فصل پنجم

اندازه‌گیری زاویه‌ی افقی

عنصر دیگری که برای تهیه‌ی نقشه باید اندازه‌گیری شود زاویه‌ی افقی است. وسایل مورد استفاده در این‌جا همان وسایلی است که در فصل دوم شناختید ولی آنچه متداول‌تر و معمولاً دقیق‌تر است، اندازه‌گیری زاویه با زاویه‌یاب است. در مواردی نیز از وسایل ساده و ترازیاب استفاده می‌شود که در این فصل به هر سه مورد خواهیم پرداخت.

به غیر از زاویه‌ی افقی، زاویه‌ی قائم نیز با زاویه‌یاب قابل اندازه‌گیری است که خود شامل زوایای شیب و سمت الرأس می‌باشد.

زاویه‌ی شیب یک امتداد به زاویه‌ی آن امتداد با افق، و **زاویه‌ی سمت الرّأس** (یا زنیتی)، به زاویه‌ی آن امتداد با امتداد قائم گفته می‌شود.

در پایان این فصل، دانش‌آموز باید قادر باشد :

ــ با استفاده از وسایل ساده، زاویه‌ی افقی را، در دو امتداد معین بر روی زمین معلوم کند.

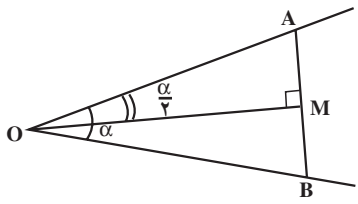
ــ به کمک یک **دستگاه نیوو** که دارای صفحه‌ی مدرّج افقی است زاویه‌ی افقی را، در دو امتداد معین بر روی زمین اندازه بگیرد.

ــ به کمک یک دستگاه تئودولیت زاویه‌ی افقی دو امتداد مشخص بر روی زمین را اندازه‌گیری کند.

ــ مهم‌ترین خطاها را، در اندازه‌گیری زاویه‌ی افقی، ذکر نماید.

۱ــ۵ ــ تعیین زاویه‌ی افقی با استفاده از وسایل ساده

دو طول مساوی OA و OB را روی دو ضلع زاویه‌ی AOB اختیار کرده سپس اندازه‌ی AB را به‌دست می‌آوریم چون مثلث OAB متساوی‌السّاقین است. نیمساز زاویه‌ی $AOB = \alpha$ منطبق عمودمنصّف AB است و مثلث OMA یک مثلث قائم‌الزاویه می‌شود که در آن می‌توانیم رابطه‌ی زیر را بنویسیم :



شکل ۱ــ۵

$$\sin\frac{\alpha}{۲} = \frac{AM}{OA}$$

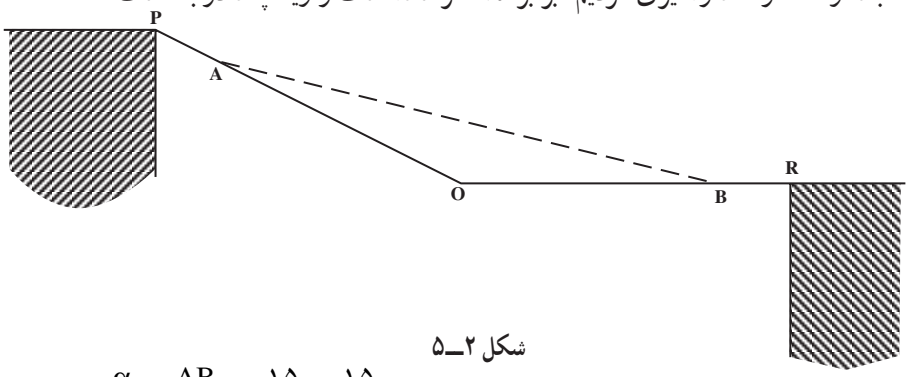
که چون داریم : $AM = \frac{AB}{2}$ و OA هم از قبل معلوم است پس $\sin\frac{\alpha}{2}$ محاسبه می‌شود. سپس با معلوم بودن مقدار $\sin\frac{\alpha}{2}$ مقدار $\frac{\alpha}{2}$ را با کمک ماشین حساب به‌دست می‌آوریم و α تعیین می‌گردد.

فرمول کلی زاویه افقی در مثلث متساوی‌الساقین $\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{AB}{2O\theta}$ می‌باشد.

بنابراین در عمل کافی است پس از جدا کردن دو طول مساوی OA و OB تنها AB اندازه‌گیری شود.

مثال: در شکل **۲ــ۵** نقاط P و R دو گوشه‌ی دو ساختمان و نقطه‌ی O در کنار جدول خیابان موجود در یک منطقه از زمین قرار دارند می‌خواهیم مقدار زاویه‌ی POR را تعیین کنیم. برای این کار به‌ترتیب زیر عمل می‌نماییم :

دو طول مساوی $OA = OB = ۸$ متر (عدد ۸ اختیاری است) را روی امتداد اضلاع زاویه‌ی POR جدا و AB را اندازه‌گیری کردیم، برابر ۱۵ متر شده است زاویه چند درجه است؟



شکل **۲ــ۵**

مطابق فرمول قبل : $\sin\frac{\alpha}{2} = \frac{AB}{2AO} = \frac{۱۵}{۲\times۸} = \frac{۱۵}{۱۶} = ۰/۹۳۷۵$

با استفاده از جدول خطوط مثلثاتی $\frac{\alpha}{2} \simeq ۷۰^\circ$

و نتیجه می‌شود $\alpha \simeq ۱۴۰^\circ$

۲ــ۵ ــ طرز اندازه‌گیری یک زاویه‌ی افقی با ترازیاب

برای اندازه‌گیری یک زاویه‌ی افقی ($A\hat{O}B$) پس از قرار دادن ترازیاب روی سه پایه به ترتیب عملیّات زیر را انجام می‌دهیم :

الف ــ ایستگاه‌گذاری (استقرار): دستگاه را طوری روی رأس زاویه قرار می‌دهیم که محور اصلی دستگاه از نقطه‌ی ایستگاه (O) بگذرد سپس دستگاه را تراز می‌کنیم.

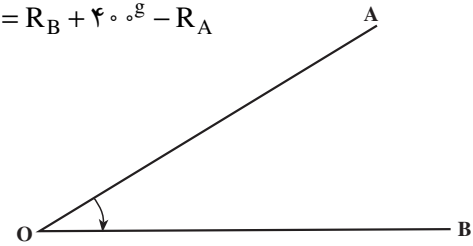
ب ــ نشانه روی و قرائت: به نقطه‌های A و B روی دو ضلع زاویه نشانه‌روی کرده و مقادیر مربوط به هر نقطه را قرائت می‌کنیم (R_B, R_A) اگر $R_B > R_A$ باشد، داریم :

$$A\hat{O}B = R_B - R_A$$

اگر حین حرکت دوربینی بعد از نشانه‌روی به نقطه‌ی A تا رسیدن به نقطه‌ی B از درجه‌ی صفر لمب دستگاه گذشته باشیم در این صورت $R_B < R_A$ داریم :

$A\hat{O}B = R_B + ۳۶۰^\circ - R_A$ (برای دوربین‌های درجه‌ای)

$A\hat{O}B = R_B + ۴۰۰^g - R_A$ (برای دوربین‌های گرادی)



شکل ۳ــ۵

۳ــ۵ ــ طرز اندازه‌گیری یک زاویه‌ی افقی با زاویه‌یاب (تئودولیت)

برای اندازه‌گیری زاویه‌ی افقی (AOB) پس از قرار دادن دستگاه روی سه پایه‌ی عملیات ایستگاه‌گذاری (استقرار) و نشانه‌روی و قرائت به نحوی که برای دستگاه ترازیاب ذکر گردید ؛ انجام می‌شود. لیکن درمورد کار با زاویه‌یاب به نکات زیر نیز توجه داشته باشید :

۱ــ برای این که اندازه‌گیری با دقت انجام شود اولاً باید قبل از نشانه‌روی تار رتیکول را تنظیم کنیم. (برای این کار کاغذ سفیدی را جلوی عدسی شیئی می‌گیریم و از داخل چشمی نگاه می‌کنیم و پیچ تنظیم تارهای رتیکول را می‌چرخانیم تا تارهای رتیکول به وضوح و هرچه ممکن است روشن‌تر دیده شوند) و ثانیاً حین عمل قراولروی و قبل از قرائت به کمک پیچ مخصوص عدسی میزان جای تصویر حاصله را تنظیم می‌نماییم (برای اطمینان از تنظیم شدن تصویر چشم را در پشت عدسی چشمی به طرف بالا و پایین حرکت می‌دهیم. وضع تصویر نسبت به تارهای رتیکول نباید تغییر کند که پارالاکس ایجاد شود.)، در این صورت تصویر کاملاً بر صفحه‌ی رتیکول قرار گرفته است.

۲ــ با حرکت کلید نگه‌دارنده‌ی دایره‌ی مدرّج افقی می‌توان کاری کرد که $R_A = ۰$ شود (یا اصطلاحاً قرائت زاویه‌ی افقی بر روی امتداد OA صفر، صفر گردد) در این صورت :

$$A\hat{O}B = R_B - R_A = R_B - ۰ = R_B$$

یعنی مقدار زاویه‌ی AOB برابر عدد قرائت شده بر امتداد OB است.

۱ــ۳ ــ ۵ــ قرائت کوپل (زوج): در اندازه‌گیری زاویه موقعی که می‌خواهند مقدار زاویه‌ی AOB دقیق‌تر به‌دست آید با دو حالت مستقیم و معکوس دوربین زاویه را می‌خوانند و میانگین می‌گیرند (در حالت مستقیم صفحه‌ی مدرّج قائم در طرف چپ ناظر و در حالت معکوس صفحه‌ی مدرّج قائم در طرف راست ناظر قرار می‌گیرد و این دو حالت را اصطلاحاً دایره به چپ و دایره به راست می‌گویند).

مثال: برای اندازه‌گیری زاویه‌ی $\hat{AOB}$ روی ایستگاه O مستقر شده و امتدادهای B و A در حالت دایره به چپ تئودولیت به ترتیب برابر $LA = ۳۸^\circ۴۰'$ و $LB = ۷۴^\circ۵۰'$ و در حالت دایره به راست تئودولیت به ترتیب $RA = ۲۱۸^\circ۵۰'$ و $RB = ۲۵۴^\circ۵۰'$ قرائت شده است. مطلوب است محاسبه‌ی $\hat{AOB}$:

$$LRA = \frac{LA + RA - ۱۸۰^\circ}{۲} = \frac{۳۸^\circ۴۰' + ۲۱۸^\circ۵۰' - ۱۸۰^\circ}{۲} = ۳۸^\circ۴۵'$$

$$LRB = \frac{LB + RB - ۱۸۰^\circ}{۲} = \frac{۷۴^\circ۵۰' + ۲۵۴^\circ۵۰' - ۱۸۰^\circ}{۲} = ۷۴^\circ۵۰'$$

$$\hat{AOB} = LRB - LRA = ۷۴^\circ۵۰' - ۳۸^\circ۴۵' = ۳۶^\circ۵'$$

برای جلوگیری از اشتباه و هم‌چنین برای محاسبات از جدول زیر استفاده می‌کنیم.

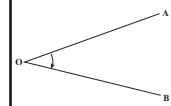
جدول ۱ــ۵ ــ فرم قرائت زاویه به روش کوپل

فرم قرائت زاویه

شماره صفحه ..... **تاریخ** .....

عامل ..... **ساعت** .....

نوع و شماره‌ی دستگاه ..... **وضعیت هوا** .....

کروکی	مقدار زاویه	میانگین	دایره به راست	دایره به چپ	نقاط قراولروی	ایستگاه
	۳۶°۵′	۳۸°۴۵′	۲۱۸°۵۰′	۳۸°۴۰′	A	O
		۷۴°۵۰′	۲۵۴°۵۰′	۷۴°۵۰′	B	

۴ــ۵ ــ خطاها در اندازه‌گیری زوایا

خطاهایی که در اندازه‌گیری زوایا پیش می‌آید به دو دسته‌ی زیر تقسیم می‌شود :

۱ــ خطاهای دستگاهی

۲ــ خطاهای عملیاتی

به کمک روش‌های مختلف خواندن زاویه (کوپل و غیره) برای کارهای دقیق می‌توان خطاهای دستگاهی را حذف کرد و یا کاهش داد و برای کارهای کم دقت قابل صرف‌نظر کردن است. لیکن خطاهای عملیاتی را بیش‌تر باید مورد توجه قرار داد. به این ترتیب ضمن عملیات باید سعی شود که از پیش آمدن آن‌ها احتراز شود. مهم‌ترین این خطاها عبارت‌است از :

الف : خطای قائم نبودن محور اصلی،

ب : خطای مستقر کردن دستگاه بر روی نقطه (خطای ایستگاه گذاری)،

ج : خطای ثابت نبودن دستگاه درموقع اندازه‌گیری،

د : خطای نشانه‌روی،

هـ : خطای قرائت.

فعالیت‌های عملی

فعالیت عملی ۱

اندازه‌گیری زاویه با متر: استاد زاویه‌ای را روی زمین مشخص کرده و هنرجویان به کمک متر و با استفاده از جدول خطوط مثلثاتی مقدار آن را مشخص می‌سازند. بهتر است برای تمرین بیش‌تر برای هر گروه یک چند ضلعی مشخص کنید تا هنرجویان همه‌ی زوایای آن را تعیین کنند. در این صورت از فرمول زیر نیز می‌توان استفاده کرد :

$$\text{مجموع زوایای داخلی یک چند ضلعی} = (۲n - ۴)۹۰^\circ \quad (\text{n تعداد زوایا})$$

فعالیت عملی ۲

استقرار دستگاه ترازیاب بر روی نقطه‌ای مشخص و اندازه‌گیری زاویه: به کمک شاقول مخصوص که در زیر سه پایه نصب می‌گردد بر رأس زاویه‌ی AOB که روی زمین مشخص گردیده ایستگاه‌گذاری نموده و مقدار این زاویه را اندازه‌گیری نمایید.

فعالیت عملی ۳

پارالاکس (Parallax)

تصویری که توسط عدسی شیئی از شاخص ایجاد می‌شود باید در صفحه‌ی رتیکول قرار گیرد. اگر دو تصویر فوق در یک صفحه قرار نگیرد می‌گویند تصاویر از هم جدا افتاده‌اند. در چنین وضعیتی اصطلاحاً می‌گویند در عدسی چشمی خطای پارالاکس وجود دارد.

استقرار دستگاه زاویه‌یاب بر روی نقطه‌ای مشخص و اندازه‌گیری زاویه: دستگاه تئودولیت را بر رأس زاویه‌ی AOB که روی زمین مشخص گردیده مستقر نموده و سپس عملیات زیر را انجام دهید.

الف : تحقیق کنید که آیا دستگاه دارای خطای پارالاکس هست یا خیر؟

ب : اندازه‌گیری زاویه‌ی افقی (AOB) (پس از ایستگاه‌گذاری بر روی نقطه‌ی O و قرار دادن دو ژالون روی دو امتداد OA و OB) در حالت‌های زیر :

۱ــ پس از قرار دادن زاویه‌یاب روی امتدادهای OA و OB مقدار زاویه‌ی افقی در هر امتداد را قرائت کرده از هم کم می‌کنیم.

۲ــ پس از صفر ــ صفر کردن تئودولیت روی امتداد OA، مقدار زاویه روی امتداد OB قرائت می‌شود.

۳ــ زاویه‌ی فوق با دو حالت دایره به چپ و دایره به راست (کوپل) قرائت شده، حاصل در جدولی نوشته و میانگین گرفته می‌شود.

خودآزمایی

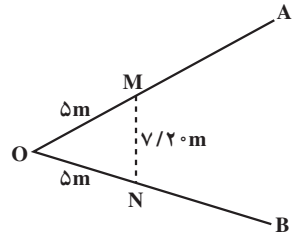
۱ــ برای تعیین مقدار زاویه‌ی AOB به کمک متر چه اندازه‌گیری‌هایی لازم است اندازه گرفته شود؟

۲ــ مراحل اندازه‌گیری یک زاویه به کمک نیوو را ذکر نمایید و رابطه‌ی مربوط را بنویسید.

۳ــ مراحل اندازه‌گیری یک زاویه به کمک زاویه‌یاب را ذکر کنید.

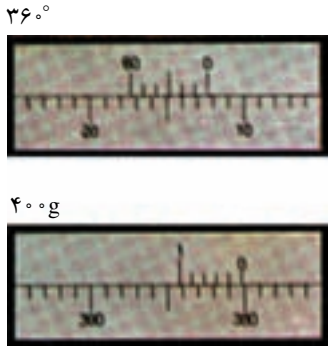
۴ــ برای بالا بردن دقت اندازه‌گیری زاویه چه روشی به‌کار می‌برند؟

۵ــ برای تعیین مقدار زاویه‌ی AOB که در شکل ۴ــ۵ دیده می‌شود دو فاصله‌ی مساوی $OM = ON = 5m$ را روی دو ضلع زاویه جدا کرده و سپس طول MN را اندازه گرفته‌ایم، برابر ۷/۲۰ متر شده است زاویه‌ی فوق چند درجه است؟



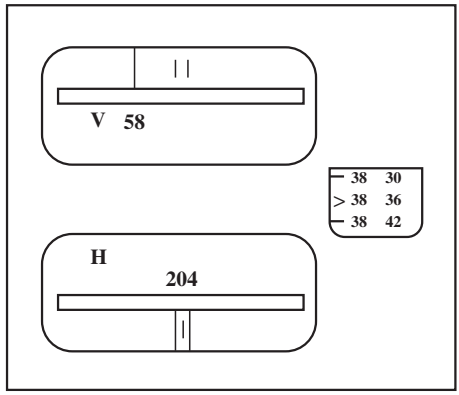
شکل ۴ــ۵

۶ــ در شکل زیر قرائت زاویه چه‌قدر است؟



شکل ۵ــ۵

۷ــ در شکل زیر قرائت زاویه برحسب درجه چه‌قدر است؟

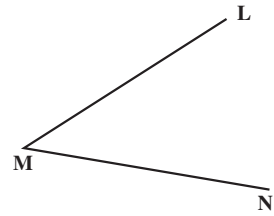


شکل ۶ــ۵

۸ــ در شکل زیر، برای اندازه‌گیری زاویه‌ی افقی LMN ، پس از استقرار زاویه‌یاب بر روی رأس زاویه‌ی M و قرار دادن شاخص در روی امتدادهای ML و MN در حالت مستقیم دوربین، اعداد زیر قرائت شده است :

$۳۰^{\circ},۱۲'$ در امتداد ML

۷۶° در امتداد MN



شکل۷ــ۵

اولاً مقدار زاویه‌ی LMN چند درجه و چند دقیقه است؟

ثانیاً اگر حالت دوربین معکوس شود قرائت بر روی دو امتداد تقریباً چه‌قدر است؟

۹ــ اگر به‌جای اعداد مسئله‌ی قبل اعداد زیر قرائت شده باشند مقدار زاویه را تعیین کنید.

$۳۵۲^{\circ},۳۶'$ در امتداد ML

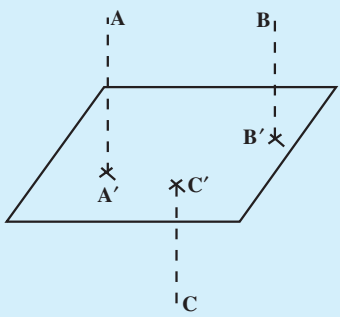
$۳۸^{\circ},۵۱'$ در امتداد MN

۱۰ــ اگر بر روی امتداد ML زاویه را صفر ــ صفر کنیم (در صورتی که مقدار زاویه از مسئله‌ی قبل معلوم فرض شود) فکر می‌کنید چه عددی باید بر روی امتداد MN قرائت شود؟

۱۱ــ سه نقطه را که در روی زمین تشکیل یک زاویه می‌دهند در نظر گرفته و سپس زوایای مثلث تشکیل شده از این سه نقطه را با ترازیاب و تئودولیت (زاویه‌یاب) اندازه‌گیری و کنترل کنید.

فصل ششم

اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع



شکل ۱ــ۶

اگر یک سطح افقی دلخواه[1] را بر روی زمین مبنا قرار داده و فاصله‌ی نقاط مختلفی را، در بالا و پایین این صفحه، نسبت به آن به‌دست آوریم اصطلاحاً به این فواصل (در نقشه برداری‌های کم وسعت) ارتفاع می‌گویند و برای بیان آن که از دو نقطه کدام بالاتر و کدام پایین‌تر است می‌توان ارتفاع یکی را نسبت به دیگری سنجید.

مثلاً در شکل بالا AA' ارتفاع نقطه‌ی A و BB' ارتفاع نقطه‌ی B و CC' ارتفاع نقطه‌ی C می‌باشد.

هم‌چنین نقطه‌ی A بالاتر از نقطه‌ی B است چون دارای ارتفاع بیش‌تری است. یا می‌توان گفت اختلاف ارتفاع نقطه‌ی A نسبت به نقطه‌ی B عددی است مثبت به عبارت دیگر اگر اختلاف ارتفاع دو نقطه را به ΔH نشان دهیم می‌توان نوشت :

$$\Delta H = AA' - BB' > 0$$

در پایان این فصل، دانش‌آموز باید قادر باشد :

- روشهای مستقیم و غیرمستقیم تعیین اختلاف ارتفاع را توضیح دهد.
- تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه به کمک دستگاه ترازیاب را تشریح نماید.
- طرق محاسبه اختلاف ارتفاع پس از اندازه‌گیری‌های زمینی را توضیح دهد.
- انواع روش‌های ترازیابی مستقیم با توجه به وضعیّت نقاط روی زمین را بیان نماید.
- روش‌های کنترل در ترازیابی را نام برده و در مورد هر کدام توضیح مختصر دهد.
- خطاها در ترازیابی را نام ببرد.
- طرز تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه به کمک دستگاه زاویه‌یاب را توضیح دهد.

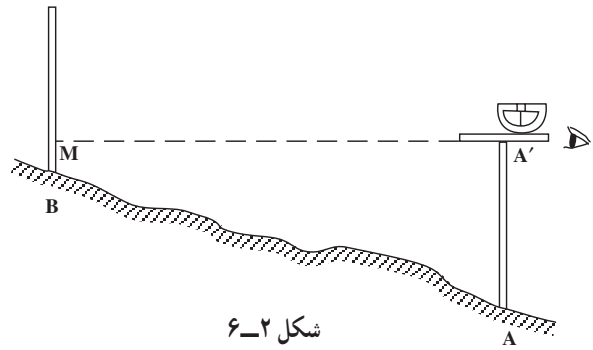
۱ــ سطح مبنای ارتفاعات در نقشه‌برداری از مناطق بزرگ که در آن انحنای سطح زمین نیز درنظر گرفته می‌شود سطح افقی نیست و یک سطح تقریباً کروی است که به آن ژئوئید (Geoid) یا (Sea - Level - Datum) می‌گویند، برای کسب اطلاعات بیش‌تر در این خصوص باید به کتاب‌های تخصصی نقشه‌برداری مراجعه شود.

۱ــ۶ ــ تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه به‌کمک وسایل ساده

به دو طریق مستقیم و غیرمستقیم می‌توانیم عمل کنیم :

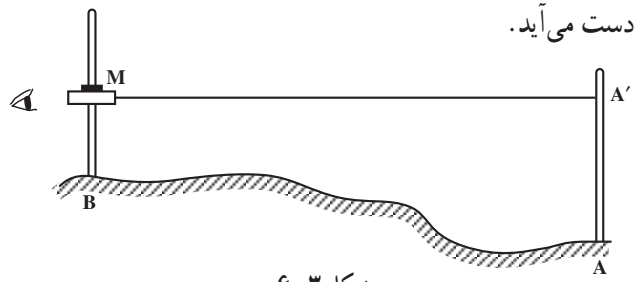
طریقه‌ی مستقیم: اگر بخواهیم اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B را تعیین کنیم پس از قرار دادن صفر ورنیه شیب‌سنج دستی در مقابل صفر قوس مدرّج، چنانچه خط دید روی نقطه‌ی M قرار گیرد با اندازه‌گیری طول‌های BM و AA' اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B از رابطه‌ی زیر به‌دست می‌آید.

$$\Delta H = AA' - BM$$



شکل ۲ــ۶

عمل فوق را به‌کمک تراز دستی نیز می‌توان انجام داد به‌این ترتیب که پس از مشخص کردن امتداد افقی MA' با این وسیله، مجدداً با اندازه‌گیری طول‌های AA' و BM اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B به‌دست می‌آید.

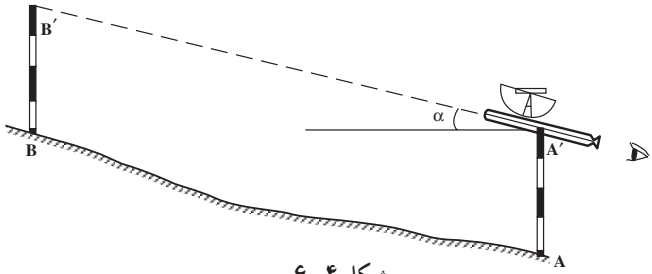


شکل ۳ــ۶

یادآوری: در انجام عمل فوق با شیب‌سنج یا تراز دستی باید توجه داشت که ژالون‌های مستقر در نقاط A و B بایستی کاملاً قائم باشند و برای این منظور از تراز نبشی در کنار ژالون‌ها استفاده می‌شود.

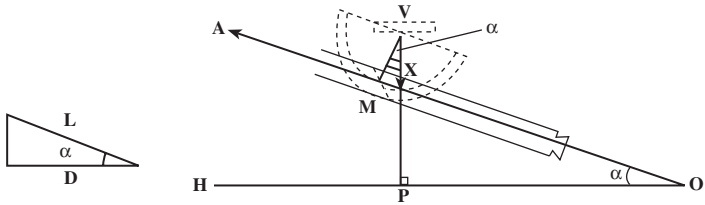
طریقه‌ی غیرمستقیم: به‌جای روش فوق می‌توان پس از اندازه‌گیری فاصله‌ی افقی دو نقطه زاویه‌ی شیب سطح را نیز اندازه‌گیری کرده و اختلاف ارتفاع را محاسبه نمود.

برای تعیین زاویه‌ی شیب امتداد AB طرز کار بدین ترتیب است که ناظر خود در نقطه‌ی A (B)

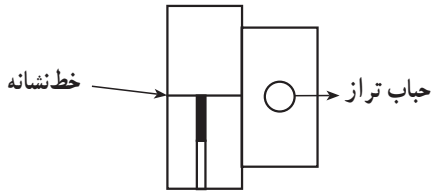


شکل ۴ــ۶

قرار می‌گیرد و شیب‌سنج را در کنار ژالون در نقطه‌ی A′(B′) قرار می‌دهد و به نقطه‌ی B′(A′) از یک ژالون دیگر (شاخص) که در نقطه‌ی B(A) به‌طور قائم مستقر شده است نشانه‌روی می‌نماید به‌طوری که AA′ مساوی BB′ باشد. در این حالت حباب تراز را در وسط خط نشانه که داخل لوله‌ی شیب‌سنج دیده می‌شود قرار می‌دهند و زاویه‌ی شیب امتداد AB را بر روی قوس مدرّج قرائت می‌کند.



شکل ۵ــ۶



شکل ۶ــ۶ــ منظره از داخل لوله‌ی شیب‌سنج

با معلوم بودن فاصله‌ی افقی دو نقطه و زاویه‌ی شیب امتداد بین دو نقطه، اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B با استفاده از رابطه‌ی زیر محاسبه می‌شود :

$\Delta H = D\,tg\alpha$ یا (اختلاف ارتفاع = فاصله‌ی افقی × شیب)

اگر به‌جای فاصله‌ی افقی، فاصله‌ی مورب L اندازه‌گیری شده باشد، داریم :

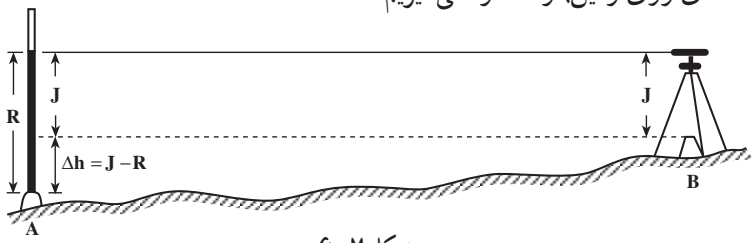
$\Delta H = L \sin\alpha$

۲ــ۶ ــ تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه به‌کمک دستگاه ترازیاب

ترازیاب را قبلاً شناختید، از این دستگاه بیش‌تر به‌منظور تعیین اختلاف ارتفاع نقاط روی زمین استفاده می‌شود.

برای تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه باید دستگاه ترازیاب را روی یکی از دو نقطه مستقر کرده و بر روی نقطه‌ی دیگر شاخص مدرّج را به‌طور قائم نگه داشت. سپس به‌طرقی که در صفحات بعد گفته می‌شود اختلاف ارتفاع دو نقطه تعیین گردد.

روش ارتفاع دستگاه (Height of Instrument method) : در این روش ایستگاه یکی از نقاط است. فرض کنید می‌خواهیم اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B را پیدا کنیم (شکل ۷ــ۶) دستگاه را بر روی یکی از نقاط (مثلاً B) مستقر می‌کنیم و ارتفاع دستگاه J (یعنی فاصله‌ی مرکز دوربین تا نقطه‌ی روی زمین) را اندازه می‌گیریم.



شکل ۷ــ۶

سپس شاخص را بر روی نقطه‌ی دوم (A) به‌طور قائم نگه می‌داریم و عدد R را روی آن می‌خوانیم. در این صورت اختلاف ارتفاع برابر $\Delta H = J - R$ خواهد بود.

تبصره‌ی ۱: از روی علامت ΔH می‌توان تشخیص داد که کدام یک از دو نقطه بالاتر است مثلاً در این‌جا اگر :

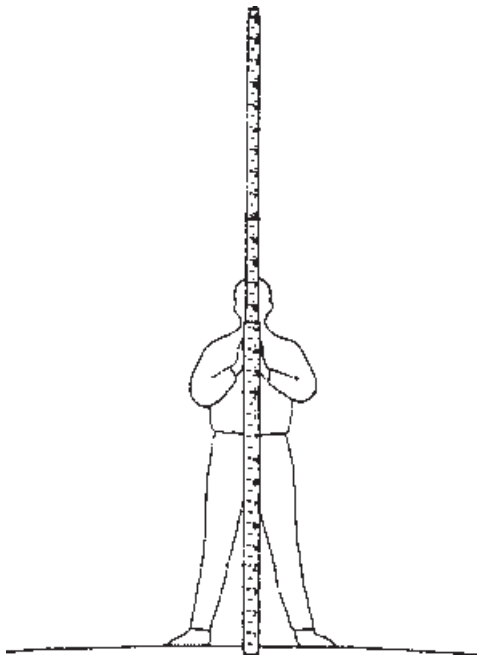
نقطه‌ی دوم بالاتر است $\Delta h > 0$

نقطه‌ی دوم پایین‌تر است $\Delta h < 0$

(منظور از نقطه‌ی اول، نقطه‌ای است که بر روی آن دستگاه مستقر کرده‌ایم و نقطه‌ی دوم نقطه‌ای است که شاخص را روی آن قرار می‌دهیم).

تبصره‌ی ۲: اگر ارتفاع یکی از دو نقطه‌ی A و B معلوم باشد چون اختلاف ارتفاع دو نقطه به‌دست می‌آید می‌توان ارتفاع نقطه‌ی دیگر را نیز به‌دست آورد.

شکل ۸ــ۶ــ تصاویر تارهای رتیکول و شاخص



شکل ۹ــ۶ــ طرز گرفتن میر

مثال: برای پیدا کردن ارتفاع نقطه‌ی A بر روی نقطه‌ی B که ارتفاع آن ۱۰۷/۳۰۰ متر می‌باشد، ایستگاه گذاری کرده‌ایم و شاخص را بر روی نقطه‌ی A قرار داده‌ایم، اگر عددی که روی شاخص می‌خوانیم ۳۷۲۳ میلی‌متر باشد ارتفاع A چه‌قدر است؟ (ارتفاع دستگاه ۱۵۶۵میلی‌متر می‌باشد.)

$$J = ۱۵۶۵ \ , \ R = ۳۷۲۳$$

$$\Delta h = ۱۵۶۵ - ۳۷۲۳ = -۲۱۵۸$$

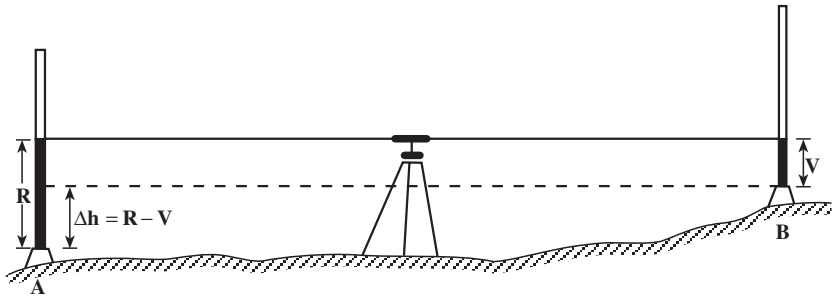
یعنی نقطه‌ی A به‌اندازه‌ی ۲۱۵۸ میلی‌متر پایین‌تر از نقطه‌ی B است و داریم :

$$h_A = h_B - ۲۱۵۸ = ۱۰۷/۳۰۰ - ۲/۱۵۸ = ۱۰۵/۱۴۲ \text{ متر}$$
میلی‌متر

روش فراز و نشیب (Fall and rise method): ایستگاه روی هیچ‌کدام از نقاط نیست.

برای پیدا کردن اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B در نقطه‌ای دل‌خواه که از آن نشانه روی به‌شاخص دو نقطه‌ی A و B امکان‌پذیر باشد ترازیاب را مستقر می‌کنیم (اگر ترازیاب تنظیم نباشد[1] باید جایی قرار گیرد که فاصله‌ی آن از A و B تقریباً مساوی باشد. این کار علاوه بر این که خطای حاصل از تنظیم نبودن دستگاه را از بین می‌برد خطاهای انکسار نور و کرویّت زمین را هم حذف می‌کند).

۱ــ چنانچه محور دید ترازیاب افقی نباشد اصطلاحاً می‌گویند ترازیاب تنظیم نیست.



شکل ۱۰ــ۶

اگر بعد از نشانه روی به شاخص در دو نقطه‌ی A و B اعداد R و V را خوانده باشیم، داریم :

$$\Delta h = R - V$$

تبصره‌ی ۱: در این حالت معمولاً اولین قرائت را قرائت عقب (Back Sight) (B.S) و دومین قرائت را قرائت جلو(Front Sight) (F.S) می‌گویند.

تبصره‌ی ۲: در این‌جا نیز از روی علامت Δh می‌توان تشخیص داد که کدام یک از نقاط بالاتر است.

نقطه‌ی دوم بالاتر است $\Delta h > ۰$

نقطه‌ی دوم پایین‌تر است $\Delta h < ۰$

(منظور از نقطه‌ی اول در این‌جا نقطه‌ای است که بر روی آن قرائت عقب را داشته‌ایم).

تبصره‌ی ۳: در این‌جا نیز مانند روش قبل از روی ارتفاع یک نقطه می‌توان ارتفاع نقطه‌ی دیگر را به‌دست آورد.

شکل ۱۱ــ۶

مثال: برای پیدا کردن اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B ابتدا روی نقطه‌ی B و بعد روی نقطه‌ی A شاخص را قرار داده‌ایم و به‌ترتیب اعداد ۳۲۱۳ و ۱۰۵۵ را خوانده‌ایم. اختلاف ارتفاع مزبور چه‌قدر است؟

$$\Delta h = R - V = ۳۲۱۳ - ۱۰۵۵ = ۲۱۵۸$$

یعنی نقطه‌ی A به اندازه‌ی ۲۱۵۸ میلی‌متر بالاتر از نقطه‌ی B است.

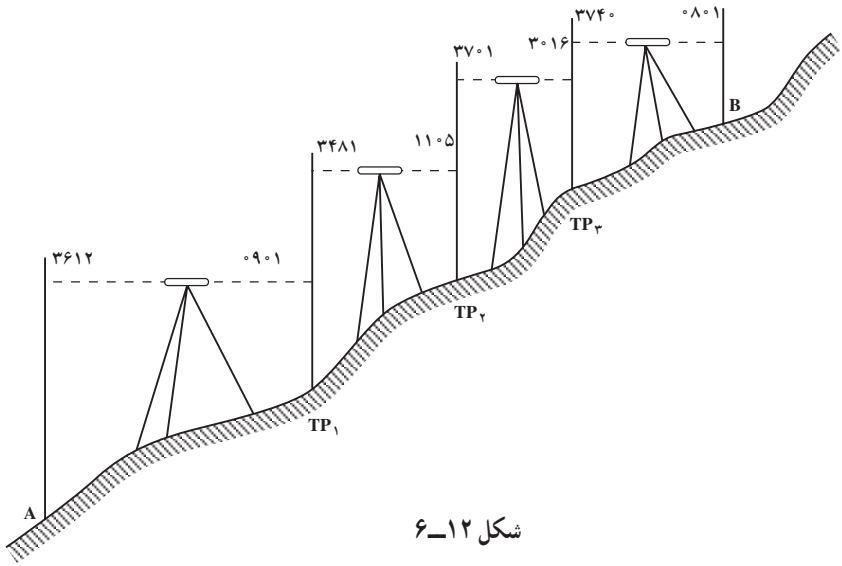
۳ــ۶ ــ انواع روش‌های ترازیابی مستقیم با توجه به وضعیّت نقاط روی زمین

برحسب موقعیت نقاط بر روی زمین، عمل ترازیابی مستقیم به شیوه‌های مختلف انجام می‌شود.

الف ــ ترازیابی تدریجی: اگر دو نقطه‌ای که می‌خواهیم اختلاف ارتفاع آن‌ها را پیدا کنیم، از هم دور باشند یا شیب زمین زیاد باشد به‌طریقی که با یک‌بار ایستگاه‌گذاری پیدا کردن اختلاف ارتفاع مقدور نباشد به‌طریقه‌ی ترازیابی تدریجی به شرح زیر عمل می‌کنیم :

مطابق شکل اگر دو نقطه‌ی A و B را داشته باشیم ابتدا در نزدیکی نقطه‌ی A ایستگاه‌گذاری می‌کنیم و شاخص را روی نقطه‌ی A می‌گذاریم و پس از نشانه‌روی به آن، عدد مربوط را می‌خوانیم (قرائت عقب)، بعداً شاخص را روی نقطه‌ای مانند نقطه‌ی کمکی(Temporary Point) TP_1 که فاصله‌اش تا ترازیاب تقریباً برابر فاصله‌ی ترازیاب تا نقطه‌ی A است قرار داده و عدد مربوط به این نقطه را بر روی شاخص می‌خوانیم (قرائت جلو). سپس ترازیاب را به نقطه‌ی دیگری که بعد از نقطه‌ی TP_1 قرار دارد منتقل ساخته و به‌ترتیب فوق عمل ترازیابی را برای نقاط (TP_2 ، TP_3 ، TP_4 و...) ادامه می‌دهیم تا به‌نقطه‌ی B برسیم. برای روشن شدن چگونگی این امر به مثال زیر توجه کنید :

مثال: برای پیدا کردن اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B از نقطه‌ی A شروع به ترازیابی کرده‌ایم و تا رسیدن به نقطه‌ی B از نقطه‌های TP_1 ، TP_2 و TP_3 کمک گرفته‌ایم (مطابق شکل ۱۲ــ۶) اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی مزبور چه‌قدر است؟



شکل ۱۲ــ۶

برای مرتب نوشتن اعدادی که می‌خوانیم، جدول ساده‌ی زیر را ترسیم کرده، در هر ایستگاه یک قرائت عقب و یک قرائت جلو داریم که در ستون‌های مربوطه نوشته شده است. سپس حاصل جمع قرائت‌های جلو را از حاصل جمع قرائت‌های عقب کم می‌کنیم تا اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B به‌دست آید. اگر حاصل منفی باشد نقطه‌ی B پایین‌تر از نقطه‌ی A است.

نقاط	قرائت عقب	قرائت جلو	
A	۳۶۱۲		
TP_1	۳۴۸۱	۰۹۰۱	
TP_2	۳۷۰۱	۱۱۰۵	
TP_3	۳۷۴۰	۳۰۱۶	
B		۰۸۰۱	
مجموع	۱۴۵۳۴	۵۸۲۳	میلی‌متر B بالای A ۸۷۱۱ = اختلاف

یادآوری: اگر ارتفاع نقطه‌ی A را داشته باشیم و آن را با اختلاف ارتفاع به‌دست آمده جمع جبری کنیم ارتفاع نقطه‌ی B به‌دست می‌آید.

ب ــ ترازیابی خطی: اگر بخواهیم ارتفاع نقاطی را روی یک مسیر پیدا کنیم، این کار با شیوه‌ای که در ترازیابی تدریجی عمل کردیم امکان‌پذیر است، لیکن بعد از تنظیم جدول مربوط، قرائت‌های عقب و جلو دو به‌دو از هم کم می‌شوند تا ارتفاع یک‌یک آن‌ها را بتوان پیدا کرد. نمونه‌ی جدول کار و طریقه‌ی محاسبه، با یک مثال نشان داده می‌شود.

مثال: در مثال قبلی ارتفاع‌های نقاط ۱، ۲، ۳ و B چه‌قدر است، در صورتی که ارتفاع نقطه‌ی A صدمتر فرض شود؟

نقاط	قرائت عقب	قرائت جلو	اختلاف ارتفاع		ارتفاع (به میلی‌متر)
			−	+	
A	۳۶۱۲				۱۰۰۰۰۰
۱	۳۴۸۱	۰۹۰۱		۲۷۱۱	۱۰۲۷۱۱
۲	۳۷۰۱	۱۱۰۵		۲۳۷۶	۱۰۵۰۸۷
۳	۳۷۴۰	۳۰۱۶		۰۶۸۵	۱۰۵۷۷۲
B		۰۸۰۱		۲۹۳۹	۱۰۸۷۱۱

چون می‌خواهیم ارتفاع یک‌یک نقاط را پیدا کنیم، دو ستون برای اختلاف ارتفاع‌ها و ارتفاع‌های نقاط، به ستون‌های جدول قبلی اضافه می‌کنیم و ابتدا اختلاف ارتفاع نقطه‌ی ۱ با A و همین‌طور اختلاف ارتفاع نقطه‌ی ۲ با ۱ و... حساب می‌شود. سپس از روی ارتفاع نقطه‌ی A ارتفاع ۱ و از روی ارتفاع نقطه‌ی ۱، ارتفاع ۲ و... به‌دست می‌آید.

تبصره‌ی ۱: اگر به ستون اختلاف ارتفاع (ΔH) نگاه کنید همه‌ی اختلاف ارتفاع‌ها مثبت‌اند این بدان معنی است که زمین همه‌جا در حالت فراز (سربالا) است. اگر اختلاف ارتفاع دو نقطه منفی می‌شد بین آن دو نقطه زمین حالت نشیب (سرازیری) داشت. از این نظر در بعضی از جدول‌ها به جای علامت + یا – برای اختلاف ارتفاع دو حالت ذکر شده‌ی زمین نوشته می‌شود.

تبصره‌ی ۲: به‌طور کلی برای محاسبه‌ی جداول ترازیابی نیز مانند عملیات زمینی ترازیابی دو روش موجود است. یکی روشی است که در جدول قبل به‌کار رفت و بین هر دو نقطه حالت فراز و نشیب زمین مشخص شد که اصطلاحاً روش **فراز و نشیب** نامیده می‌شود و در روش دیگر بدون محاسبه‌ی اختلاف ارتفاعات و با محاسبه‌ی ارتفاع خط دید ترازیاب ارتفاعات نقاط به‌دست می‌آید که اصطلاحاً **روش ارتفاع خط دید ترازیاب** گفته می‌شود.

جدول زیر بر اساس روش دوم تنظیم شده است (به‌طوری که می‌بینید نتیجه در هر دو روش محاسبه یکی است).

ایستگاه	نقاط	قرائت عقب	ارتفاع دستگاه	قرائت جلو	ارتفاع (میلی‌متر)
S_1	A	۳۶۱۲	۱۰۳۶۱۲		۱۰۰۰۰۰
	۱	۳۴۸۱		۰۹۰۱	۱۰۲۷۱۱
S_2			۱۰۶۱۹۲		
	۲	۳۷۰۱		۱۱۰۵	۱۰۵۰۸۷
S_3			۱۰۸۷۸۸		
	۳	۳۷۴۰		۳۰۱۶	۱۰۵۷۷۲
S_4			۱۰۹۵۱۲		
				۰۸۰۱	۱۰۸۷۱۱

در جدول فوق با اضافه کردن مقدار قرائت عقب به ارتفاع نقطه، ارتفاع خط دید ترازیاب (یا ارتفاع دستگاه) به‌دست آمده، سپس از این ارتفاع قرائت جلو کم می‌گردد مثلاً برای نقطه‌ی ۱ داریم :

قرائت جلو روی نقطه‌ی ۱ – قرائت عقب روی نقطه‌ی A + ارتفاع نقطه‌ی A = ارتفاع نقطه‌ی۱

ارتفاع نقطه‌ی۱ = ۱۰۰۰۰۰ + ۳۶۱۲ – ۰۹۰۱ = ۱۰۲۷۱۱

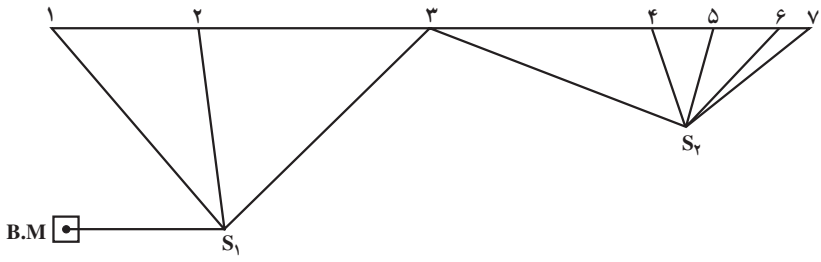
چنانچه فاصله‌ی نقاط به هم نزدیک باشد که بتوان از یک ایستگاه عدد مربوط به چند نقطه را روی شاخص خواند، اولین قرائت را از هر ایستگاه قرائت عقب و آخرین را قرائت جلو و بقیه را به‌عنوان قرائت‌های وسط در جدول می‌نویسند. فرم تنظیم ستون‌های جدول ترازیابی را، در این حالت، در این‌جا می‌بینید.

درموقع محاسبه‌ی اختلاف ارتفاع‌ها، قرائت‌های وسط و جلو هر ایستگاه از قرائت عقب مربوط به همان ایستگاه کم می‌شوند.

تبصره: این جدول برای موقعی است که محاسبه‌ی ارتفاع‌ها را به روش نشیب و فراز انجام دهیم. برای روش ارتفاع خط دید ترازیاب فرم جدول کمی تغییر می‌کند.

ارتفاع نقاط	اختلاف ارتفاع		قرائت جلو	قرائت وسط	قرائت عقب	نقاط
	+	–				

مثال: اگر در یک عمل ترازیابی مطابق شکل ۱۳ــ۶ برای پیدا کردن ارتفاع‌های نقاط ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ از ایستگاه S_1، قرائت شاخص در نقطه‌ی B.M با ارتفاع صدمتر برابر ۱۸۵۲، قرائت شاخص در نقاط ۱، ۲ و ۳ به‌ترتیب ۲۰۲۷، ۲۸۹۶ و ۰۰۳۵ ؛ و از ایستگاه S_2، قرائت شاخص در نقاط ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ به‌ترتیب ۱۲۵۵، ۳۰۱۸، ۲۹۱۵، ۱۰۴۵ و ۱۵۱۵ شده باشد، ارتفاع هر یک از نقاط ۱ تا ۷ چه‌قدر است؟

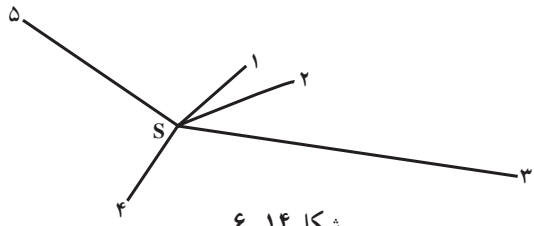


شکل ۱۳ــ۶

P	B.S	M.S	F.S	ΔH		H
				−	+	
B.M	۱۸۵۲					۱۰۰۰۰۰
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

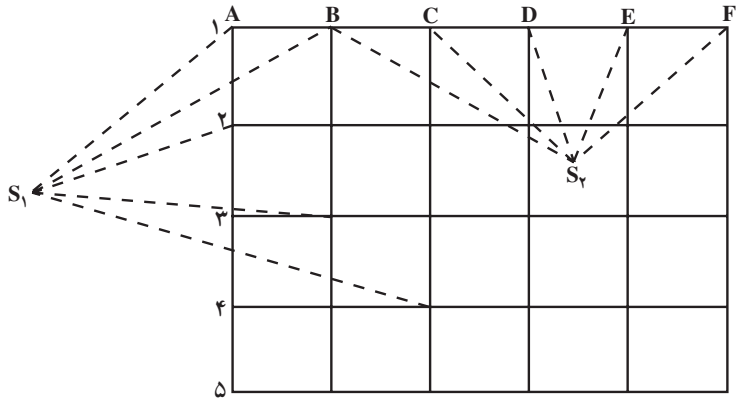
قرائت عقب (B.S)
قرائت جلو (F.S)
قرائت وسط (M.S)
اختلاف ارتفاع (ΔH)
ارتفاع نقاط (H)

ج ــ ترازیابی شعاعی: اگر نقاطی به‌صورت پراکنده قرار گرفته باشند به‌طوری که بتوان از یک ایستگاه آن‌ها را ترازیابی کرد، ترازیابی را شعاعی می‌گویند (شکل ۱۴ــ۶).



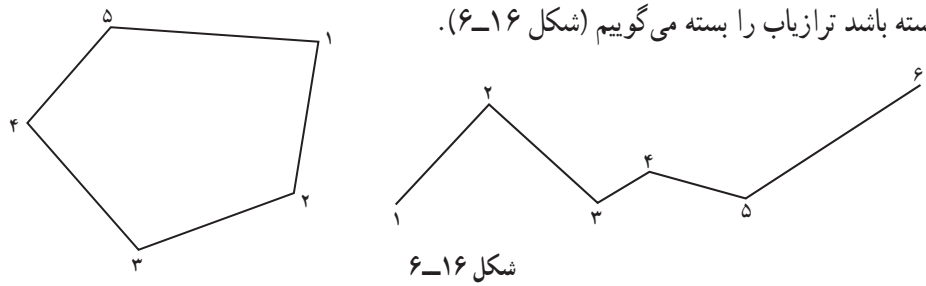
شکل ۱۴ــ۶

د ــ ترازیابی شبکه‌ای: وقتی نقاط به طور مرتب بر روی رئوس یک شبکه قرار گرفته باشند و از ایستگاه‌های مختلف ترازیابی شوند ترازیابی از نوع شبکه‌ای است (شکل ۱۵ــ۶).



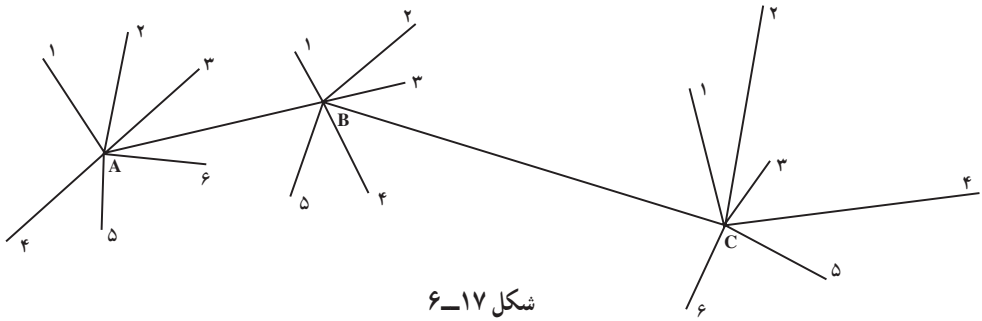
شکل ۱۵ــ۶

هـ ــ ترازیابی کثیرالاضلاعی: اگر نقاط با یکدیگر تشکیل یک کثیرالاضلاع را بدهند ترازیابی ما کثیرالاضلاعی خواهد بود. اگر کثیرالاضلاع باز باشد ترازیابی را باز و اگر کثیرالاضلاع بسته باشد ترازیاب را بسته می‌گوییم (شکل ۱۶ــ۶).



شکل ۱۶ــ۶

و ــ ترازیابی مختلط: وقتی که عمل ترازیابی ترکیبی از چند ترازیابی مثلاً شعاعی و کثیرالاضلاعی باشد ترازیابی مختلط است (شکل ۱۷ــ۶).



شکل ۱۷ــ۶

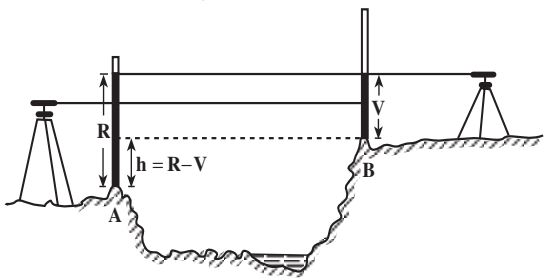
ز ــ ترازیابی متقابل (Reciprocal levelling): هنگامی که امکان قرار دادن ترازیاب در فاصله‌ی تقریباً مساوی از دو حالت شاخص وجود داشته باشد، برای رفع خطاهایی که قبلاً از آن‌ها گفته‌ایم، به روش ترازیابی متقابل، به شکل زیر، عمل می‌کنیم.

$$\Delta H_1 = B.S - F.S$$

$$\Delta H_2 = B.S - F.S$$

$$\Delta H_{(A,B)} = \frac{\Delta H_1 + \Delta H_2}{2}$$

اگر می‌خواهیم اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B را پیدا کنیم ضمن قرار دادن شاخص در دو نقطه‌ی A و B، ترازیاب را یک بار در نزدیکی A و بار دیگر در نزدیکی B مستقر می‌کنیم و اختلاف ارتفاع را از دو ایستگاه به دست می‌آوریم و میانگین می‌گیریم.



شکل ۱۸ــ۶