

# فصل یازدهم

## ترازیابی هندسی ( ترازیابی مستقیم )



## هدف های رفتاری :

- پس از آموزش و مطالعه این فصل از فراگیرنده انتظار می رود بتواند:
- ۱- راهکار کلی مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع برای دو نقطه‌ی نزدیک (ترازیابی ساده) را شرح دهد.
  - ۲- محاسبات مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع برای دو نقطه‌ی نزدیک (ترازیابی ساده) را انجام دهد.
  - ۳- محاسبات مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع برای دو نقطه‌ی نزدیک (ترازیابی ساده) را با ماشین حساب کاسیو ۴۵۰۰ انجام دهد.
  - ۴- بحث و بررسی مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع برای دو نقطه‌ی نزدیک (ترازیابی ساده) را شرح دهد.
  - ۵- راهکار کلی مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع به روش ترازیابی تدریجی را شرح دهد.
  - ۶- محاسبات مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع به روش ترازیابی تدریجی را انجام دهد.
  - ۷- محاسبات مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع به روش ترازیابی تدریجی را با ماشین حساب کاسیو ۴۵۰۰ انجام دهد.
  - ۸- بحث و بررسی مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع به روش ترازیابی تدریجی را شرح دهد.
  - ۹- راهکار کلی مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع به روش ترازیابی شعاعی را شرح دهد.
  - ۱۰- محاسبات مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع به روش ترازیابی شعاعی را انجام دهد.
  - ۱۱- محاسبات مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع به روش ترازیابی شعاعی را با ماشین حساب کاسیو ۴۵۰۰ انجام دهد.
  - ۱۲- بحث و بررسی مربوط به تعیین اختلاف ارتفاع به روش ترازیابی شعاعی را شرح دهد.

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

- ۱- آشنایی با فصل یازدهم کتاب «مساحی»

: مطالب پیش نیاز

- ترازیبی هندسی روشی است که در آن از دستگاه ترازیب و شاخص استفاده می شود.
- ترازیبی هندسی از دقیق ترین و مهم ترین روش های اندازه گیری اختلاف ارتفاع است.
- روش های ترازیبی هندسی عبارت اند از:
  - ۱- ساده
  - ۲- تدریجی
  - ۳- شعاعی
  - ۴- متقابل
- ترازیبی ساده برای به دست آوردن اختلاف ارتفاع بین دو نقطه به کار می رود.
- اولین قرائت را در هر دهنه ی ترازیبی که معمولاً روی نقطه ی معلوم انجام می شود قرائت عقب (B.S) و دومین قرائت را قرائت جلو (F.S) می گویند.
- با داشتن اختلاف ارتفاع بین دو نقطه و معلوم بودن ارتفاع یکی از نقاط، ارتفاع نقطه ی دیگر نیز محاسبه می شود.
- از ترازیبی تدریجی زمانی استفاده می گردد که:
  - الف) فاصله ی بین دو نقطه زیاد باشد؛
  - ب) مانعی بین نقاط و ایستگاه وجود داشته باشد؛
  - ج) شیب زمین زیاد باشد.
- ترازیبی شعاعی روشی است که در آن از یک ایستگاه تعداد زیادی نقطه ترازیبی می شود.
- در ترازیبی شعاعی اولین قرائت را قرائت عقب (B.S) و سایر قرائت ها را قرائت وسط (I.S) و آخرین قرائت را قرائت جلو (F.S) می نامند.
- کاربرد ترازیبی متقابل در مواردی است که نتوان دوربین ترازیب را در وسط دهنه ی ترازیبی قرار داد.

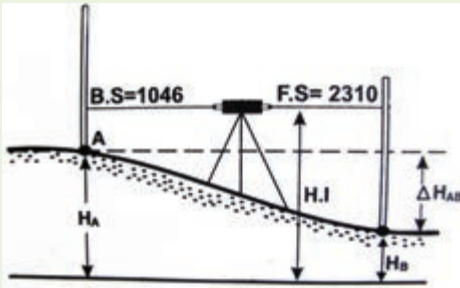


اگر ارتفاع A ۳۴۶/۲۰ متر و قرائت عقب و جلوی روی نقاط A و B به ترتیب ۱۰۴۶ و

۲۳۱۰ میلی متر باشد مطلوب است:

الف) تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B.

ب) تعیین ارتفاع نقطه‌ی B به روش ترازیابی ساده.



راهکار کلی: برای به دست آوردن ارتفاع

نقطه‌ی B کافی است اختلاف ارتفاع بین نقاط A و B را محاسبه کنیم و آن را با ارتفاع

موجود (نقطه‌ی A) جمع جبری نمائیم.

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

گفتنی است که در ترازیابی، همیشه قرائت جلو از قرائت عقب کم می‌شود.

روش حل:

اختلاف ارتفاع دو نقطه‌ی A و B برابر است با:

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

$$= 1046 - 2310 = -1264 \text{ mm} = -1/264 \text{ m}$$

برای تعیین ارتفاع نقطه‌ی B داریم:

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

$$= 346/20 + (-1/264) = 344/936 \text{ m}$$

بحث و بررسی: در این جا قرائت عقب همان قرائت عدد شاخص روی نقطه‌ی اول و

قرائت جلو روی نقطه‌ی دوم است.

• علامت منفی در اختلاف ارتفاع بیانگر این است که نقطه‌ی B نسبت به نقطه‌ی A مقدار

۱/۲۶۴ متر پایین تر است. به عبارتی دیگر شیب زمین از A به B سرازیری یا سرپائینی است

یعنی منفی است.



تمرین‌های کلاسی مثال ۱۱-۱:

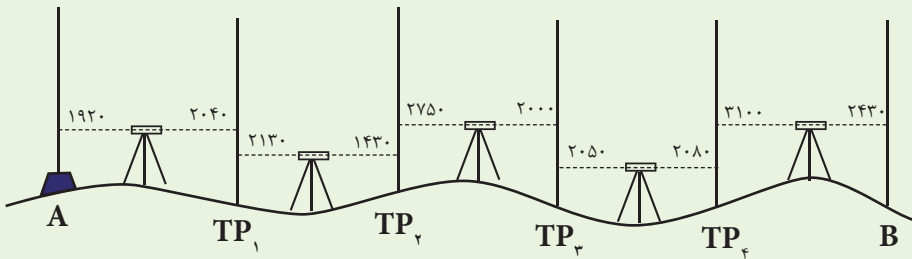
- ۱ - قرائت عقب و جلو روی دو نقطه ی A و B به ترتیب ۱۰۲۴ و ۲۲۳۶ میلی‌متر است.  
الف) اختلاف ارتفاع دو نقطه ی A و B را مشخص کنید.  
ب) اگر ارتفاع نقطه ی B برابر ۱۰۰ متر باشد ارتفاع نقطه ی A را به دست آورید.

- ۲ - اختلاف ارتفاع بین دو نقطه ی A و B برابر ۲/۵۰۰ متر می باشد ( $\Delta H_{AB} = 2/500 \text{ m}$ ).  
اگر تراز یاب را در مکانی وسط دو نقطه قرار داده و روی شاخص مستقر در نقطه ی A عدد ۳۰۰۰ را قرائت کنیم . روی شاخص مستقر در نقطه ی B چه عددی قرائت خواهد شد.

- ۳ - با استفاده از دوربین نیو روی شاخص مستقر در نقاط A ، B ، C ، D به ترتیب اعداد ۲۱۴۵ و ۳۲۲۴ و ۱۲۱۰ و ۰۰۲۷ را قرائت کرده‌ایم، بالاترین و پایین‌ترین ارتفاع مربوط به کدام نقطه است. چرا؟



برای تعیین اختلاف ارتفاع بین دو نقطه‌ی **A** و **B** یک عملیات ترازیابی تدریجی مطابق شکل انجام گرفته و اعداد و اندازه‌ها روی کروکی نوشته شده‌اند، چنان‌چه ارتفاع نقطه‌ی **A** برابر  $۱۳۵۰/۴۲۰$  متر باشد جدول ترازیابی را ترسیم کرده و سپس با تکمیل آن اختلاف ارتفاع **AB** را پیدا کنید.



راهکار کلی: برای محاسبه‌ی اختلاف ارتفاع دونقطه‌ی **A** و **B** اعداد مندرج در روی کروکی را مطابق جدول زیر به درون یک جدول ترازیابی منتقل می‌کنیم، در این جا باید توجه داشت که هر عدد را در مکان مناسب خود در جدول نوشت. یعنی قرائت‌های جلو را در ستون قرائت جلو و همچنین قرائت‌های عقب هر نقطه را در ستون قرائت عقب وارد کرد. نکته: نقطه‌ی اول یعنی **A** فقط قرائت عقب و نقطه‌ی آخر یعنی **B** فقط قرائت جلو دارد. سایر نقاط، هم قرائت جلو و هم قرائت عقب دارند.

سپس مجموع قرائت‌های جلو و مجموع قرائت‌های عقب یعنی  $\sum B.S.$  و  $\sum F.S.$  را به دست می‌آوریم. یعنی تک تک اعداد ستون قرائت عقب را با هم جمع کرده و نتیجه را در انتهای آن ستون می‌نویسیم. این کار را برای ستون قرائت جلو تکرار می‌کنیم. اکنون می‌توان اختلاف ارتفاع نقطه‌ی **A** و **B** یعنی  $\Delta H_{AB}$  را از رابطه‌ی زیر به دست آورد:

مجموع قرائت‌های عقب - مجموع قرائت‌های جلو = اختلاف ارتفاع

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

$\begin{cases} H_A \\ \Delta H_{AB} \\ H_B = H_A + \Delta H_{AB} \end{cases}$	معلوم است	حال با داشتن ارتفاع نقطه‌ی اول و
	محاسبه شده	معلوم شدن اختلاف ارتفاع می‌توان
		ارتفاع نقطه‌ی آخر یعنی <b>B</b> را محاسبه نمود:

برای محاسبه‌ی ارتفاع سایر نقاط، اختلاف ارتفاع تک تک دهنه‌ها را جداگانه محاسبه کرده و با ارتفاع نقطه‌ی قبل جمع جبری می‌کنیم تا ارتفاع نقطه‌ی بعدی به دست آید مثلاً برای محاسبه‌ی ارتفاع نقطه‌ی  $TP_1$  داریم:

$$\Delta H_{A,TP_1} = B.S_A - F.S_{TP_1}$$

$$H_{TP_1} = H_A + \Delta H_{A,TP_1}$$

روش حل:

مرحله‌ی اول (ترسیم و تکمیل جدول)

مطابق شکل اعداد مندرج در کروکی را به ترتیب در جدول ترازبایی وارد می‌کنیم. هم‌چنین ارتفاع نقطه‌ی اول را که معلوم است در ردیف مربوط به آن می‌نویسیم.

نقاط	قرائت عقب B.S	قرائت جلو F.S	اختلاف ارتفاع		ارتفاع H
			+	-	
A	۱۹۲۰	---			۱۶۵۰/۴۲۰
$TP_1$	۲۱۳۰	۲۰۴۰	→	-۱۲۰	۱۶۵۰/۳۰۰
$TP_2$	۲۷۵۰	۱۴۳۰	→	۷۰۰	۱۶۵۱/۰۰۰
$TP_3$	۲۰۵۰	۲۰۰۰	→	۷۵۰	۱۶۵۱/۷۵۰
$TP_4$	۳۱۰۰	۲۰۸۰	→	-۳۰	۱۶۵۱/۷۲۰
B	---	۲۴۳۰	→	۶۷۰	۱۶۵۲/۳۹۰
جمع	۱۱۹۵۰	۹۹۸۰			

مرحله‌ی دوم (محاسبه‌ی اختلاف ارتفاع نقاط اول و آخر)

برای محاسبه‌ی اختلاف ارتفاع  $AB$  ( $\Delta H_{AB}$ ) کافی است که جمع قرائت‌های عقب و جمع قرائت‌های جلو را محاسبه کرده و از رابطه‌ی زیر استفاده کنیم:

$$\Delta H_{AB} = \text{جمع قرائت‌های جلو} - \text{جمع قرائت‌های عقب}$$

$$= \sum B.S - \sum F.S$$

$$= ۱۱۹۵۰ - ۹۹۸۰ = ۱۹۷۰ \text{ mm} = ۱/۹۷۰ \text{ m}$$

مرحله‌ی سوم ( تکمیل ستون اختلاف ارتفاع و ارتفاع نقاط )  
 این مرحله در صورتی انجام می‌شود که به غیر از ارتفاع نقاط A و B ارتفاع نقاط دیگر نیز ( نقاط موقتی TP ) مورد نیاز باشد .

$$\Delta H_{A,TP_1} = B.S - F.S = 1920 - 2040 = -120 \text{ mm} = -0/120 \text{ m}$$

$$H_{TP_1} = H_A + \Delta H_{A,TP_1} = 1650/420 + (-0/120) = 1650/300 \text{ m}$$

$$\Delta H_{TP_1,TP_2} = B.S - F.S = 2130 - 1430 = +700 \text{ mm} = +0/700 \text{ m}$$

$$H_{TP_2} = H_{TP_1} + \Delta H_{TP_1,TP_2} = 1650/300 + 0/700 = 1651/000 \text{ m}$$

و به همین ترتیب برای سایر نقاط اختلاف ارتفاع و ارتفاع را به صورت دهنه به دهنه محاسبه می‌کنیم تا به نقطه‌ی آخر یعنی B برسیم.

**بحث و بررسی:** برای کنترل درستی محاسبات می‌توان اختلاف ارتفاع به دست آمده در مرحله‌ی دوم را با اختلاف ارتفاع به دست آمده در مرحله‌ی سوم مقایسه نمود. به این معنی که در مرحله‌ی دوم  $\Delta H_{AB} = \sum B.S - \sum F.S$  را از  $\Delta H_{AB} = H_B - H_A$  به دست آورده و سپس در پایان حل جدول  $\Delta H_{AB}$  را بار دیگر از رابطه‌ی  $\Delta H_{AB} = H_B - H_A$  به دست بیاوریم. در صورتی که  $\Delta H$  ها با هم مساوی باشند محاسبات ما درست خواهد بود.

• اعداد قرائت شده روی شاخص بر حسب میلی متر می‌باشند و ارتفاع نقطه‌ی A بر حسب متر است و چون ارتفاع نقاط را بر حسب متر محاسبه می‌کنیم پس لازم است هنگام محاسبه اعداد قرائت‌ها را بر حسب متر قرار دهیم. برای این کار کافی است آن‌ها را بر عدد ۱۰۰۰ تقسیم کنیم.

تمرین‌های کلاسی مثال ۱۱ - ۲:

۱ - یک ترازیبی تدریجی از نقطه‌ی A به ارتفاع ۱۰۰۲/۲۵۰ متر تا نقطه‌ی B انجام شده است. در صورتی که مجموع قرائت‌های عقب و جلو در این ترازیبی به ترتیب ۱۲۱۷۸ و ۱۵۲۵۲ میلی متر باشد، مطلوب است محاسبه‌ی ارتفاع نقطه‌ی آخر (نقطه‌ی B).



۲- بین دو نقطه‌ی اصلی A و B از طریق نقاط کمکی C و D و E ترازیبی انجام شده است. نتیجه‌ی قرائت‌ها به شرح جدول زیر است. اگر ارتفاع نقطه‌ی A برابر ۱۰۰۰ متر باشد ارتفاع سایر نقاط را تعیین کنید.

نقاط	قرائت عقب B.S	قرائت جلو F.S	اختلاف ارتفاع		ارتفاع H
			+	-	
A	۲۵۹۴	---			
C	۱۸۶۸	۱۸۹۰			
D	۳۶۵۸	۳۶۴۰			
E	۰۹۱۴	۲۷۵۳			
B	---	۱۸۴۵			

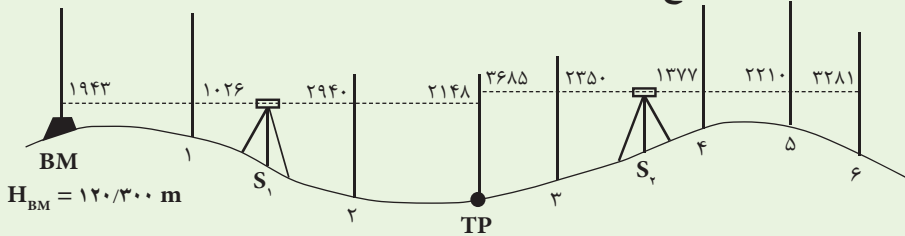
۳- یک ترازیبی تدریجی از BM<sub>۱</sub> به طرف نقطه‌ی A صورت گرفته و قرائت‌ها به شرح زیر است:

نقاط	قرائت عقب B.S	قرائت جلو F.S	اختلاف ارتفاع		ارتفاع H
			+	-	
BM <sub>۱</sub>	۰۰۵۱	---			
۱	۲۴۰۰	۳۹۰۰			
۲	۳۷۱۰	۱۸۸۷			
۳	۰۰۴۱	۲۰۰۰			
A	---	۲۵۲۰			

در صورتی که ارتفاع BM برابر ۷۹۲/۴۰ متر باشد، ارتفاع نقطه‌ی A را به دست آورید.



شکل زیر مربوط به کروکی یک عملیات ترازیابی به روش شعاعی است که قرائت اعداد روی شاخص مستقر در نقاط روی آن مشخص شده است. جدول ترازیابی را ترسیم کرده و با استفاده از آن ارتفاع نقاط را محاسبه کنید.



راهکار کلی: برای حل این مثال کافی است جدول ترازیابی را مانند روش ترازیابی تدریجی تشکیل دهیم. با این تفاوت که یک ستون به نام قرائت میانی (I.S) به جدول، مابین قرائت عقب (B.S) و قرائت جلو (F.S) اضافه کرده و اعداد مربوط به قرائت‌های وسط را در این ستون وارد می‌کنیم. برای محاسبه‌ی اختلاف ارتفاع، تک تک قرائت‌های میانی (I.S) و قرائت جلو (F.S) از قرائت عقب (B.S) کم می‌شوند. این کار تا زمانی که به قرائت عقب بعدی در جدول برسیم تکرار می‌شود. از این قسمت جدول به بعد مجدداً کلیه‌ی قرائت‌های میانی و جلو از قرائت عقب جدید کم می‌شوند.

بعد از محاسبه‌ی اختلاف ارتفاع و تکمیل ستون مربوط به آن، برای محاسبه‌ی ارتفاع نقاط، اختلاف ارتفاع محاسبه شده را با ارتفاع مبنا جمع جبری کرده تا ارتفاع B.S بعدی به دست آید. مجدداً این ارتفاع جدید را به عنوان ارتفاع مبنا گرفته و ارتفاع سایر نقاط را محاسبه می‌کنیم.

روش حل:

محاسبات در دهنه‌ی اول ترازیابی:

$$\Delta H_{BM,1} = 1.943 - 1.026 = 0.917 \text{ m} = +0.917 \text{ m}$$

$$\Rightarrow H_1 = H_{BM} + \Delta H_{BM,1} = 120.300 + 0.917 = 121.217 \text{ m}$$

$$\Delta H_{BM,2} = 1.943 - 2.940 = -0.997 \text{ m} = -0.997 \text{ m}$$

$$\Rightarrow H_2 = H_{BM} + \Delta H_{BM,2} = 120.300 + (-0.997) = 119.303 \text{ m}$$

$$\Delta H_{BM,TP} = 1.943 - 2.148 = -0.205 \text{ m} = -0.205 \text{ m}$$

$$\Rightarrow H_{TP} = H_{BM} + \Delta H_{BM,TP} = 120.300 + (-0.205) = 120.095 \text{ m}$$

محاسبات در دهنه‌ی دوم ترازیبی:

$$\Delta H_{TP,r} = 3685 - 2350 = 1335 \text{mm} = 1/335 \text{m}$$

$$\Rightarrow H_r = H_{TP} + \Delta H_{TP,r} = 120/095 + 1/335 = 121/430 \text{m}$$

$$\Delta H_{TP,f} = 3685 - 1377 = 2308 \text{mm} = 2/308 \text{m}$$

$$\Rightarrow H_f = H_{TP} + \Delta H_{TP,f} = 120/095 + 2/308 = 122/403 \text{m}$$

$$\Delta H_{TP,d} = 3685 - 2210 = 1475 \text{mm} = 1/475 \text{m}$$

$$\Rightarrow H_d = H_{TP} + \Delta H_{TP,d} = 120/095 + 1/475 = 121/570 \text{m}$$

$$\Delta H_{TP,e} = 3685 - 3281 = 404 \text{mm} = 0/404 \text{m}$$

$$\Rightarrow H_e = H_{TP} + \Delta H_{TP,e} = 120/095 + 0/404 = 120/499 \text{m}$$

نقاط	قرائت عقب B.S	قرائت وسط I.S	قرائت جلو F.S	اختلاف ارتفاع		ارتفاع H
				+	-	
BM	۱۹۴۳					۱۲۰/۳۰۰
۱		۱۰۲۶		۹۱۷		۱۲۱/۲۱۷
۲		۲۹۴۰			-۹۹۷	۱۱۹/۳۰۳
TP	۳۶۸۵		۲۱۴۸		-۲۰۵	۱۲۰/۰۹۵
۳		۲۳۵۰		۱۳۳۵		۱۲۱/۴۳۰
۴		۱۳۷۷		۲۳۰۸		۱۲۲/۴۰۳
۵		۲۲۱۰		۱۴۷۵		۱۲۱/۵۷۰
۶			۳۲۸۱	۴۰۴		۱۲۰/۴۹۹

بحث و بررسی: جهت کنترل محاسبات در جدول فوق می توان به ترتیب زیر عمل کرد:

$$\Sigma B.S = 5628 \text{mm}$$

$$\Sigma F.S = 5429 \text{mm}$$

$$\Delta H_{BM,6} = 5628 - 5429 = +0/199 \text{m} \quad \text{چرا؟}$$

از طرف دیگر با توجه به ارتفاعات محاسبه شده هم می توان اختلاف ارتفاع نقطه ی ۶ با BM را محاسبه نمود.

$$\Delta H_{BM,6} = H_6 - H_{BM} = 120/499 - 120/300 = +0/199 \text{m}$$

ملاحظه می شود که از دو طریق یک نتیجه حاصل شد؛ پس محاسبات صحیح است. حال اگر جواب یکی نشد چه کار باید کرد؟

تمرین کلاسی مثال ۱۱ - ۳:

یک ترازیبی بین نقاط  $M_1$  و  $M_2$  انجام شده است. ارتفاع نقطه‌ی  $M_1$  برابر  $1749/50$  متر است. جدول ترازیبی را محاسبه کرده و ارتفاع نقاط را به دست آورید.

نقاط	قرائت عقب B.S	قرائت وسط I.S	قرائت جلو F.S	اختلاف ارتفاع		ارتفاع H
				+	-	
$M_1$	۲۲۰۴					
۱		۱۸۱۰				
۲		۲۳۸۰				
A	۳۱۱۵		۱۹۰۵			
۳		۳۲۶۳				
۴		۳۳۸۷				
B	۱۱۵۰		۲۹۰۶			
۵		۱۴۳۵				
۶		۱۳۰۷				
۷		۱۷۹۳				
$M_2$			۲۳۵۴			

