فصل
دهم

روش‌های مختلف ترازیابی

عکس ماهواره‌ای از بین‌الحرمین

به نظرشما چگونه می‌توان با استفاده از عکس‌های هوائی و ماهواره‌ای، اختلاف ارتفاع بین نقاط را به‌دست آورد؟

هدف های رفتاری :

پس از آموزش و مطالعه این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود بتواند:

۱- انواع روش‌های مختلف ترازیابی را نام ببرد و هر کدام را با رسم شکل توضیح دهد.

نکته ها:

نِگَرکه کارِ امروز را به فردا نیفکنی
که هر روزی که می‌آید کارِ خویش می‌آورد.
«ابوالفضل-بیهقی»

قبل از مطالعه‌ی این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود با مطالب زیر آشنا باشد:

۱- آشنایی با مفاهیم اولیه‌ی ترازیابی
۲- آشنایی با نسبت های مثلثاتی در مثلث قائم الزاویه
۳- آشنایی با مفهوم فشارهوا
۴- آشنایی با عکس هوایی
۵- آشنایی با سیستم تعیین موقعیت ماهواره ای(GPS)

مطالب پیش نیاز :

مفاهیم کلیدی

شیلنگ تراز

ترازیابی مثلثاتی
Trigonometric Levelling

مقدمه – روش‌های ترازیابی

جهت تعیین اختلاف ارتفاع یا ارتفاع نقاط، روش‌های مختلفی وجود دارد. بعضی از روش‌های ترازیابی از قدیم الایام مورد استفاده قرار می‌گرفته‌اند(مانند ترازیابی به کمک وسایل ساده یا با استفاده از شیلنگ‌تراز) و بعضی از روش‌ها نیز امروزه به‌کار گرفته شده‌اند (مانند استفاده از ترازیاب‌های لیزری یا ترازیابی به کمک سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای).

در این فصل با برخی از روش‌های ترازیابی ساده آشنا می‌شوید و در فصل یازدهم متداول‌ترین روش‌های ترازیابی هندسی را می‌آموزید.

بیش‌تر بدانیم . . .

آیا می‌توانید غیر از روش‌هائی که در این فصل ذکر می‌گردد، روش‌های دیگری نیز برای محاسبه‌ی اختلاف ارتفاع ذکر کنید؟ برای این منظور می‌توانیدبه کتاب‌های نقشه‌برداری موجوددر بازار و یا سایت‌های مختلف نقشه‌برداری و ژئوماتیک رجوع کنید.

۱۰-۱ روش‌های مختلف ترازیابی

به طور کلی روش‌های مختلف ترازیابی را می‌توان به اشکال زیر تقسیم‌بندی نمود:

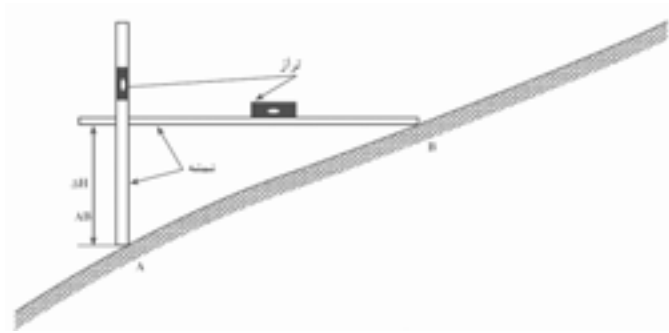
- ترازیابی به کمک وسایل ساده (تراز شاقولی - شمشه تراز)
- ترازیابی هیدرواستاتیکی (روش استفاده از شیلنگ تراز)
- ترازیابی هندسی (ترازیابی مستقیم)
- ترازیابی مثلثاتی (ترازیابی غیرمستقیم)
- ترازیابی به کمک ترازیاب‌های الکترونیکی
- ترازیابی به کمک انواع تئودولیت‌های اُپتیکی و الکترونیکی
- ترازیابی فشارسنجی
- ترازیابی به کمک عکس‌های هوایی
- ترازیابی به کمک سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای

۱۰-۲ ترازیابی به کمک وسایل ساده

در این روش از وسایل ساده و اولیه برای اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع بین دو نقطه استفاده می‌شود. امروزه این روش در نقشه‌برداری کم‌تر مورد استفاده است. مهم‌ترین وسایل این روش ترازشاقولی و شمشه‌تراز بنایی است.

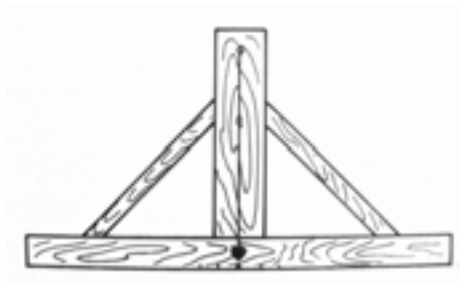
شمشه و ترازبنایی نیز برای اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع دو سطح، که دارای فاصله‌ی متناسب با طول شمشه هستند، در کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

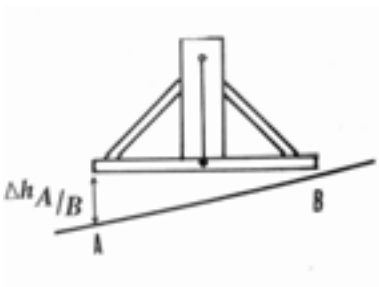
می‌توانید روش کار را توضیح دهید؟

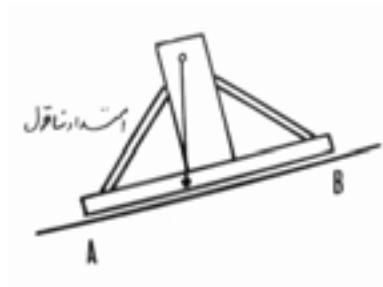


شکل ۱۰ - ۱ . شمشه و تراز بنایی

ترازشاقولی از یک مثلث متساوی‌الساقین تشکیل شده و با کمک شاقولی که به آن متصل است و خطِ‌نشانه‌ای که روی پایه‌ی آن قرار دارد، می‌توان سطح را تراز نمود(شکل ۱۰-۲)







شکل ۱۰ - ۲ . ترازشاقولی

بیش‌تر بدانیم . . .

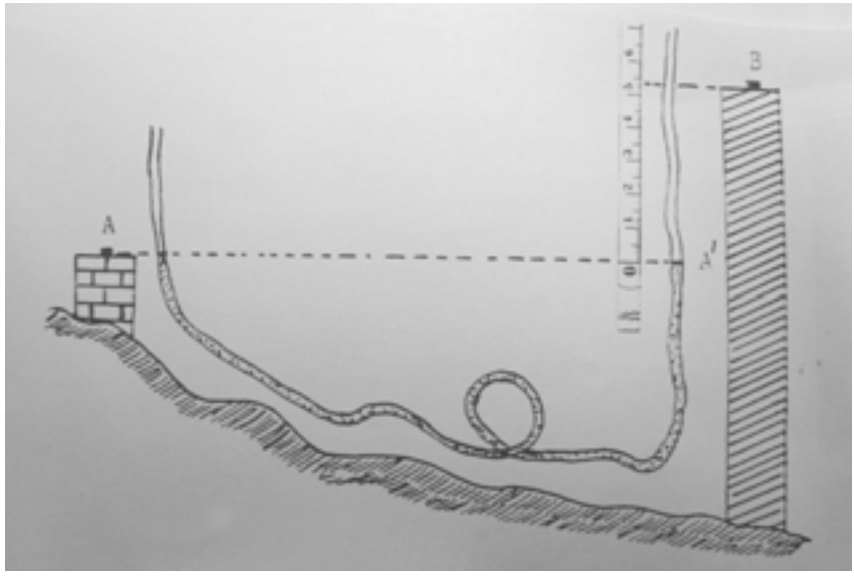
ابوبکر محمد بن حسین کرجی(حسن)، ریاضی‌دان و آب شناس فرهیخته ایرانی است و در نیمه دوم سده چهارم و آغاز سده پنجم هجری زندگی کرده‌است. وی هم دوران ابوریحان بیرونی، زکریای رازی و پورسینا بوده است اما کسی وی را به اندازه ی این سه تن نمی شناسد. •به احتمال قوی کرجی نخستین کسی است که نقشه برداری زمینی را مطرح کرده است. وی برای هدایت راستا و شیب کف قنات روش هایی ارائه کرده که از نظر اصول ریاضی درست منطبق بر آن چیزی است که امروزه در نقشه برداری های زیرزمینی انجام می شود و تفاوت اندک آنها در اجرا، به دلیل ابزارهایی مثل تئودولیت است که در آن زمان موجود نبوده است.

۳-۱۰ ترازیابی هیدرواستاتیکی(روش استفاده از شیلنگ تراز)

در این روش از قانون ظروف مرتبط یا ظروف به‌هم پیوسته استفاده می‌شود(قانون توریچلی). وقتی در یک لوله‌ی پلاستیکی (شیلنگ شفاف) آب بریزیم، سطح آزاد آب در دو شاخه‌ی لوله در یک ارتفاع قرار می‌گیرد. وسیله‌ی ساده‌ای که در این روش به‌کار برده می‌شود یک لوله یا شیلنگ پلاستیکی شفاف است.

مطابق شکل(۱۰-۳) بین دو نقطه‌ی A و B که نسبت به‌هم دارای پستی و بلندی هستند یک شیلنگ پرشده از آب قرار می‌دهیم و اختلاف سطح نقطه‌ی A را از نقطه‌ی B با این وسیله به‌دست می‌آوریم. به این ترتیب A' محل عبور سطح‌تراز نقطه‌ی A از امتداد قائم نقطه‌ی B است (A' هم‌ارتفاع A است. چرا؟)

با اندازه‌گیری فاصله‌ی قائم $A'B$ به وسیله‌ی متر، اختلاف ارتفاع دو نقطه را به‌دست می‌آوریم.



شکل ۱۰ - ۳. ترازیابی هیدرواستاتیکی (استفاده از شیلنگ‌تراز برای تعیین اختلاف ارتفاع)

ایراد این روش این‌است‌که فقط می‌توان در مواردی که نقاط به‌هم نزدیک باشند آن‌را به‌کار برد. به همین دلیل کاربردش در نقشه‌برداری کم است ولی در کارهای ساختمانی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

۴-۱۰ ترازیابی هندسی (ترازیابی مستقیم)

ترازیابی هندسی از دقیق‌ترین و مهم‌ترین روش‌های اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع است. در این روش به کمک دستگاه ترازیاب و شاخص و با ایجاد یک صفحه‌ی افقی در فضا اختلاف ارتفاع نقاط به‌دست می‌آید. به این صورت که با استفاده از تعریف و خاصیت صفحه‌ی افقی، که قبلاً گفته‌شد، مستقیماً اختلاف ارتفاع بین دو نقطه اندازه‌گیری می‌شود. در فصل بعد، روش‌های کار در ترازیابی هندسی به‌صورت کامل توضیح داده خواهدشد.

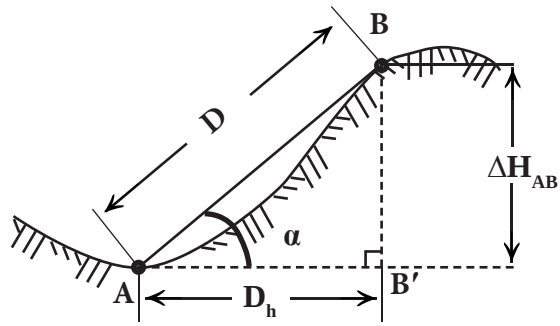
شکل ۱۰ – ۴ . ترازیابی هندسی (ترازیابی مستقیم)

بیش‌تر بدانیم . . .

تحقیقی درمورد توریچلی و قانون معروفش(قانون ظروف مرتبط) انجام دهید.

۱۰-۵ ترازیابی مثلثاتی یا ترازیابی غیرمستقیم (Trigonometric Levelling)

در این روش اختلاف ارتفاع نقاط با استفاده از روابط مثلثاتی تعیین می‌گردد. مثلاً اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B در شکل (۱۰-۵) با معلوم بودن فاصله‌ی شیب‌دار دو نقطه‌ی A و B (D) یا فاصله‌ی افقی آن‌ها (D_h) و زاویه‌ی شیب امتداد AB (α)، به کمک شیب‌سنج به سهولت به‌دست می‌آید.



$$\Delta H_{AB} = D \times \sin \alpha$$

$$\Delta H_{AB} = D_h \times \tan \alpha$$

شکل ۱۰ - ۵ . ترازیابی مثلثاتی (ترازیابی غیرمستقیم)

محاسبه‌ی اختلاف ارتفاع با استفاده از فاصله‌ی مایل و زاویه‌ی شیب :

$$\Delta H_{AB} = D \times \sin \alpha$$

(رابطه‌ی ۱۰ - ۱)

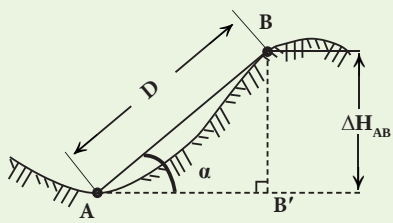
محاسبه‌ی اختلاف ارتفاع با استفاده از فاصله‌ی افقی و زاویه‌ی شیب :

$$\Delta H_{AB} = D_h \times \tan \alpha$$

(رابطه‌ی ۱۰ - ۲)

مثال ۱۰-۱

اندازه گیری اختلاف ارتفاع با استفاده از فاصله‌ی مایل و زاویه ی شیب (ترازیابی مثلثاتی)



با توجه به شکل مقابل اختلاف ارتفاع AB (ΔH_{AB})چند متر است؟

اگر ارتفاع A برابر ۱۰۰ متر باشد ارتفاع B چند متر است؟($\alpha = ۳۰^\circ$ و $D = ۱۲\ m$)

راهکارکلی: مشاهده می‌شود که مثلث ABB' یک مثلث قائم‌الزاویه است. هم‌چنین ارتفاع A و B' برابرند زیرا این دو نقطه بر روی یک سطح افقی قرار دارند. بنابراین، با پیداکردن ضلع BB' در این مثلث در حقیقت اختلاف ارتفاع بین دو نقطه‌ی A و B را به‌دست آورده‌ایم.

به دلیل معلوم بودن زاویه‌ی شیب و طول‌مایل از رابطه‌ی «سینوس» در مثلث قائم‌الزاویه‌ی فوق استفاده می‌کنیم:

$$\sin\alpha = \frac{\text{ضلع مقابل}}{\text{وتر}} = \frac{BB'}{AB} = \frac{\Delta H_{AB}}{D}$$

$$\sin\alpha = \frac{\Delta H_{AB}}{D} \Rightarrow \Delta H_{AB} = D \times \sin\alpha$$

پس از به‌دست آوردن مقدار ΔH_{AB} کافی است آن‌را با ارتفاع معلوم A جمع جبری نمائیم:

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

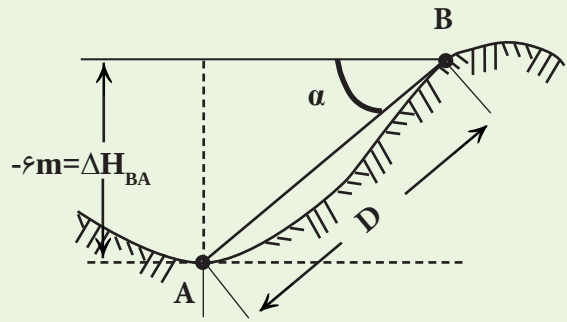
روش حل:

$$\left.\begin{array}{l} D = ۱۲m \\ \alpha = ۳۰^\circ \\ H_A = ۱۰۰m \end{array}\right\} \Longrightarrow \begin{array}{l} \Delta H_{AB} = D \times \sin\alpha = ۱۲ \times \sin ۳۰^\circ = ۶m \\ H_B = H_A + \Delta H_{AB} = ۱۰۰ + ۶ = ۱۰۶m \end{array}$$

بیش‌تر بدانیم . . .

ارتفاع برج میلاد که نماد مهندسی ایرانی است، چند متر است؟

بحث و بررسی: در مثال بالامشاهده می‌شود که اختلاف ارتفاع بین نقاط A تا B (ΔH_{AB}) برابر ۶m+ و معنی آن این است که نقطه‌ی B به اندازه‌ی ۶ متر از نقطه‌ی A در سطح بالاتری قرار دارد. (ΔH_{AB}= + ۶ m). حال اگر بخواهیم اختلاف ارتفاع بین B تا A (ΔH_{BA}) را به‌دست آوریم مطابق شکل، مقدارِآن ۶- متر خواهدشد. یعنی نقطه‌ی A به اندازه‌ی ۶ متر پایین‌تر از نقطه‌ی B قرار می‌گیرد. در این حالت چون امتداد BA پایینِ خطِ افق BB′ قرارگرفته است، پس زاویه‌ی شیب ۳۰- درجه خواهدشد.



$$\left.\begin{array}{l} D = ۱۲m \\ \alpha = -۳۰^\circ \end{array}\right\} \Rightarrow \begin{array}{l} \Delta H_{BA} = D \times \sin\alpha \\ \Delta H_{BA} = ۱۲ \times \sin(-۳۰^\circ) = -۶m \end{array}$$

۶-۱۰ ترازیابی به کمک ترازیاب‌های الکترونیکی

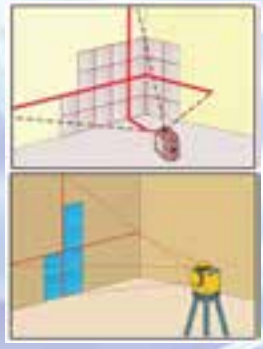
در این نوع ترازیابی از ترازیاب‌های الکترونیکی همراه با شاخص مخصوص استفاده می‌شود. این ترازیاب‌ها قادرند از خود اشعه‌ای صادر کنند و این اشعه پس از برخورد به شاخص و برگشت، می‌تواند اختلاف ارتفاع را مشخص نماید.

مزیت مهم این دستگاه‌ها آن است که در آن‌ها خطای قرائت و خطای ثبت اعداد وجودندارد. این دستگاه‌ها قادرند فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی ایستگاه و محل استقرار شاخص را اندازه‌گیری نمایند. هم‌چنین، به تعداد دفعاتِ لازم، اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع و فاصله را تکرار می‌کنند.

شکل ۱۰ – ۶ . ترازیاب الکترونیکی

بیش‌تر بدانیم . . .

ترازیاب‌های لیزری

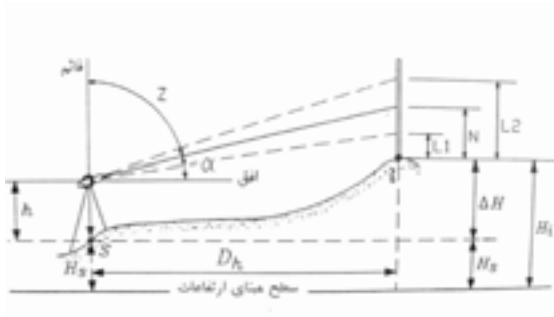


تحقیقی در مورد کاربردهای عمرانی ترازیاب‌های لیزری انجام دهید.

۱۰-۷ ترازیابی به کمک زاویه‌یاب(تئودولیت)

اصول کلی این روش در کتاب «نقشه‌برداری عمومی» سال آینده به صورت مشروح بیان می‌شود و روابط مورد نظر اثبات می‌گردد، اما این‌جا در حد اختصار به توضیح موضوع می‌پردازیم.

همان‌گونه که در شکل (۱۰-۷) ملاحظه می‌شود دستگاه زاویه‌یاب(تئودولیت) در نقطه‌ی S مستقرشده و ارتفاع دوربین اندازه‌گیری می‌گردد. سپس با قراول‌روی به شاخصِ نگه‌داشته شده در نقطه‌ی i ، اعداد مربوط به تارهای صفحه‌ی رتیکول و هم‌چنین زاویه‌ی قائم دوربین قرائت می‌شود. بنابراین، با داشتن مقادیر اندازه‌گیری شده و هم‌چنین ارتفاع نقطه‌ی S می‌توان اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی S و i را به‌دست آورد.



شکل ۱۰ - ۷ . ترازیابی به کمک زاویه‌یاب(تئودولیت)

۱۰-۸ ترازیابی بارومتری(فشارسنجی)

در این روش اختلاف ارتفاع نقاط بر اساس اختلاف فشارهوا و درجه‌ی حرارت در دو نقطه تعیین می‌گردد. به طوری که با اندازه‌گیری فشارهوا در هر نقطه می‌توان ارتفاع آن را تعیین نمود. زیرا فشارهوا در لایه‌های هم‌ارتفاع یکسان است و هرچه از سطح زمین بالاتر برویم از فشار هوا کاسته می‌شود. یعنی فشارهوا با ارتفاع نسبت معکوس دارد. دقت این روش کم است و برای مناطق کوهستانی مناسب است.

برای اندازه‌گیری فشارهوا از وسیله‌ای به نام «بارومتر» استفاده می‌گردد.

شکل ۱۰ - ۸ . بارومتر

۹-۱۰ ترازیابی به کمک عکس‌های هوایی

با استفاده از عکس‌های هوایی و وسایل مخصوص کار با آن‌ها و نیز با توجه به روابط ریاضی مربوطه و فرمول‌های مناسب می‌توان اختلاف ارتفاع تعداد بسیاری از نقاط را، که در عکس زمینی موجودند، به دست آورد. این کار با دستگاه‌های تبدیل، کامپیوتر و ماشین‌حساب به سهولت انجام می‌شود.

شکل ۱۰ - ۹ . عکس هوایی

بیش‌تر بدانیم . . .

فشار کمیتی است برابر با نیروی عمود بر سطح در واحد سطح.

اتمسفر یکی از واحدهای اندازه‌گیری فشار است. در دهمین کنفرانس عمومی واحدهای اندازه‌گیری اتمسفر به عنوان یک واحد رسمی اندازه‌گیری فشار پذیرفته شد و مقدار دقیق آن برابر با ۱۰۱/۳۲۵ پاسکال تعیین شد.

هر اتمسفر تقریباً برابر با میانگین فشار هوا در سطح دریا در سواحل شهر پاریس فرانسه است. شهرهای دیگر دنیا که در عرض جغرافیایی مشابهی قرار دارند، از میانگین فشارهوای مشابهی نیز برخوردارند.

۱۰-۱۰ ترازیابی به کمک سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای(GPS)

در این روش با استقرار گیرنده‌های **GPS** بر روی نقطه‌ای که می‌خواهیم ارتفاع مطلق آن را به‌دست آوریم و از طریق ارتباط گیرنده‌ها با ماهواره، ارتفاع توسط دستگاه گیرنده، پس از محاسبه، بر روی صفحه‌ی نمایش آن نشان داده می‌شود.

شکل ۱۰ - ۱۰ . گیرنده GPS

خلاصه‌ی فصل

- مهم‌ترین روش‌های ترازیابی عبارت‌اند از:

۱- ترازیابی به کمک وسایل ساده (تراز شاقولی - شمشه تراز)

۲- ترازیابی هیدرواستاتیکی (روش استفاده از شیلنگ تراز)

۳- ترازیابی هندسی (ترازیابی مستقیم)

۴- ترازیابی مثلثاتی (ترازیابی غیرمستقیم)

۵- ترازیابی به کمک ترازیاب‌های الکترونیکی

۶- ترازیابی به کمک انواع تئودولیت‌های اُپتیکی و الکترونیکی

۷- ترازیابی فشارسنجی

۸- ترازیابی به کمک عکس‌های هوایی

۹- ترازیابی به کمک سیستم تعیین موقعیت ماهواره‌ای

خودآزمایی

سؤالات تشریحی

۱- روش‌های مختلف ترازیابی را نام ببرید.

۲- دو روش متداول ترازیابی با وسایل ساده را نام ببرید و هر کدام را شرح دهید.

۳- ترازیابی هیدرواستاتیکی(استفاده از شیلنگ‌تراز) را با رسم شکل توضیح دهید.

۴- ترازیابی مثلثاتی چیست؟ با رسم شکل روابط آن‌را توضیح دهید.

۵- ترازیابی به کمک دستگاه‌های الکترونیکی را توضیح دهید.

۶- چگونه می‌توان از تغییرات فشارهوا برای تعیین اختلاف ارتفاع استفاده کرد؟ توضیح دهید.

۷- ترازیابی به کمک عکس هوایی چگونه است؟

۸- ترازیابی با GPS را شرح دهید.

سؤال جورکردنی

۹- روش‌های ستون «الف» را با وسایل ستون «ب» تکمیل کنید.

الف	ب
ترازیابی با وسایل ساده	تئودولیت
هیدرواستاتیکی	فشارسنج
هندسی	شیلنگ تراز
بارومتری	نیوو
	عکس هوایی
	شمشه‌و تراز

خودآزمایی

سؤالات چهارگزینه‌ای

۱۰- ترازیابی با شیلنگ‌تراز جزو کدام روش ترازیابی است؟

۱) هیدرواستاتیکی

۲) هندسی

۳) غیرمستقیم

۴) الکترونیکی

۱۱- کدام گزینه ترازیابی مستقیم نامیده می‌شود؟

۱) هندسی

۲) مثلثاتی

۳) فشارسنجی

۴) ماهواره‌ای

۱۲- درکدام روش ترازیابی اختلاف ارتفاع نقاط بر اساس اختلاف فشارهوا و درجه‌ی حرارت در دو نقطه تعیین می‌گردد؟

۱) هیدرواستاتیکی

۲) غیرمستقیم

۳) ماهواره‌ای

۴) بارومتری