مقصود از ترازیابی (Levelling) یا نیولمان تعیین اختلاف ارتفاع بین دو یا چند نقطه (نسبت به هم یا نسبت به یک سطح مبنای معین) است که با استفاده از دستگاه های مختلف و یا روش های گوناگون صورت می گیرد.

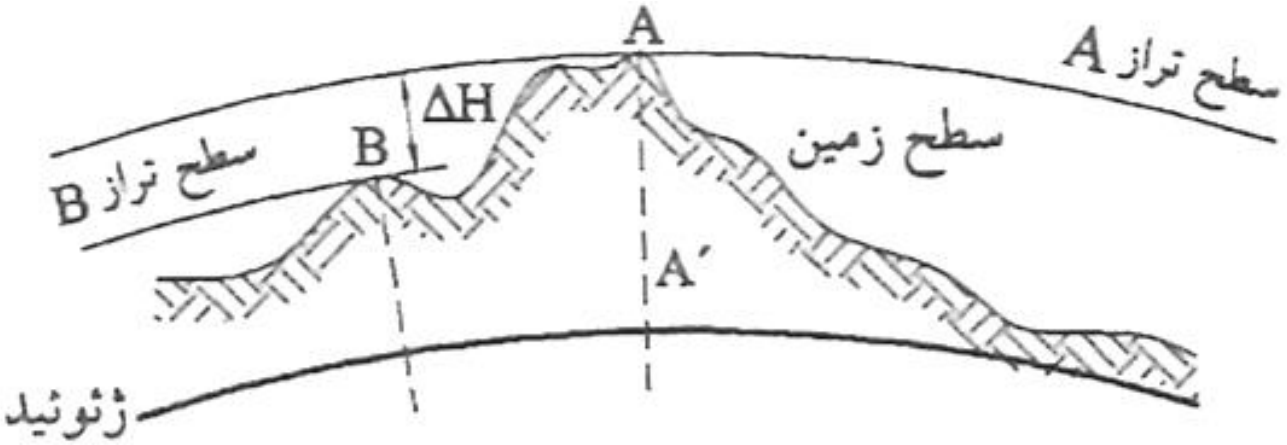
چند مفهوم :

سطح تراز

به مجموعه نقاطی که ارتفاع آنها یکسان باشد سطح تراز می گویند.
فاصله بین دو سطح تراز تعیین کننده اختلاف ارتفاع بین نقاط واقع بر روی آن دو سطح است.

ارتفاع نقطه

ارتفاع نقطه ای مانند A عبارت است از فاصله قائم این نقطه از سطح ارتفاعی مبنا (میتواند ژئوئید و یا سطح مبنای محلی باشد) است.



چند مفهوم

- **نقاط ترازیابی**

نقاطی که شاخص روی آنها نگه داشته شده و توسط قرائتهایی که روی شاخص انجام می پذیرد ارتفاع آن نقاط مشخص می شود.

- **بنچ مارک[۶] (BM)**

نقاط ثابتی هستند که ارتفاع آنها معلوم و یا بوسیله یکسری عملیات ترازیابی، ارتفاع آن نقاط مشخص می شود.

شناسنامه نقاط ارتفاعی BM
ارائه شده توسط سازمان نقشه برداری کشور

شناسنامه‌ایستگاه‌ترازیابی
LEVELING STATION DESCRIPTION

نام ایستگاه Station	NQZW2001	درجه Order	دو	شماره نقشه Sheet No.	طول‌جغرافیائی Longitude λ=
		استان Province	زنجان	مقیاس‌نقشه Scale	عرض‌جغرافیائی Latitude φ=
نام‌قدیم ایستگاه Old Name		راه Road	خرمشهر	شماره عکس و طرح Project & Photo No.	سقدارجاذبه Gravity g=
نوع‌ایستگاه Type of Station	معمولی	نزدیکترین‌قریه Nearest Town	زنجان	مقیاس‌عکس Photo Scale	تاریخ‌اندازه‌گیری جاذبه Date

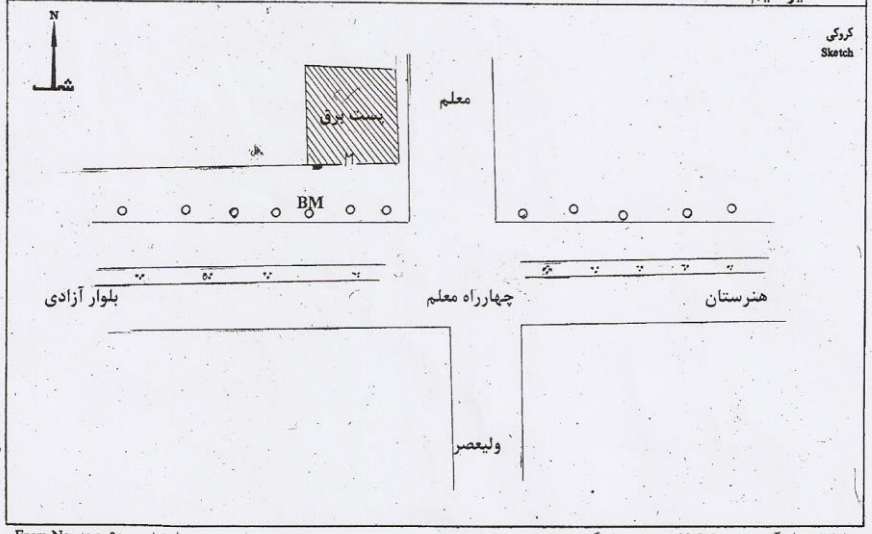
ملاحظات Remarks	ارتفاع ارتومتری Orth. Elevation	ارتفاع Elevation		تبها Datum	تاریخ محاسبه Cal. Date	تاریخ اندازه‌گیری Obs. Date
		RM.	BM.			
			1650.9220	DNG.1001	1380	

مشخصات ایستگاه Description: ایستگاه (BM) عبارتست از دیسک آلومینیومی که عبارت "سازمان نقشه برداری کشور" روی آن حک شده است.

موقعیت‌ایستگاه St.Positioning: BM بفاصله 0.33 متر از گوشه و 0.43 متر از کف قرار دارد. فاصله این ایستگاه از ZXZW 2003 و NTZY 2002 بترتیب 0.5 و 0.8 کیلومتر میباشد.

راه‌دسترسی‌بایستگاه Address: پس از طی 0.2 کیلومتر از بلوار آزادی در جاده خرمشهر بسمت میدان هنرستان به ایستگاه میرسیم.

کروکی Sketch:



Form No. 40 1982 فرم‌شماره | سال ۱۳۷۹ | تهیه‌کننده علی نیک دهقان ماه PreParetor | N.C.C سازمان‌نقشه‌برداری‌کشور

۱۳۹۰/۸/۲۸

شناسنامه‌ایستگاه‌ترازیابی
LEVELING STATION DESCRIPTION

نام ایستگاه Station	NQZW2001	درجه Order	دو	شماره نقشه Sheet No.	طول‌جغرافیائی Longitude λ=
		استان Province	زنجان	مقیاس‌نقشه Scale	عرض‌جغرافیائی Latitude φ=
نام‌قدیم ایستگاه Old Name		راه Road	خرمشهر	شماره عکس و طرح Project & Photo No.	سقدارجاذبه Gravity g=
نوع‌ایستگاه Type of Station	معمولی	نزدیکترین‌قریه Nearest Town	زنجان	مقیاس‌عکس Photo Scale	تاریخ‌اندازه‌گیری جاذبه Date

ملاحظات Remarks	ارتفاع ارتومتری Orth. Elevation	ارتفاع Elevation		تبها Datum	تاریخ محاسبه Cal. Date	تاریخ اندازه‌گیری Obs. Date
		RM.	BM.			
			1650.9220	DNG.1001	1380	

مشخصات ایستگاه Description: ایستگاه (BM) عبارتست از دیسک آلومینیومی که عبارت "سازمان نقشه برداری کشور" روی آن حک شده است.

- تراز یابی مستقیم یا هندسی
- ترازیابی غیر مستقیم یا مثلثاتی
- تراز یابی بارومتریک (ترازیابی به کمک فشار سنج)
- ترازیابی به کمک GPS
- ....

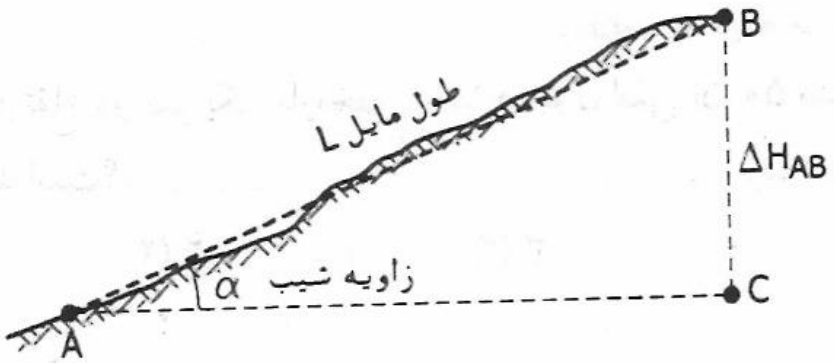
•ترازیابی غیر مستقیم یا مثلثاتی

برای محاسبهٔ مقدار اختلاف میان نقاط A و B، فاصلهٔ میان آنها و زاویهٔ شیب امتداد AB را اندازه‌گیری می‌کنیم.

در مثلث قائم‌الزاویهٔ ABC داریم:

$$H_A - H_B = AB \cdot \sin\alpha$$

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



مثال ۱: چنانچه فاصلهٔ دو نقطهٔ A و B بر روی سطح شیبدار برابر ۵۲ متر باشد و زاویهٔ شیب آنها برابر ۱۵ درجه باشد. اختلاف ارتفاع دو نقطهٔ A و B برابر چند متر است؟

پاسخ:

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

$$\Delta H_{AB} = ۵۲ \times \sin ۱۵ = ۱۳/۴۵ m$$

- **تراز یابی بارومتریک(ترازیابی به کمک فشار سنج)**

مقصود ازترازیابی فشارسنجی تعیین اختلاف ارتفاع بین دو یا چند نقطه، از طریق اندازه گیری فشارهوا در آن نقاط است.

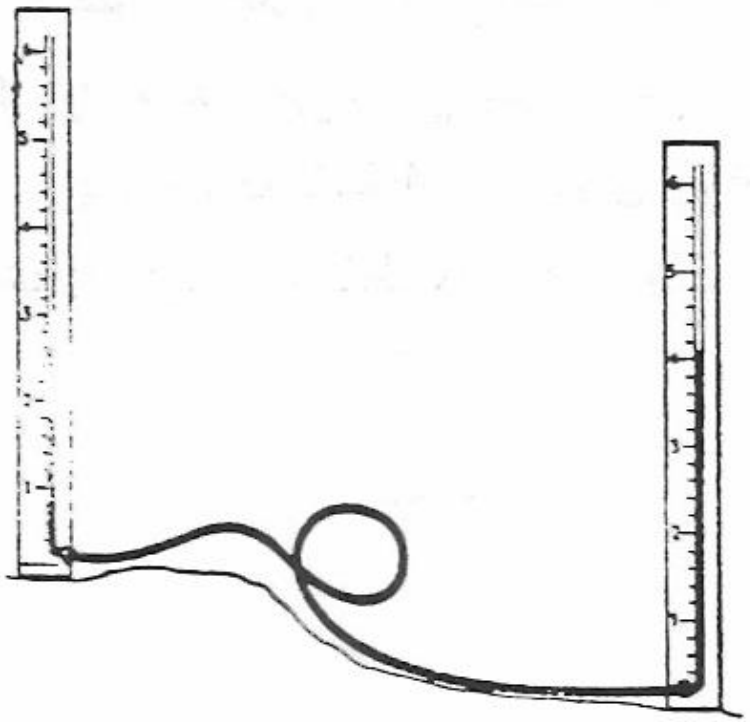
به طورکلی چون فشار هوا در هر نقطه به ارتفاع آن نقطه ازسطح مبنای ارتفاعی بستگی دارد می‌توان ارتفاع نقاط را به‌کمک وسایل اندازه‌گیری فشار هوا (فشارسنج یا بارومتر) تخمین زد، هرچه ارتفاع نقاط از سطح دریا بیشتر باشد فشار هوا کمتر می‌شود و برعکس.

بارومتر

•تراز یابی مستقیم یا هندسی

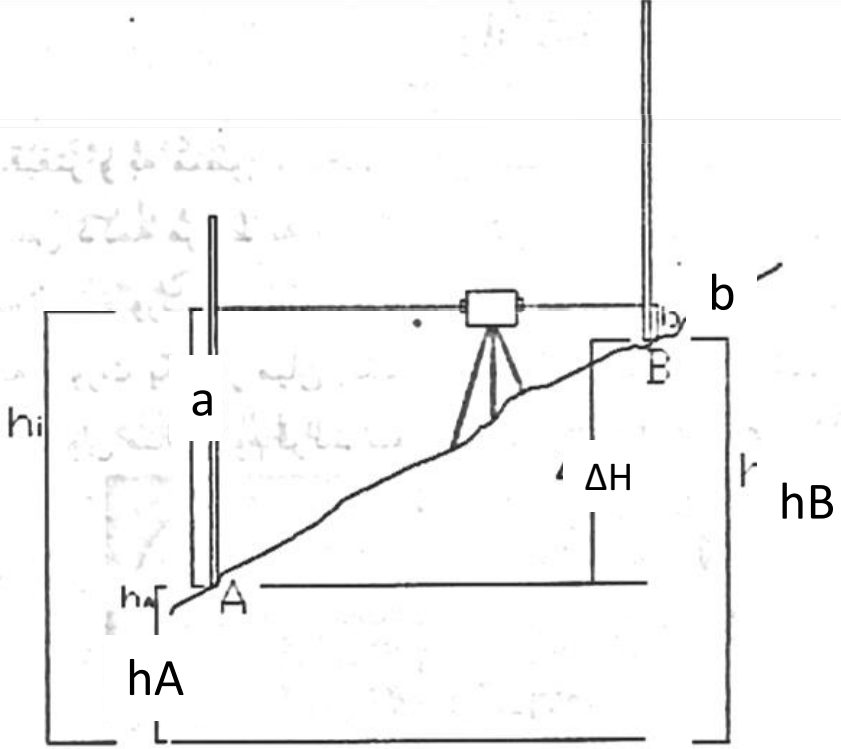
ساده ترین وسیله برای تراز یابی مستقیم یا هندسی شلنگ تراز می باشد.

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



ترازیاب (Level - Niveau)

- اصول تراز یابی مستقیم یا هندسی



سطح مبنا

a: قرائت عقب و b: قرائت جلو

$$\Delta H_{AB} = a - b = \text{قرائت عقب} - \text{قرائت جلو} = B.S. - F.S.$$

$$if \quad \Delta H_{AB} > 0 \quad \Rightarrow \quad \uparrow \text{سربالایی}$$

or

$$if \quad \Delta H_{AB} < 0 \quad \Rightarrow \quad \downarrow \text{سرپایینی}$$

$$\Delta H_{AB} = h_B - h_A = a - b = B.S. - F.S.$$

$$h_B = h_A + (B.S. - F.S.)$$

ارتفاع دستگاه ترازیاب در این استقرار طبق شکل بالا از رابطه زیر بدست می آید:

$h_i = h_A + B.S.$ یا (قرائت عقب + ارتفاع نقطه A =ارتفاع دستگاه در این استقرار)

همچنین می توان نوشت:

$h_B = h_i - F.S.$ یا (قرائت جلو − ارتفاع دستگاه در نقطه استقرار = ارتفاع نقطه B)

•اصول تراز یابی مستقیم یا هندسی

مثال۱: چنانچه ارتفاع نقطه P از سطح دریا 1561.17 متر و قرائت های شاخص (میر) به ترتیب در روی نقاط P و Q برابر 3368 و0981 باشد مطلوب است محاسبه ارتفاع نقطه Q؟

$$\Delta H_{PQ} = B.S. - F.S. = 3.368 - 0.981 = 2.387m$$

$$h_Q = h_P + \Delta H_{PQ} = 1561.17 + 2.387 = 1563.557m$$

مثال۲: قرائت های عقب و جلو بر روی شاخص های مستقر بر نقاط M و N به فاصله افقی 75 متر بترتیب 1830 و 3330 میلی متر است، شیب امتداد MN چند درصد است؟

$$MN = 75m, \quad BS = 1830mm, \quad FS = 3330mm$$

$$\Delta H = BS - FS = -1.5\ m$$

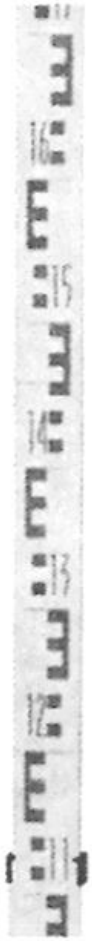
$$tg\alpha = \frac{\Delta H}{MN} = \frac{-1.5}{75} = -0.02 = -2\ \%$$

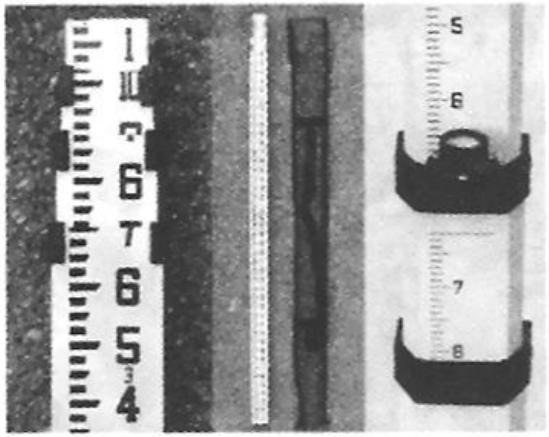
✓ **سه پایه**[15]

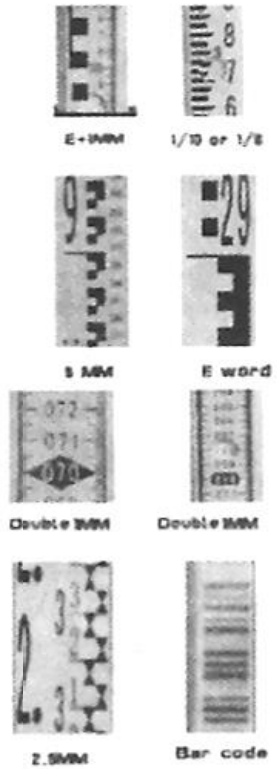
سه پایه ها وسایلی هستند که دوربین های نقشه برداری روی آنها مستقر شده و تراز می شوند. سه پایه ها از نوع چوبی و فلزی ساخته می شوند. هر پایه سه پایه به صورت کشویی عمل نموده و می توان آن را در ارتفاعات مختلف تنظیم نمود.

✓ **شاخص (میر)**[۱۶]

خط کشی مدرج معمولا به طول 4 متر می باشد و با قرار گرفتن در معرض قراولروی (نشانه روی) دوربینهای نقشه برداری می توان عددی را روی آن قرائت نمود. این وسیله برای سنجش اختلاف ارتفاع دو نقطه و فواصل به کار برده می شود. شاخص ها معمولا از جنس چوب یا آلومینیومی ساخته می شوند.

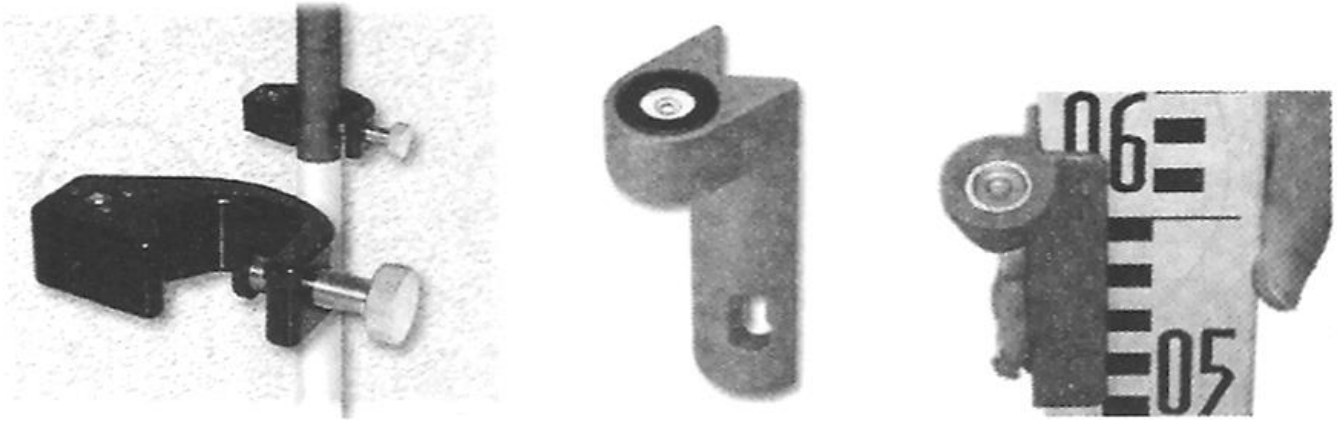






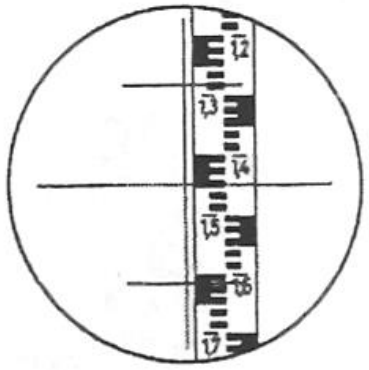
✓ تراز نبشی

از تراز نبشی جهت کنترل سطوح قائم استفاده می شود. به عنوان مثال جهت قائم نگه داشتن ژالن یا شاخص از آن استفاده می‌شود. تراز نبشی از یک تراز کروی که در بالای یک نبشی فلزی یا پلاستیکی به طول 10 سانتی‌متر تعبیه شده، تشکیل شده است.



✓ تارهای رتیکول[۱۲]

خطوط عمود بر هم که در داخل تلسکوپ دوربین بین عدسیهای شی و منشور مستقیم کننده تلسکوپ قرار دارد که تمام قرائتهای روی شاخص با استفاده از این تارها می باشد.

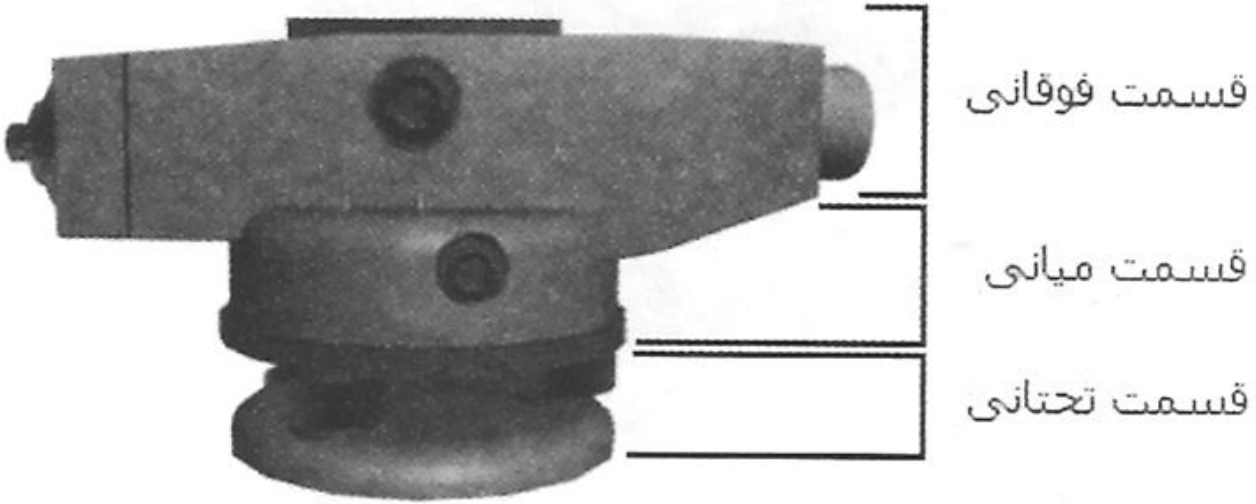


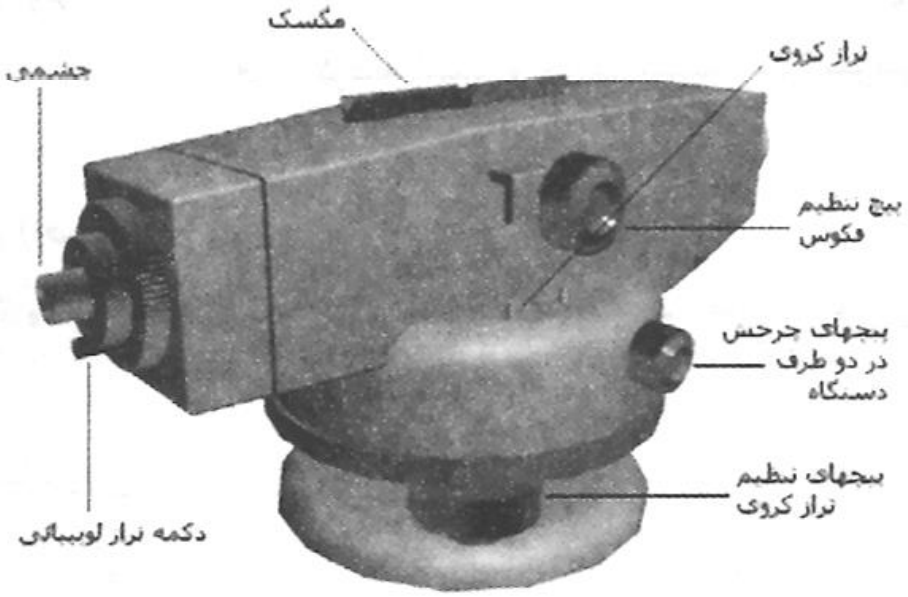
ساختمان دستگاه ترازیاب به طور کلی از سه قسمت زیر تشکیل شده است:

الف- قسمت فوقانی: شامل تلسکوپ و وسایل قراولروی می باشد.

ب- قسمت میانی: شامل ترازهای کروی و استوانه ای می باشد.

پ- قسمت تحتانی: شامل پیچهای تراز کننده و صفحه اتصال دستگاه بر روی سه پایه می باشد.





شکل ۴-۲۳: قسمتهای مختلف دستگاه ترازیاب

✓ پیچهای تراز دوربین

در زیر دوربین سه عدد پیچ وجود دارد که جهت تراز کردن ترازیاب بر روی سه پایه به کار می روند. این سه پیچ به شکل یک مثلث در زیر دوربین قرار گرفته اند.

✓ پیچ های تنظیم چرخش دوربین

این دوربینها می توانند 360 درجه به دور خود بچرخند جهت افزایش دقت حرکت دوربین دو عدد پیچ در طرفین دوربین وجود دارد که این پیچها به هم متصل می باشند به طوری که با چرخش یکی پیچ دیگری هم به همان اندازه خواهد چرخید. در واقع با این پیچها می توان چرخش دوربین را با دقت بیشتری کنترل کرد.

- ✓ **پیچ فوکوس**

با توجه به اینکه فاصله شاخص تا دوربین همواره ثابت نیست و در فواصل مختلفی نسبت به دوربین قرار می گیرد، لذا جهت داشتن تصویری واضح باید از پیچ تنظیم فوکوس استفاده نمود.

- ✓ **چشمی دوربین**

توسط چشمی دوربین به سمت شاخص قراولروی (نشانه روی) نموده و توسط یک پیچ کوچکی که روی چشمی تعبیه شده جهت تنظیم دقیقتر تارهای رتیکول از آن استفاده می شود.

- ✓ **چشمی زاویه یاب**

در بعضی ترازیابها امکان خواندن زوایا و یا مشخص نمودن زوایا در روی زمین با دقت 1 درجه وجود دارد. با این حال دقت آن چندان مطلوب کارهای نقشه برداری نبوده و بهتر است برای یافتن زاویه بین دو امتداد از دوربینهای زاویه یاب (تئودولیت) استفاده شود.

- ✓ **مگسک قراولروی**

مگسک در بالای دوربین قرار گرفته است و جهت نشانه روی تقریبی به روی شاخص از آن استفاده می شود.

- ✓ **محور قائم (اصلی)**

وقتی دستگاه تراز باشد امتداد قائم دستگاه منطبق بر امتداد شاقولی در آن نقطه خواهد بود.

- ✓ **محور کلیماسیون**

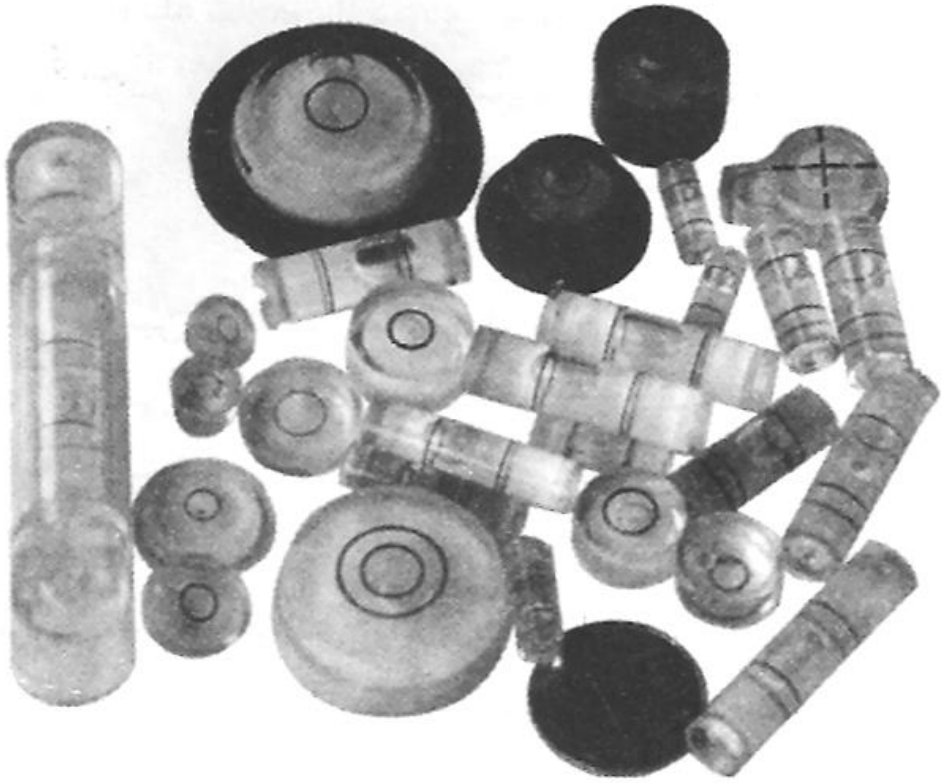
خطی که مرکز تارهای رتیکول را به مرکز عدسی های شئ و چشمی وصل می کند.

- ✓ **محور لوله تراز**

خطی است که در مرکز حباب تراز به لوله تراز مماس می باشد. اگر دستگاه ترازیاب سالم و تراز باشد این خط موازی محور کلیماسیون خواهد بود.

ساختمان تراز

یک محفظه فلزی یا شیشه ای است که در داخل آن یک مایع فرار مثل الکل یا اتر می ریزند حجم مایع کمی کمتر از حجم تمام محفظه بوده و به قسمت کوچکی از حجم محفظه باقی مانده به جای خود مایع، بخار آن را می ریزند و به همین خاطر بخار مایع با توجه به کم بودن چگالی نسبت به خود مایع در بالاترین قسمت محفظه قرار می گیرد. شکل زیر مجوعه ای از ترازها را نشان می دهد.[3]



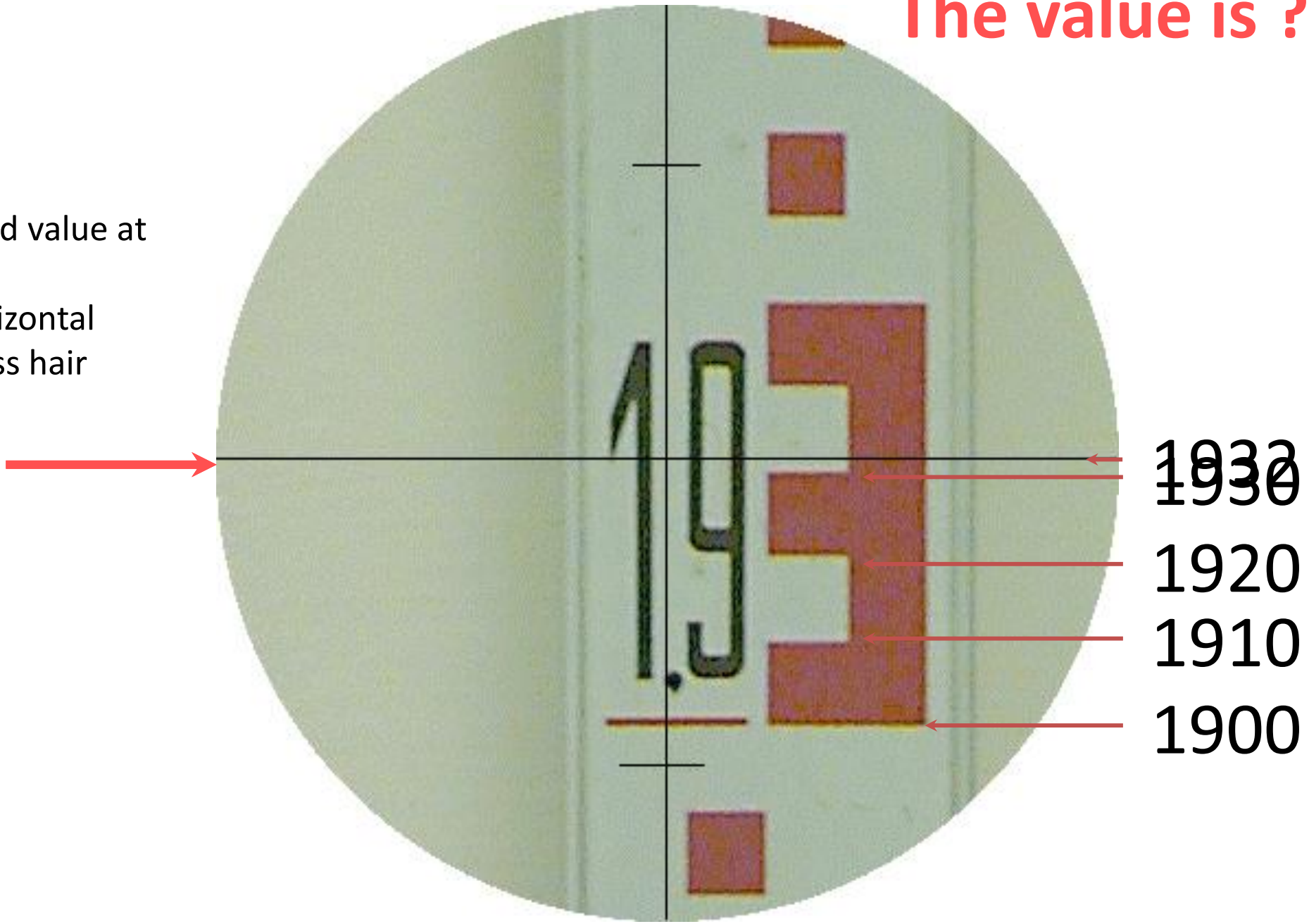
انواع تراز

تراز کروی
تراز استوانه ای
تراز لوبیایی
تراز دیجیتال یا الکترونیکی

Reading an E-type levelling staff

The value is ?

Read value at the horizontal cross hair



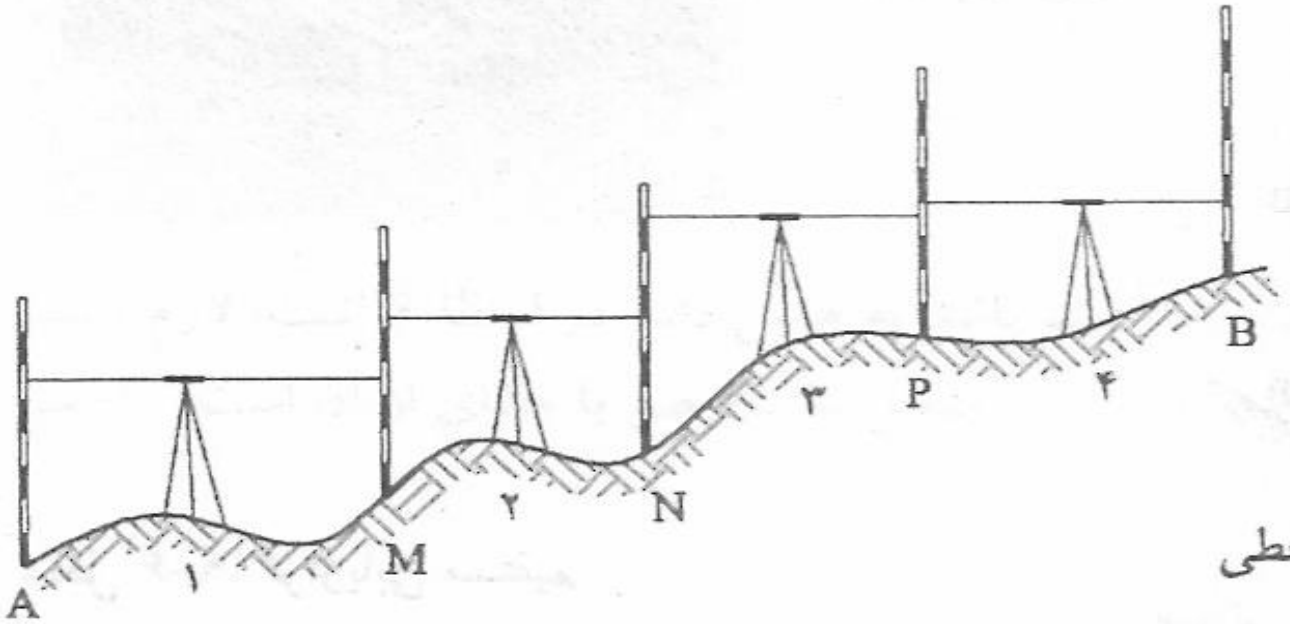
- **روش های تراز یابی مستقیم یا هندسی**

- ❑ روش پیمایشی یا خطی
- ❑ روش شعاعی
- ❑ روش ترکیبی

❑ روش پیمایشی یا خطی

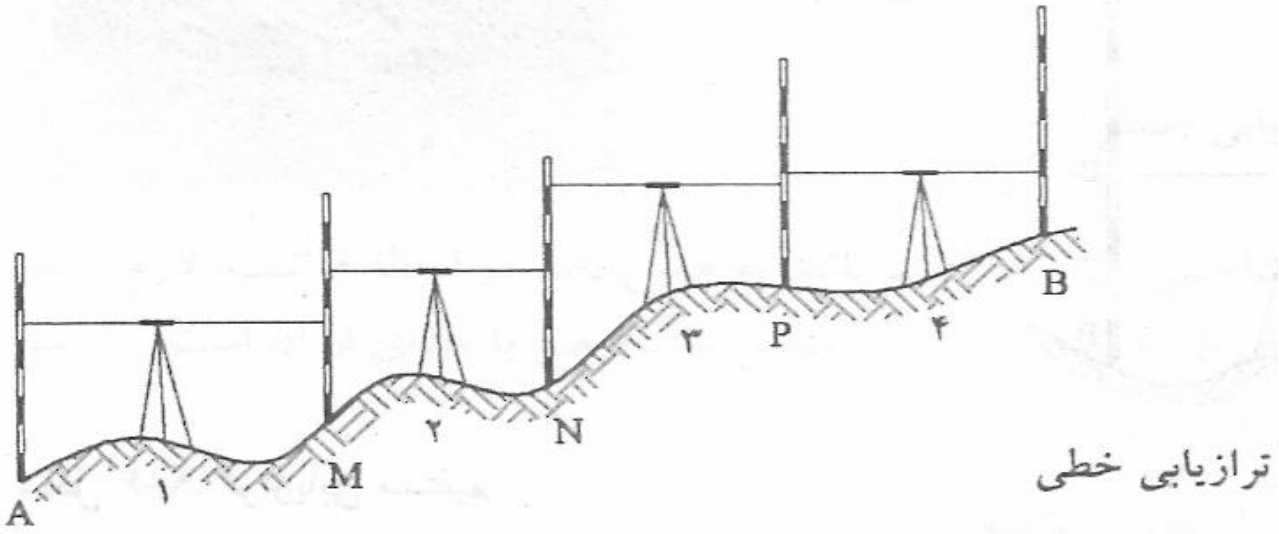
اگر فاصلهٔ بین دو نقطه زیاد باشد یا اختلاف ارتفاع بین دو نقطه بیشتر از طول شاخص باشد نمی‌توان با یک ایستگاه ترازیابی، اختلاف ارتفاع بین دو نقطه را تعیین کرد. در این موارد لازم می‌شود به جای یک ایستگاه، از چند ایستگاه ترازیابی و به جای دو نقطه، از نقاط بیشتری (نقاط کمکی) برای استقرار شاخص استفاده شود.

فرض می‌کنیم هدف، تعیین اختلاف ارتفاع بین‌دونقطهٔ A و B باشد و بنا به دلائل فوق نتوانیم با یک مرتبه ایستگاه گذاری به مقصود فوق برسیم. دراین حالت از نقاط واسطهٔ M، N و P برای استقرار شاخص و از ایستگاه‌های ۱، ۲، ۳ و ۴ برای استقراردستگاه استفاده می‌کنیم،



ترازیابی خطی

- روش پیمایشی یا خطی



ترازیابی خطی

$$\Delta H_1 = H_M - H_A = BS_1 - FS_1$$

$$\Delta H_2 = H_N - H_M = BS_2 - FS_2$$

$$\Delta H_3 = H_P - H_N = BS_3 - FS_3$$

$$\Delta H_4 = H_B - H_P = BS_4 - FS_4$$

با جمع دو طرف روابط فوق خواهیم داشت.

$$\Sigma\Delta H = H_B - H_A = \Sigma BS - \Sigma FS$$

❑ روش پیمایشی یا خطی - مثال

مثال۳: ترازیابی پیمایشی زیر را کامل کنید؟(در صورتیکه ارتفاع نقطهA برابر 760.453m باشد)

شماره نقاط	قرائت عقب (mm)	قرائت جلو (mm)	اختلاف ارتفاع (mm)	ارتفاع نقاط (m)
A	1354			760.453
1	1268	1145		
2	3002	1023		
3	2531	0245		
4	3987	0020		
5	0017	1457		
6	0948	1368		
7	1598	2598		
8		1196		

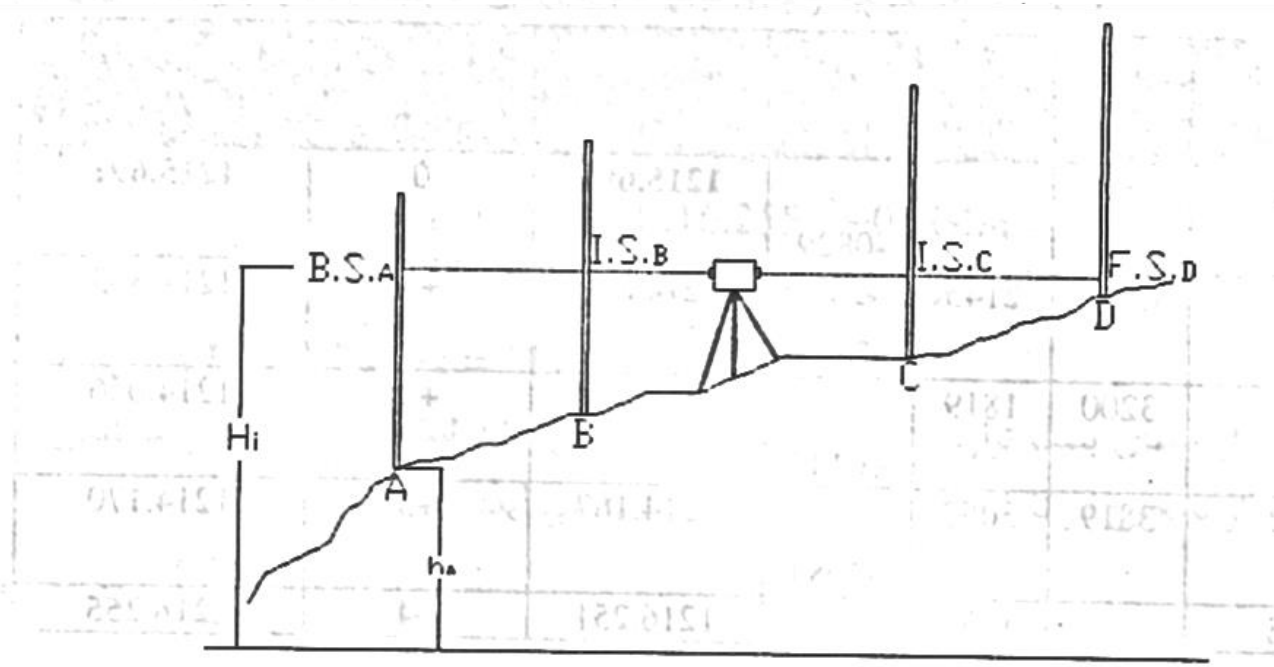
❑ روش پیمایشی یا خطی – حل مثال

$$
\begin{cases}
h_1 - h_A = B.S.1 - F.S.1 = 1.354 - 1.145 = 0.209m \\
\Rightarrow h_1 = h_A + \Delta H_{A.1} = 760.453 + 0.209 = 760.662m \\
h_2 - h_1 = B.S.2 - F.S.2 = 0.245m \Rightarrow h_2 = h_1 + \Delta H_{1.2} = 760.907m \\
h_3 - h_2 = B.S.3 - F.S.3 = 2.757m \Rightarrow h_3 = h_2 + \Delta H_{2.3} = 763.664m \\
\dots
\end{cases}
$$

شماره نقاط	قرائت عقب (mm)	قرائت جلو (mm)	اختلاف ارتفاع (mm)	ارتفاع نقاط (m)
A	1354		209	760.453
1	1268	1145	245	760.662
2	3002	1023	2757	760.907
3	2531	0245	2511	763.664
4	3987	0020	2530	766.175
5	0017	1457	-1351	768.705
6	0948	1368	-1650	767.354
7	1598	2598	402	765.704
8		1196		766.106

❑ روش شعاعی

در ترازیابی شعاعی ابتدا یک نقطه را مبدا را گرفته و سپس دوربین را در یک نقطه دیگر ثابت گذاشته و ارتفاع نقاط دیگر را نسبت به نقطه مبدا پیدا می کنیم. تفاوت ترازیابی شعاعی با ترازیابی پیمایشی در این است که در روش ترازیابی پیمایشی دوربین متحرک بوده ولی در روش ترازیابی شعاعی دوربین ثابت است. لازم به ذکر است در ترازیابی شعاعی، در یک ایستگاه بیش از دو شاخص قرائت می شود که اولین قرائت را قرائت عقب، آخرین قرائت را قرائت جلو و قرائت های بین این دو قرائت را قرائت های میانی[۲۵] (I.S.) می نامیم.



ترازیابی شعاعی

$$H_i = h_A + B.S._A$$
$$h_B = H_i - I.S._B$$
$$h_C = H_i - I.S._C$$
$$h_D = H_i - F.S._D$$

❑ روش شعاعی (ادامه)

لذا شرایط استفاده از ترازیابی شعاعی به صورت زیر خواهد بود:

الف) فاصله نقاط ترازیابی کمتر از 60 متر (حدودا) باشد.

ب) توپوگرافی زمین به نحوی باشد که امکان قرائت نقاط نزدیک نیز فراهم آید.

کاربرد این روش در کارهای ترازیابی نظیر شبکه بندی، تهیه پروفیل طولی و عرضی از یک مسیر راه، کنترل و یا پیاده نمودن محل ستونهای ساختمانها و غیره می باشد.

❑ روش شعاعی - مثال

مثال۶: اگر ارتفاع نقطه A برابر 1518.928m باشد ارتفاع بقیه نقاط جدول ذیل را محاسبه کنید؟

شماره نقاط	B.S. (mm)	I.S. (mm)	F.S. (mm)	H_i (m)	ارتفاع نقاط (m)
A	2385				**1518.928**
B		1631			
C		1101			
D	2199		3398		
E		0985			
F		2819			
G		2008			
H			1740		

❑ روش شعاعی - حل مثال

$$\begin{cases} H_{i1} = h_A + B.S._A = 1518.928 + 2.385 = 1521.313m \\ h_B = H_{i1} - I.S._B = 1521.313 - 1.631 = 1519.682m \\ h_C = H_{i1} - I.S._C = 1521.313 - 1.101 = 1520.212m \\ h_D = H_{i1} - F.S._D = 1521.313 - 3.398 = 1517.915m \end{cases}$$

به همین ترتیب برای ترازیابی شعاعی دوم نیز محاسبات لازم را انجام می دهیم.

$$\begin{cases} H_{i2} = h_D + B.S._D = 1517.915 + 2.199 = 1520.114 \\ h_E = H_{i2} - I.S._E = 1519.129 \\ h_F = H_{i2} - I.S._F = 1517.295 \\ h_G = H_{i2} - I.S._G = 1518.106 \\ h_H = H_{i2} - F.S._H = 1518.374 \end{cases}$$

شماره نقاط	B.S. (mm)	I.S. (mm)	F.S. (mm)	H_i (m)	ارتفاع نقاط (m)
A	2385			1521.313	**1518.928**
B		1631			1519.682
C		1101			1520.212
D	2199		3398	1520.114	1517.915
E		0985			1519.129
F		2819			1517.295
G		2008			1518.106
H			1740		1518.374

کنترل محاسبات:

$$\Delta H_{AH} = \sum B.S. - \sum F.S.$$

$$1518.374 - 1518.928 = (2.385 + 2.199) - (3.398 + 1740)$$

$$-0.554 = -0.554$$

پایان جلسه