه پایه دوربین: برای آن‌ها که بتوانیم دوربین را تراز

نموده مورد استفاده قرار دهیم، هم‌چنین برای استقرار دوربین ترازیا بر روی یک نقطه‌ی معین معمولاً آن را روی یک سه پایه (tripods) قرار می‌دهیم شکل (۸-۱۲) روی هرپایه پیچی تعبیه شده که طول پایه با آن کوتاه یا بلند می‌شود (شکل a-۸-۱۲).

در قسمت فوقانی، یک صفحه‌ی مسطح قرار دارد که پیچی در وسط آن تعبیه شده تا به وسیله‌ی آن دوربین ترازیا را به سه پایه



شکل c-۸-۱۲- نوک پایه



شکل a-۸-۱۲- پیچ روی پایه



شکل d-۸-۱۲- محافظ پیچ سه پایه



شکل b-۸-۱۲- پیچ روی سه پایه

شکل ۸-۱۲- چند نمونه سه پایه تراز یاب

می‌گویند. معمولاً طول آن چهار متر است و از چهار قطعه ۱ متری که به یکدیگر لولا شده‌اند ساخته شده است (شکل ۸-۱۳).

۳- میر Mire (شاخص): برای قرائت اختلاف ارتفاع نقاط، شاخص مدرجی ساخته شده است که به آن میر یا استاف Staff



ب



الف



ج

شکل ۸-۱۳- میر معمولی تراز یابی

روی نقطه‌ی مورد نظر قرار بگیرد. برای قائم نگه‌داشتن میر از یک تراز کروی استفاده می‌شود که در بعضی از انواع میرها در پشت میر نصب می‌شود و میر نگهدار<sup>۱</sup> به راحتی می‌تواند ضمن نگه‌داشتن میر با کمک تراز کروی میر را پیوسته قائم نگه دارد. در صورت منصوب نبودن تراز روی میر می‌توانیم از تراز نبشی استفاده کنیم و آن را در لبه‌ی پشتی (طرف میر نگهدار) قرار می‌دهیم تا مانع دید عامل نباشد. ضمناً میر نگهدار باید میر را درست روبه دوربین نگه دارد تا عامل به خوبی آن را ببیند (شکل ۱۴-۸).

روی میر با دو رنگ متضاد (سفید و قرمز یا سفید و مشکی) درجه بندی شده و معمولاً سانتیمترها را در آن درجه بندی کرده‌اند و دسیمترها را با عدد روی آن نوشته‌اند. میرها را به صورت کشویی نیز می‌سازند که در داخل هم فرو رفته و جمع می‌شوند و یا به صورت قطعات جداشونده می‌سازند. از این نوع میرها در محل‌های کم ارتفاع مانند تونل‌ها نیز می‌توان استفاده نمود.

— طرز نگه‌داشتن میر : میر در تراز یابی باید به صورت قائم



شکل ۱۴-۸- طریقه‌ی نگاه داشتن میر



شکل ۱۵-۸- کاربرد میر با اندازه‌های مختلف

۱- اصطلاحاً به شخصی که میر را نگه می‌دارد می‌گویند.



## ۸-۹-۸- کنترل سالم بودن دوربین تراز یاب

### ۸-۹-۸-۱- کنترل سالم بودن قسمت‌های ظاهری :

هنگام تحویل گرفتن دوربین تراز یاب به نکات زیر توجه کنید :

۱- جعبه‌ی دوربین سالم باشد، یعنی دارای شکستگی و ترک خوردگی نباشد و چفت آن نیز سالم و محکم باشد یعنی هرز نباشد که با اندک فشاری باز شود. بند جعبه‌ی دوربین نیز پارگی و زدگی نداشته باشد، زیرا هنگام حمل، امکان پاره شدن آن و افتادن دوربین وجود دارد.

۲- درپوش عدسی دوربین در روی آن بوده و تمیز و سالم باشد.

۳- عدسی شیئی تمیز و سالم باشد.

۴- عدسی چشمی تمیز بوده پیچ روی آن که برای تنظیم وضوح تصویر تارهای رتیکول به کار می‌رود، سالم باشد. این پیچ را چرخانده از سلامت آن اطمینان حاصل کنید.

۵- پیچ تنظیم تصویر را بچرخانید تا در روی یک نقطه، تصویر واضحی را مشاهده کنید. به این ترتیب سلامت این پیچ مشخص می‌شود.

۶- سه پیچ زیر دوربین را بچرخانید تا مطمئن شوید که قفل نیستند و یا هرز نشده‌اند.

۷- مگسک قراولروی را کنترل کنید که دارای شکستگی یا انحراف نباشد.

۸- کنترل حباب تراز از نظر این که شکسته یا لقی نبوده و حباب آن بزرگتر نشده یا به حباب‌های ریزتر تقسیم نشده باشد.

۹- کنترل جهت افقی و درجات آن از نظر این که درجات آن پاک نشده باشد.

### ۸-۹-۸-۲- کنترل سالم بودن عملکرد :

۱- **کنترل صحت کار تراز :** اولین و مهم‌ترین بخش یک دوربین تراز یاب، تراز آن است که باید از عملکرد صحیح آن مطمئن شوید. دوربین را پس از آن که تراز کردید  $180^\circ$  درجه بچرخانید تا درستی عملکرد تراز آن معلوم شود. در صورتی که تراز دوربین سالم باشد در این حالت نیز وضعیت تراز خود را حفظ خواهد کرد.

۲- **کنترل تارهای رتیکول :** پیچ تنظیم عدسی چشمی را بچرخانید تا تارهای رتیکول را بطور واضح ببینید. برای دید بهتر

می‌توانید یک صفحه سفید را در جلو عدسی شیئی بگیرید تا تارهای رتیکول را بهتر ببینید. پس از این که تارها را واضح و روشن دیدید مطمئن می‌شوید که پیچ تنظیم تصویر تارها خوب کار می‌کند. اکنون باید یک خط شاقولی پیدا کنید که به شاقولی بودن آن اطمینان دارید، دوربین را پس از تراز کردن بچرخانید و به آن خط شاقولی قراول بروید در صورتی که تار قائم کاملاً در روی این خط شاقولی قرار گرفت معلوم می‌شود که تار قائم سالم می‌باشد.

برای کنترل تار افقی می‌توانید یک نقطه در روی دیوار بر روی کاغذ یا دیوار مقابل (با خودکار یا مداد) در محل مرکز تلاقی تارهای افقی و قائم قرار دهید سپس با پیچ حرکت بطنی دوربین را به سمت چپ و راست بچرخانید اگر نقطه‌ی مورد نظر همواره بر روی تار افقی باقی ماند، معلوم می‌شود که تار رتیکول و تراز دوربین هر دو سالم هستند.

### ۸-۹-۸-۳- کنترل محور کلیماسیون :

محور دیدگانی دوربین که از مرکز عدسی شیئی و مرکز عدسی چشمی می‌گذرد محور کلیماسیون نام دارد وقتی دوربین را تراز کرده‌اید محور کلیماسیون باید همان خط تراز باشد که از مرکز دوربین تراز یاب می‌گذرد به عبارت دیگر محور کلیماسیون باید بر خط تراز منطبق باشد، در این صورت می‌گوییم که این دوربین خطای کلیماسیون ندارد. البته همه‌ی دوربین‌ها خطای کلیماسیون دارند و در صورتی که مقدار این خطا زیاد نباشد، اشکال زیادی ایجاد نمی‌کند. البته با انتخاب روش‌های مناسب تراز یابی می‌توانیم از دوربینی که خطای کلیماسیون قابل توجهی دارد نیز استفاده کنیم. بنابراین نیازی به کنترل محور کلیماسیون در کارهای معمولی نیست.

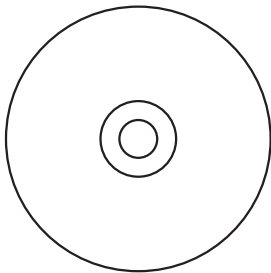
### ۸-۹-۸-۳- طریقه‌ی حفاظت، نگهداری و بهره‌برداری

#### صحیح از دوربین تراز یاب :

۱- برای حمل دوربین حتماً آن را در جعبه‌ی مخصوص خود بگذارید.

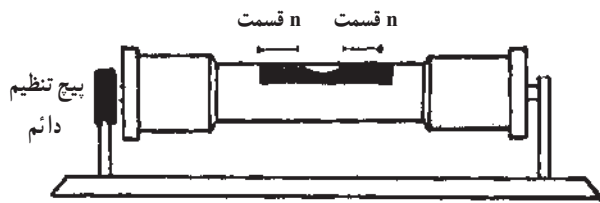
۲- هنگام قرار دادن دوربین در جعبه دقت کنید که آن را در جهت درست داخل جعبه قرار دهید و اگر بطور صحیح در جای خود قرار نگرفته و در جعبه به خوبی بسته نمی‌شود، سعی نکنید که با فشار زیاد آن را ببندید بلکه ابتدا دوربین را به طور صحیح در جای خود بگذارید و سپس جعبه را بسته و از صحت چفت آن اطمینان حاصل کنید.

در مرکز شیشه‌ی تراز دایره‌ی کوچکی موجود است که برای تراز نمودن دستگاه باید حباب را درست در مرکز آن قرار داد.



شکل ۱۷-۸- تراز کروی در حالت تراز

۲- تراز استوانه‌ای: این تراز از یک لوله (استوانه) تشکیل شده که در وسط آن یک شیشه‌ی مدرج تعبیه شده است و فقط در امتداد یک خط (محور لوله‌ی تراز) عمل تراز کردن را انجام می‌دهد و معمولاً دقت آن از تراز کروی بیشتر است. برای تراز نمودن آن باید حباب را در وسط خطوط مدرج قرار داد. حباب این تراز به صورت یک بیضی گون است.



شکل ۱۸-۸- تراز استوانه‌ای (لوله‌ای)

۳- تراز لویبایی: عبارت است از یک تراز استوانه‌ای که در بالای آن یک سیستم منشوری قرار دارد. این سیستم تصویر حباب تراز را - که به شکل لویبا است - به صورت دولپه‌ی لویبا نشان می‌دهد و وقتی دستگاه کاملاً تراز باشد، این دولپه برهم منطبق شده حباب تراز به صورت یک بیضی کامل دیده می‌شود (شکل الف-۱۹-۸)، اما به محض به هم خوردن تراز، حباب لویبایی شکل از وسط نصف شده دولپه‌ی لویبا به موازات محور لوله‌ی تراز از هم جدا می‌شوند (شکل ب- ۱۹-۸).  
دقت تراز لویبایی از تراز استوانه‌ای بیشتر است و در دوربین‌های دقیق از آن استفاده می‌شود.

۳- هنگام بستن دوربین بر روی سه‌پایه، پیچ زیر سه‌پایه را درست ببندید تا رزوه‌های آن هرز نشود و مطمئن شوید که آن را محکم بسته‌اید.

۴- پایه‌های سه‌پایه را به اندازه مناسب باز کرده از محکم بودن محل استقرار پایه‌ها اطمینان حاصل کنید و پیچ‌های پایه‌ها را محکم ببندید تا در اثر شل شدن پایه‌ها و جابه‌جایی آن‌ها دوربین بر روی زمین سقوط نکند.

۵- هنگام تراز کردن دوربین، پیچ‌های تراز را بیش از اندازه باز نکنید که از جای خودشان دربیایند و نیز آن قدر سفت نکنید که پیچ‌ها قفل شوند.

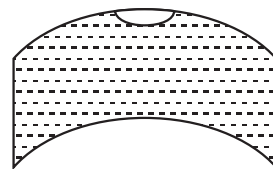
۶- هرگز عدسی چشمی و به خصوص عدسی شیئی را با دست یا پارچه‌ی خشک و زبر تمیز نکنید بلکه از پارچه‌ی مخصوص که در داخل جعبه دوربین قرار دارد برای تمیز کردن عدسی‌ها استفاده نمایید.

۷- به پیچ‌های تنظیم عدسی چشمی، تار تیکول، مگسک قراولروی و هرگونه تنظیمات دوربین دست نزنید و یا با استفاده از آچار مخصوص آن‌ها را باز و بسته نکنید.

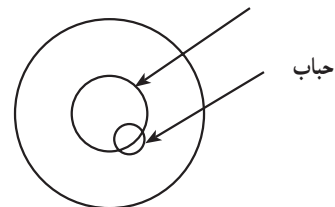
۸- از تابش شدید و مداوم آفتاب بر روی دوربین جلوگیری کنید. هم چنین دوربین را از گرد و غبار شدید و باران حفظ کنید.

۴-۹-۸- انواع تراز: در دستگاه‌های نقشه برداری معمولاً چهار نوع تراز به کار می‌رود.

۱- تراز کروی: این تراز که به صورت یک قطعه‌ی کروی است، در همه‌ی جهات تراز بودن را نشان می‌دهد. حباب این تراز به صورت کروی است که از بالا به صورت یک دایره دیده می‌شود.

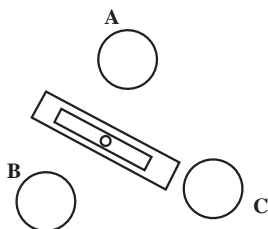


خط نشانه که باید حباب در وسط آن قرار گیرد



شکل ۱۶-۸

۳- دوباره به حالت اول برمی‌گردیم؛ یعنی لوله دوربین را در امتداد دویبج (A و B) قرار می‌دهیم. در این حالت، دوربین تراز نخواهد بود، زیرا با حرکت پیچ سوم (C) تراز دوربین به هم خورده است؛ بنابراین، یک‌بار دیگر به وسیله دویبج (A و B) حباب را به وسط لوله‌ی تراز می‌بریم و باز به حالت قبلی (لوله‌ی تراز در امتداد دویبج) برگشته، تراز را کنترل می‌کنیم. این رفت و برگشت را آن‌قدر تکرار می‌کنیم تا دیگر نیازی به چرخاندن پیچ‌ها نباشد (شکل ۸-۲۲).

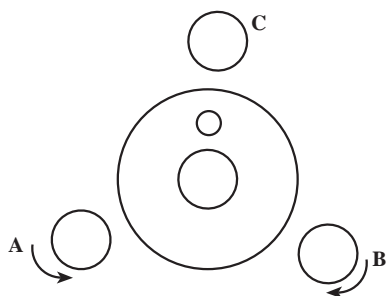


شکل ۸-۲۲- تراز استوانه‌ای تنظیم شده

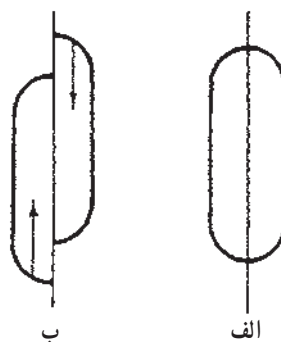
**ب - تنظیم تراز کروی:** تنظیم تراز کروی راحت‌تر و سریع‌تر انجام می‌گیرد. در این حالت نیز سه پیچ تنظیم تراز مورد استفاده قرار می‌گیرد. شایان ذکر است که عامل باید مقداری با پیچ‌های تراز کار کرده باشد تا مهارت کافی به دست آورده و بتواند به وسیله پیچ‌ها حباب را کنترل کرده به سمت دلخواه آن را حرکت دهد.

بهتر است روشی مناسب برای حرکت دادن حباب به وسط تراز مورد استفاده قرار بگیرد. در این جا روشی که نقشه برداران از آن استفاده می‌کنند، ارائه می‌شود:

اگر امتداد گذرنده از دویبج A و B را محور xها و عمود منصف AB را که از پیچ سوم می‌گذرد محور yها فرض کنید (شکل ۸-۲۳)، برای آن که حباب را در وسط تراز قرار دهید به این طریق عمل کنید:



شکل ۸-۲۳- تراز کروی



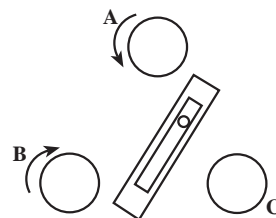
شکل ۸-۱۹- حباب تراز لویبایی

**۵-۹-۸- نحوه‌ی تراز کردن دستگاه:** دوربین‌های نقشه برداری معمولاً سه پیچ در قسمت تحتانی دارند که به صفحه‌ی زیر دوربین در جهت‌های مختلف شیب می‌دهند به این ترتیب، می‌توان دوربین را به وسیله‌ی آن‌ها تراز نمود؛ یعنی محور اصلی دوربین را در امتداد «خط شاقولی» قرار داد.

سه پیچ تنظیم تراز، یک مثلث متساوی‌الاضلاع تشکیل می‌دهند که با پیچاندن آن‌ها می‌توان حباب تراز را تنظیم نمود.

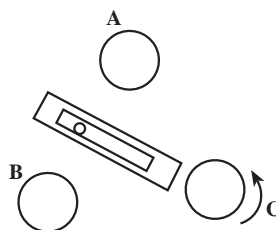
**الف - تنظیم تراز استوانه‌ای:**

۱- لوله‌ی تراز را در امتداد دویبج (A و B) قرار داده با چرخاندن دویبج مذکور باهم به طرف داخل یا خارج (در خلاف جهت هم) حباب تراز را به وسط لوله‌ی تراز می‌بریم (شکل ۸-۲۰).

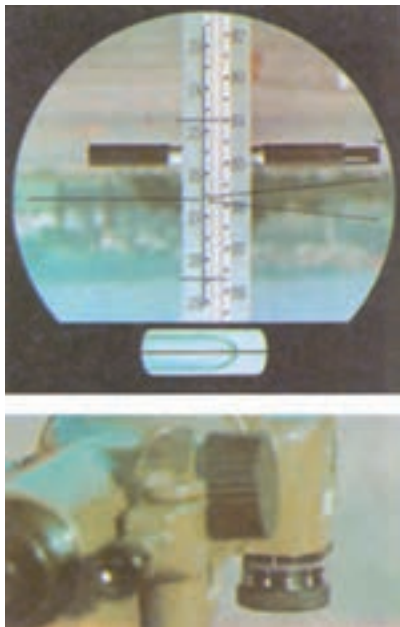


شکل ۸-۲۰- تنظیم تراز استوانه‌ای

۲- لوله‌ی دوربین را در جهت پیچ سوم قرار می‌دهیم (دوربین را  $90^\circ$  می‌چرخانیم) و به وسیله پیچ سوم (C) حباب را به وسط لوله‌ی تراز می‌بریم (شکل ۸-۲۱).



شکل ۸-۲۱- تنظیم تراز استوانه‌ای



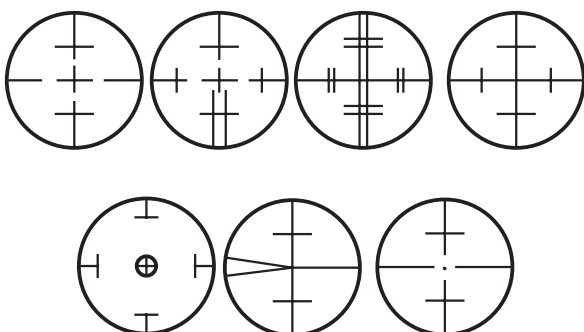
شکل ۸-۲۶- تراز لویبایی

**د- تنظیم تراز اتوماتیک:** تراز اتوماتیک نیز مانند

تراز لویبایی برای برطرف کردن خطای جزئی تراز به کار می‌رود زیرا هنگام تراز کردن دوربین به وسیله‌ی تراز استوانه‌ای یا کروی، هر قدر هم که دقیق باشیم باز هم مقداری خطای جزئی در تراز باقی می‌ماند که حساسیت تراز دوربین آن را تشخیص نمی‌دهد. و لازم است قبل از هر قرائت دکمه‌ی مربوط به آن را فشرده چند ثانیه صبر کنیم تا تراز اتوماتیک کار خودش را انجام دهد.

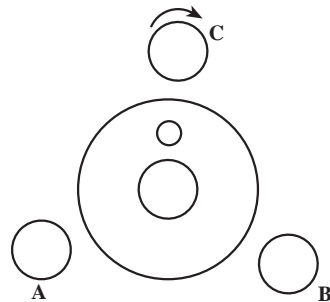
**۶-۹-۸- قرائت میر:** جهت قرائت و اندازه‌گیری

روی میر علائم و نشانه‌های مخصوصی در داخل دوربین تعبیه شده که به صورت خطوط مستقیم و منحنی می‌باشد در شکل ۸-۲۷ چند نمونه از آن‌ها را ملاحظه می‌کنید. به این علائم تارهای رتیکول «Reticule» می‌گویند.



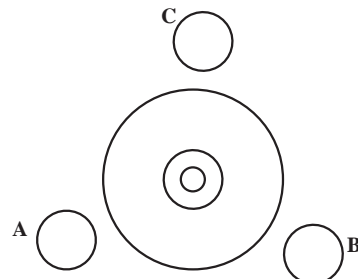
شکل ۸-۲۷- انواع تارهای رتیکول

۱- دو پیچ A و B را با هم و در خلاف جهت هم بچرخانید تا حباب در هر قسمت از صفحه‌ی تراز که قرار دارد در امتداد موازی محور x حرکت نموده و روی نقطه‌ای از محور y قرار بگیرد (شکل ۸-۲۴).



شکل ۸-۲۴- تنظیم تراز کروی

۲- پیچ سوم (C) را در جهت مناسب بچرخانید تا حباب روی محور y حرکت نموده در مرکز دایره‌ی تراز قرار بگیرد. اگر حباب هنگام حرکت از روی محور y خارج شد با پیچ‌های A و B آن را روی محور y برمی‌گردانیم (شکل ۸-۲۵).



شکل ۸-۲۵- تنظیم تراز کروی

**ج- تنظیم تراز لویبایی:** پس از تراز کردن تقریبی

دستگاه توسط تراز استوانه‌ای یا کروی، با استفاده از تراز لویبایی که تراز دقیق‌تری است در آخرین مرحله آن را تنظیم می‌کنیم. معمولاً فقط دارای یک پیچ است که با چرخاندن آن می‌توانیم دو تکه‌ی حباب را که از هم جدا شده‌اند نزدیک هم آورده لبه‌های آن دو را برهم منطبق نماییم تا به یک حباب کامل (شکل دانه‌ی لویبیا) تبدیل شود.

تراز لویبایی به وسیله یک چشمی مخصوص در کنار تلسکوپ دوربین رؤیت می‌شود و در بعضی از انواع ترازباز از داخل تلسکوپ، ضمن دیدن شاخص، می‌توانیم در زیر آن همزمان تراز لویبایی را نیز ببینیم (شکل ۸-۲۶).



بینند. این کار بسیار ضروری می‌باشد زیرا در غیراین صورت هنگام مشاهده‌ی میر تصویر تارها «دوگانه» دیده خواهد شد و عمل اندازه‌گیری با اشکال و خطا انجام خواهد گرفت.

پس از استقرار دوربین و قبل از شروع قرائت عامل یک صفحه‌ی سفید (مثلاً یک برگ کاغذ) جلوی دوربین نگاه می‌دارد و «تارهای رتیکول» را به کمک پیچی که روی عدسی چشمی قرار دارد برای چشم خود کاملاً تنظیم می‌کند تا آن‌ها را به طور واضح



شکل ۲۸-۸- سانتراژ اپتیکی



ج- سانتراژ با شاقول میله‌ای در یک کار ژئودزی



ب- سانتراژ با میله



الف

شکل ۲۹-۸



شکل ۳۰-۸- دوربین ترازباب، سانتراژ با شاقول

**تذکر:** هنگام استقرار سه‌پایه باید دقت شود که صفحه روی آن تقریباً افقی باشد.

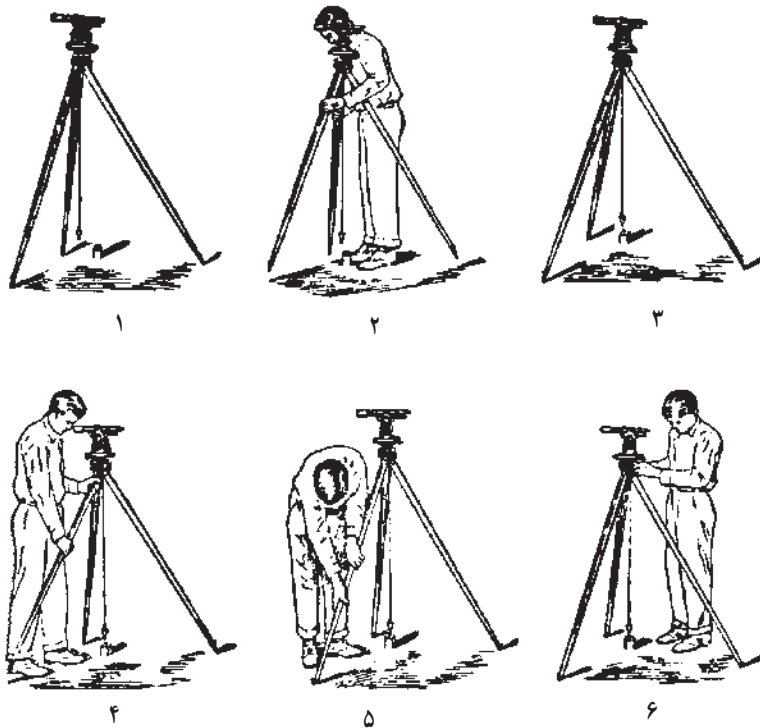
اکنون باید دوربین را با دقت تراز کنیم تا استقرار آن روی نقطه‌ی مورد نظر کامل شود. هرگاه دوربین بر روی یک نقطه سانتراژ شده و ترازهای آن (کروی و استوانه‌ای) تنظیم باشند اصطلاحاً می‌گوییم دوربین در آن نقطه مستقر شده است. در شکل ۳۰-۸ یک ترازباب را روی سه‌پایه‌ای که دارای قلاب مخصوص شاقول است ملاحظه می‌کنید.



شکل ۳۱-۸- شاقول مخصوص نقشه برداری

و تارهای رتیکول هر دو واضح هستند و عامل باید تارهای رتیکول را بر میر منطبق کند به نحوی که تار بلند قائم درست در امتداد میر و در وسط آن قرار بگیرد. برای این کار عامل باید از پیچ حرکت بطئی استفاده کند تا بتواند به آرامی و به دقت دوربین را اندکی چرخانده و تار قائم را بر وسط میر منطبق کند.

پس از تراز کردن دوربین ترازیاب توسط پیچ‌های تنظیم تراز تصویر تارهای رتیکول عامل به سمت میر مورد نظر قراول می‌رود برای این کار ابتدا از مگسک بالای دوربین نگاه کرده و با دودست ترازیاب را می‌چرخاند تا در جهت میر قرار بگیرد. در این حالت میر در میدان دید دوربین قرار دارد و عامل می‌تواند به کمک پیچ تنظیم تصویر «Focusing» میر را واضح ببیند. اکنون تصویر میر



شکل ۳۲-۸- استقرار ترازیاب توسط شاقول

شده است و عامل به این ترتیب قرائت می‌کند: ابتدا می‌گوید ۰۹ (صفر، نه). بعد خطوط سانتیمتر را می‌شمارد، ۸ خط، می‌شود ۰۹ میلی‌متر و خورده‌های سانتیمتر نهم را به صورت میلی‌متر حدس می‌زند، ۵ میلی‌متر، بنابراین می‌خواند ۰۸۵ (هشتاد و پنج)، و نویسنده که در کنار عامل قرار دارد یادداشت می‌کند ۰۹۸۵، ملاحظه می‌کنید که قرائت روی میر با دقت میلی‌متر انجام می‌شود و باید همیشه به صورت چهار رقمی و برحسب میلی‌متر نوشته شود.

پس از انطباق تار قائم بر وسط میر نوبت قرائت اندازه‌ی روی میر فرا می‌رسد. برای این کار از تار بلند افقی (تار میانی) استفاده می‌شود. بدین صورت که باید محل انطباق تار افقی روی میر، قرائت شود در شکل ۸-۳۳، یک نمونه را ملاحظه می‌نمایید. همان‌طور که در شکل می‌بینید عددی روی میر نوشته شده است. این اعداد مقدار دسیمتر را روی میر نشان می‌دهند و هر دسیمتر با ده سانتیمتر نشان داده شده که از خطوط سفید و سیاه یا سفید و قرمز تشکیل



شکل ۸-۳۳- قرائت روی میر

B مستقر شده‌اند قراول می‌رویم. مثلاً ابتدا به میر A قراول رفته و مقداری a را قرائت می‌کنیم. سپس دوربین را به طرف نقطه‌ی B چرخانده و روی میر B مقدار b را قرائت می‌کنیم. اصل کلی ترازبایی می‌گوید:

اختلاف ارتفاع دو نقطه عبارت است از اختلاف قرائت روی میرهای مستقر در دو نقطه یعنی:

۷-۹-۸- اصول ترازبایی مستقیم: همان‌گونه که گفته شده عمل ترازبایی عبارت است از یافتن اختلاف ارتفاع بین دو نقطه. برای پیدا کردن این اختلاف ارتفاع به کمک دوربین ترازبایی می‌توانیم به یکی از سه حالت زیر عمل کنیم:

الف- ساده‌ترین و بهترین حالت ترازبایی بین دو نقطه به این ترتیب است که دوربین را بین دو نقطه تقریباً در وسط آن‌ها مستقر می‌کنیم مانند شکل ۸-۳۴ و سپس به میرهایی که در نقاط A و

قرائت روی میر B - قرائت روی میر A = اختلاف ارتفاع دو نقطه ی A و B



شکل ۸-۳۴ - ترازیابی مستقیم (حالت فراز)

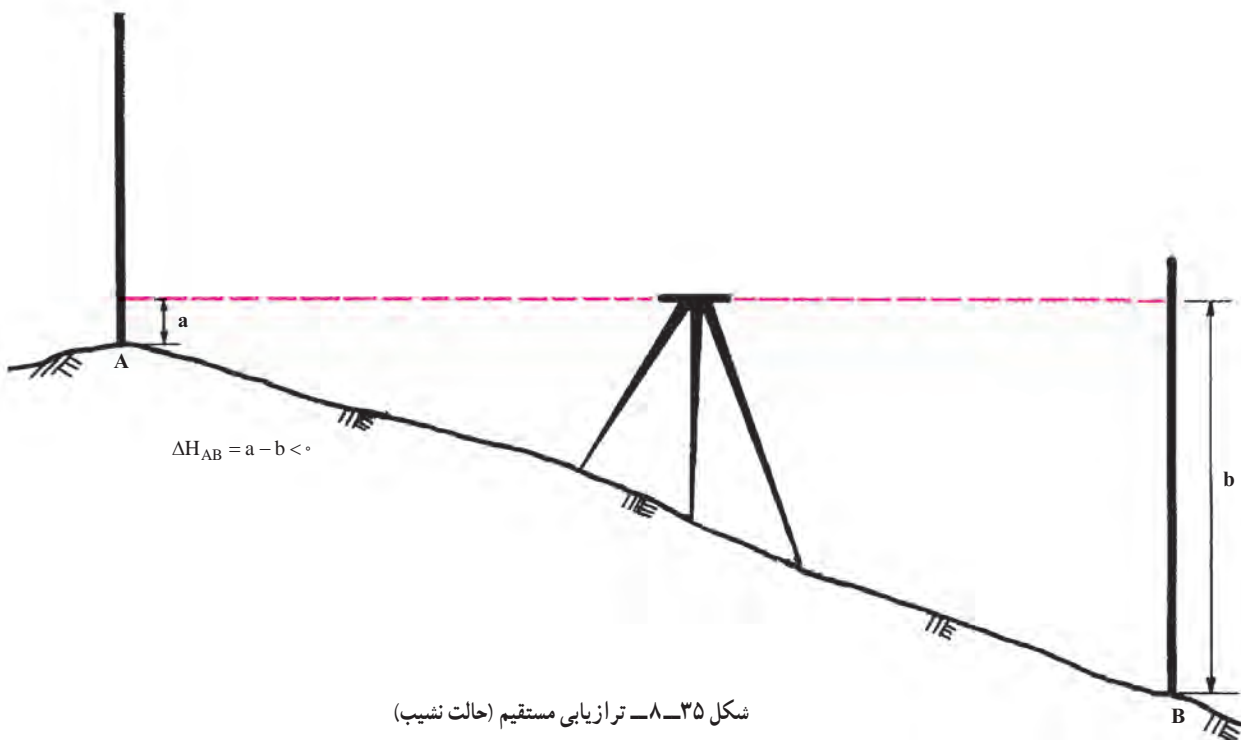
گرفته پس قرائت عقب برابر است با  $a$  و چون قرائت دوم روی نقطه ی B انجام شده در نتیجه قرائت جلو عبارت است از  $b$  و اختلاف ارتفاع دو نقطه ی A و B به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\Delta H_{AB} = a - b$$

در شکل (۸-۳۵)، به قرائت اول اصطلاحاً «قرائت عقب» (Back Sight) و به قرائت دوم «قرائت جلو» (Front Sight) می گویند و در فرم ترازیابی قرائت عقب را به اختصار «B.S» و قرائت جلو را «F.S» می نویسند. بنابراین داریم:

$$\text{قرائت جلو} - \text{قرائت عقب} = \text{اختلاف ارتفاع}$$

در شکل ۸-۳۵ چون قرائت اول روی نقطه ی A صورت



شکل ۸-۳۵ - ترازیابی مستقیم (حالت نشیب)

$$\Delta H_{AB} = a - b = 0.451 - 3.819 = -3.368 < 0$$

یعنی نقطه‌ی B به اندازه‌ی ۳ متر و ۳۶ سانتیمتر و ۸ میلی‌متر پایین‌تر از نقطه‌ی A قرار دارد.

تذکر: قرائت‌های روی میر به میلی‌متر قرائت می‌شود اما اختلاف ارتفاع با واحد متر ذکر می‌گردد.

ب- حالت دوم، در این حالت، شکل ۸-۳۷ برای یافتن اختلاف ارتفاع بین دو نقطه، دوربین را بر روی یکی از نقاط (A) و میر را بر روی نقطه‌ی دیگر (B) مستقر می‌کنیم.

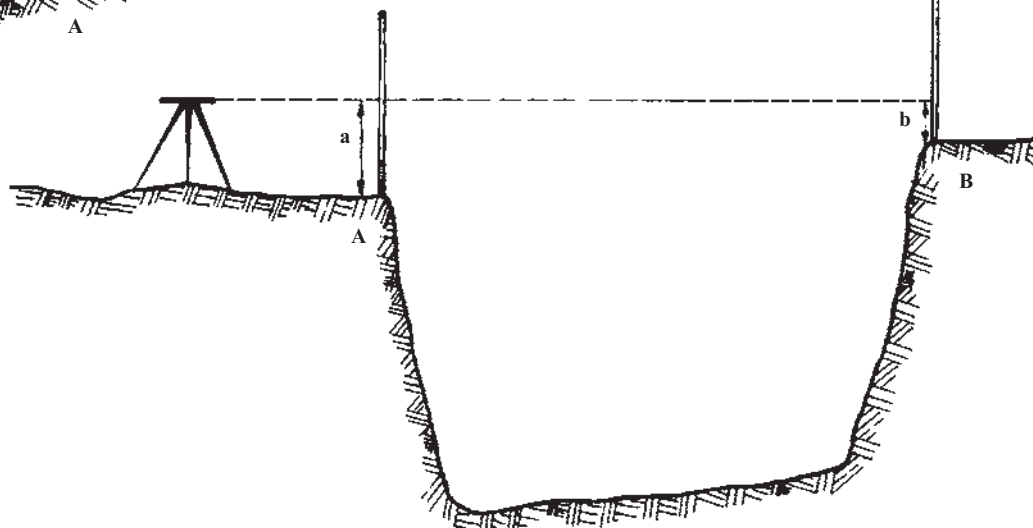
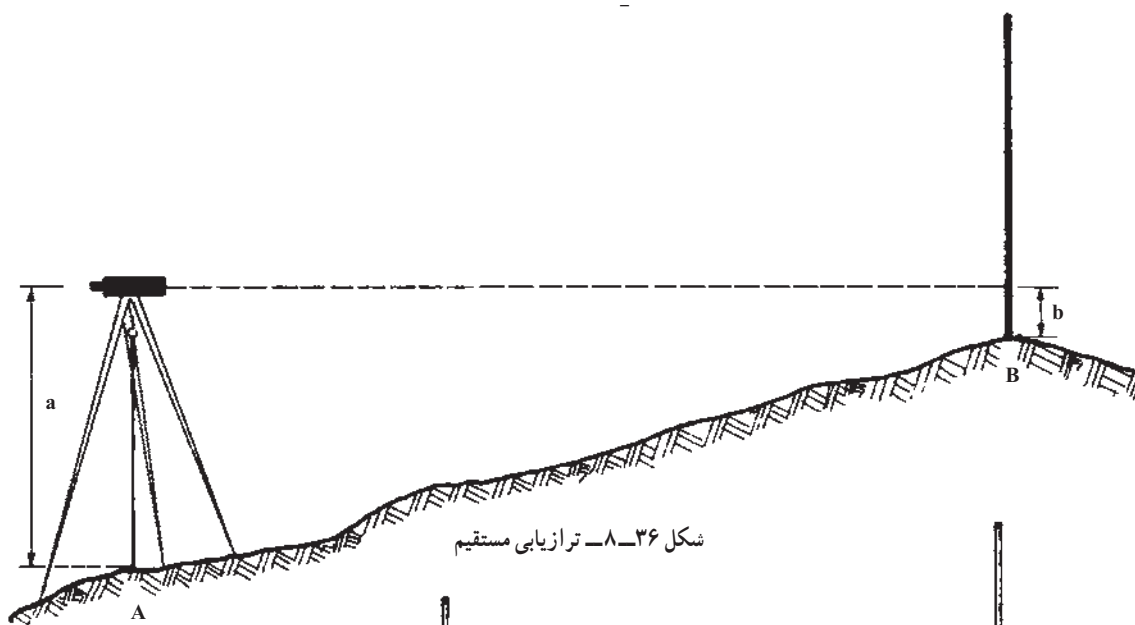
همان‌طور که در شکل ۸-۳۶ ملاحظه می‌کنید ارتفاع دوربین (a) عبارت است از فاصله‌ی عدسی چشمی ترازباب تا سطح نقطه‌ی A، این فاصله را می‌توانیم با متر اندازه‌گیری کنیم و

اگر  $\Delta H_{AB}$  مثبت باشد مفهوم آن این است که نقطه‌ی A پایین‌تر از نقطه‌ی B قرار دارد. در این حالت می‌گویند شیب از A به B مثبت است. یعنی زمین از A به B حالت فراز (سربالایی) دارد. در شکل ۸-۳۶ اگر قرائت عقب  $a = 3.645$  و قرائت جلو  $b = 1.236$  باشد، داریم:

$$\Delta H_{AB} = a - b = 3.645 - 1.236 = 2.409 > 0$$

اگر بین دو نقطه‌ی A و B زمین به صورت شکل ۸-۳۵ باشد، اصطلاحاً می‌گویند:

شیب از A به B منفی است در این صورت  $\Delta H_{AB} < 0$  است و زمین از A به B حالت نشیب (سرازیر) دارد. مثلاً اگر قرائت عقب  $a = 0.451$  و قرائت جلو  $b = 3.819$  باشد داریم:



به میرهای مستقر در A و B دید داشته باشد. اکنون اگر روی میر A عدد a و روی میر B عدد b را قرائت کرده باشیم اختلاف ارتفاع دو نقطه A و B عبارت است از :

$$\Delta H_{AB} = a - b$$

مثلاً اگر روی میر A قرائت  $a = 2519$  و روی میر B قرائت  $b = 1029$  انجام داده باشیم داریم :

$$\Delta H_{AB} = a - b = 2519 - 1029 = 1490 \text{ mm}$$

یعنی نقطه‌ی B به اندازه ۱ متر و ۴۹ سانتیمتر بالاتر از نقطه‌ی A قرار دارد.

به طور خلاصه، برای یافتن اختلاف ارتفاع دو نقطه مانند A و B کافی است؛ در هر کدام از این نقاط یک میر مستقر کنیم و سپس دوربین ترازیب را در نقطه‌ای که به هر دو میر دید داشته باشد مستقر کرده قرائت‌های به دست آمده را از هم کم کنیم. توجه داشته باشید که از نظر اصول ترازیبی مستقیم، محل قرار گرفتن ترازیب و همچنین ارتفاع آن نقشی در محاسبه اختلاف ارتفاع دو نقطه A و B ندارد. اما این نکته قابل اثبات است که اگر دوربین در وسط دو نقطه‌ی A و B قرار بگیرد بسیاری از خطاهای طبیعی و دستگاهی حذف خواهند شد و بهترین نتیجه در این حالت به دست خواهد آمد.

۸-۹-۸- ترازیبی تدریجی : هرگاه فاصله دو نقطه که می‌خواهیم بین آن‌ها ترازیبی کنیم یا شیب بین آن دو چنان زیاد

در صورت نبودن متر می‌توانیم از میر استفاده نماییم و با استفاده از درجات میر ارتفاع دوربین را اندازه‌گیری کنیم. ارتفاع دوربین را به عنوان قرائت عقب منظور می‌نماییم و قرائت روی میر B (b) را به عنوان قرائت جلو ثبت می‌کنیم.

سپس با استفاده از روشی که قبلاً توضیح دادیم داریم : قرائت جلو - قرائت عقب (ارتفاع دوربین) = اختلاف ارتفاع

$$\Delta H_{AB} = a - b$$

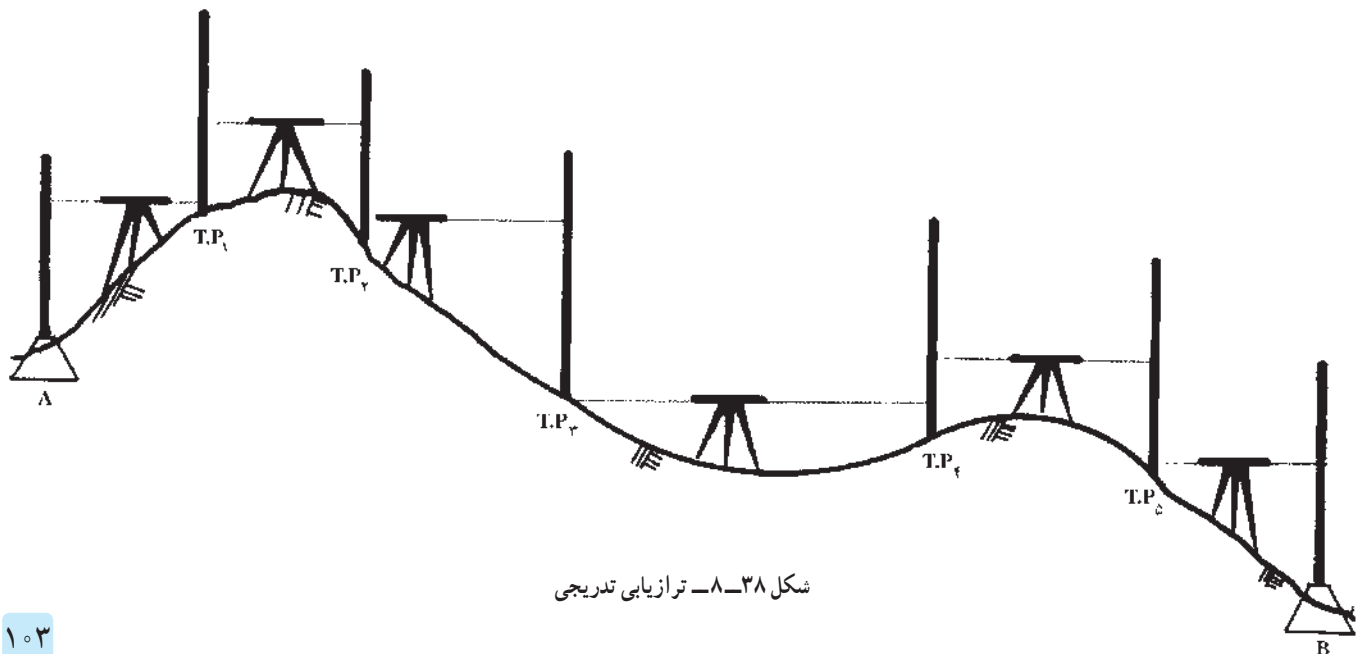
یا : مثلاً اگر ارتفاع دوربین  $a = 156$  m و قرائت روی میر  $b = 0.853$  m باشد داریم :

$$\Delta H = a - b = 156 - 0.853 = 155.147 \text{ mm} = 155 \text{ mm}$$

یعنی نقطه‌ی B به اندازه ۷۰ سانتیمتر و ۷ میلیمتر، بالاتر از نقطه‌ی A قرار دارد.

ج- حالت سوم، این حالت وقتی به کار می‌رود که ترازیبی به دو حالت فوق‌الذکر امکان پذیر نباشد. یعنی به دلایلی مانند وجود آب، باتلاق یا یک دره‌ی عمیق و پرشیب یا... امکان استقرار دوربین بین دو نقطه یا روی یکی از نقاط امکان پذیر نباشد مانند شکل ۸-۳۷.

همان‌طور که در شکل ۸-۳۷ ملاحظه می‌کنید امکان استقرار دوربین بین دو نقطه یا روی هر کدام از نقاط وجود ندارد. به‌ناچار ترازیب را در پشت نقطه‌ی A به نحوی مستقر می‌کنیم که



شکل ۸-۳۸- ترازیبی تدریجی

A را ببینیم. (با توجه به شیب موجود ممکن است دوربین را آن قدر بالا قرار داده باشیم که پس از تراز کردن دوربین نتوانیم میر مستقر در A را ببینیم. فراموش نکنید که با دوربین ترازباب فقط در یک خط افقی می‌توانید نگاه کنید.)

۲- نقطه‌ی  $T.P_1$  را در محلی انتخاب می‌کنیم که میر مستقر در این نقطه در دیدرس ترازباب باشد.

۳- روی میر A قرائت عقب  $a_1 = 2241$  و روی میر  $T.P_1$  قرائت جلو  $b_1 = 0543$  انجام می‌دهیم.

۴- میر مستقر در A را به نقطه‌ی  $T.P_2$  منتقل کرده و دوربین را بین دو نقطه‌ی  $T.P_1$  و  $T.P_2$  قرار می‌دهیم.

۵- میر مستقر در  $T.P_1$  را در جای خود می‌چرخانیم تا رو به دوربین قرار بگیرد (باید دقت کنیم که میر  $T.P_1$  فقط در جای خود بچرخد و به بالا یا پایین نلغزد. به همین دلیل معمولاً میر را بر روی سِکُل یا میخ‌های چوبی که در زمین کوبیده‌اند قرار می‌دهند.) اکنون روی میر  $T.P_1$  قرائت عقب  $a_2 = 3296$  و روی میر  $T.P_2$  قرائت جلو  $b_2 = 3841$  انجام می‌دهیم.

۶- میر مستقر در  $T.P_1$  را به نقطه‌ی B منتقل کرده و دوربین را نیز حرکت داده در محلی بین دو نقطه‌ی  $T.P_2$  و B مستقر می‌کنیم.

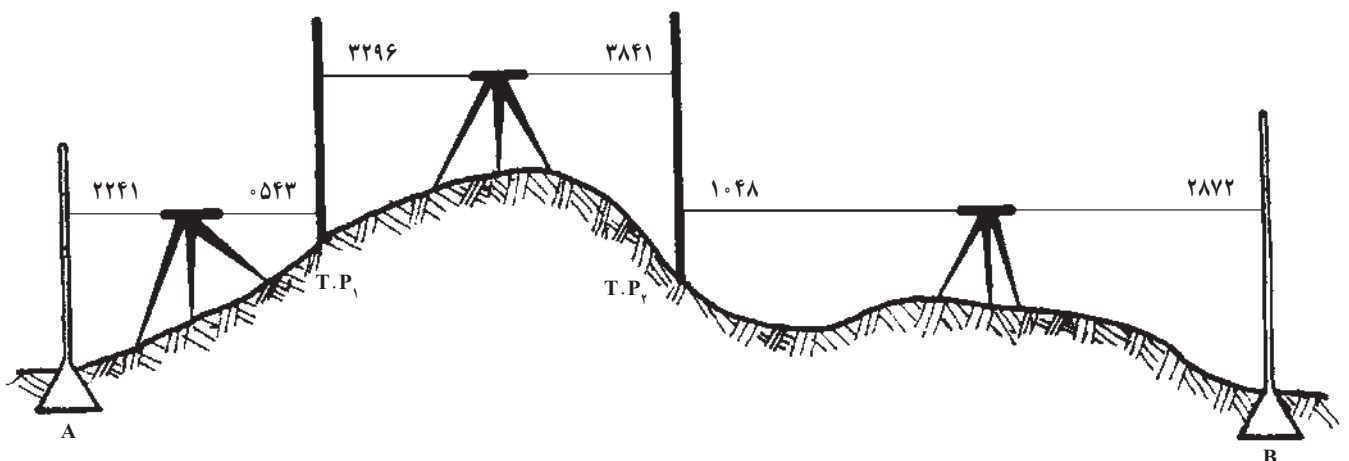
۷- میر  $T.P_2$  را در جای خود می‌چرخانیم تا رو به دوربین قرار بگیرد و روی آن قرائت عقب  $a_3 = 1048$  انجام می‌دهیم و روی میر مستقر در B قرائت جلو  $b_3 = 2872$  انجام می‌دهیم.

باشد که با یک بار استقرار در بین دو نقطه نتوانیم هردومیر را مشاهده نموده، قرائت کنیم یا مانع دید بین دو نقطه وجود داشته باشد. به‌ناچار باید بین آن دو نقطه چند نقطه‌ی کمکی انتخاب کرده دوربین را بین این نقاط قرار داده ترازبابی کنیم تا به تدریج از یک نقطه به نقطه بعد برسیم، به این روش «ترازبابی تدریجی» می‌گویند. در شکل ۸-۳۸ یک نمونه ترازبابی تدریجی بین دو نقطه A و B را ملاحظه می‌نمایید که به دلیل فاصله‌ی زیاد دو نقطه‌ی A و B و نیز شیب زیاد و وجود مانع دید، از چند نقطه‌ی کمکی استفاده شده است. از آن‌جا که این نقاط کمکی موقت می‌باشند، به‌آن‌ها نقاط موقت (Temporary Point) نیز می‌گویند و به اختصار با  $T.P$  نمایش می‌دهند. ضمناً علامت  $T.P$  می‌تواند مخفف (Turning Point) نیز باشد که مفهوم آن نقطه‌ی چرخش است زیرا هر  $T.P$  دوبار قرائت می‌شود به این صورت که پس از این که یک  $T.P$  را به عنوان قرائت جلو کردیم دوربین را حرکت داده و در جلو همان  $T.P$  قرار می‌دهیم و میر مستقر در  $T.P$  چرخانده می‌شود تا رو به دوربین قرار بگیرد و روی آن قرائت عقب انجام شود. (اصطلاح قرائت عقب به این دلیل به‌کار می‌رود که این بار نقطه‌ی  $T.P$  نسبت به جهت جابه‌جایی دوربین در عقب قرار گرفته است).

### روش انجام ترازبابی تدریجی

به عنوان مثال روش ترازبابی بین دو نقطه‌ی A و B شکل ۸-۳۹ را توضیح می‌دهیم:

۱- دوربین را در نقطه‌ای قرار می‌دهیم که میر مستقر در



شکل ۸-۳۹- ترازبابی تدریجی



مورد نظر ترازیابی تدریجی انجام گیرد. در این حالت اختلاف ارتفاع نقطه از سطح مبنا همان ارتفاع مطلق نقطه می باشد. از آنجا که این کار بسیار مشکلی است در هر کشور توسط دولت یا سازمان های ذیربط تعدادی نقاط در سراسر کشور ایجاد شده اند و ارتفاع مطلق آنها توسط ترازیابی دقیق به دست آمده است. این نقاط بنچمارک های ارتفاعی هستند که با علامت اختصاری B.M مشخص شده اند. در انجام پروژه های بزرگ و دقیق به نزدیکترین B.M مراجعه می شود و از آن B.M تا یکی از نقاط پروژه ترازیابی تدریجی انجام می دهند تا ارتفاع مطلق آن نقطه از پروژه به دست آید و با استفاده از آن، ارتفاع سایر نقاط پروژه را تعیین کنند.

— ارتفاع نسبی: معمولاً در پروژه های کوچک نیاز به ارتفاع مطلق وجود ندارد و کافی است یک نقطه ثابت و محکم در محلی که محفوظ باشد ایجاد کنیم و ارتفاع دلخواهی را برای آن در نظر بگیریم (مثلاً ۱۰۰ یا ۱۰۰۰ یا ...). و ارتفاع سایر نقاط را نسبت به این نقطه به دست آوریم. در این صورت به نقطه ی ثابتی که مبنای ارتفاعات شده بنچمارک اختیاری می گویند و ارتفاع نقاط پروژه که نسبت به این بنچمارک به دست آمده ارتفاع نسبی نامیده می شود.

به طور کلی اگر ارتفاع نقطه ی A معلوم باشد و اختلاف ارتفاع آن با نقطه ی B ( $\Delta H_{A,B}$ ) نیز در دست باشد می توانیم ارتفاع نقطه ی B را از رابطه ی زیر محاسبه نماییم:

$$H_B = H_A + \Delta H_{A,B}$$

### محاسبه ی ارتفاع نقاط به روش فراز و نشیب

در ترازیابی تدریجی شکل (۸-۳۹)، هرگاه ارتفاع نقاط موقت ( $H_{T,P}$ ) نیز مهم باشد می توانیم ارتفاع آنها را نیز محاسبه نماییم. بدین منظور جدول محاسبه ای را که برای آن رسم کرده بودیم توسعه می دهیم و ارتفاع نقطه ی A را به دلخواه ۱۰۰ متر فرض می کنیم تا بتوانیم ارتفاع نقاط موقت و نقطه ی B را محاسبه نماییم. بنابراین یک ستون ارتفاع (H) نیز به آن اضافه می کنیم (شکل ۸-۴۱).

روش محاسبه به این ترتیب است که ابتدا  $\Delta H$  بین هر دو نقطه را محاسبه می کنیم. برای نقاط A و  $T.P_1$  داریم:

### محاسبه ی اختلاف ارتفاع در ترازیابی تدریجی:

در این روش بین دو نقطه به جای یک قرائت عقب و یک قرائت جلو، چند قرائت عقب و چند قرائت جلو انجام می شود و داریم: - مجموع قرائت های عقب = اختلاف ارتفاع دو نقطه مجموع قرائت های جلو

بهرتر است قرائت های انجام شده را در جدولی بنویسیم و روی آن محاسبات لازم را انجام دهیم. به عنوان مثال با توجه به شکل ۸-۳۹ جدول زیر را ترسیم کرده و اسامی نقاط و اندازه ها را به آن منتقل کرده ایم. باید کنترل کنیم که آیا مشاهدات درست انجام گرفته یا نه؟ برای این کار تعداد قرائت های عقب و جلو را می شماریم باید با هم مساوی باشند که در جدول زیر این شرط برقرار است.

شکل ۸-۴۰ - جدول ترازیابی

اختلاف ارتفاع	قرائت جلو F.S	قرائت عقب B.S	نام نقطه
		۲۲۴۱	A
	۰۵۴۳	۳۲۹۶	$T.P_1$
	۳۸۴۱	۱۰۴۸	$T.P_2$
	۲۸۷۲		B
-۰۶۷۱	۷۲۵۶	۶۵۸۵	جمع

برای محاسبه ی اختلاف ارتفاع داریم:

$$\Delta H_{A,B} = (a_1 + a_2 + a_3) - (b_1 + b_2 + b_3) = ۶۵۸۵ - ۷۲۵۶ = -۰۶۷۱$$

یعنی نقطه ی B به اندازه ی ۶۷ سانتیمتر و یک میلیمتر، پایین تر از نقطه ی A قرار دارد.

تعیین ارتفاع نقاط: در بسیاری از کارهای ترازیابی فقط به اختلاف ارتفاع نقاط نیازمندیم، اما در مواردی علاوه بر اختلاف ارتفاع می خواهیم ارتفاع نقاط را نیز تعیین کنیم. ارتفاع نقاط به دو صورت تعریف می شوند:

— ارتفاع مطلق: ارتفاع یک نقطه از سطح مبنا (سطح متوسط دریا های آزاد M.S.L) را ارتفاع مطلق آن نقطه می نامند و برای محاسبه آن باید از سطح متوسط دریا های آزاد تا نقطه ی



شکل ۴۱-۸. جدول ترازیبی

نام نقطه N	قرائت عقب B.S	قرائت جلو F.S	اختلاف ارتفاع $\Delta H$		ارتفاع H
			+	-	
A	۲۲۴۱				۱۰۰۰۰۰
T.P <sub>۱</sub>	۳۲۹۶	۰۵۴۳	۱۶۹۸		۱۰۱۶۹۸
T.P <sub>۲</sub>	۱۰۴۸	۳۸۴۱		۰۵۴۵	۱۰۱۱۵۳
B		۲۸۷۲		۱۸۲۴	۹۹۳۲۹
مجموع	۶۵۸۵	۷۲۵۶		۰۶۷۱	

محاسبه می‌شوند. در صورتی که نیازی به محاسبه‌ی ارتفاع نقاط T.P بین دو نقطه A و B نباشد و یا قصد کنترل محاسبات را داشته باشیم. (که این کار در محاسبات مختلف کارهای نقشه برداری صددرد ضروری و الزامی است) مجموع قرائت‌های عقب و مجموع قرائت‌های جلو را به دست آورده و در زیر هر ستون می‌نویسیم سپس اختلاف آن‌ها را محاسبه کرده به ارتفاع نقطه‌ی A اعمال می‌کنیم داریم:

$$H_B = H_A + \Delta H_{A,B} = 100000 + (6585 - 7256) = 99329$$

به این روش محاسبه، روش «محاسبه از مبنا» نیز می‌گویند همان طور که ملاحظه می‌کنید ارتفاع به دست آمده برای نقطه B از هر دو روش برابر ۹۹۳۲۹ می‌باشد و این نشان می‌دهد که هر دو روش محاسبه صحیح انجام شده است.

### کنترل عملیات ترازیبی

در فصل سوم (اشتباه و خطا) ملاحظه کردید که هر اندازه‌گیری در نقشه برداری اگر فاقد کنترل باشد کاملاً بی‌ارزش است و به هیچ وجه قابل استفاده نمی‌باشد. برای کنترل عملیات نقشه برداری روش‌های مختلفی وجود دارد. اصلی‌ترین و ساده‌ترین روش کنترل تکرار اندازه‌گیری‌ها است. در ترازیبی نیز از این روش استفاده می‌شود و مسیر ترازیبی بین دو نقطه دو بار طی می‌شود که اصطلاحاً به ترازیبی بار اول رفت و به ترازیبی بار دوم برگشت می‌گویند. یک عملیات رفت و برگشت بین دو نقطه به این صورت

$$\Delta H_{A, T.P_1} = 2241 - 0543 = +1698$$

چون این مقدار مثبت است در ستون اول  $\Delta H$  آن را می‌نویسیم. برای نقاط T.P<sub>۱</sub> و T.P<sub>۲</sub> داریم:

$$\Delta H_{T.P_1, T.P_2} = 3296 - 3841 = -0545$$

چون این مقدار منفی است آن را در ستون دوم  $\Delta H$  می‌نویسیم. برای نقاط B, T.P<sub>۲</sub> داریم:

$$\Delta H_{T.P_2, B} = 1048 - 2872 = -1824$$

این مقدار نیز منفی است و در ستون دوم  $\Delta H$  نوشته می‌شود.

برای محاسبه‌ی ارتفاع نقاط از اختلاف ارتفاع‌های به دست آمده استفاده می‌کنیم. برای T.P<sub>۱</sub> داریم:

$$H_{T.P_1} = H_A + \Delta H_{A, T.P_1} = 100000 + 1698 = 101698 \text{ mm}$$

برای T.P<sub>۲</sub> داریم:

$$H_{T.P_2} = H_{T.P_1} + \Delta H_{T.P_1, T.P_2} = 101698 + (-0545) = 101153 \text{ mm}$$

برای B داریم:

$$H_B = H_{T.P_2} + \Delta H_{T.P_2, B} = 101153 + (-1824) = 99329 \text{ mm}$$

این روش محاسبه جدول که در آن از  $\Delta H$ ‌های مثبت (فراز) و  $\Delta H$ ‌های منفی (نشیب) استفاده می‌شود اصطلاحاً روش فراز و نشیب نامیده می‌شود و معمولاً جداول ترازیبی به این صورت

باید صفر باشد اما از آن جا که همیشه خطاهایی در عمل وجود دارد معمولاً این مجموع صفر نمی‌شود. در مثال فوق برای مسیر رفت داشتیم  $\Sigma\Delta H = -0.671$  و برای مسیر برگشت  $\Sigma\Delta H = +0.667$  که جمع جبری آن‌ها می‌شود:

$$0.667 - 0.671 = -4 \text{ mm}$$

این مقدار خطا را با خطای مجاز ترازیابی  $e = 2/5k\sqrt{L}$  (L طول متر ترازیابی و k بستگی به نوع ترازیابی دارد که برای کارهای معمولی  $k=25$  در نظر گرفته می‌شود)، مقایسه می‌کنیم و در صورتی که این خطا قابل قبول باشد می‌توانیم ارتفاع نقاط را در مسیر برگشت نیز محاسبه نموده، از میانگین اندازه‌های رفت و برگشت ارتفاع مطلوب نقاط را به دست آوریم. توجه داشته باشید که نقطه‌ی ثابت، A می‌باشد و باید از پایین جدول به سمت بالا ارتفاع نقاط را محاسبه کنید پس باید اختلاف ارتفاعات را با علامت معکوس اعمال نمایید یعنی داریم:

$$H_{T.P_1} = H_A + \Delta H_{A,T.P_1}$$

$$= H_A - \Delta H_{T.P_1,A}$$

انجام می‌گیرد که از یک نقطه ترازیابی را شروع کرده و تا آخرین نقطه ترازیابی می‌کنند سپس از آخرین نقطه به سمت اولین نقطه ترازیابی می‌کنند، در مثال ذکر شده شکل ۸-۴۰، ترازیابی به صورت رفت انجام گرفته پس از آخرین قرائت (قرائت جلو روی نقطه‌ی B)، میرها در جای خود (روی نقطه B و  $T.P_2$ ) باقی می‌مانند و دوربین را از جای خود برداشته و کمی آن طرف تر مجدداً بین دو نقطه‌ی B و  $T.P_2$  مستقر کرده مسیر برگشت را آغاز می‌کنیم. برای این کار ابتدا روی میر B قرائت عقب و روی  $T.P_2$  قرائت جلو انجام می‌دهیم. سپس میر نقطه‌ی B را در نقطه‌ی  $T.P_1$  مستقر کرده و دوربین را بین دو نقطه‌ی  $T.P_1$  و  $T.P_2$  قرار داده روی میر  $T.P_2$  قرائت عقب و روی میر  $T.P_1$  قرائت جلو انجام می‌دهیم...

در جدول زیر اندازه‌های به دست آمده در مسیر برگشت را ثبت کرده و محاسبات لازم را به روش فراز و نشیب و محاسبه از مبنا به دست آورده‌ایم:

برای کنترل عملیات ترازیابی مجموع اختلاف ارتفاعات را در مسیر رفت و برگشت با هم مقایسه می‌کنیم. بدون در نظر گرفتن خطاها مجموع کل اختلاف ارتفاعات در مسیر رفت و برگشت

شکل ۸-۴۲- جدول ترازیابی

نام نقطه N	قرائت عقب B.S	قرائت جلو F.S	اختلاف ارتفاع $\Delta H$		ارتفاع H
			+	-	
B	۲۹۶۸				۹۹۳۳۳
$T.P_2$	۳۷۳۶	۱۱۴۲	۱۸۲۶		۱۰۱۱۵۹
$T.P_1$	۰۶۰۱	۳۱۹۴	۰۵۴۲		۱۰۱۷۰۱
A		۲۳۰۲		۱۷۰۱	۱۰۰۰۰۰
مجموع	$\Sigma B.S = 7305$	$\Sigma F.S = 6638$	$\Sigma \Delta H = +0.667$		

به اندازه‌ی ۱۷۱ میلی‌متر اضافه کنیم تا به ارتفاع نقطه‌ی  $T.P_1$  برسیم:

برای سایر نقاط نیز به همین ترتیب عمل می‌کنیم:

$$H_{T.P_1} = 101701 - 0542 = 101159 \text{ mm}$$

$$H_B = 101159 - 1826 = 99333 \text{ mm}$$

اکنون میانگین ارتفاعات به دست آمده را محاسبه می‌کنیم

پس:

$$H_{T.P_1} = 100000 - (-1701) = 10179 \text{ mm}$$

در جدول ملاحظه می‌کنید که  $\Delta H_{T.P_1,A} = -171$  یعنی

نقطه‌ی A به اندازه‌ی ۱۷۱ میلی‌متر پایین تر از نقطه‌ی  $T.P_1$  می‌باشد به طور معکوس می‌توانیم بگوییم که نقطه‌ی  $T.P_1$  به اندازه ۱۷۱ میلی‌متر بالاتر از نقطه‌ی A می‌باشد یعنی باید به ارتفاع A

مثلاً برای نقطه‌ی B داریم :

$$H_B = \frac{99329 + 99333}{2} = 99311 \text{ mm}$$

می‌توانستیم بدون محاسبه‌ی ارتفاع نقاط در مسیر رفت ابتدا میانگین اختلاف ارتفاع‌ها را در رفت و برگشت محاسبه کرده و از روی آن ارتفاع نقاط را محاسبه نماییم مثلاً برای نقطه‌ی B داریم :

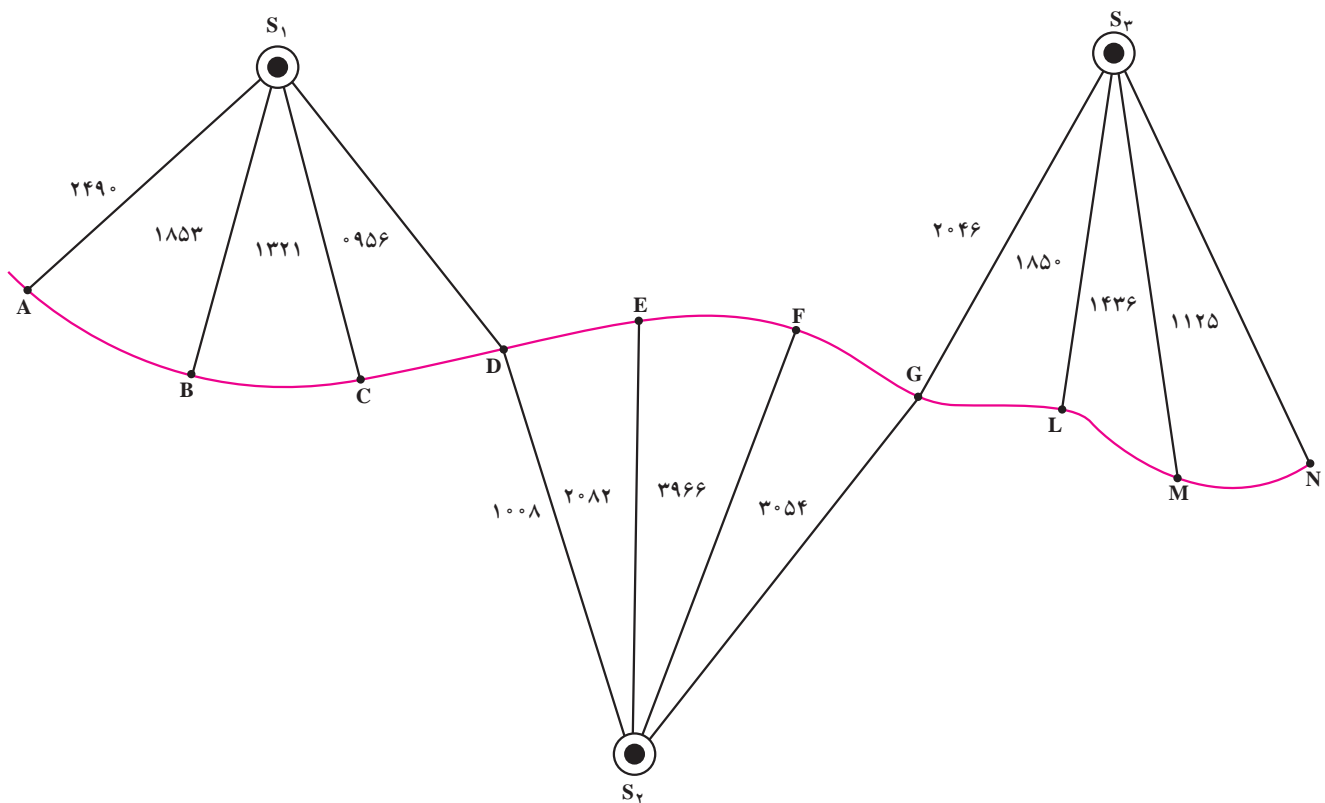
$$\Delta H_{A,B} = \frac{-0.671 + (-0.667)}{2} = -0.669$$

$$H_B = H_A + \Delta H_{A,B} = 100000 - 0.669 = 99311 \text{ mm}$$

توضیح این نکته ضروری است که برای عملیات نقشه‌برداری جداولی از پیش تعیین شده که به آن‌ها فرم می‌گویند. مثل فرم مترکشی - فرم زاویه خوانی و... برای کار ترازبایی نیز از فرم مخصوصی به نام «فرم ترازبایی» استفاده می‌کنند مانند شکل ۸-۴۴. در این فرم قرائت‌ها و اندازه‌های به‌دست آمده را

ثبت می‌کنند در شکل ۸-۴۳ عملیات ترازبایی از مسیر یک کانال آبرسانی نشان داده شده است. ارتفاع نقطه‌ی A معلوم است ( $H_A = 100 \text{ m}$ ) می‌خواهیم ارتفاع سایر نقاط را به‌دست آوریم. دوربین را در نقاط  $S_1$  و  $S_2$  و  $S_3$  مستقر کرده‌ایم و مقدار قرائت‌ها را روی امتدادها نوشته‌ایم :

همان‌طور که در شکل ۸-۴۳ ملاحظه می‌کنید در ایستگاه  $S_1$  دوربین ترازبای پس از استقرار چهار قرائت انجام داده است. اولین قرائت را روی میر مستقر در A انجام داده است که به آن قرائت عقب می‌گوییم و آخرین قرائت را در ایستگاه  $S_1$  روی نقطه‌ی D انجام داده و به آن قرائت جلو می‌گوییم. به قرائت‌های انجام شده بین این دو قرائت، اصطلاحاً قرائت وسط می‌گوییم، یعنی روی نقطه‌ی B و نقطه‌ی C قرائت وسط انجام داده است. همچنین در ایستگاه  $S_2$  بر روی نقاط E و F و در ایستگاه  $S_3$  بر روی نقاط M و L قرائت وسط انجام داده است.



شکل ۸-۴۳- ترازبایی مسیر یک کانال

$$= 3966 - 3054 = 0912$$

$\Delta H_{GL} = G$  قرائت روی L - قرائت عقب روی G

$$= 2046 - 1850 = 0196$$

$\Delta H_{LM} = L$  قرائت روی M - قرائت روی L

$$= 1850 - 1436 = 0414$$

$\Delta H_{MN} = M$  قرائت روی N - قرائت روی M

$$= 1436 - 1125 = 0311$$

برای محاسبه‌ی ارتفاع هر نقطه ارتفاع نقطه‌ی قبلی را با

اختلاف ارتفاع دو نقطه جمع می‌کنیم مثلاً:

$$H_B = H_A + \Delta H_{AB} = 100000 + 0637$$

$$= 100637m$$

$$H_C = H_B + \Delta H_{BC} = 100637 + 0532$$

$$= 101169m$$

$$H_N = H_M + \Delta H_{MN} = 100098 + 0311$$

$$= 100409$$

برای کنترل محاسبات جدول یک‌بار دیگر ارتفاع نقطه‌ی N

را از روش «محاسبه از مبنا» به دست می‌آوریم:

در جدول زیر اندازه‌ها را ثبت کرده و به روش فراز و نشیب

ارتفاع نقاط را محاسبه کرده‌ایم:

در این جا محاسبات انجام شده را به اختصار نوشته‌ایم تا

نحوه تکمیل کردن جدول مشخص شود. برای محاسبه‌ی اختلاف

ارتفاع هر دو نقطه کافی است قرائت‌های انجام شده روی آن‌ها

را از هم کم کنیم:

$\Delta H_{AB} = A$  قرائت روی B - قرائت روی A

$$= 2490 - 1853 = 0637$$

$\Delta H_{BC} = B$  قرائت روی C - قرائت روی B

$$= 1853 - 1321 = 0532$$

$\Delta H_{CD} = C$  قرائت روی D - قرائت روی C

$$= 1321 - 0956 = 0365$$

$\Delta H_{DE} = D$  قرائت روی E - قرائت عقب روی D

$$= 1008 - 2082 = -1074$$

$\Delta H_{EF} = E$  قرائت روی F - قرائت روی E

$$= 2082 - 3966 = -1884$$

$\Delta H_{FG} = F$  قرائت روی G - قرائت جلو روی F

### شکل ۴۴-۸- فرم ترازیابی

نام نقطه NO	قرائت عقب B.S	قرائت وسط M.S	قرائت جلو F.S	اختلاف ارتفاع $\Delta H$		ارتفاع H
				+	-	
A	2490					100000
B		1853		0637		100637
C		1321		0532		101169
D	1008		0956	0365		101534
E		2082			1074	100460
F		3966			1884	98576
G	2046		3054	0912		99488
L		1850		0196		99684
M		1436		0414		100098
N			1125	0311		100409

محاسبه‌ی جدول، «محاسبه به روش ارتفاع دستگاه» می‌گویند.

### محاسبه‌ی جدول ترازیبی به روش «ارتفاع دستگاه»

در این روش ابتدا ارتفاع دستگاه را به کمک قرائت روی

نقطه‌ی معلوم محاسبه می‌کنیم:

قرائت روی نقطه‌ی معلوم + ارتفاع نقطه‌ی معلوم = ارتفاع دستگاه

اکنون با این دستگاه که ارتفاع آن معلوم است با قرائت

روی هر نقطه‌ی مجهول می‌توانیم ارتفاع آن را از رابطه‌ی زیر

به دست آوریم:

قرائت روی نقطه‌ی مجهول - ارتفاع دستگاه = ارتفاع نقطه‌ی مجهول

در شکل ۸-۴۵ ارتفاع نقطه‌ی A معلوم است:

$$H_A = 1000 \text{ m}$$

می‌خواهیم ارتفاع نقطه‌ی B را که مجهول است پیدا

کنیم. بنابراین در بین دو نقطه‌ی معلوم و مجهول دوربین ترازیب

را مستقر کرده و روی نقطه معلوم قرائت ۳۶۵۱ و روی نقطه‌ی

مجهول قرائت ۱۲۱۶ انجام داده‌ایم.

$$H_N = H_A + (\text{مجموع قرائت‌های عقب}) -$$

(مجموع قرائت‌های جلو)

$$H_N = 100000 + [(2490 + 1008 + 2046) -$$

$$(0956 + 3054 + 1125)]$$

$$H_N = 100000 + 5544 - 5135 = 100409$$

همان‌طور که ملاحظه می‌کنید جواب این روش با روش فراز

و نشیب یکی است و این نشان می‌دهد که در محاسبات جدول

دچار اشتباه نشده‌ایم.

به‌طور کلی جدول فراز و نشیب دارای این مزیت است

که شکل زمین بین دو نقطه را از نظر سربالا بودن یا سرازیر بودن

نشان می‌دهد. اما از آن‌جا که ارتفاع هر نقطه را از روی نقطه‌ی

قبلی محاسبه می‌کنیم در نتیجه اگر روی محاسبه‌ی یک نقطه دچار

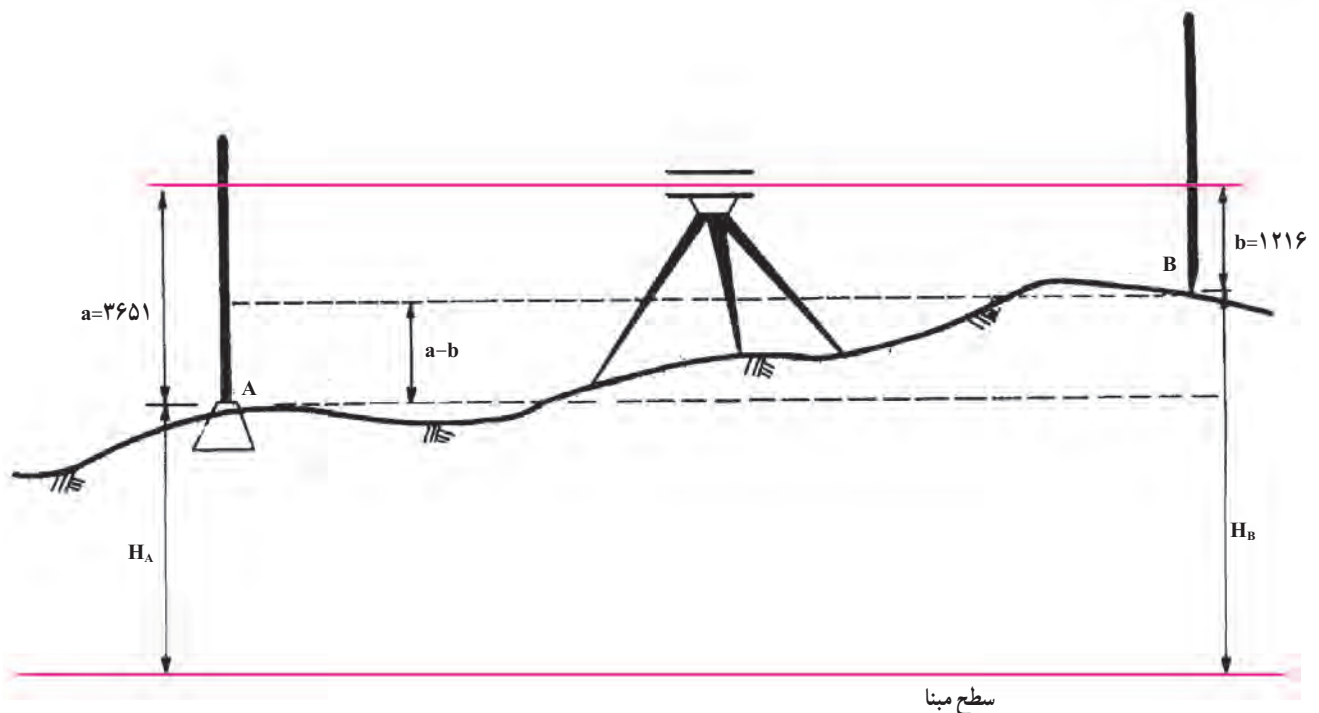
اشتباه شویم، این اشتباه روی همه‌ی نقاط بعدی تأثیر خواهد گذاشت

به همین دلیل معمولاً از روش دیگری جهت محاسبه‌ی ارتفاعات

استفاده می‌شود که در آن بدون محاسبه‌ی اختلاف ارتفاعات، به

طور مستقیم ارتفاع نقاط را محاسبه می‌کنیم. برای این کار از

ارتفاع خط دید ترازیب استفاده می‌کنیم، که اصطلاحاً به این روش



شکل ۸-۴۵ - ترازیبی مستقیم

ارتفاع دستگاه را با HI نشان می‌دهیم و داریم:

$$HI = H_A + a = 1000 + 3651 = 1003651$$

و ارتفاع نقطه‌ی مجهول B، برابر است با:

$$H_B = HI - b = 1003651 - 1216 = 1002435$$

برای تمرین بیشتر و مقایسه‌ی این روش با روش فراز و نشیب عملیات ترازیابی ارائه شده در شکل ۸-۴۳ را یک بار دیگر با روش ارتفاع دستگاه محاسبه می‌کنیم:

برای انجام محاسبات ابتدا باید اعداد مربوط به مشاهدات ترازیابی (شکل ۸-۴۳) را در جدول ترازیابی وارد کنیم (شکل ۸-۴۶) سپس محاسبات را با استفاده از جدول به صورت زیر ادامه می‌دهیم:

ابتدا ارتفاع دستگاه را در  $S_1$  محاسبه می‌کنیم:

$$HI_{S_1} = H_A + a_A = 1000000 + 2490 = 1002490$$

ارتفاع B:

$$H_B = HI_{S_1} - b_B = 1002490 - 1853$$

ارتفاع C:

$$= 100637$$

$$H_C = HI_{S_1} - b_C = 1002490 - 1321$$

$$= 101169$$

ارتفاع D:

$$H_D = HI_{S_1} - b_D = 1002490 - 956$$

$$= 101534$$

اکنون ارتفاع دستگاه را در  $S_2$  محاسبه می‌کنیم و برای این منظور D را نقطه‌ی معلوم در نظر می‌گیریم:

$$HI_{S_2} = H_D + a_D = 101534 + 1008$$

$$= 102542$$

ارتفاع E:

$$H_E = HI_{S_2} - b_E = 102542 - 2082$$

$$= 100460$$

ارتفاع F:

$$H_F = HI_{S_2} - b_F = 102542 - 3966$$

$$= 98576$$

شکل ۸-۴۶- جدول ترازیابی به روش ارتفاع دستگاه

نام نقطه NO	قرائت عقب B.S	قرائت وسط M.S	قرائت جلو F.S	ارتفاع دستگاه HI	ارتفاع H
A	2490			1002490	1000000
B		1853			100637
C		1321			101169
D	1008		956	102542	101534
E		2082			100460
F		3966			98576
G	2046		3054	101534	99488
L		1850			99684
M		1436			100098
N			1125		100409

ارتفاع G:

$$H_G = HI_{.S_p} - b_G = 102542 - 3054 \\ = 99488$$

اکنون ارتفاع دستگاه را در نقطه‌ی  $S_p$  محاسبه می‌کنیم:

$$HI_{.S_p} = H_G + a_G = 99488 + 2046 \\ = 101534$$

ارتفاع L:

$$H_L = HI_{.S_p} - b_L = 101534 - 1850 \\ = 99684$$

ارتفاع M:

$$H_M = HI_{.S_p} - b_M = 101534 - 1436 \\ = 100098$$

ارتفاع N:

$$H_N = HI_{.S_p} - b_N = 101534 - 1125 \\ = 100409$$

ملاحظه می‌کنید که نتایج حاصل از این روش با روش فراز و نشیب کاملاً برابر است ولی این روش سریع‌تر و ساده‌تر از روش فراز و نشیب می‌باشد. البته این روش نیز وقتی مناسب است که تعداد قرائت‌های وسط زیاد باشد در غیر این صورت مقدار محاسبات در این روش نیز افزایش یافته و مزیت سریع بودن خود را از دست خواهد داد.

### ۹-۸-۹ حذف خطاهای سیستماتیک: خطاهای

سیستماتیک به خطاهایی می‌گویند که دارای اندازه و جهت معین باشد. مثلاً خطاهای تقسیمات روی میر ترازایی به این ترتیب که درجات روی آن به جای آن که یک سانتی‌متر باشد به فرض ۹ میلی‌متر است. یعنی اندازه‌ی این خطای دستگاهی ۱ میلی‌متر در ۱ سانتی‌متر و جهت آن رو به پایین است، مثال دیگر از خطای سیستماتیک خطای انسانی است مانند خطای قرائت. یعنی در قرائت میر در حدس زدن میلی‌متر قرائت طبق عادت یا ذهنیات یک شخصی ممکن است همواره یک میلی‌متر کمتر و یا شخصی دیگر همواره هنگام قرائت یک یا دو میلی‌متر بیشتر قرائت می‌کند. خطای سیستماتیک دیگر می‌تواند خطای کلیماسیون باشد. خطای کلیماسیون عبارت است از خطای محور دیدگانی دوربین. یعنی

وقتی دوربین را تراز کرده‌ایم محور دیدگانی دوربین افقی نیست. یک روش مناسب و ساده برای رفع خطاهای سیستماتیک در ترازایی قرار دادن دوربین ترازباب در وسط فاصله‌ای است که می‌خواهیم اختلاف ارتفاع دو سر آن را پیدا کنیم. به این ترتیب، خطای سیستماتیک موجود در قرائت عقب به همان اندازه و جهت در قرائت جلو هم وارد می‌شود. لذا با عمل تفریق برای یافتن اختلاف ارتفاع این خطا نیز حذف می‌گردد. به‌عنوان مثال در یافتن اختلاف ارتفاع بین دو نقطه‌ی A و B اگر خطای سیستماتیک به اندازه es روی هر قرائت داشته باشیم، در نهایت داریم:

$$- (es_A + \text{قرائت روی میر A}) = \text{اختلاف ارتفاع A و B} \\ - (es_B + \text{قرائت روی میر B})$$

$$= (es_A - es_B) + (\text{قرائت روی میر B} - \text{قرائت روی میر A}) \\ = \text{قرائت روی میر B} - \text{قرائت روی میر A}$$

بنابراین، اگر دوربین ترازباب در وسط فاصله بین دو میر A و B باشد آن‌گاه مقادیر  $es_A$  و  $es_B$  تقریباً مساوی خواهد شد و در نتیجه خواهیم داشت:

$$es_A - es_B = 0 = \text{خطای سیستماتیک}$$

یعنی خطای سیستماتیک حذف خواهد شد.

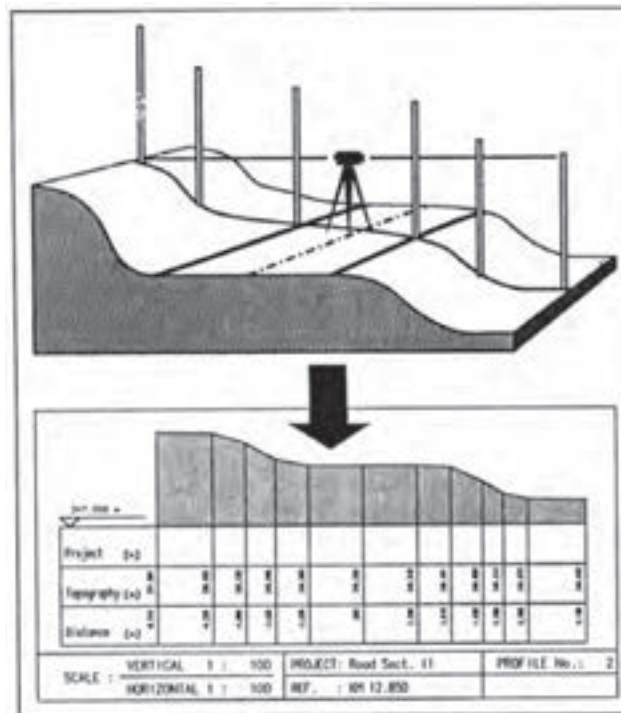
۱-۹-۸ کاربرد ترازایی در ساختمان: در طرح‌ها و پروژه‌های ساختمانی خط تراز و سطوح افقی، از ابتدای کار تا مراحل پایانی آن در مقاطع مختلف بنا مورد نیاز می‌باشد. مثلاً برای ساختن یک ساختمان در صورتی که زمین دارای شیب یا پستی و بلندی باشد ابتدا باید آن را تسطیح نمود که در این مرحله با داشتن یک کد ارتفاعی معین به کمک یک دوربین ترازباب و یک عدد میر می‌توانیم دوربین را در محل مناسبی مستقر کرده میر را ابتدا روی ارتفاع مورد نظر (مثلاً خیابان یا هر عارضه‌ی مبنای دیگر) قرارداده تار وسط را قرائت و یادداشت کنیم. اکنون میر را در نقاط مختلف زمین مستقر کرده و اختلاف ارتفاع نقاط را به دست می‌آوریم و بر اساس این ارقام میزان خاکبرداری و خاکریزی هر نقطه معین می‌شود. پس از تسطیح زمین برای پیاده کردن پلان و گودبرداری فونداسیون، ریختن بتون مگر، افقی کردن شناژها، کنترل ارتفاع آن‌ها و همچنین نصب صفحات زیر ستون‌ها (بیس‌پلیت) و هم سطح کردن آن‌ها از ترازایی استفاده می‌کنیم. شکل ۴۷-۸ را ملاحظه نمایید.



پس از اجرای اسکلت نیز در مراحل نصب نعل درگاه‌ها، پنجره‌ها و قرنیزها، فرش کردن کف طبقات و... نیاز به خط تراز در فضاها و درگاه‌ها، فرس کردن کف طبقات و... نیاز به خط تراز در آن خواهیم بود. شکل ۸-۴۸ را ملاحظه نمایید.



کاربرد ترازیابی



در این شکل کاربرد ترازیابی را در تهیه پروفیل (مقطع) عرضی از مسیر یک جاده ملاحظه می‌نمایید.

شکل ۸-۴۷





شکل ۴۸-۸- کاربرد تراز یابی «خط تراز در ساختمان»

## به این پرسش‌ها پاسخ دهید

- ۱- ترازیابی را تعریف کنید.
- ۲- هدف از ترازیابی را بیان کنید.
- ۳- اصطلاحات: امتداد قائم، سطح تراز، سطح تراز مینا، صفحه‌ی افقی، خط افق، صفحه‌ی قائم و ارتفاع نقطه را تعریف کنید.
- ۴- بنچمارک را تعریف نموده انواع آن را توضیح دهید.
- ۵- انواع ترازیابی را توضیح دهید.
- ۶- ترازیابی با ژالون و تراز متر را شرح دهید.
- ۷- طبقه بندی دوربین‌های ترازیاب را توضیح دهید.
- ۸- سه پایه، میر و تکیه گاه میر را توضیح دهید.
- ۹- تعاریف و اصطلاحات «حساسیت تراز» محور لوله‌ی تراز و محور قائم (محور اصلی دستگاه) را بیان کنید.

- ۱۰- انواع تراز در دستگاه‌های نقشه برداری را توضیح دهید.
- ۱۱- روشهای مختلف استقرار دستگاه بر روی یک نقطه را توضیح دهید.
- ۱۲- اصول ترازیابی مستقیم را شرح دهید.
- ۱۳- ترازیابی تدریجی را شرح دهید.
- ۱۴- انواع ارتفاع را بیان کنید.
- ۱۵- محاسبه‌ی جدول به روش فراز و نشیب را توضیح دهید.
- ۱۶- محاسبه‌ی جدول به روش ارتفاع دستگاه را توضیح دهید.

## کار عملی

- ۱- بین رؤوس چند ضلعی مدرسه به طور رفت و برگشت ترازیابی نمایید.
- ۲- قرائت‌ها را در جدولی ثبت کرده اختلاف ارتفاعات را به روش فراز و نشیب به دست آورید.
- ۳- به یکی از رؤوس چند ضلعی ارتفاع دلخواهی داده ارتفاع سایر نقاط را در جدول محاسبه و ثبت نمایید.
- ۴- روی یکی از اضلاع چند ضلعی با ژالون و تراز متر ترازیابی نموده نتیجه را با ترازیابی انجام شده با دوربین مقایسه نمایید.
- ۵- روی یکی از اضلاع چندضلعی به کمک شیب سنج دستی، اندازه گیری زاویه‌ی شیب را انجام داده، با معلوم بودن طول مایل یا افقی، ترازیابی مثلثاتی انجام دهید و نتیجه را با دو روش قبلی مقایسه کنید.