

اندازه‌گیری زاویه‌ی افقی

عنصر دیگری که برای تهیه‌ی نقشه باید اندازه‌گیری شود زاویه‌ی افقی است. وسایل مورد استفاده در این جا 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 تراز یاب 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.

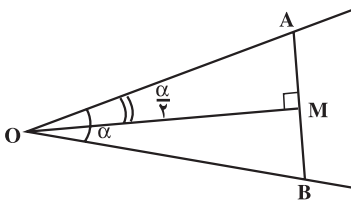
زاویه‌ی شیب یک امتداد به زاویه‌ی آن امتداد با افق، و زاویه‌ی سمت الرأس (یا زینتی)، به زاویه‌ی آن امتداد با امتداد قائم گفته می‌شود.

در پایان این فصل، دانش‌آموز باید قادر باشد :

- با استفاده از وسایل ساده، زاویه‌ی افقی را، در دو امتداد معین بر روی زمین معلوم کند.
- به کمک یک دستگاه نیو که دارای صفحه‌ی مدرج افقی است زاویه‌ی افقی را، در دو امتداد معین بر روی زمین اندازه بگیرد.
- به کمک یک دستگاه تئودولیت زاویه‌ی افقی دو امتداد مشخص بر روی زمین را اندازه‌گیری کند.
- مهم‌ترین خطاها را، در اندازه‌گیری زاویه‌ی افقی، ذکر نماید.

۵-۱- 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 به دست می‌آوریم چون مثلث OAB متساوی الساقین است. نیمساز زاویه‌ی α $AOB = \alpha$ منطبق عمود منصف AB است و مثلث OMA یک مثلث قائم‌الزاویه می‌شود که در آن می‌توانیم رابطه‌ی زیر را بنویسیم :



شکل ۵-۱

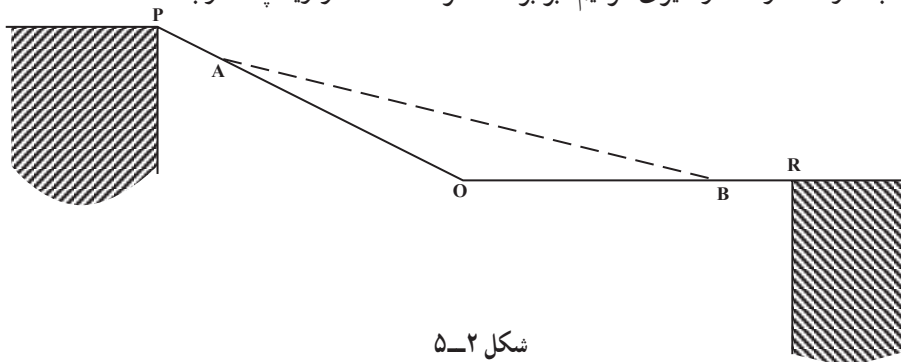
$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{AM}{OA}$$

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

فرمول کلی زاویه افقی در مثلث متساوی الساقین $\sin \frac{\alpha}{\rho} = \frac{AB}{\rho O\theta}$ می‌باشد.

بنابراین در عمل کافی است پس از جدا کردن دو طول مساوی OA و OB تنها AB اندازه‌گیری شود.
مثال: در شکل ۵-۲ 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 به ترتیب 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 ۵-۲

$$\sin \frac{\alpha}{\rho} = \frac{AB}{\rho AO} = \frac{15}{2 \times 8} = \frac{15}{16} = 0.9375 \quad \text{مطابق فرمول قبل :}$$

$$\frac{\alpha}{\rho} \approx 7^\circ$$

با استفاده از جدول خطوط مثلثاتی

$$\alpha \approx 14^\circ$$

و نتیجه می‌شود

۵-۲- طرز اندازه‌گیری یک زاویه‌ی افقی با تراز یاب

برای اندازه‌گیری یک زاویه‌ی افقی (\hat{AOB}) پس از قرار دادن تراز یاب روی سه پایه به ترتیب عملیات زیر را انجام می‌دهیم :

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

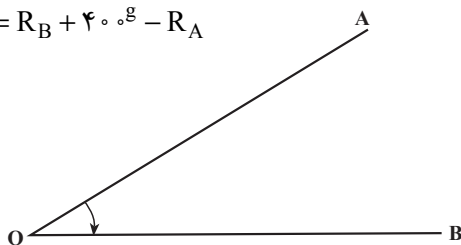
ب- نشانه روی و قرائت: به نقطه‌های A و B روی دو ضلع زاویه نشانه‌روی کرده و مقادیر مربوط به هر نقطه را قرائت می‌کنیم (R_B, R_A) اگر $R_B > R_A$ باشد، داریم:

$$\hat{AOB} = R_B - R_A$$

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:

$$\hat{AOB} = R_B + 360^\circ - R_A \quad (\text{برای دوربین‌های درجه‌ای})$$

$$\hat{AOB} = R_B + 400^g - R_A \quad (\text{برای دوربین‌های گرادى})$$



شکل ۳-۵

۳-۵- 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 تراز یاب ذکر گردید؛ انجام می‌شود. لیکن در مورد کار با زاویه‌یاب به نکات زیر نیز توجه داشته باشید:

۱- 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.

۲- با حرکت کلید نگه‌دارنده‌ی دایره‌ی مدرج افقی می‌توان کاری کرد که $R_A = 0^\circ$ شود (یا اصطلاحاً قرائت زاویه‌ی افقی بر روی امتداد OA صفر، صفر گردد) در این صورت:

$$\hat{AOB} = R_B - R_A = R_B - 0^\circ = R_B$$

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

۳-۱-۵- قرائت کوپل (زوج): در اندازه‌گیری زاویه موقعی که می‌خواهند مقدار زاویه‌ی

AOB دقیق‌تر به دست آید با دو حالت مستقیم و معکوس دوربین زاویه را می‌خوانند و میانگین می‌گیرند (در حالت مستقیم صفحه‌ی مدرج قائم در طرف چپ ناظر و در حالت معکوس صفحه‌ی مدرج 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 A و B در حالت دایره به چپ تئودولیت به ترتیب برابر $LA = 38^\circ 40'$ و $LB = 74^\circ 50'$ و در حالت دایره به راست تئودولیت به ترتیب $RA = 218^\circ 50'$ و $RB = 254^\circ 50'$ قرائت شده است. مطلوب است محاسبه‌ی \hat{AOB} :

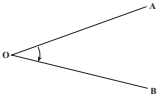
$$LRA = \frac{LA + RA - 180^\circ}{2} = \frac{38^\circ 40' + 218^\circ 50' - 180^\circ}{2} = 38^\circ 45'$$

$$LRB = \frac{LB + RB - 180^\circ}{2} = \frac{74^\circ 50' + 254^\circ 50' - 180^\circ}{2} = 74^\circ 50'$$

$$\hat{AOB} = LRB - LRA = 74^\circ 50' - 38^\circ 45' = 36^\circ 50'$$

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

جدول ۵-۱- فرم قرائت زاویه به روش کوپل

فرم قرائت زاویه						
تاریخ			شماره صفحه			
ساعت			عامل			
وضعیت هوا			نوع و شماره‌ی دستگاه			
ایستگاه	نقاط قراولروی	دایره به چپ	دایره به راست	میانگین	مقدار زاویه	کروکی
O	A	$38^\circ 40'$	$218^\circ 50'$	$38^\circ 45'$	$36^\circ 50'$	
	B	$74^\circ 50'$	$254^\circ 50'$	$74^\circ 50'$		

۴-۵- خطاها در اندازه‌گیری زوایا

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

۱- خطاهای دستگاهی

۲- 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 ایستگاه‌گذاری)،

ج: خطای ثابت نبودن دستگاه در موقع اندازه‌گیری،

د: خطای نشانه‌روی،

ه: 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:

$$(n \text{ تعداد زوایا}) 90^\circ = (2n - 4) = \text{مجموع زوایای داخلی یک چند ضلعی}$$

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 می شود باید در صفحه ی رتیکول قرار گیرد. اگر دو تصویر فوق در یک صفحه قرار نگیرد می گویند تصاویر از هم جدا افتاده اند. در چنین وضعیتی اصطلاحاً می گویند در عدسی چشمی خطای پارالاکس وجود دارد.

استقرار دستگاه زاویه یاب بر روی نقطه ای مشخص و اندازه گیری زاویه: دستگاه تئودولیت را بر رأس زاویه ی 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: اندازه گیری زاویه ی افقی (AOB) (پس از ایستگاه گذاری بر روی نقطه ی O و قرار دادن دو ژالون روی دو امتداد OA و OB) در حالت های زیر:

۱- پس از قرار دادن زاویه یاب روی امتداد های OA و OB مقدار زاویه ی افقی در هر امتداد را قرائت کرده از هم کم می کنیم.

۲- پس از صفر - صفر کردن تئودولیت روی امتداد OA، مقدار زاویه روی امتداد OB قرائت می شود.

۳- زاویه ی فوق با دو حالت دایره به چپ و دایره به راست (کویل) قرائت شده، حاصل در جدولی نوشته و میانگین گرفته می شود.

خودآزمایی

۱- برای تعیین مقدار زاویه ی AOB به کمک متر چه اندازه گیری هایی لازم است اندازه گرفته

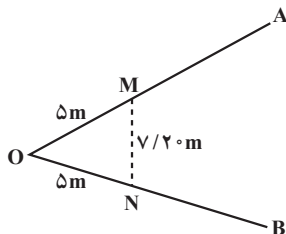
شود؟

۲- مراحل اندازه گیری یک زاویه به کمک نیوو را ذکر نمایید و رابطه ی مربوط را بنویسید.

۳- مراحل اندازه گیری یک زاویه به کمک زاویه یاب را ذکر کنید.

۴- برای بالا بردن دقت اندازه گیری زاویه چه روشی به کار می برند؟

۵- برای تعیین مقدار زاویه ی AOB که در شکل ۵-۴ دیده می شود دو فاصله ی مساوی $OM = ON = ۵m$ را روی دو ضلع زاویه جدا کرده و سپس طول MN را اندازه گرفته ایم، برابر $۷/۲۰$ متر شده است زاویه ی فوق چند درجه است؟



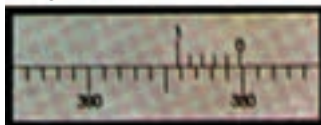
شکل ۵-۴

۶- در شکل زیر قرائت زاویه چه قدر است؟

۳۶°

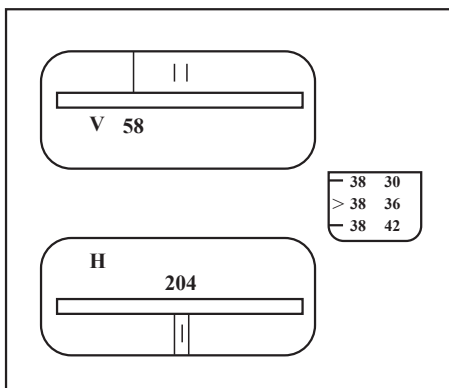


$۴۰۰g$



شکل ۵-۵

۷- در شکل زیر قرائت زاویه برحسب درجه چه قدر است؟

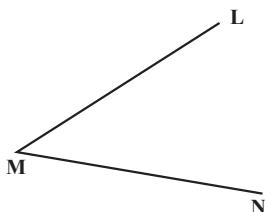


شکل ۵-۶

۸- 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 مستقیم‌دوربین، اعداد زیر قرائت شده است:

ML در امتداد $3^{\circ}, 12'$

MN در امتداد 76°



شکل ۷-۵

اولاً مقدار زاویه‌ی LMN چند درجه و چند دقیقه است؟

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

۹- اگر به جای اعداد مسئله‌ی قبل اعداد زیر قرائت شده باشند مقدار زاویه را تعیین کنید.

ML در امتداد $352^{\circ}, 36'$

MN در امتداد $38^{\circ}, 51'$

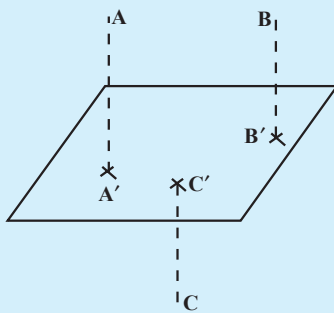
۱۰- اگر بر روی امتداد ML زاویه را صفر - صفر کنیم (در صورتی که مقدار زاویه از

مسئله‌ی قبل معلوم فرض شود) فکر می‌کنید چه عددی باید بر روی امتداد MN قرائت شود؟

۱۱- 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 تراز یاب و تتودولیت (زاویه‌یاب) اندازه‌گیری و کنترل کنید.

اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع



شکل ۱-۶

اگر یک سطح افقی دلخواه^۱ را بر روی زمین مبنا قرار داده و فاصله‌ی نقاط مختلفی را، در بالا و پایین این صفحه، نسبت به آن به دست آوریم اصطلاحاً به این فواصل (در نقشه برداری‌های کم وسعت) ارتفاع می‌گویند و برای بیان آن که از دو نقطه کدام بالاتر و کدام پایین تر است می‌توان ارتفاع یکی را نسبت به دیگری سنجید.

مثلاً در شکل بالا AA' ارتفاع نقطه‌ی A و BB' و

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:

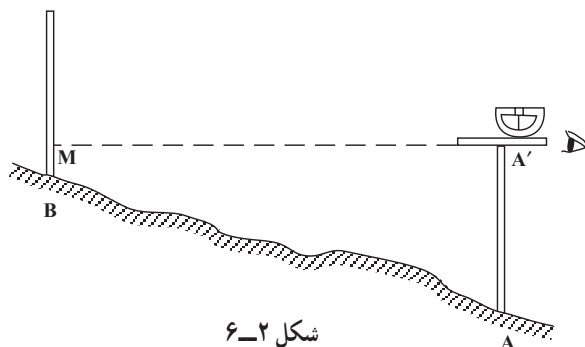
- روشهای مستقیم و غیرمستقیم تعیین اختلاف ارتفاع را توضیح دهد.
- تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه به کمک دستگاه ترازباب را تشریح نماید.
- طرق محاسبه اختلاف ارتفاع پس از اندازه‌گیری‌های زمینی را توضیح دهد.
- انواع روش‌های ترازبابی مستقیم با توجه به وضعیت نقاط روی زمین را بیان نماید.
- روش‌های کنترل در ترازبابی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

۱- سطح مبنای ارتفاعات در نقشه‌برداری از مناطق بزرگ که در آن انحنای سطح زمین نیز در نظر 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.

۶-۱- تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه به کمک وسایل ساده

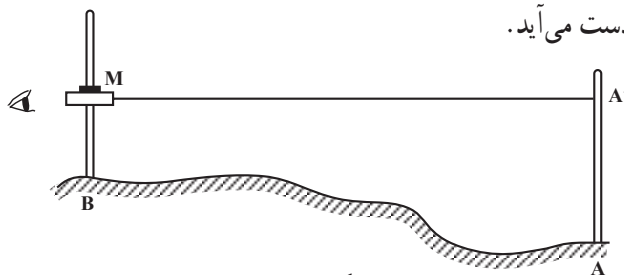
به دو طریق مستقیم و غیرمستقیم می‌توانیم عمل کنیم:
 طریقه‌ی مستقیم: اگر بخواهیم اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B را تعیین کنیم پس از قرار دادن صفر ورنیه شیب‌سنج دستی در مقابل صفر قوس مدرج، چنانچه خط دید روی نقطه‌ی M قرار گیرد با اندازه‌گیری طول‌های BM و AA' اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B از رابطه‌ی زیر به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

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



شکل ۶-۲

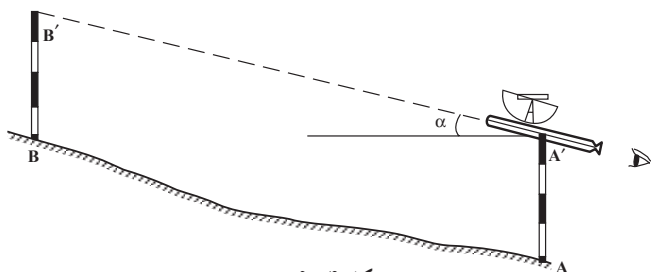
عمل فوق را به کمک تراز دستی نیز می‌توان انجام داد به این ترتیب که پس از مشخص کردن امتداد افقی MA' با این وسیله، مجدداً با اندازه‌گیری طول‌های AA' و BM اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B به دست می‌آید.



شکل ۶-۳

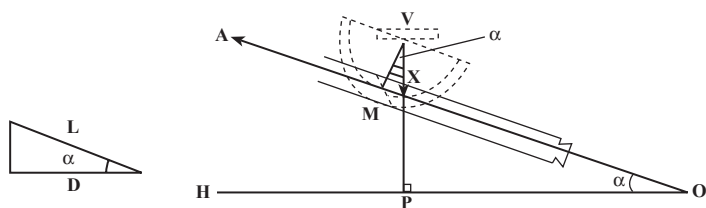
یادآوری: در انجام عمل فوق با شیب‌سنج یا تراز دستی باید توجه داشت که ژالون‌های مستقر در نقاط A و B بایستی کاملاً قائم باشند و برای این منظور از تراز نبشی در کنار ژالون‌ها استفاده می‌شود.
 طریقه‌ی غیرمستقیم: به جای روش فوق می‌توان پس از اندازه‌گیری فاصله‌ی افقی دو نقطه زاویه‌ی شیب سطح را نیز اندازه‌گیری 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)

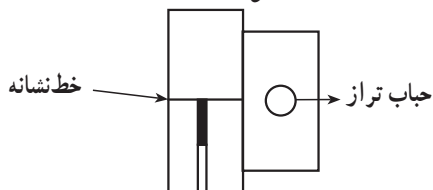


شکل ۶-۴

قرار می‌گیرد و شیب‌سنج را در کنار ژالون در نقطه‌ی $(B')A'$ قرار می‌دهد و به نقطه‌ی $(A')B'$ از یک ژالون دیگر (شاخص) که در نقطه‌ی $(A)B$ به‌طور قائم مستقر شده است نشانه‌روی می‌نماید به‌طوری‌که 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 مدرج قرائت می‌کند.



شکل ۶-۵



شکل ۶-۶- 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:

$$\Delta H = D \tan \alpha \quad \text{یا} \quad (\text{شیب} \times \text{فاصله‌ی افقی} = \text{اختلاف ارتفاع})$$

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

$$\Delta H = L \sin \alpha$$

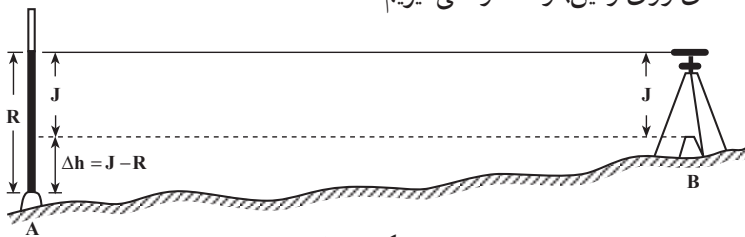
۶-۲- تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه به‌کمک دستگاه تراز یاب

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 ترازباب را روی یکی از دو نقطه مستقر کرده و بر روی نقطه‌ی دیگر شاخص مدرج را به طور قائم نگه داشت. سپس به طریقی 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 ۶-۷) 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 ۶-۷

سپس شاخص را بر روی نقطه‌ی 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.

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

$\Delta h > 0$ نقطه‌ی دوم بالاتر است

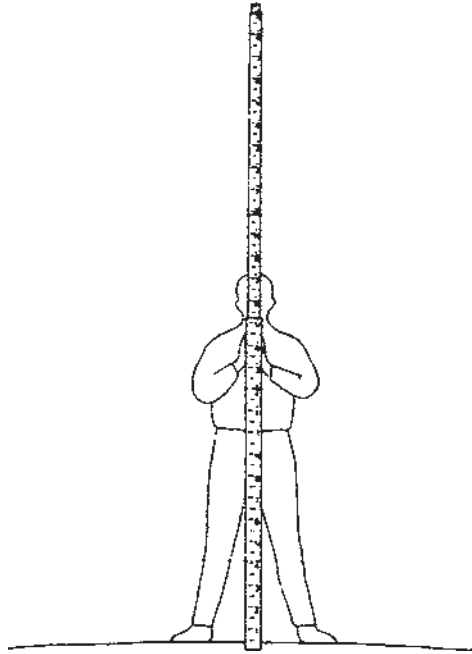
$\Delta h < 0$ نقطه‌ی دوم پایین‌تر است

(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 به دست می‌آید می‌توان ارتفاع نقطه‌ی دیگر را نیز به دست آورد.

شکل ۶-۸- تصاویر تارهای رتیکول و شاخص



شکل ۹-۶- طرز گرفتن میر

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

$$J = ۱۵۶۵, R = ۳۷۲۳$$

$$\Delta h = ۱۵۶۵ - ۳۷۲۳ = -۲۱۵۸$$

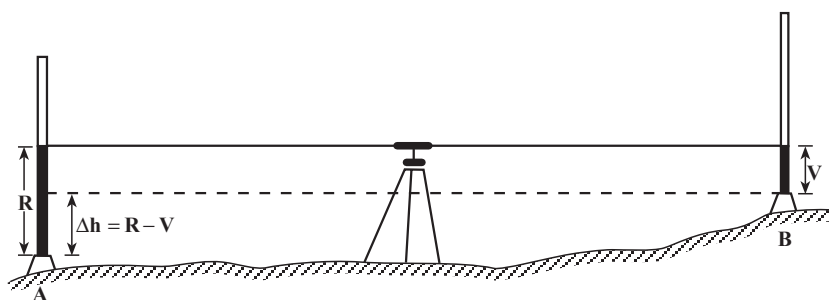
یعنی نقطه‌ی A به اندازه‌ی ۲۱۵۸ میلی‌متر پایین‌تر از نقطه‌ی B است و داریم:

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

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

برای پیدا کردن اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B در نقطه‌ای دل‌خواه که از آن نشانه روی به شاخص دو نقطه‌ی A و B امکان‌پذیر باشد ترازیب را مستقر می‌کنیم (اگر ترازیب تنظیم نباشد^۱ 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).

۱- چنانچه محور دید ترازیب افقی نباشد اصطلاحاً می‌گویند ترازیب تنظیم نیست.



شکل ۱۰-۶

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 (B.S) (Back Sight) و دومین قرائت را قرائت جلو (F.S) (Front Sight) می‌گویند.

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

$$\Delta h > 0$$

نقطه‌ی دوم بالاتر است

$$\Delta h < 0$$

نقطه‌ی دوم پایین‌تر است

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



تبصره‌ی ۳: در این جا نیز مانند روش قبل از روی ارتفاع یک نقطه می‌توان ارتفاع نقطه‌ی دیگر را به دست آورد.

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 به ترتیب اعداد ۳۲۱۳ و ۱۰۵۵ را خوانده‌ایم. اختلاف ارتفاع مزبور چه قدر است؟

$$\Delta h = R - V = 3213 - 1055 = 2158$$

یعنی نقطه‌ی A به اندازه‌ی ۲۱۵۸

میلی‌متر بالاتر از نقطه‌ی B است.

شکل ۱۱-۶

۳-۶- انواع روش‌های ترازیبی مستقیم با توجه به وضعیت نقاط روی زمین

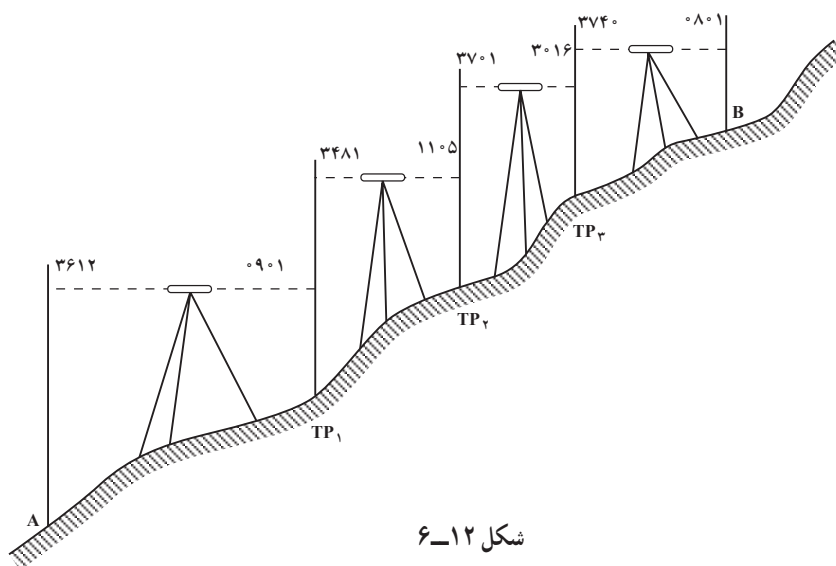
برحسب موقعیت نقاط بر روی زمین، عمل ترازیبی مستقیم به شیوه‌های مختلف انجام می‌شود.

الف- ترازیبی تدریجی: اگر دو نقطه‌ای که می‌خواهیم اختلاف ارتفاع آن‌ها را پیدا کنیم،

از هم دور باشند یا شیب زمین زیاد باشد به طریقی که با یک بار ایستگاه‌گذاری پیدا کردن اختلاف ارتفاع مقدور نباشد به طریقه‌ی ترازیبی 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 TP_1 (Temporary Point) که فاصله‌اش تا ترازباب تقریباً برابر فاصله‌ی ترازباب تا نقطه‌ی A است قرار داده و عدد مربوط به این نقطه را بر روی شاخص می‌خوانیم (قرائت جلو). سپس ترازباب را به نقطه‌ی دیگری که بعد از نقطه‌ی TP_1 قرار دارد منتقل ساخته و به ترتیب فوق عمل ترازیبی را برای نقاط TP_2 ، TP_3 ، TP_4 و... ادامه می‌دهیم تا به نقطه‌ی 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 ترازیبی کرده‌ایم و تا رسیدن به نقطه‌ی B از نقطه‌های TP_1 ، TP_2 و TP_3 کمک گرفته‌ایم (مطابق شکل ۱۲-۶) اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی مزبور چه قدر است؟



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- ترازیبی خطی: اگر بخواهیم ارتفاع نقاطی را روی یک مسیر پیدا کنیم، این کار با شیوه‌ای که در ترازیبی 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 ترازیبی نیز مانند عملیات زمینی ترازیبی 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 ترازیب ارتفاعات نقاط به‌دست می‌آید که اصطلاحاً روش ارتفاع خط دید ترازیب گفته می‌شود.

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

ارتفاع (میلی متر)	قرائت جلو	ارتفاع دستگاه	قرائت عقب	نقاط	ایستگاه
۱۰۰۰۰۰		۱۰۳۶۱۲	۳۶۱۲	A	S _۱
۱۰۲۷۱۱	۰۹۰۱		۳۴۸۱	۱	
		۱۰۶۱۹۲			S _۲
			۳۷۰۱	۲	
۱۰۵۰۸۷	۱۱۰۵	۱۰۸۷۸۸			S _۳
۱۰۵۷۷۲	۳۰۱۶		۳۷۴۰	۳	
		۱۰۹۵۱۲			S _۴
۱۰۸۷۱۱	۰۸۰۱				

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

قرائت جلو روی نقطه ی ۱ - قرائت عقب روی نقطه ی A + ارتفاع نقطه ی A = ارتفاع نقطه ی ۱

$$102711 = 3612 - 901 + 100000 = \text{ارتفاع نقطه ی ۱}$$

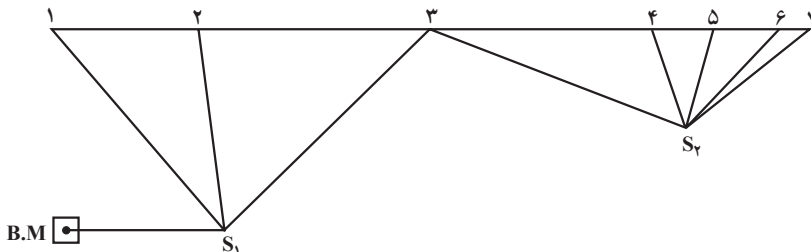
چنانچه فاصله ی نقاط به هم نزدیک باشد که بتوان از یک ایستگاه عدد مربوط به چند نقطه را روی شاخص خواند، اولین قرائت را از هر ایستگاه قرائت عقب و آخرین را قرائت جلو و بقیه را به عنوان قرائت های وسط در جدول می نویسند. فرم تنظیم ستون های جدول ترازایی را، در این حالت، در این جا می بینید.

در موقع محاسبه ی اختلاف ارتفاع ها، قرائت های وسط و جلو هر ایستگاه از قرائت عقب مربوط به همان ایستگاه کم می شوند.

تبصره: این جدول برای موقعی است که محاسبه ی ارتفاع ها را به روش نشیب و فراز انجام دهیم. برای روش ارتفاع خط دید ترازباب فرم جدول کمی تغییر می کند.

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

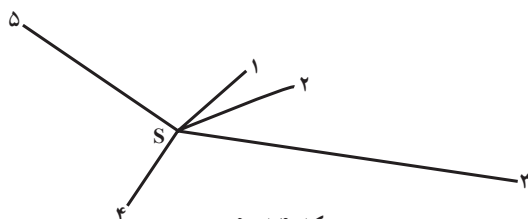
مثال: اگر در یک عمل ترازایی مطابق شکل ۱۳-۶ برای پیدا کردن ارتفاع های نقاط ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ از ایستگاه S_1 ، قرائت شاخص در نقطه ی B.M با ارتفاع صدمتر برابر ۱۸۵۲، قرائت شاخص در نقاط ۱، ۲ و ۳ به ترتیب ۲۰۲۷، ۲۸۹۶ و ۰۰۳۵؛ و از ایستگاه S_2 ، قرائت شاخص در نقاط ۳، ۴، ۵، ۶ و ۷ به ترتیب ۱۲۵۵، ۳۰۱۸، ۲۹۱۵، ۱۰۴۵ و ۱۵۱۵ شده باشد، ارتفاع هر یک از نقاط ۱ تا ۷ چه قدر است؟



شکل ۱۳-۶

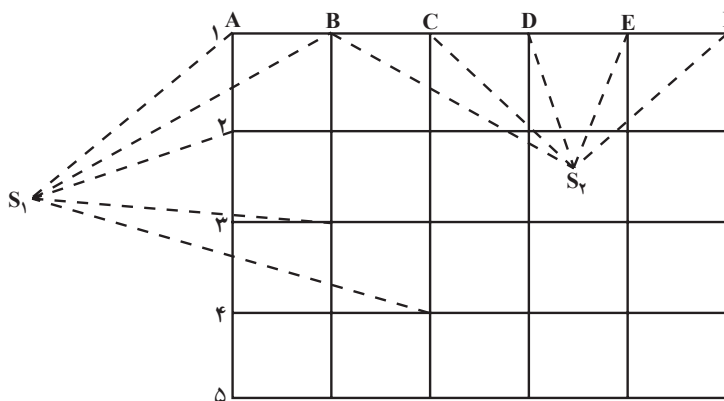
	P	B.S	M.S	F.S	ΔH		H
					-	+	
	B.M	۱۸۵۲					۱۰۰۰۰۰
	۱		۲۰۲۷		۰۱۷۵		۹۹۸۲۵
قرائت عقب (B.S)	۲		۲۸۹۶		۱۰۴۴		۹۸۹۵۶
قرائت جلو (F.S)	۳	۱۲۵۵		۰۰۳۵		۱۸۱۷	۱۰۱۸۱۷
قرائت وسط (M.S)	۴		۳۰۱۸		۱۷۶۳		۱۰۰۰۵۴
اختلاف ارتفاع (ΔH)	۵		۲۹۱۵		۱۶۶۰		۱۰۰۱۵۷
ارتفاع نقاط (H)	۶		۱۰۴۵			۰۲۱۰	۱۰۲۰۲۷
	۷			۱۵۱۵	۰۲۶۰		۱۰۱۵۵۷

ج- ترازیبی شعاعی: اگر نقاطی به صورت پراکنده قرار گرفته باشند به طوری که بتوان از یک ایستگاه آن‌ها را ترازیبی کرد، ترازیبی را شعاعی می‌گویند (شکل ۱۴-۶).



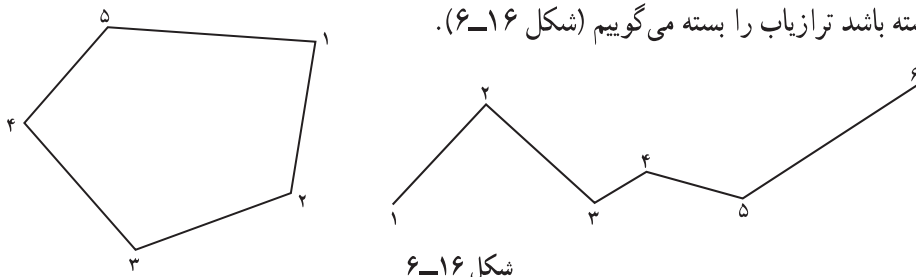
شکل ۱۴-۶

د- ترازیبی شبکه‌ای: وقتی نقاط به طور مرتب بر روی یک شبکه قرار گرفته باشند و از ایستگاه‌های مختلف ترازیبی شوند ترازیبی از نوع شبکه‌ای است (شکل ۱۵-۶).



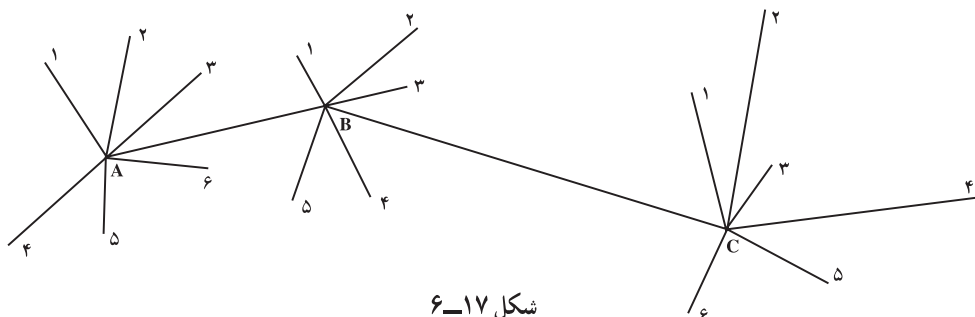
شکل ۱۵-۶

هـ- ترازیبی کثیرالاضلاعی: اگر نقاط با یکدیگر تشکیل یک کثیرالاضلاع را بدهند ترازیبی ما کثیرالاضلاعی خواهد بود. اگر کثیرالاضلاع باز باشد ترازیبی را باز و اگر کثیرالاضلاع بسته باشد ترازیب را بسته می‌گوییم (شکل ۶-۱۶).



شکل ۶-۱۶

و- ترازیبی مختلط: وقتی که عمل ترازیبی ترکیبی از چند ترازیبی مثلاً شعاعی و کثیرالاضلاعی باشد ترازیبی مختلط است (شکل ۶-۱۷).



شکل ۶-۱۷

ز- ترازیبی متقابل (Reciprocal levelling): هنگامی که امکان قرار دادن ترازیب در فاصله‌ی تقریباً مساوی از دو حالت شاخص وجود داشته باشد، برای رفع خطاهایی که قبلاً از آنها گفته‌ایم، به روش ترازیبی 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

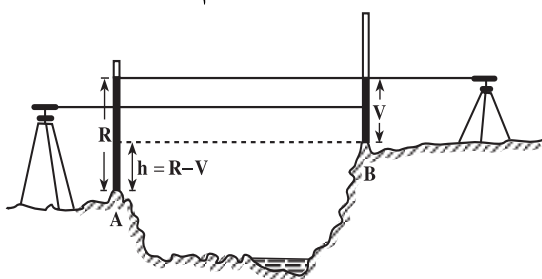
شاخص در دو نقطه‌ی A و B، ترازیب را

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 ۶-۱۸