

# فصل اول

## کاربردهای ترازیابی



تسطیح اراضی

## هدف‌های رفتاری

- پس از آموزش و مطالعه این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود بتواند :
- ۱- نحوه محاسبات مربوط به جدول ترازبایی هندسی را توضیح دهد.
  - ۲- مفهوم و هدف از تهیه مقطع یا پروفیل را بیان کند.
  - ۳- انواع مقطع در نقشه‌برداری را نام برده و هریک را توضیح دهد.
  - ۴- مراحل کار تهیه پروفیل، طراحی و پیاده‌سازی مسیر را بیان کند.
  - ۵- خط پروژه را تعریف کند.
  - ۶- مراحل مختلف تسطیح یک زمین را بیان کند.
  - ۷- نحوه محاسبه حجم عملیات خاکی را توضیح دهد.
  - ۸- منحنی میزان را تعریف کند.
  - ۹- فواصل ارتفاعی را تعریف کرده و رابطه آن با توپوگرافی زمین را بیان کند.
  - ۱۰- نقشه توپوگرافی را تعریف نماید.
  - ۱۱- روش‌های مختلف تهیه و ترسیم منحنی میزان در نقشه‌های توپوگرافی را بیان کند.
  - ۱۲- مراحل تهیه و ترسیم منحنی میزان به روش شبکه‌بندی را بیان کند.
  - ۱۳- درونیابی یا انترپولاسیون را تعریف کند.

## مطالب پیش نیاز

- قبل از مطالعه این فصل از فراگیرنده انتظار می‌رود با مطالب زیر آشنا باشد :
- ۱- آشنایی با فصول ۹ تا ۱۳ کتاب «مساحی»
  - ۲- آشنایی با فصل ۵ کتاب «هندسه (نقشه‌برداری)» مبحث سیستم مختصات قائم‌الزاویه دوبعدی

## کاربرد تراز یابی



### مفاهیم کلیدی

ترازیابی هندسی

Geometry Levelling

مقطع

Section

مقطع طولی

Longitudinal Profile

مقطع عرضی

Cross Section

خط پروژه

Final Ground

خاکریزی

Fill

خاکبرداری

Cut

منحنی تراز

Contour

فاصله ارتفاعی منحنی تراز

Contour Interval

درون یابی

Interpolation

تسطیح

Land levelling & Grading

### مقدمه

تغییر در وضعیت پستی و بلندی های زمین (توپوگرافی) و مناسب نمودن آن برای اجرای پروژه های مختلف عمرانی در اغلب موارد امری الزامی است. در این میان شناخت و آگاهی از وضعیت ارتفاعی زمین در طراحی پروژه های خطی (که در امتداد یک خط طراحی و اجرا می شوند) از قبیل بزرگراه ها، خطوط راه آهن و مترو، خطوط انتقال نیرو و همچنین پروژه هایی مثل شهرسازی، کشاورزی، دریاچه های ذخیره آب و پرورش ماهی و ... اهمیت اساسی دارد. چراکه بدون آگاهی از وضعیت توپوگرافی منطقه، رعایت اصول مهندسی در طراحی و اجرای پروژه و همچنین به حداقل رساندن هزینه ها امکان پذیر نمی باشد. در این میان تراز یابی هندسی (مستقیم) به عنوان یکی از روش های دقیق و متداول در تعیین و کنترل ارتفاع نقاط کاربرد پیدا می کند. در این فصل، بعد از یادآوری کوتاهی از تراز یابی هندسی، برخی از کاربردهای تراز یابی هندسی در طراحی و اجرای پروژه های عمرانی را شرح می دهیم.

### بیشتر بدانیم

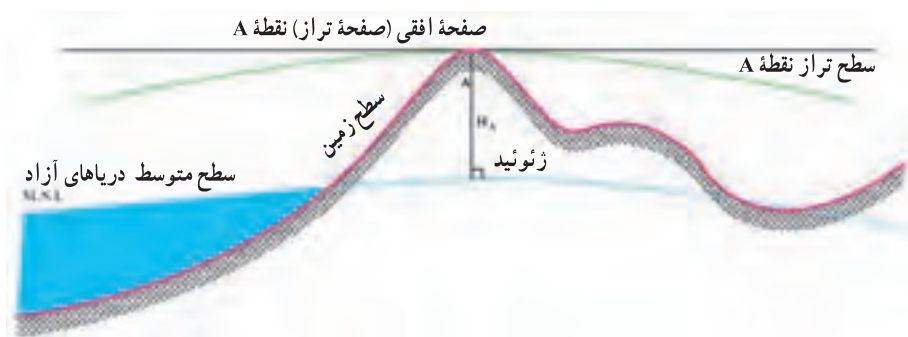


«تراز» در لغت نامه دهخدا : اسبابی است که به وسیله آن سطوح افقی را می توان تشخیص داد، برای تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه نیز به کار می رود. از اقسام آن تراز آبی، تراز هوایی و تراز بنائی است.

## ۱-۱- یادآوری

### ارتفاع نقطه (Point Elevation)

همان‌طور که در کتاب مساحی سال قبل آموختید، ارتفاع یک نقطه عبارت است از فاصله قائم نقطه از سطح مبنای ارتفاعات (سطحی که ارتفاع نقاط مختلف را نسبت به آن می‌سنجند). چنانچه سطح مبنا برای تعیین ارتفاع نقطه، ژئوئید (سطح متوسط آب دریاهاى آزاد) باشد، ارتفاع نقطه، مطلق و در صورتی که سطح مبنای دیگری باشد، ارتفاع نقطه، نسبی است.



شکل ۱-۱- ارتفاع نقطه

### نقاط بنچ مارک (BenchMark)



شکل ۱-۲- نقطه (بنچ مارک)

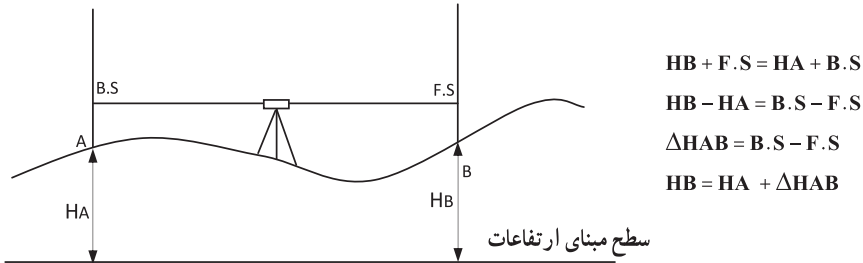
برای به‌دست آوردن ارتفاع مطلق نقاط باید اختلاف ارتفاع آنها را از سطح متوسط آب دریاهاى آزاد (ژئوئید) به‌دست آورد. از آنجا که این کار عملاً امکان‌پذیر نیست، توسط سازمان نقشه‌برداری تعدادی نقطه در سراسر کشور ایجاد شده و موقعیت و یا ارتفاع آنها از ژئوئید به‌دست آمده است تا در موقع لزوم بتوان با استفاده از این نقاط ارتفاع سایر نقاط اطراف آن‌را توسط عملیات ترازبایی هندسی تعیین نمود. به این نقاط

که در نقشه‌برداری زمینی ارتفاع آنها از قبل معلوم شده فرض می‌شود، در اصطلاح نقاط بنچ مارک می‌گویند. از آنجا که موقعیت این نقاط باید در طول زمان ثابت بمانند، ساختمان آنها مستحکم بوده و بر اساس دستورالعمل‌های خاصی بنا می‌گردند. (شکل ۴-۵ فصل چهارم)



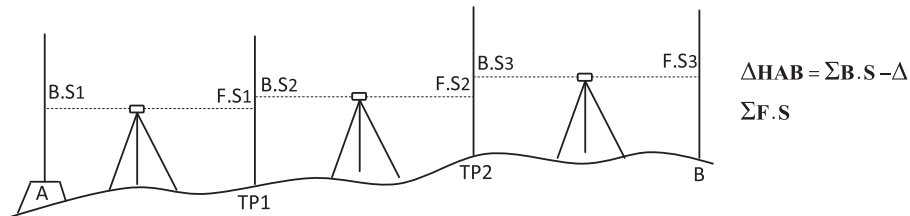
## ترازیابی هندسی (Geometric Levelling)

در شکل زیر یک ترازیبی ساده را مشاهده می‌کنید که در آن ارتفاع نقطه A از قبل معلوم می‌باشد و با انجام این ترازیبی ساده و محاسبات آن اختلاف ارتفاع بین دو نقطه و همچنین ارتفاع نقطه B به دست می‌آید.



شکل ۱-۳ - ترازیبی هندسی

اما در اغلب مواقع به علت شیب زیاد بین نقاط و یا فاصله زیاد و یا وجود موانع دید، باید ترازیبی را در چند دهانه انجام داد که این شیوه را ترازیبی تدریجی نامیدیم.



شکل ۱-۴ - ترازیبی تدریجی

## بیشتر بدانیم



H = ارتفاع ارتومتریک

h = ارتفاع ژئودتیک

N = ارتفاع ژئوئید

ارتفاع ژئودتیک : حاصل از GPS  
ارتفاع ارتومتریک : حاصل از ترازیبی  
ارتفاع ژئوئید : حاصل از ثقل سنجی

$$N = h - H$$

**کنترل ترازیبی :** عملیات ترازیبی در صورتی قابل کنترل است که علاوه بر معلوم بودن ارتفاع نقطه اول، ارتفاع نقطه آخر نیز معلوم باشد. به عبارت دیگر، زمانی می توان خطای ترازیبی را محاسبه نمود که ترازیبی بین دو نقطه با ارتفاع معلوم انجام شود. در این حالت خطای بست ترازیبی ( $e_L$ ) عبارت است از :

ارتفاع معلوم نقطه آخر - ارتفاع به دست آمده برای نقطه آخر = خطای بست ترازیبی  
چنانچه خطای ترازیبی در محدوده مجاز باشد می توان آن را بین دهنه ها سرشکن کرد و در این حالت ترازیبی قابل قبول می باشد. محدوده مجاز خطای ترازیبی درجه ۳ بر حسب میلی متر از رابطه زیر به دست می آید :

$$e_{\max} = \pm 12\sqrt{k}$$

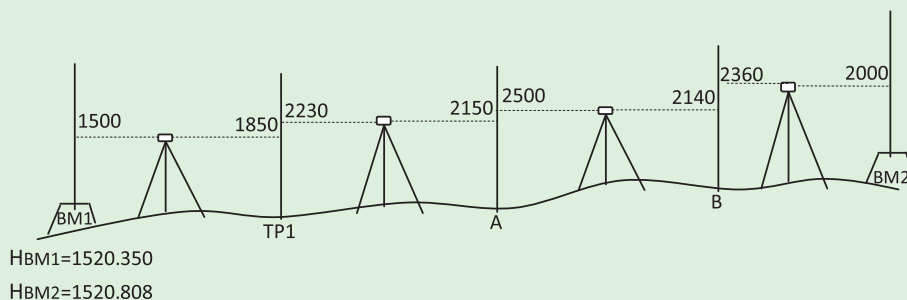
که در آن  $k$  طول مسیر ترازیبی بر حسب کیلومتر می باشد. مقدار تصحیح برای دهنه اول ترازیبی از رابطه  $C = \frac{-e_L}{n}$  قابل محاسبه است که در آن  $n$  تعداد دهنه ها می باشد.

### مثال ۱-۱ : ترازیبی تدریجی

شکل زیر یک ترازیبی تدریجی درجه سه بین دو بنچ مارک را نشان می دهد که به منظور تعیین ارتفاع نقاط A و B انجام گرفته است .

الف) اطلاعات لازم را از روی شکل در یک جدول ترازیبی وارد نموده و ارتفاع نقاط را محاسبه نمایید.

ب) در صورت امکان خطای ترازیبی را محاسبه نموده و ارتفاع تصحیح شده سایر نقاط را به دست آورید. (فاصله ترازیبی ۵۷۰ متر است)



راهکار کلی: ابتدا جدولی مطابق شکل زیر ترسیم نموده و قرائت روی شاخص‌ها را از روی شکل بالا برای نقاط BM۱ تا BM۲ وارد جدول می‌کنیم.

P.N	B.S	F.S	$\Delta H(\text{mm})$	H(m)	C(mm)	Hc(m)
شماره نقاط	قرائت عقب	قرائت جلو	اختلاف ارتفاع	ارتفاع	تصحیح	ارتفاع تصحیح شده

سپس از رابطه اختلاف ارتفاع در ترازیابی استفاده کرده و پس از محاسبه اختلاف ارتفاع بین نقاط ستون مربوط به آن را کامل می‌کنیم و پس از آن ارتفاع نقاط را بدست آورده و در ستون ارتفاع وارد می‌کنیم:

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

$$H_{\text{(نقطه بعد)}} = H_{\text{(نقطه قبل)}} + \Delta H$$

با کمی دقت می‌بینیم که ترازیابی از یک پنج‌مارک شروع شده و به پنج‌مارکی دیگر بسته شده است. پس قابل کنترل بوده و می‌توان خطای بست ترازیابی را محاسبه نمود. یعنی داریم:

ارتفاع معلوم نقطه آخر - ارتفاع به‌دست آمده برای نقطه آخر = خطای بست ترازیابی

$$e_L = h' - h$$

بعد از محاسبه خطای بست ترازیابی، با توجه به اینکه این ترازیابی از نوع درجه سه می‌باشد مقدار مجاز خطا را برای آن از رابطه زیر به‌دست می‌آوریم:

$$e_{\max} = \pm 12\sqrt{k}$$

و در صورتی که خطای بست ترازیابی در محدوده مجاز آن قرار دارد آن را تصحیح می‌کنیم، مقدار تصحیح از رابطه زیر به‌دست می‌آید:

$$C = \frac{-e_L}{n}$$

که در نقطه اول صفر بوده و برای نقاط دیگر مطابق روابط صفحه بعد به‌دست می‌آید:

$$C_1 = 0$$

$$C_2 = \left(\frac{-e_L}{n}\right) \times 1$$

$$C_3 = \left(\frac{-e_L}{n}\right) \times 2$$

.....

$$C_i = \left(\frac{-e_L}{n}\right) \times (i-1)$$

پس از محاسبه مقدار تصحیح برای همه نقاط، آنها را در ستون مربوط به خود در جدول ترازایی وارد می‌کنیم. و در پایان ارتفاع تصحیح شده نقاط را از رابطه ساده موجود ( $H_C = H + C$ ) به دست آورده و ستون آخر را کامل می‌کنیم.

روش حل : الف)

$$\Delta H_{BM1 - TP1} = 1500 - 1850 = -350$$

$$\Delta H_{TP1 - A} = 2230 - 2150 = 80$$

$$\Delta H_{A - B} = 2500 - 2140 = 360$$

$$\Delta H_{B - BM2} = 2360 - 2000 = 360$$

⇒

$$H_{TP1} = 1520.350 + (-0.350) = 1520$$

$$H_A = 1520 + 0.080 = 1520.080$$

$$H_B = 1520.080 + 0.360 = 1520.440$$

$$H_{BM2} = 1520.440 + 0.360 = 1520.800$$

⇓

P.N شماره نقاط	B.S قرائت عقب	F.S قرائت جلو	$\Delta H(mm)$ اختلاف ارتفاع	H(m) ارتفاع	C(mm) تصحیح	Hc(m) ارتفاع تصحیح شده
BM <sub>1</sub>	1500			1520.350		1520.350
TP <sub>1</sub>	2230	1850	-350	1520		
A	2500	2150	80	1520.080		
B	2360	2140	360	1520.440		
BM <sub>2</sub>		2000	360	1520.800		1520.808

ب)

$$e_L = 1520.800 - 1520.808 = -0.008 \text{ m} = -8\text{mm}$$

$$c = -(-8) / 4 = 2\text{mm}$$

$$c_1 = 0$$

$$c_2 = 2 \times 1 = +2\text{mm}$$

$$c_3 = 2 \times 2 = +4\text{mm}$$

$$c_4 = 2 \times 3 = +6\text{mm}$$

$$c_5 = 2 \times 4 = +8\text{mm}$$



محاسبه شده

P.N	B.S	F.S	$\Delta H(\text{mm})$	H(m)	C(mm)	Hc(m)
شماره نقاط	قرائت عقب	قرائت جلو	اختلاف ارتفاع	ارتفاع	تصحیح	ارتفاع تصحیح شده
BM <sub>1</sub>	1500			1520.350	0	1520.350
TP <sub>1</sub>	2230	1850	-350	1520	+2	1520.002
A	2500	2150	80	1520.080	+4	1520.084
B	2360	2140	360	1520.440	+6	1520.446
BM <sub>2</sub>		2000	360	1520.800	+8	1520.808
$\Sigma$						

بحث و بررسی : در قسمت الف در پایان محاسبات می توان برای کنترل درستی محاسبات مقدار اختلاف ارتفاع کل را از رابطه زیر به دست آورده و با جمع ستون اختلاف ارتفاع مقایسه نمود، یعنی :

$$\Delta H = \Sigma B.S - \Sigma F.S$$

P.N شماره نقاط	B.S قرائت عقب	F.S قرائت جلو	$\Delta H(mm)$ اختلاف ارتفاع	H(m) ارتفاع	C(mm) تصحیح	Hc(m) ارتفاع تصحیح شده
BM <sub>1</sub>	1500			1520.350	0	1520.350
TP <sub>1</sub>	2230	1850	-350	1520	2	1520.002
A	2500	2150	80	1520.080	4	1520.084
B	2360	2140	360	1520.440	6	1520.446
BM <sub>2</sub>		2000	360	1520.800	8	1520.808
$\Sigma =$	8590	8140	450			

$$\Sigma B.S - \Sigma F.S = 8590 - 8140 = 450$$

## ۱-۲- پروفیل (Profile)

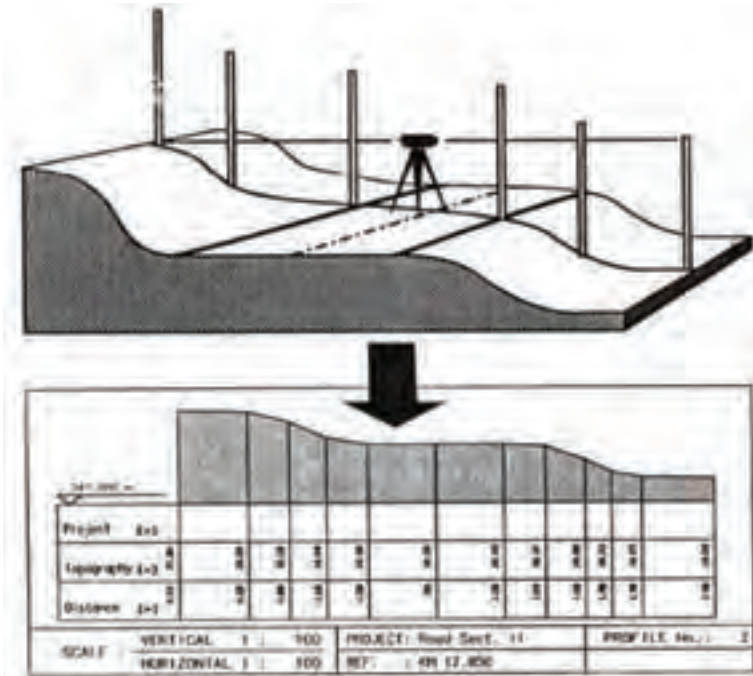
اگر بزرگ امتداد مستقیم مشخص روی زمین، صفحه قائم فرضی عبور داده شود (به عبارت دیگر در امتداد مورد نظر برشی فرضی به زمین داده شود) از برخورد این صفحه فرضی با سطح طبیعی زمین، خطوط شکسته‌ای حاصل می‌شود که چنانچه آن را در مقیاس مشخصی ترسیم نماییم نقشه حاصل را پروفیل (مقطع یا نیمرخ) می‌گویند.

در واقع هدف از تهیه پروفیل، نمایش پستی و بلندی‌ها و برجستگی‌های زمین در طول یک امتداد مانند مسیر یک کانال و یا یک جاده روی نقشه می‌باشد. و منظور از نمایش برجستگی‌ها روی نقشه این است که اختلاف ارتفاع نقاط نسبت به هم روی نقشه معلوم باشد. به طرق مختلف می‌توان برجستگی‌ها را روی نقشه نمایش داد اما متداول‌ترین و دقیق‌ترین روش نمایش پستی و بلندی‌ها، نشان دادن ارتفاع نقاط است به گونه‌ای که عددی که برای ارتفاع هر نقطه از تراز یابی اندازه‌گیری شده است دقیقاً روی نقشه منتقل و نوشته شود.

به طور کلی در نقشه‌برداری با دو نوع پروفیل سروکار داریم :

۱- پروفیل طولی (Longitudinal Profile)

۲- پروفیل عرضی (Cross Section)



شکل ۱-۵- پروفیل

اگر صفحه قائم فرضی را در امتداد طولی یک مسیر بر زمین عبور دهیم به تصویری که بر روی این صفحه از تماس با سطح طبیعی زمین ایجاد می شود پروفیل طولی (مقطع طولی) گویند. توجه شود که در پروفیل طولی مسیر مورد نظر الزاماً مستقیم نبوده و می تواند دارای شکستگی و انحنا باشد. در مقابل اگر در فواصل مشخصی از مسیر مورد نظر، در عرض مسیر اقدام به تهیه پروفیل نماییم به آن پروفیل عرضی گویند. لازم به ذکر است که برای یک مسیر پروفیل های عرضی زیادی وجود دارد که معمولاً برش آنها در راستای مستقیم و در هر نقطه عمود بر مسیر می باشد.

فصل مشترک یک صفحه قائم فرضی با سطح طبیعی زمین در امتداد طول مسیر را پروفیل طولی و در امتداد عمود بر مسیر را پروفیل یا مقطع عرضی می گویند.

پروفیل طولی را به دو روش مستقیم و غیرمستقیم می توان تهیه کرد. در روش مستقیم، پروفیل طولی از اندازه گیری مستقیم زمینی با انجام ترازایی در طول مسیر مورد نظر تهیه می شود. در روش غیرمستقیم، پروفیل طولی با استفاده از نقشه توپوگرافی تهیه می شود. در ادامه، تهیه پروفیل طولی



به روش مستقیم و طراحی خط پروژه روی آن تشریح می‌گردد. مراحل کار عبارت‌اند از :

- ۱- طراحی پلان مسیر
- ۲- پیاده‌سازی مسیر
- ۳- ترازیابی مسیر
- ۴- محاسبات پروفیل طولی
- ۵- ترسیم پروفیل طولی
- ۶- طراحی خط پروژه
- ۷- پیاده‌سازی و کنترل.

### بیشتر بدانیم



موارد استفاده از ترازیاها :

- ۱- اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع (دقت زیاد)
- ۲- اندازه‌گیری فاصله با ترازیا (دقت کم)
- ۳- اندازه‌گیری زاویه افقی با ترازیا (دقت کم)

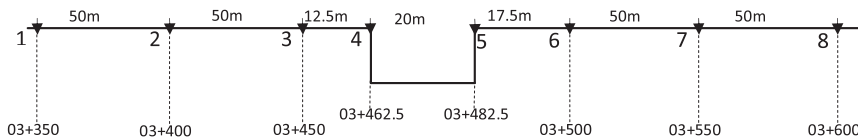
**۱- طراحی پلان مسیر :** در این مرحله، موقعیت مسطحاتی مسیر در چندین مرحله به صورت تقریبی تا کاملاً دقیق روی نقشه‌های پوششی کوچک تا بزرگ مقیاس طراحی می‌شود. در طراحی مسیر جنبه‌های مختلف شامل رعایت اصول مهندسی، ایمنی، هزینه ساخت و ساز، محیط زیست، آمایش زمین و نظایر آن توسط مهندسین مشاور طراح مسیر بررسی می‌گردد که تشریح این موارد خارج از محدوده این کتاب است. برای مطالعه بیشتر می‌توانید به کتب راهسازی مراجعه نمایید.

**۲- پیاده‌سازی مسیر :** منظور از پیاده‌سازی مسیر یعنی انعکاس فرم هندسی مسیر (شامل قسمت‌های مستقیم، قوس‌ها و دیگر اجزا) روی زمین، طبق مشخصاتی که طراح در نقشه‌ها ارائه نموده است. در این بخش برای تعیین مسیر، روش میخکوبی مسیر (پیکه‌تاز) تشریح می‌شود که در آن ابتدا نقاط شکستگی مسیر میخکوبی شده و سپس فواصل افقی بین میخ‌ها اندازه‌گیری و جدول

پیکه تاژ تنظیم می گردد.

مسیر مورد نظر برای تهیه پروفیل طولی که ممکن است به شکل یک امتداد مستقیم و یا مجموعه ای از خطوط شکسته و یا منحنی باشد، ابتدا باید توسط عمل میخکوبی روی زمین مشخص شود. فاصله میخ ها از هم به دقت کار و شکل ظاهری زمین بستگی دارد. بنابراین در مناطق مسطح، فواصل بلندتر و در مناطق کوهستانی که تغییر شکل زمین زیاد است، این فواصل باید کوتاه تر انتخاب شوند.

علاوه بر میخکوبی نقاط در فواصل ثابت، باید نقاط تغییر شیب در طول مسیر، محل تقاطع و برخورد مسیر با راه ها، کانال ها، رودخانه ها، جوی ها، نهرها و ... نیز میخکوبی شوند. به این نقاط در اصطلاح نقاط اجباری می گویند.



شکل ۱-۶ - پیکه تاژ مسیر

در حالت کلی کیلومتر اژ هر میخ را با فرم  $\frac{\circ\circ}{\circ\circ} + \frac{\circ\circ\circ}{\circ\circ}$  نمایش می دهند. که دو رقم اول فاصله بر حسب کیلومتر و ارقام بعدی مقدار باقیمانده فاصله بر حسب متر و سانتی متر می باشد. به عنوان مثال عدد  $\frac{۱۰۳۲}{۴۷}$  متر را به شکل  $\frac{۳۲}{۴۷}$  نشان می دهند: یعنی ده کیلومتر و سیصد و بیست متر و چهل و هفت سانتی متر.

در حین میخکوبی نقاط مسیر مورد نظر به جهت سادگی در ترسیم پروفیل سادگی در محاسبات و بالا رفتن سرعت کار، فاصله بین میخ ها را ثابت در نظر گرفته و سعی می شود که کیلومتر اژ هر میخ مضربی از ده باشد.

فاصله افقی هر نقطه تا مبدأ را کیلومتر اژ آن نقطه گویند.

به عنوان مثال فرض کنید مطابق شکل (۱-۶) امتداد مستقیم AB را از میخ شماره یک با کیلومتر اژ  $\frac{۳۵}{۰۳}$  پیکه تاژ نموده و پس از کوبیدن دو میخ به فاصله ثابت ۵۰ متر به یک کانال رسیده ایم و میخ های شماره ۴ و ۵ را در لبه های کانال می کوبیم. پس از کوبیدن میخ ها در نقاط اجباری لبه کانال، فاصله بین میخ شماره ۳ و ۴ را  $\frac{۱۲}{۵}$  متر و بین میخ ۴ و ۵ را ۲۰ متر اندازه گیری می کنیم. بنابراین کیلومتر اژ نقطه ۵ برابر  $\frac{۴۸۲}{۵} + ۰۳$  می گردد. از اینجا نتیجه می گیریم که میخ شماره ۶ را

در فاصله‌ای باید کوید که کیلومتر از آن مضربی از عدد ۱۰ شود یعنی ۰۳+۵۰۰/۰۰ . به عبارتی میخ شماره ۶ را ۱۷/۵ متری از میخ شماره ۵ می‌گوییم.

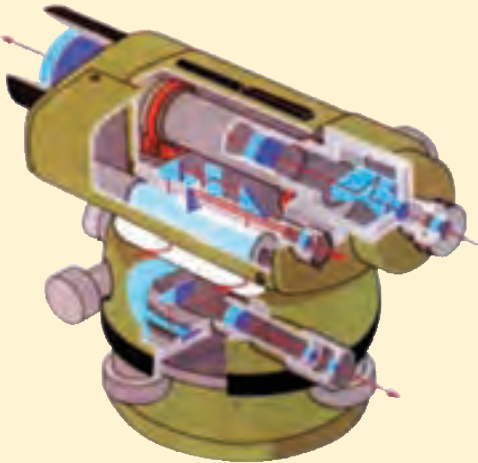
در عمل معمولاً با استفاده از دوربین تئودولیت و متر محل نقاط مسیر مورد نظر را روی زمین پیدا کرده و میخکوبی می‌کنند.

بعد از میخکوبی مسیر، فاصله بین میخ‌ها توسط متر دقیقاً اندازه‌گیری شده و در جدولی مطابق جدول ۱-۱ یادداشت می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود این جدول علاوه بر ستون شماره نقاط و فاصله بین میخ‌ها، شامل فاصله از نقطه شروع (کیلومتر از) و کروکی نیز می‌باشد.

جدول ۱-۱- پیکه‌تاز مسیر

شماره میخ P.N	فاصله بین دو میخ Di	فاصله از مبدأ km	کروکی و یادداشت Note
1		03 + 350.00	
	50.00		
2		+400.00	
	50.00		
3		+450.00	
	12.50		
4		+462.50	
	20.00		
5		+482.50	
	17.50		
6		+500.00	
	50.00		
7		+550.00	
8		03+ 600.00	

### قسمت‌های داخلی یک تراز یاب



**۳- تراز یابی مسیر (پروفیل برداری):** بعد از تعیین موقعیت مسیر بر روی زمین، نوبت به تراز یابی در امتداد آن می‌رسد. در این بخش روش تراز یابی هندسی برای تعیین ارتفاع نقاط مشخص شده در طول مسیر تشریح می‌گردد که به آن پروفیل برداری نیز می‌گویند. ارتفاع کلیه نقاط می‌خکوبی شده با استفاده از تراز یابی مستقیم و به شیوه تدریجی و یا ترکیبی از تدریجی و شعاعی به دست می‌آید. در هر حال تراز یابی باید به صورت رفت و برگشت بین نقاط بنچ مارک انجام پذیرد به عبارتی چنانچه در منطقه و یا در نزدیکی آن بنچ مارک موجود باشد بهتر است تراز یابی را از این نقطه شروع کرده و به نقطه بنچ مارک دیگری بست. در غیر این صورت ارتفاع نقطه شروع را به طور قراردادی تعیین کرده و تراز یابی به صورت رفت و برگشت انجام می‌شود. چنانچه مسیر طولانی باشد معمولاً بعد از هر دو کیلومتر، کار تراز یابی به صورت رفت و برگشت کنترل می‌شود.

✓ به دلیل سختی کار تراز یابی مستقیم در مناطق با شیب زیاد و کوهستانی، برای پروفیل برداری از تراز یابی به روش مثلثاتی هم می‌توان استفاده کرد ولی این روش دقت کمتری نسبت به روش تراز یابی مستقیم (هندسی) دارد.

در صفحه بعد یک نمونه جدول تراز یابی مخصوص برداشت پروفیل نشان داده شده است که در آن ستون‌هایی برای فاصله بین نقاط و کیلومتر اژ نقاط در نظر گرفته شده و به روش ارتفاع دستگاه (ارتفاع خط دید دوربین) قابل حل می‌باشد. نحوه محاسبه جدول به روش ارتفاع دستگاه بیشتر در تهیه

و ترسیم پروفیل مورد استفاده قرار می گیرد که در قسمت بعد توضیح داده می شود.

جدول ۱-۲

ارتفاع نقاط	ارتفاع دستگاه	قرائت جلو	قرائت میانی	قرائت عقب	فاصله از مبدأ	فاصله بین نقاط	شماره نقطه
H	HI	F.S	I.S	B.S	km	Di	P.N

**۴- محاسبات پروفیل طولی :** برای تهیه پروفیل طولی باید فاصله و ارتفاع نقاط ترازایی در طول مسیر را به دست آورد. فاصله نقاط معمولاً از ابتدای مسیر محاسبه می شود که تحت عنوان «فاصله از مبدأ» بر حسب کیلومتر (کیلومتر از) نشان داده می شود. برای تعیین ارتفاع نقاط، در این قسمت محاسبات ترازایی هندسی به روش ارتفاع دستگاه (Height of Instrument) از طریق حل جدول ترازایی تشریح می گردد.

به طور کلی برای حل جدول ترازایی از دو روش می توان استفاده کرد ، روش اول روشی است که به آن روش اختلاف ارتفاع (فراز و نشیب) می گویند که قبلاً آن را در کتاب مساحی آموختید و روش دوم، روش ارتفاع دستگاه (ارتفاع خط دید دوربین) می باشد که در این قسمت در قالب یک مثال کاربردی به شرح آن می پردازیم.

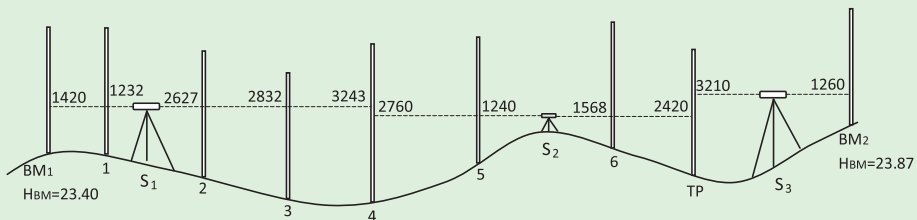
#### بیشتر بدانیم



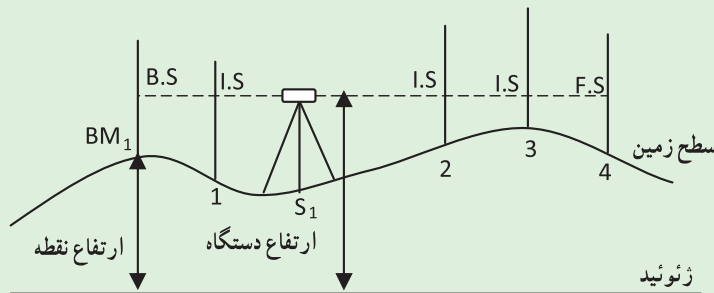
بزرگراه های چند طبقه که بر اساس اندازه گیری های دقیق ترازایی اجرا و کنترل شده اند.

## مثال ۲-۱ :

محاسبه جدول ترازیبی حاصل از پروفیل برداری به روش ارتفاع دستگاه  
برای تهیه پروفیل طولی از یک مسیر کانال آبرسانی، مطابق شکل زیر عملیات  
ترازیابی انجام گرفته است و برای کنترل، ابتدا و انتهای آن به دو نقطه بنچ مارک بسته  
شده است. ارتفاع نقاط را به روش ارتفاع دستگاه محاسبه نمایید. (طول مسیر ترازیبی  
۶۰۰ متر و ترازیبی درجه ۳ می باشد)



راهکار کلی: در این روش مطابق شکل زیر با اضافه کردن قرائت عقب به  
ارتفاع نقطه، ارتفاع خط دید دوربین (ارتفاع دستگاه) به دست می آید، سپس از این  
ارتفاع (ارتفاع دستگاه)، قرائت جلو کم می گردد و عدد حاصل همان ارتفاع نقطه  
می باشد.



$$H_1 = (\text{ارتفاع دستگاه}) = HBM + B.SBM$$

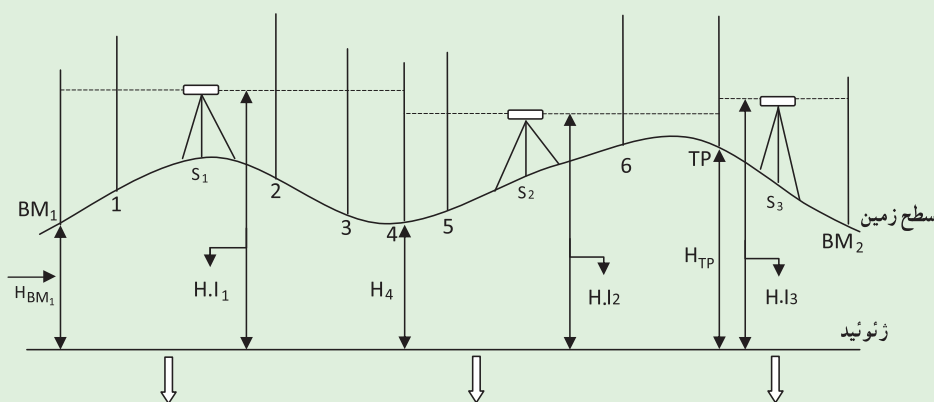
$$H_1 = H.I - I.S_1$$

$$H_2 = H.I - I.S_2$$

$$H_3 = H.I - I.S_3$$

$$H_4 = H.I - F.S_4$$

همان‌طور که مشاهده می‌کنید در این روش ارتفاع همه نقاطی که از یک ایستگاه قرائت شده به طور مستقیم از روی ارتفاع دوربین در آن ایستگاه به دست می‌آید. چنانچه برای ادامه کار ترازایی، دوربین را جابجا کرده و در ایستگاه دوم ( $S_2$ ) مستقر شویم، باید در این ایستگاه نیز ارتفاع دوربین را از روی ارتفاع محاسبه شده برای نقطه آخر دهنه قبل و قرائت عقب آن که در اینجا نقطه ۴ است، به دست آورده و ارتفاع سایر نقاط قرائت شده از این ایستگاه را محاسبه کنیم تا به (نقطه آخر دهنه دوم نقطه TP) برسیم و به همین ترتیب برای ایستگاه سوم ( $S_3$ ) کار را دنبال کنیم :



$H.I_1 = (ارتفاع\ دستگاه) = HBM_1 + B.SBM_1$ $H_1 = H.I_1 - I.S_1$ $H_2 = H.I_1 - I.S_2$ $H_3 = H.I_1 - I.S_3$ $H_4 = H.I_1 - F.S_4$	<p>حال که <math>H_4</math> را محاسبه کردیم از رابطه زیر ارتفاع دستگاه در ایستگاه دوم (<math>H.I_2</math>) را به دست می‌آوریم :</p> $H.I_2 = H_4 + B.S_4$ <p>و داریم :</p> $H_5 = H.I_2 - I.S_5$ $H_6 = H.I_2 - I.S_6$ $H_{TP} = H.I_2 - F.S_{TP}$	<p>و به همین ترتیب برای ایستگاه سوم و نقطه آخر یعنی <math>BM_2</math> داریم :</p> $H.I_3 = H_{TP} + B.S_{TP}$ $HBM_2 = H.I_3 - F.SBM_2$
--	--	--

روش حل : ابتدا جدولی مطابق شکل صفحه بعد ترسیم نموده و قرائت روی شاخص‌ها را از روی شکل بالا برای نقاط  $BM_1$  تا  $BM_2$  وارد جدول می‌کنیم.



P.N شماره نقاط	B.S قرائت عقب	I.S قرائت میانی	F.S قرائت جلو	H.I(m) ارتفاع دستگاه	H(m) ارتفاع	C(mm) تصحیح	Hc(m) ارتفاع تصحیح شده
BM <sub>1</sub>	1420			24.820	23.400		23.400
1		1232		24.820	23.588		
2		2627		24.820	22.193		
3		2832		24.820	21.988		
4	2760			24.337	21.577		
5		1240	3243	24.337	23.097		
6		1568		24.337	22.769		
TP	3210		2420	25.127	21.917		
BM <sub>2</sub>			1260	25.127	23.867		23.870

محاسبه ارتفاع نقاط با استفاده از روش ارتفاع دستگاه :

$$H. I_1 = 23.400 + 1.420 = 24.820$$

$$H_1 = 24.820 - 1.232 = 23.588$$

$$H_2 = 24.820 - 2.627 = 22.193$$

$$H_3 = 24.820 - 2.832 = 21.988$$

$$H_4 = 24.820 - 3.243 = 21.577$$

حال H.I<sub>2</sub> را از H<sub>4</sub> محاسبه می کنیم

$$H. I_2 = 21.577 + 2.760 = 24.337$$

$$H_5 = 24.337 - 1.240 = 23.097$$

$$H_6 = 24.337 - 1.568 = 22.769$$

$$HTP = 24.337 - 2.420 = 21.917$$

حال H.I<sub>3</sub> را از HTP محاسبه می کنیم

$$H. I_3 = 21.917 + 3.210 = 25.127$$

$$H_{BM2} = 25.127 - 1.260 = 23.867$$

برای محاسبه خطای ترازیابی داریم (تکراری) :

ارتفاع معلوم نقطه آخر - ارتفاع به دست آمده برای نقطه آخر = خطای بست ترازیابی  
یعنی  $e_L = 23.867 - 23.870 = -0.003 \text{ m} = -3\text{mm}$

و همچنین خطای مجاز ترازیابی درجه ۳ برابر است با :

$$e_{\max} = 12\sqrt{k}$$

$$e_{\max} = 12\sqrt{0.6} \approx 9\text{mm}$$

پس خطای بست ترازیابی مجاز می باشد و می توان آن را سرشکن کرد.

حال مقدار ثابت تصحیح را به دست می آوریم :

$$c = \frac{-e_L}{n}$$

$$c = \frac{-(-3)}{3} = +1\text{mm}$$

ارتفاع تصحیح شده نقاط را محاسبه کرده و جدول را کامل می کنیم.

P.N	B.S	I.S	F.S	H.I(m)	H(m)	C(mm)	Hc(m)
شماره نقاط	قرائت عقب	قرائت میانی	قرائت جلو	ارتفاع دستگاه	ارتفاع	تصحیح	ارتفاع تصحیح شده
BM <sub>1</sub>	1420			28.820	23.400	0	23.400
1		1232		28.820	23.588	+1	23.589
2		2627		28.820	22.193	+1	22.194
3		2832		28.820	21.988	+1	21.989
4	2760		3243	24.337	21.577	+1	21.578
5		1240		24.337	23.097	+2	23.099
6		1568		24.337	22.769	+2	22.771
TP	3210		2420	25.127	21.917	+2	21.919
BM <sub>2</sub>			1260	25.127	23.867	+3	23.870

بحث و بررسی: همان طور که در جدول ترازایی بالا مشاهده می کنید نقاطی که در هر دهنه دارای قرائت میانی (I.S) می باشند، ارتفاع دستگاه برای آنها تغییری نمی کند چرا که همه آنها از یک دوربین با یک ارتفاع قرائت شده اند. همچنین مقدار تصحیح برای این نقاط نیز یکسان می باشد.

● قابل توجه است که در روش ترازایی شعاعی برای سرشکنی (تعدیل) خطای ترازایی بهتر است که خطای موجود را (در صورت مجاز بودن) بر روی قرائت های عقب توزیع نمود. یعنی می توان از همان ابتدا قبل از محاسبه ارتفاع نقاط، ابتدا خطای ترازایی را محاسبه کرده، سپس مقدار ثابت تصحیح را به دست آورد و این مقدار ثابت را به قرائت های عقب اعمال کرد. در این صورت ارتفاع محاسبه شده برای نقاط تصحیح شده می باشد و نیازی به تشکیل ستون تصحیح و ارتفاع تصحیح شده نیست.

**۵- ترسیم پروفیل طولی:** معمولاً پروفیل را بر روی کاغذ میلی متری رسم می کنند. برای رسم پروفیل طولی بر روی کاغذ میلی متری دو محور عمود بر هم ترسیم کرده و محور افقی را به عنوان محور فاصله نقاط و محور عمودی را به عنوان محور ارتفاع نقاط در نظر می گیریم. به دلیل اینکه تغییرات ارتفاع نقاط بسیار کمتر از تغییرات طولی (فاصله بین دو نقطه) می باشد، معمولاً مقیاس محور ارتفاع را ده برابر مقیاس محور طولی در نظر می گیرند تا اختلاف ارتفاع نقاط به نحو اغراق آمیزی نمایش داده شود. این امر موجب افزایش دقت طراحی خط پروژه در مرحله بعد و نمایش بهتر جزئیات ارتفاعی مسیر می شود.

پس از انتخاب مقیاس طولی و ارتفاعی، به جدول ارتفاعات مراجعه و کمترین عدد ارتفاعی را از داخل جدول استخراج می کنیم. سپس عدد گرد شده ای کمتر از این عدد مشخص کرده و به عنوان ارتفاع مبنا برای محور افقی (محور X) در نظر می گیریم. بنابراین با این کار تمام پروفیل طولی در بالای محور طول ها قرار گرفته و در هیچ نقطه ای این محور را قطع نمی کند. سپس نسبت به سیستم مختصات اختیار شده موقعیت هر نقطه را با داشتن فاصله افقی و ارتفاع آن نقطه از مبدا، روی صفحه مشخص و در پایان کلیه نقاط را به وسیله خط های مستقیم به هم وصل می کنیم. نمودار حاصل، پروفیل طولی است.

### مثال ۱-۳: ترسیم پروفیل طولی

جدول زیر حاصل عملیات پروفیل برداری قسمتی از یک جاده می باشد. پروفیل طولی آن را در مقیاس طولی ۱:۱۵۰۰ ترسیم نمایید.

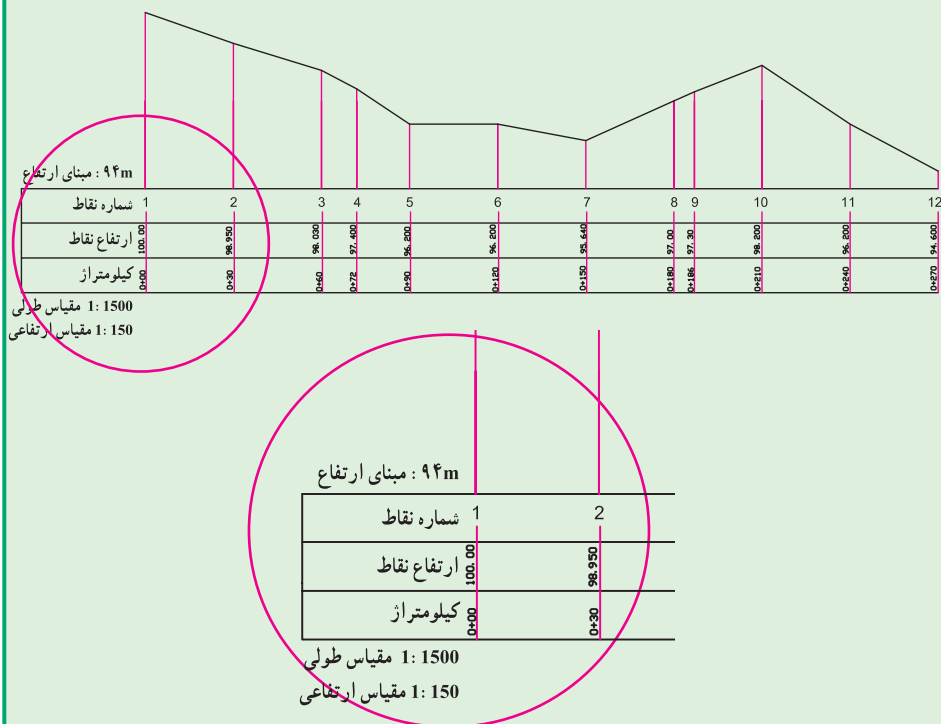
ارتفاع نقاط H	فاصله از مبدأ km	فاصله بین دو میخ Di	شماره میخ NO.P
100.000	00 + 000	30	1
98.950	+030	30	2
98.030	+060	12	3
97.400	+072	18	4
96.200	+090	30	5
96.200	+120	30	6
95.640	+150	30	7
97.000	+180	7	8
97.300	+187	23	9
98.200	+210	30	10
96.200	+240	30	11
94.600	00 + 270		12

راهکار کلی: با توجه به این که مقیاس طولی ۱:۱۵۰۰ است پس باید مقیاس ارتفاعی را ۱:۱۵۰ در نظر بگیریم. همچنین با توجه به اینکه کمترین ارتفاع در جدول ۹۴/۶۰۰ متر می باشد باید مبدأ ارتفاع را عدد گرد شده ای (رُندی) کمتر از آن در نظر گرفت مثلاً ارتفاع ۹۴ متر را می توان به عنوان مبدأ ارتفاعی در نظر گرفت.

با توجه به جدول، محور ارتفاعی را باید برای حداقل اختلاف ارتفاع ۵ متر در مقیاس ۱:۱۵۰ در نظر بگیریم. و همچنین محور طولی را برای حداقل فاصله ۲۷ متر از مبدأ در مقیاس ۱:۱۵۰ ترسیم کنید. سپس فاصله ها را در مقیاس ۱:۱۵۰ و ارتفاع نقاط را با توجه به مبدأ ارتفاعی که ۹۴ متر است و در مقیاس ۱:۱۵۰ روی محورها جدا کنید. برای این کار می توانید از اِشِل (خط کش مقیاس) استفاده کنید. اکنون محل هر نقطه را روی صفحه کاغذ مشخص کرده و آنها را با خطوط مستقیم به هم وصل کنید.

برای استفاده بهتر و بیشتر از نیمرخ‌های طولی اولاً مسیر را در گوشه‌ای از کاغذ ترسیم کرده و ثانیاً در زیر نمودار، جدولی ترسیم می‌کنند که خصوصیات نقاط برداشتی شامل شماره نقطه، کیلومتر، ارتفاع نقاط، شیب زمین و ... را مقابل هر نقطه می‌نویسند.

روش حل و ترسیم :





۶- طراحی خط پروژه : پس از تهیه و ترسیم پروفیل طولی، با توجه به مشخصات فنی و نوع مسیر، خطی روی پروفیل طولی طراحی می‌گردد که اصطلاحاً به آن خط پروژه می‌گویند.

شیب سطح تمام شده راه و به عبارتی نیمرخ طولی مسیر پس از پایان ساخت پروژه را خط پروژه گویند.

با توجه به محدودیت‌ها و رعایت اصول مهندسی باید شیب خط پروژه متناسب با ارتفاع نقطه

شروع طوری طراحی شود که از حد مجاز بیشتر نشده و همچنین حجم خاکبرداری و یا خاکریزی به کمترین مقدار برسد و یا اینکه سعی شود که حجم خاکبرداری و خاکریزی تا اندازه‌ای با هم برابر شود. می‌دانید چرا؟

معمولاً پروفیل را با رنگ مشکی و خط پروژه را با رنگ قرمز ترسیم می‌کنند. و به آن خط قرمز نیز گفته می‌شود.  

## بیشتر بدانیم

۷- پیاده‌سازی و کنترل: پس از طراحی خط پروژه با معلوم بودن شیب درصد خط پروژه و ارتفاع پروژه در نقطه اول می‌توان ارتفاع هر نقطه را روی خط پروژه محاسبه کرده، میزان عمق خاکبرداری و یا خاکریزی را در نقاط امتداد مسیر به دست آورد و در نهایت خط پروژه را روی زمین پیاده نمود.

### مثال ۱-۴: ترسیم خط پروژه و محاسبه عمق خاک در نقاط

با توجه به پروفیل ترسیم شده در مثال قبل، در صورتی که شیب خط پروژه ۲ درصد در نظر گرفته شود و ارتفاع پروژه در نقطه اول برابر ارتفاع زمین همان نقطه باشد، پس از ترسیم خط پروژه روی این پروفیل، عمق خاک را در هر یک از میخ‌ها محاسبه کنید. **راهکار کلی:** منظور از شیب بین دو نقطه نسبت اختلاف ارتفاع به فاصله افقی دو نقطه می‌باشد. که آن را با P نمایش می‌دهند و معمولاً آن را برحسب درصد بیان می‌کنند.

$$P = (\Delta H / D_h) \Rightarrow P\% = (\Delta H / D_h) \times 100$$

همان‌طور که در صورت مثال بیان شده شیب خط پروژه ۲ درصد می‌باشد. و همچنین ارتفاع پروژه در نقطه اول معلوم است. پس می‌توان ارتفاع پروژه را در هر نقطه به دست آورد زیرا فاصله بین نقاط نیز معلوم است. به عبارتی داریم:

$$P\% = (\Delta H / D_h) \times 100 \Rightarrow \Delta H = (D_h \times P\%) / 100$$

$$H_{pi} = H_{p1} + \Delta H$$

در این رابطه  $H_{pi}$  همان ارتفاع پروژه در نقطه  $i$  ام می باشد که برای هر نقطه با توجه به شیب خط پروژه و فاصله اش از مبدأ قابل محاسبه می باشد. حال با استفاده از این رابطه ارتفاع پروژه در میخ آخر را به دست می آوریم و سپس این عدد را در پروفیل برای نقطه آخر روی صفحه پیدا کرده و در نهایت محل نقطه اول خط پروژه را مطابق شکل به این نقطه وصل می کنیم. حال که خط پروژه ترسیم شد، با معلوم بودن فاصله نقاط از نقطه اول و استفاده از رابطه بالا ارتفاع پروژه را برای همه میخ ها به دست می آوریم. ارتفاع زمین نیز برای همه میخ ها از قبل معلوم است پس اختلاف این دو مقدار همان عمق خاک را در محل میخ نشان می دهد.

روش حل :

$$\left. \begin{array}{l} \text{ارتفاع پروژه در نقطه اول } (H_{p1}) = 100.000 \text{ m} \\ \text{شیب درصد خط پروژه } (p\%) = -2\% \\ \text{فاصله میخ اول و آخر } (D_0) = 270 \text{ m} \end{array} \right\} \Rightarrow$$

$$\begin{aligned} (\text{اختلاف ارتفاع اول و آخر پروژه}) &= (270 \times -2) \div 100 = -5.400 \text{ m} \\ H_{p2} &= 100.000 + (-5.400) \Delta H = 94.600 \text{ m} \end{aligned}$$

$$\Delta H_{1-2} = (30 \times -2) / 100 = -0.6 \text{ m}$$

$$H_{p2} = 100 + (-0.6) = 99.400 \text{ m}$$

$$\Delta H_{1-3} = (60 \times -2) / 100 = -1.2 \text{ m}$$

$$H_{p3} = 100 + (-1.2) = 98.800 \text{ m}$$

$$\Delta H_{1-4} = (72 \times -2) / 100 = -1.44 \text{ m}$$

$$H_{p4} = 100 + (-1.44) = 98.560 \text{ m}$$

$$\Delta H_{1-5} = (90 \times -2) / 100 = -1.80 \text{ m}$$

$$H_{p5} = 100 + (-1.80) = 98.200 \text{ m}$$

$$\Delta H_{1-6} = (120 \times -2) / 100 = -2.40 \text{ m}$$

$$H_{p6} = 100 + (-2.40) = 97.600 \text{ m}$$

$$\Delta H_{1-7} = (150 \times -2) / 100 = -3.00 \text{ m}$$

$$H_{p7} = 100 + (-3.00) = 97.000 \text{ m}$$

$$\Delta H_{1-8} = (180 \times -2) / 100 = -3.60 \text{ m}$$

$$H_{p8} = 100 + (-3.60) = 96.400 \text{ m}$$



$$\Delta H_{1-9} = (187 \times -2) / 100 = -3.74 \text{ m}$$

$$H_{p9} = 100 + (-3.74) = 96.260 \text{ m}$$

$$\Delta H_{1-10} = (210 \times -2) / 100 = -4.20 \text{ m}$$

$$H_{p10} = 100 + (-4.20) = 95.800 \text{ m}$$

$$\Delta H_{1-11} = (240 \times -2) / 100 = -4.80 \text{ m}$$

$$H_{p11} = 100 + (-4.80) = 95.00 \text{ m}$$

$$\Delta H_{1-12} = (270 \times -2) / 100 = -5.40 \text{ m}$$

$$H_{p12} = 100 + (-5.40) = 94.600 \text{ m}$$

ارتفاع پروژه - ارتفاع زمین = عمق خاک در هر میخ

$$\text{عمق 1} = 100 - 100 = 0 \text{ m}$$

$$\text{عمق 2} = 98.950 - 99.400 = -0.450 \text{ m}$$

$$\text{عمق 3} = 98.030 - 98.800 = -0.770 \text{ m}$$

$$\text{عمق 4} = 97.400 - 98.560 = -1.160 \text{ m}$$

$$\text{عمق 5} = 96.200 - 98.200 = -2.000 \text{ m}$$

$$\text{عمق 6} = 96.200 - 97.600 = -1.400 \text{ m}$$

$$\text{عمق 7} = 95.640 - 97.000 = -1.360 \text{ m}$$

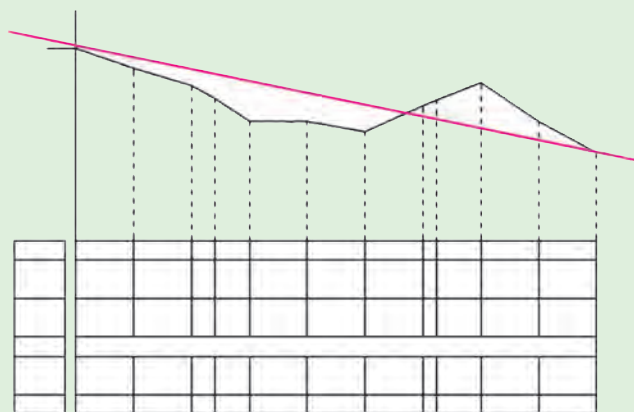
$$\text{عمق 8} = 97.000 - 96.400 = +0.600 \text{ m}$$

$$\text{عمق 9} = 97.300 - 96.260 = +1.040 \text{ m}$$


$$\text{عمق 10} = 98.200 - 95.800 = +2.400 \text{ m}$$

$$\text{عمق 11} = 96.200 - 95.200 = +1 \text{ m}$$

$$\text{عمق 12} = 94.600 - 94.600 = 0 \text{ m}$$



**بحث و بررسی :** همان طوری که در صفحه قبل مشاهده می کنید عددی که برای عمق خاک به دست آمده در بعضی از نقاط مثبت و در بعضی منفی می باشد، می توان چنین گفت که در نقاطی که ارتفاع خط پروژه بالاتر از زمین قرار دارد این عدد منفی است یا به عبارتی در این نقاط باید خاکریزی کنیم و در نقاطی که عمق خاک مثبت می باشد نشان دهنده این است که باید در آن نقاط خاکبرداری کنیم تا به ارتفاع پروژه برسیم. طبیعتاً عدد صفر برای عمق خاک بدین معنی است که خط پروژه در این نقاط بر خط زمین منطبق می باشد و در این نقاط عملیات خاکی نداریم.

 به نظر شما در میخ شماره ۵ خاکبرداری داریم یا خاکریزی، چند متر و چرا؟

### ۳-۱- تسطیح اراضی (Land leveling & grading)

تغییر در وضعیت پستی و بلندی های زمین (توپوگرافی) و مناسب نمودن آن برای اجرای پروژه های مختلف عمرانی در اغلب موارد امری الزامی است. در کشاورزی - به خصوص در مواردی که آبیاری به روش سطحی انجام می شود - این تغییر از اهمیت ویژه ای برخوردار است. یک زمین با شکل مناسب نه تنها موجب گسترش یکنواخت آب و در نتیجه بالا بردن راندمان آبیاری می گردد، بلکه دیگر فعالیت های زراعی (کاشت، داشت و برداشت) را آسان می سازد.

تسطیح یک اصطلاح کلی است و به تمام عملیات هموار نمودن و شیب دادن زمین اطلاق می شود. به عبارت دیگر تسطیح کردن به عملیاتی گفته می شود که طی آن سطح طبیعی زمین به یک سطح صاف بدون شیب و یا با شیب ثابت تغییر می یابد. اما اغلب تسطیح زمین در کشاورزی به منظور ایجاد سطحی صاف با شیبی متناسب با روش آبیاری انجام می شود.

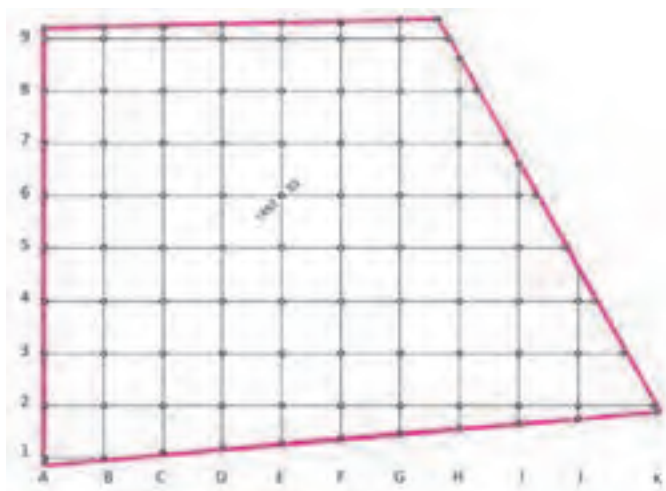
برای تسطیح ابتدا زمین مورد نظر شبکه بندی شده و ارتفاع نقاط شبکه به روش ترازبایی مستقیم و یا روش های دیگر به دست آورده می شود. پس از آن، طرح تسطیح توسط مهندسان مشاور طراحی می شود و سپس ارتفاع تک تک نقاط شبکه روی طرح محاسبه شده و با ارتفاع زمین موجود مقایسه می شود. به عبارتی عمق خاک در نقاط شبکه مشخص می شود و حجم عملیات خاکی (خاکبرداری و خاکریزی) محاسبه و هزینه آن برآورد شده و در پایان، طرح به اجرا در می آید. پس به طور کلی تسطیح را می توان در چند مرحله زیر خلاصه کرد : ۱- شبکه بندی ۲- ترازبایی و محاسبات

۳- ترسیم شبکه ۴- طراحی و محاسبات تسطیح ۵- اجرای طرح و کنترل آن. در ادامه به تشریح هر مرحله می پردازیم.

۱- شبکه بندی : در این مرحله ابتدا سطح زمین به صورت اشکال هندسی قابل حل مانند مربع، مستطیل، مثلث و دوزنقه تقسیم بندی شده و محل تقاطع اضلاع شبکه (نقاط گِرهی) روی زمین علامت گذاری (میخکوبی) می شود. معمولاً اندازه اضلاع شبکه تا حد ممکن نزدیک به هم انتخاب می شود. به طوری که بتوان سطح زمین بین دو خط مجاور در شبکه را به عنوان یک سطح مسطح در نظر گرفت. در عمل اضلاع شبکه را دو سانتی متر در مقیاس نقشه در نظر می گیرند مثلاً اگر مقیاس نقشه شبکه بندی مورد نظر ۱:۵۰۰ باشد باید اضلاع شبکه را ۱۰ متری در نظر گرفت.

۲- تراز یابی و محاسبات : پس از مرحله شبکه بندی انجام تراز یابی مستقیم و به شیوه شعاعی ارتفاع نقاط شبکه محاسبه می شود.

۳- ترسیم شبکه : در ادامه مطابق شکل (۱-۷) شبکه مورد نظر را با توجه به مقیاس مورد نظر روی کاغذ ترسیم کرده و ارتفاع نقاط روی آن نوشته می شود.



شکل ۱- ۷- شبکه ارتفاعی نقاط

### تسطیح کردن در لغت نامه دهخدا :

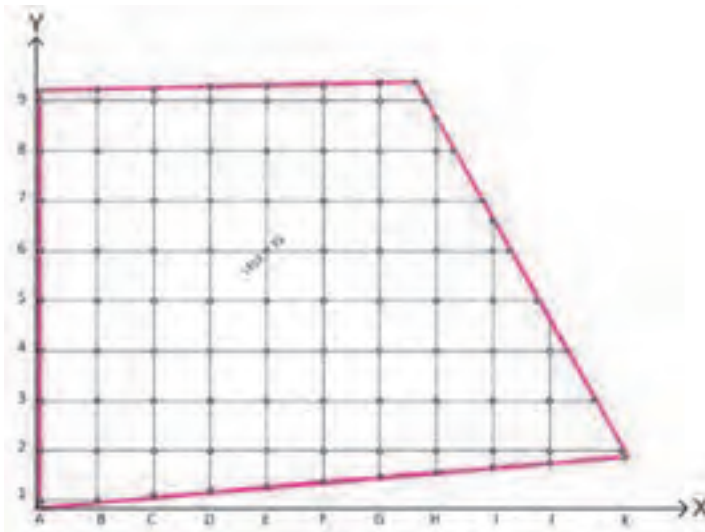
هموار کردن. یکسان کردن. صاف و مسطح کردن زمین و جز آن.  
علم تسطیح کره ، دانستن چگونگی نقل کره است به سطح با حفظ خطها و دایره ها که بر آن رسم شده است و چگونگی نقل این دایره ها از دایره به خط.

می توان با اختیار کردن یک سیستم مختصات سه بعدی برای قطعه زمین شبکه بندی شده، مختصات سه بعدی هر نقطه از رئوس این شبکه را در این سیستم مختصات به دست آورد. به این صورت که محور X سیستم را در طول زمین و محور Y آن را در عرض زمین و همچنین محور Z را محور ارتفاعات - که عمود بر سطح زمین است - در نظر می گیرند.

به طور مثال در شکل صفحه بعد اگر ابعاد شبکه ۱۰ متری باشد، مختصات نقطه E برابر است

با :

(۴۰ و ۵۰ و ۱۴۵۲/۲۳)



شکل ۱-۸ - شبکه ارتفاعی نقاط با مختصات

۴- طراحی و محاسبات تسطیح: این مرحله از تسطیح باید توسط مهندسین مجرب که در این زمینه دارای تخصص و تجربه کافی باشند انجام شود. چرا که بر اثر طراحی نامناسب، نه تنها کارایی تسطیح کاهش می‌یابد بلکه مخارج تسطیح - که حتی در شرایط انجام صحیح کار هم بسیار بالاست - به میزان زیادی افزایش پیدا می‌کند.

مهندسان در طراحی تسطیح از نظر کاهش هزینه‌ها دو هدف عمده را دنبال می‌کنند:

۱- تسطیح با حداقل حجم خاکبرداری و خاکریزی انجام شود.

۲- بین حجم‌های خاکبرداری و خاکریزی تعادل وجود داشته باشد.

برای دستیابی به این اهداف و انجام یک طراحی مناسب برای تسطیح زمین روش‌های مختلفی وجود دارد که در دوره‌های بالاتر با آنها آشنا خواهید شد. از جمله کارهایی که در مرحله طراحی تسطیح انجام می‌شود می‌توان موارد زیر را نام برد:

۱- محاسبه بهترین شیب برای زمین در جهت‌های مختلف.

۲- محاسبه ارتفاع نقاط شبکه بعد از تسطیح و همچنین محاسبه عمق‌های خاکبرداری و خاکریزی.

۳- محاسبه حجم‌های خاکبرداری و خاکریزی برای بررسی اقتصادی طرح، عقد قرارداد و انتخاب ماشین آلات مناسب.

۴- تهیه نقشه اجرایی تسطیح.

در مرحله طراحی تسطیح بعد از آنکه سطح پروژه طراحی شد و به عبارتی ارتفاع و شیب آن مشخص شد با توجه به این طرح و همچنین شبکه ارتفاعی که از زمین موجود است می‌توان حجم عملیات خاکی را برای سطح پروژه مورد نظر محاسبه کرد.

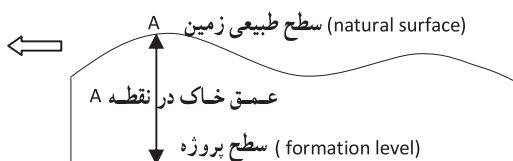
در اینجا حالت ساده‌ای را در نظر می‌گیریم که در آن سطح پروژه طوری طراحی شده که کاملاً افقی (بدون شیب) بوده و فقط خاکبرداری و یا خاکریزی کامل داریم:

### بیشتر بدانیم

تسطیح با GPS: راننده در هر لحظه ارتفاع موجود سطح زمین که توسط GPS اندازه‌گیری می‌شود را در کنار ارتفاع طراحی شده مشاهده نموده و در هر نقطه با انجام خاکبرداری و یا خاکریزی این دو را به هم می‌رساند.



ارتفاع پروژه - ارتفاع زمین = عمق خاک یا $h_i = H_i - H_p$
---



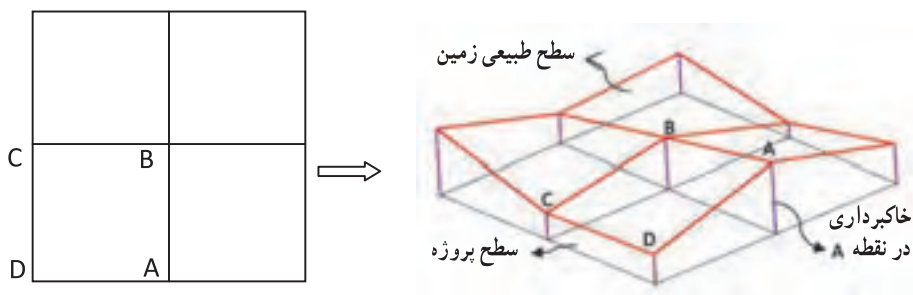
شکل ۱ - ۹

در صورتی که ارتفاع سطح پروژه  $H_p$  فرض شود، از تفاضل ارتفاع هر نقطه شبکه نسبت به ارتفاع پروژه، عمق خاک در آن نقطه مشخص می‌شود. بدیهی است، در صورتی که عمق خاک ( $h_i$ ) مثبت باشد نشانه خاکبرداری و اگر  $h_i$  منفی باشد نشانه خاکریزی در آن نقطه است. پس از تعیین عمق خاک در گوشه‌های شبکه، حجم عملیات خاکی برای هر مربع با محاسبه مساحت آن مربع ضربدر میانگین عمق خاک در چهار گوشه مربع به دست می‌آید:

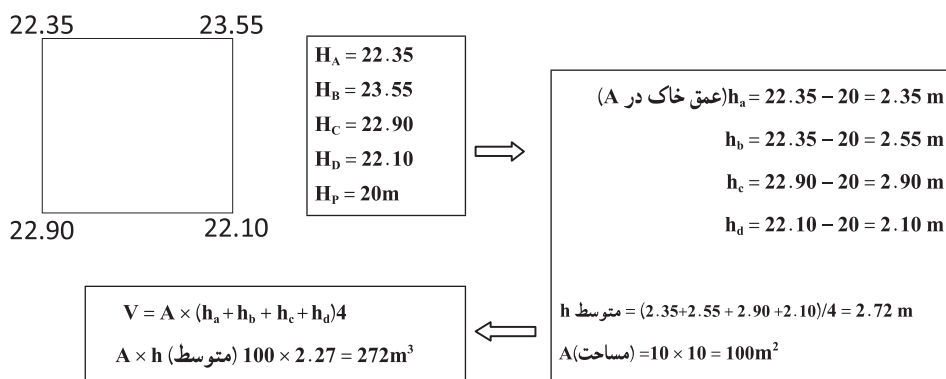
$$V_{abcd} = \frac{A \times (h_a + h_b + h_c + h_d)}{4}$$

(منظور از  $V$  همان حجم است)

به طور مثال چنانچه ارتفاع گوشه‌های مربع ABCD به اضلاع  $10$  متری مطابق شکل صفحه بعد بوده و ارتفاع سطح پروژه از قرار  $20$  متر باشد، می‌توان حجم عملیات خاکی را محاسبه نمود.



شکل ۱-۱- نمای سه بعدی از شبکه ارتفاعی نقاط



شکل ۱-۱۱

با کمی دقت در شکل بالا ملاحظه می‌شود که هر یک از مربع‌های شبکه یک منشور است که قاعده بالایی آن سطح طبیعی زمین و قاعده پایینی آن سطح پروژه می‌باشد که این دو سطح با هم موازی نبوده و اختلاف ارتفاع رئوس آن نسبت به سطح پروژه، ارتفاع‌های چهارگانه منشور را تشکیل می‌دهد که همان عمق خاک در این نقاط می‌باشد. بنابراین برای محاسبه حجم کل می‌توان حجم هر یک از مربع‌های شبکه را جداگانه محاسبه کرده و آنها را با هم جمع کرد. و چنانچه شکل زمین به صورتی باشد که در مرزها قطعات مثلثی و دوزنقه‌ای شکل باقی بماند باید حجم آنها را جداگانه محاسبه کرده و با حجم مربع‌ها جمع نمود.

برای ساده کردن محاسبه و جلوگیری از تکرار محاسبات می‌توان حجم قسمت‌های مربع شکل را از رابطه صفحه بعد به دست آورد:

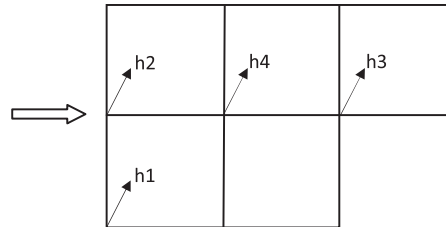


Surfer نرم افزاری است که برای ترسیم سطوح و نقشه های سه بعدی به کار می رود. این نرم افزار بسیار سریع داده های جغرافیایی را تبدیل به نقشه های توپوگرافی و ... می کند.



$$V = A \times 1/4 (\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 3\Sigma h_3 + 4\Sigma h_4)$$

$\Sigma h_1$  = مجموع عمق خاک گوشه هایی که در یک مربع مشترک اند.  
 $\Sigma h_2$  = مجموع عمق خاک گوشه هایی که در دو مربع مشترک اند.  
 $\Sigma h_3$  = مجموع عمق خاک گوشه هایی که در سه مربع مشترک اند.  
 $\Sigma h_4$  = مجموع عمق خاک گوشه هایی که در چهار مربع مشترک اند.



شکل ۱- ۱۲

و در صورتی که شکل زمین شبکه بندی شده ، علاوه بر مربع ها دارای اشکال مثلث و دوزنقه ای نیز باشد، باید حجم این قسمت ها را جداگانه محاسبه کرده و با حاصل حجم مربع ها جمع نمود. به عبارتی حجم کل از رابطه تعمیم یافته زیر قابل محاسبه می باشد :

$$V = A \times 1/4 (\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 3\Sigma h_3 + 4\Sigma h_4) + \Sigma R$$

$\Sigma h_1$  = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در یک متر مربع مشترک اند.

$\Sigma h_2$  = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در دو متر مربع مشترک اند.

$\Sigma h_3$  = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در سه متر مربع مشترک اند.

$\Sigma h_4$  = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در چهار متر مربع مشترک اند.

$\Sigma R$  = مجموع حجم‌های اشکال مثلنی و دوزنقه‌ای شکل

$$V_{\text{مثلث}} = A \times (h_1 + h_2 + h_3) / 3$$

$$V_{\text{دوزنقه}} = A \times (h_1 + h_2 + h_3) / 4$$

که در این حالت باید ابتدا مساحت (A) هر مثلث و یا دوزنقه را از روی اضلاع زمینی دقیقاً محاسبه نموده و در روابط بالا قرار داد.



شکل ۱- ۱۳



شکل ۱- ۱۴ اجرای تسطیح و کنترل حین اجرا

## ۵- اجرای طرح و کنترل آن : در این

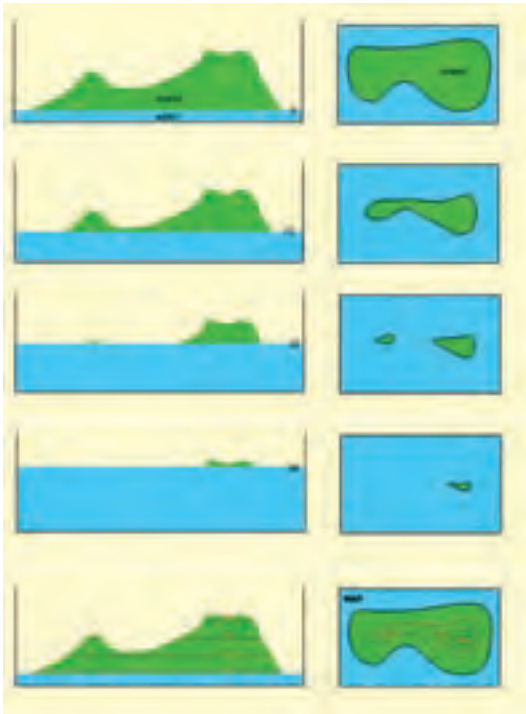
مرحله عمق خاک به دست آمده برای نقاط را تا حد سانتی متر گرد کرده و در کنار هر نقطه در روی نقشه شبکه‌بندی نقاط می‌نویسند. سپس با پیدا کردن نقاطی که نه خاکبرداری می‌شوند و نه خاکریزی، و با وصل کردن آنها به یکدیگر، محدوده خاکبرداری و خاکریزی مشخص می‌شود. در روی زمین نیز با علامت‌گذاری روی میخ‌ها، عمق خاکبرداری و خاکریزی مشخص می‌شود.

در حین اجرای تسطیح و عملیات خاکبرداری و خاکریزی، وظیفه نقشه‌بردار کنترل ارتفاع منطقه با توجه به سطح پروژه و نقشه اجرایی می‌باشد. این کار توسط ترازبایی مداوم از محل نقاط شبکه امکان پذیر است. شکل (۱-۱۴)

## ۴-۱- منحنی میزان

هرگاه تعدادی نقطه با ارتفاع یکسان در روی زمین را به هم وصل کنند، خطوط کم و بیش منحنی شکلی به دست می‌آید که آن خطوط را منحنی میزان می‌نامند. معمولاً این کار برای نقاط دارای ارتفاع عدد صحیح (گرد شده یا رُند) انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر مطابق شکل (۱-۱۵)

می‌توان گفت هر منحنی بسته منحنی میزان عبارت‌است از فصل مشترک سطح زمین با یک صفحه افقی دارای ارتفاع مشخص. این منحنی‌ها شکل زمین را از نظر برجستگی و فرورفتگی مجسم می‌سازند.



شکل ۱- ۱۵- مفهوم منحنی میزان

## بیشتر بدانیم

### خط داغی آب

به نظر شما این خط نشان‌دهنده چیست؟



خطوط منحنی میزان حاصل برخورد صفحات افقی فرضی با سطح زمین است.  
به فاصله صفحات افقی که زمین را قطع می کنند (که همان فاصله منحنی میزان ها نسبت به یکدیگرند) فاصله ارتفاعی می گویند.

هرچه فواصل ارتفاعی این صفحات فرضی کمتر باشد شکل زمین بهتر مجسم می گردد. به همین خاطر هرگاه بخواهند دقت نمایش ناهمواری های زمین را در نقشه ای زیاد کنند فواصل ارتفاعی را تا آنجا که امکان دارد کمتر در نظر می گیرند. تعیین مقدار فواصل ارتفاعی به شکل زمین از لحاظ شدت پستی و بلندی، دقت و روش نقشه برداری ارتفاعی، مقیاس و هدف نقشه مورد درخواست بستگی دارد. هرچه پستی و بلندی یا توپوگرافی زمین شدیدتر باشد به واسطه محدودیت نمایش منحنی میزان ها و تراکم و تداخل آنها، فاصله فواصل ارتفاعی را بیشتر در نظر می گیرند. در مناطق مسطح مانند دشت و نقشه های بزرگ مقیاس معمولاً فاصله فواصل ارتفاعی را کوچک انتخاب می کنند. مثلاً در یک نقشه شهری بزرگ مقیاس (مقیاس ۱:۵۰۰، ۱:۱۰۰۰ یا ۱:۲۰۰۰) بسته به دقت ارتفاعی مورد نیاز، معمولاً فواصل ارتفاعی را ۲۵ سانتی متر، ۵/۰ متر یا یک متر در نظر می گیرند.

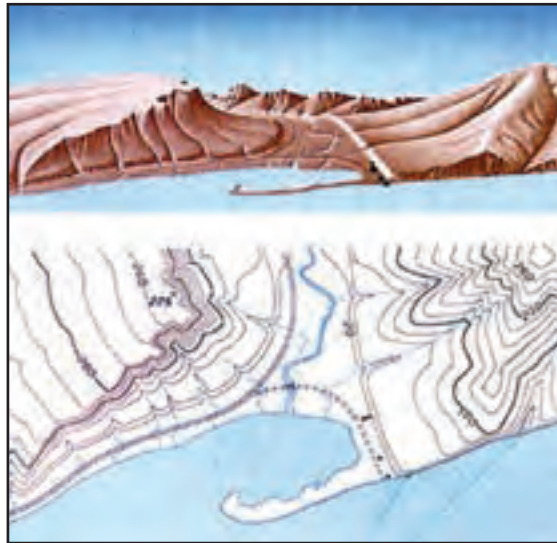
برای سهولت نمایش و قرائت منحنی میزان ها، از هر پنج یا ده منحنی، یکی را ضخیم تر ترسیم کرده و عدد ارتفاعی منحنی را در فواصل مشخص (معمولاً ۱۰ تا ۲۰ سانتی متر روی نقشه) روی آن می نویسند. به این منحنی میزان ها، منحنی میزان های اصلی می گویند. در مناطق مسطح که فاصله افقی منحنی میزان ها از هم به شدت افزایش می یابد، برای نمایش دقیق تر توپوگرافی زمین، از منحنی میزان های کمکی استفاده می کنند که فواصل ارتفاعی آنها نصف فواصل ارتفاعی منحنی میزان های فرعی است.

توجه شود که فاصله افقی دو منحنی میزان متوالی ربطی به فواصل ارتفاعی ندارد اما این فواصل افقی متغیر نشان دهنده شیب زمین (از هر نقطه و در هر امتداد) می باشد. با نگاه به شکل منحنی میزان ها می توان شکل توپوگرافی زمین را تجسم نمود. این امر مهارتی است که به تجربه فرد بستگی دارد و بر مبنای قواعدی مانند زیر صورت می گیرد:

- هرچه منحنی میزان ها به هم نزدیک تر باشند، شیب منطقه در آن محل بیشتر است و بالعکس.
- در حد فاصل هر دو خط متوالی شیب زمین ثابت در نظر گرفته می شود.
- اگر خطوط تراز منحنی های تو در تو بسته بوده و رقم آنها از خارج به داخل افزایش پیدا نماید نشان دهنده یک برآمدگی تپه ای شکل است و برعکس اگر کاهش پیدا نماید نشان دهنده یک تورفتگی

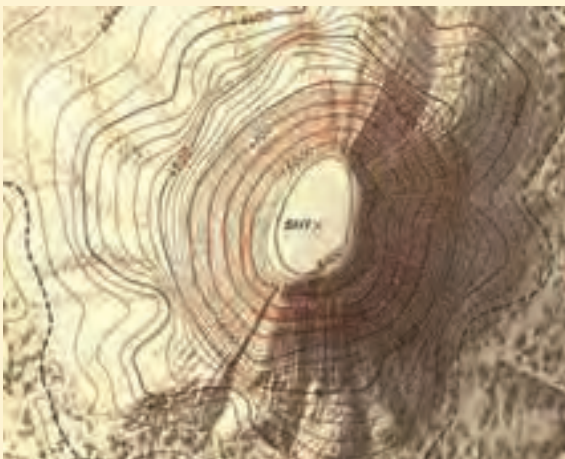
گودالی شکل است.

این قواعد نه تنها ما را برای تعیین شکل توپوگرافی و رفتار شیب زمین یاری می نمایند بلکه در مواردی می توان از آنها برای شناخت ساختار زمین شناسی (ژئومورفولوژی) و در نتیجه جنس زمین بهره جست.



شکل ۱- ۱۶- مفهوم منحنی میزان

### بیشتر بدانیم



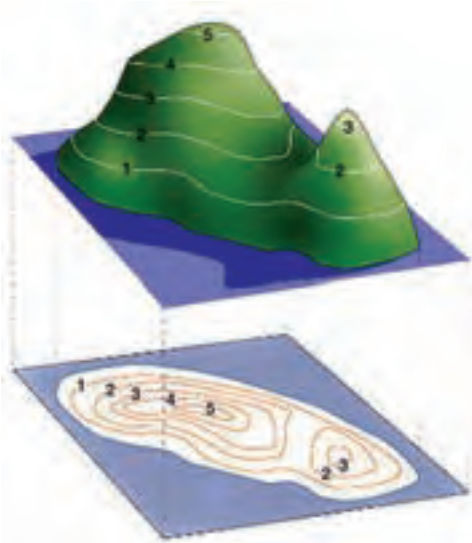
موارد استفاده از نقشه های دارای منحنی میزان :

۱- محاسبه شیب خطوط؛

۲- پیاده کردن یک امتداد با شیب معین؛

۳- رسم پروفیل (نیم رخ) یک امتداد؛

## ۱-۵- نقشه توپوگرافی



شکل ۱-۱۷- نقشه توپوگرافی

فرض کنید از یک منطقه نقشه مسطحاتی تهیه شده و عوارض روی آن نمایش داده شده‌اند. اگر بخواهیم روی این نقشه توپوگرافی زمین (برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌های سطح زمین) را نشان دهیم، به دلیل دو بعدی بودن صفحه نقشه، این کار به صورت سه بعدی امکان‌پذیر نمی‌باشد! به نظر شما چه باید کرد؟

پاسخ: ترسیم منحنی‌های میزان در صفحه دو بعدی نقشه و تفسیر این خطوط هم‌ارتفاع و تجسم سطح زمین به جای نمایش سه بعدی آن است (شکل ۱-۱۷).

به نقشه‌هایی که علاوه بر شکل و موقعیت عوارض مسطحاتی زمین، وضع ارتفاعی آن را نیز معمولاً به صورت منحنی میزان‌ها و نقاط ارتفاعی نمایش می‌دهند، نقشه‌های توپوگرافی می‌گویند.

در اکثر پروژه‌های عمرانی، نقشه‌های مسطحاتی به تنهایی پاسخگوی نیاز آنها نمی‌باشند و به نقشه‌های توپوگرافی نیاز است. مطالعات منابع طبیعی، جغرافیایی، مطالعات اولیه طرح‌های عمرانی، برنامه ریزی‌ها و آمایش منطقه‌ای و ملی و غیره همه نیاز به نقشه‌های توپوگرافی دارند.

دقت ارتفاعی نقشه‌های توپوگرافی بستگی به محل، تراکم و دقت ارتفاعی نقاط در عملیات برداشت دارد. از سوی دیگر هر چه مقیاس نقشه بزرگتر باشد نیاز به منحنی میزان‌های با ارتفاع دقیق‌تر و با فواصل ارتفاعی کمتر است. از این رو در برداشت نقاط برای تهیه نقشه توپوگرافی قواعد زیر را رعایت می‌نمایند:

- برداشت نقاط در محل شکستگی‌های ارتفاعی مانند نوک قله و کف دره
- برداشت نقاط در بالا، میانه و پایین شیب‌ها
- برداشت نقاط و تعیین مسیر شکستگی‌ها (مانند ترانشه)، خط القعرها (مانند محور آبریز) و خط الرأس‌ها (تیغه رشته کوه)

- تراکم نقاط برداشتی حداقل دو سانتی متر در مقیاس نقشه
- رعایت حد مجاز خطای ارتفاعی برای نقاط برداشت شده که براساس آن حداکثر خطای ارتفاعی نقاط برداشت شده نباید از نصف فاصله ارتفاعی منحنی میزان بیشتر شود.

### تهیه و ترسیم منحنی میزان در نقشه توپوگرافی

تهیه و ترسیم منحنی میزان در نقشه های توپوگرافی به سه روش قابل انجام است :

- ۱- روش مستقیم : در این روش خطوط منحنی میزان مستقیماً روی زمین تعیین شده و بعد روی نقشه منتقل می شود که این روش معمول نبوده و خارج از بحث این کتاب است.
- ۲- روش شبکه بندی : در این روش زمین را بر حسب شیب آن به سلول های مربع یا مستطیل شکل تقسیم نموده و ارتفاع رؤس آنها را برداشت می نماییم. پس از انتقال نقاط روی کاغذ، منحنی میزان ها را از طریق درونیایی تعیین و ترسیم می کنیم. جزئیات این روش در ادامه این فصل تشریح خواهد شد.
- ۳- روش برداشت نقاط نامنظم : در این روش همزمان با عملیات برداشت سه بعدی عوارض مسطحاتی، نقاطی اضافه برای نمایش توپوگرافی زمین برداشت می شود. سپس از طریق کلیه نقاط سه بعدی که برخلاف روش دوم دارای موقعیت نامنظمی هستند منحنی میزان ها محاسبه و ترسیم می شوند. جزئیات این روش را در فصل ۶ خواهید آموخت.

تهیه و ترسیم منحنی میزان به روش شبکه بندی دارای مراحل زیر می باشد :

۱- برداشت ارتفاعات

۲- درونیایی

۳- ترسیم منحنی میزان ها

### بیشتر بدانیم

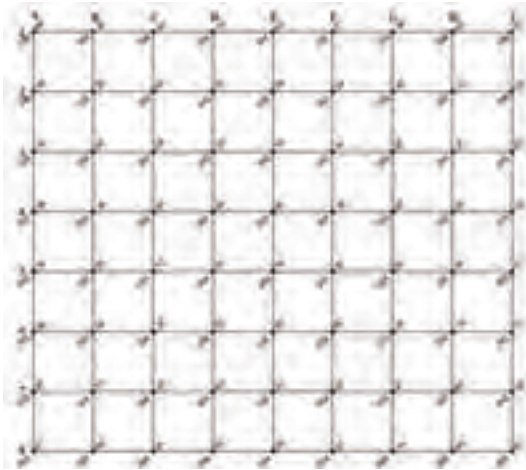


آیامی دانستید که یکی از نوآوری های ابوریحان بیرونی دانشمند نامدار ایرانی این بود که برای نشان دادن ناهمواری ها و موقعیت های جغرافیائی زمین، جامع تر از پیشینیان خود به استفاده از رنگ های گوناگون اشاره کرده است.



## ۱- برداشت ارتفاعات

برای برداشت ارتفاعات ابتدا باید محدوده مورد نظر در روی زمین را شبکه بندی نمود. روش



انجام شبکه بندی را در قسمت تسطیح اراضی فرا گرفتیم. در مرحله بعد مطابق با آنچه در این قسمت ذکر شد روی رئوس شبکه، عملیات تراز یابی را انجام داده و ارتفاع رئوس شبکه را با محاسبات جداول تراز یابی به دست می آوریم. در انتها نقشه ای از شبکه را در مقیاس مناسب ترسیم نموده و ارتفاع نقاط را مطابق شکل (۱-۱۸) در کنار رئوس شبکه ثبت می نماییم.

شکل ۱-۱۸ - برداشت شبکه ارتفاعات

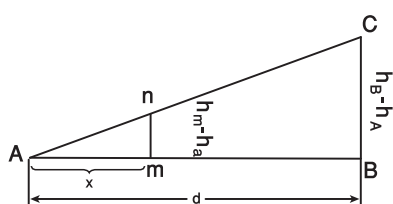
## ۲- درون یابی (واسطه یابی یا انتریولاسیون)

درون یابی یا انتریولاسیون عبارت است از محاسبه ارتفاع مجهول نقاط مورد نظر از روی ارتفاع معلوم نقاط همسایه آنها. روش های گرافیکی و محاسباتی دو روش از روش های درون یابی می باشند که در این قسمت به شرح آنها می پردازیم:

**درون یابی گرافیکی (تقریبی):** پس از ترسیم شبکه با مقیاس مورد نظر بر روی کاغذ و نوشتن ارتفاع رئوس شبکه می توانیم روی هر ضلع به صورت تقریبی محل ارتفاعات گرد شده را ما بین دو ارتفاع رئوس شبکه حدس بزنیم. به این صورت که دو عدد ارتفاع روی دو رأس هر ضلع را در نظر گرفته و اعداد گرد شده یا مضربی از متر را روی این ضلع جدا می کنیم. سپس عددهای هم ارتفاع را روی اضلاع هر سلول مربع شکل به هم وصل کرده تا خطوط منحنی میزان به دست آید.

در هنگام ترسیم باید دقت شود که هیچ منحنی میزانی در متن نقشه بلا تکلیف ننماید. به عبارتی دیگر راه عبور منحنی میزان بسته نباشد و حتماً اگر از نقطه ای در متن نقشه شروع شود، یا به همان نقطه برگردد و یا به مسیر خود ادامه داده تا از متن نقشه خارج شده و به نقشه کناری برود. هیچ منحنی میزانی منحنی میزان دیگر را قطع نمی کند. اگر یکی از این موارد رخ داد معلوم می شود عدد ارتفاعی روی رأس آن ضلع یا اشتباه وارد محاسبات شده و یا ارتفاع درون یابی به صورت نادرست محاسبه گردیده است.





شکل ۱-۱۹ - درون یابی محاسباتی

درون یابی محاسباتی : فرض می کنیم روی امتداد AB و بین این دو نقطه شیب زمین یکنواخت باشد :

ارتفاع نقاط A و B را به ترتیب  $h_A$  و  $h_B$  و فاصله بین این دو نقطه را بر روی نقشه d فرض می کنیم. (این مقدار همان طول ضلع شبکه موجود روی زمین است.) اگر نقطه ای روی خط AB و واقع بین A و B بوده و ارتفاعش عدد صحیحی باشد مطابق شکل بالا با توجه به تشابه دو مثلث ABC و Amn می توانیم بنویسیم :

### بیشتر بدانیم



تصویری ماهواره ای از پستی و بلندی های زمین (رشته کوه البرز)

$$\frac{mn}{BC} = \frac{m_A}{AB}$$

$$AB = d, mn = h_m - h_A, BC = h_B - h_A$$

$$\frac{h_m - h_A}{h_B - h_A} = \frac{m_A}{AB} \rightarrow m_A = \frac{(h_m - h_A) \times AB}{(h_B - h_A)}$$

در این رابطه  $m_A$  فاصله m از A (نقطه ای که ارتفاع کمتر دارد) است و می توان آن را به کمک

یک اِشِل یا خط کش با توجه به مقیاس بر روی نقشه اندازه گرفت و همچنین ارتفاعات را نیز می توان از روی نقشه استخراج کرد. این کار را می توان برای تمام نقاط مجاور تکرار نمود. و نقاطی را که ارتفاعشان مضرب صحیح از فاصله ارتفاعی است به دست آورد.

به طور کلی می توان نوشت :

$$(\text{اختلاف ارتفاع دو نقطه}) / (\text{اختلاف ارتفاع نقطه پایین تر با ارتفاع منحنی}) \times \text{فاصله دو نقطه} = \text{فاصله منحنی از نقطه ارتفاع پایین تر}$$

به عنوان مثال فرض می کنیم ارتفاع نقاط B و A (در شکل ۱-۱۶) به ترتیب ۹۰/۴۸ و ۸۸/۲۰ متر و فاصله بین این دو نقطه در روی زمین ۲۰ متر است اگر بخواهیم نقطه ای با ارتفاع ۹۰ متر را در این فاصله بیابیم با روش آنتریوله به صورت زیر عمل می کنیم :

$$x = \frac{\Delta h_{Ax} \times d_{AB}}{\Delta h_{AB}}$$

$$\Delta h_{AB} = 90.48 - 88.20 = 2.28$$

$$\Delta h_{AX} = 90 - 88.20 = 1.8$$

$$d_{AB} = 20\text{m}$$

$$x = \frac{1.8 \times 20}{2.28} \rightarrow x = 15.79\text{m}$$

مقدار به دست آمده برای x ، روی زمین است که با توجه به مقیاس نقشه آن طول را تبدیل به مقیاس کرده و بر روی کاغذ بین دو نقطه AB (از نقطه ای که ارتفاع کمتری دارد یعنی نقطه A) جدا می کنیم.

### ۳- ترسیم و کارتوگرافی

جزئیات روش ترسیم و کارتوگرافی منحنی میزان را در کتاب کارگاه محاسبه و ترسیم (۲) خواهید آموخت.

## خلاصه فصل

● ارتفاع یک نقطه عبارت است از فاصله قائم نقطه از سطح مبنای ارتفاعات (سطحی که ارتفاع نقاط مختلف را نسبت به آن می‌سنجند).

● توسط سازمان نقشه برداری تعدادی نقطه در سراسر کشور ایجاد شده و ارتفاع آنها از ژئوئید به دست آمده است تا در موقع لزوم بتوان با استفاده از این نقاط ارتفاع سایر نقاط اطراف آن را توسط عملیات ترازیابی هندسی تعیین نمود. به این نقاط که در نقشه برداری زمینی فرض می‌شود ارتفاع آنها از قبل معلوم است، در اصطلاح نقاط بنچ‌مارک می‌گویند.

● اغلب مواقع به علت شیب زیاد بین نقاط و یا فاصله زیاد و یا وجود موانع دید، باید ترازیابی را در چند دهنه انجام داد که این شیوه را ترازیابی تدریجی می‌نامند.  
ارتفاع معلوم نقطه آخر - ارتفاع به دست آمده برای نقطه آخر = خطای بست ترازیابی

$$e_L = h' - h$$

● مقدار مجاز خطای بست ترازیابی از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$e_{\max} = \pm 12\sqrt{k}$$

● مقدار تصحیح از رابطه زیر به دست می‌آید :

$$C = \frac{-e_L}{n}$$

● اگر بر یک امتداد مستقیم مشخص روی زمین، صفحه قائم فرضی عبور داده شود (به عبارت دیگر در امتداد مورد نظر بُرش فرضی به زمین داده شود) از برخورد این صفحه فرضی با سطح طبیعی زمین، خطوط شکسته‌ای حاصل می‌شود. چنانچه این خطوط شکسته را در مقیاس مشخصی ترسیم نماییم، نقشه حاصل را پروفیل (مقطع یا نیمرخ) می‌گویند.

● به طور کلی در نقشه برداری با دو نوع پروفیل سروکار داریم :

۱. پروفیل طولی (Longitudinal Profile)

۲. پروفیل عرضی (Cross Section)

● مراحل تهیه پروفیل طولی به روش مستقیم و طراحی خط پروژه عبارتند از :

۱- طراحی پلان مسیر ۲- پیاده سازی مسیر ۳- ترازبایی مسیر ۴- محاسبات پروفیل طولی ۵- ترسیم پروفیل طولی ۶- طراحی خط پروژه ۷- پیاده سازی و کنترل.

● به طور کلی تسطیح را می‌توان در چند مرحله زیر خلاصه کرد :

۱- شبکه بندی ۲- ترازبایی و محاسبات ۳- ترسیم شبکه ۴- طراحی و محاسبات تسطیح ۵- اجرای طرح و کنترل آن.

● از جمله کارهایی که در مرحله طراحی تسطیح انجام می‌شود، می‌توان موارد زیر را نام برد :

۱- محاسبه بهترین شیب برای زمین در جهت‌های مختلف.

۲- محاسبه ارتفاع نقاط شبکه بعد از تسطیح و همچنین محاسبه عمق‌های خاکبرداری و خاکریزی.

۳- محاسبه حجم‌های خاکبرداری و خاکریزی برای بررسی اقتصادی طرح، عقد قرارداد و انتخاب ماشین‌آلات مناسب.

۴- تهیه نقشه اجرایی تسطیح.

● هرگاه تعدادی نقطه با ارتفاع یکسان در روی زمین را به هم وصل کنند، خطوط کم و بیش منحنی شکلی بدست می‌آید که آن خطوط را منحنی میزان می‌نامند.

● به نقشه‌هایی که علاوه بر شکل و موقعیت عوارض مسطحاتی زمین، وضع ارتفاعی آن‌را نیز معمولاً بصورت منحنی میزان‌ها و نقاط ارتفاعی نمایش می‌دهند، نقشه‌های توپوگرافی می‌گویند.

● در برداشت نقاط برای تهیه نقشه توپوگرافی قواعد زیر را رعایت می‌نمایند :

۱- برداشت نقاط در محل شکستگی‌های ارتفاعی مانند نوک قله و کف دره.

۲- برداشت نقاط در بالا، میانه و پایین شیب‌ها.

۳- برداشت نقاط و تعیین مسیر شکستگی‌ها (مانند ترائشه)، خط القعرها (مانند محور آبریز) و خط الرأس‌ها (تیغه رشته کوه).

۴- تراکم نقاط برداشتی حداقل دو سانتی متر در مقیاس نقشه.

۵- رعایت حد مجاز خطای ارتفاعی برای نقاط برداشت شده که براساس آن

حداکثر خطای ارتفاعی نقاط برداشت شده نباید از نصف فاصله ارتفاعی منحنی میزان بیشتر شود.

● تهیه و ترسیم منحنی میزان در نقشه‌های توپوگرافی به سه روش قابل انجام است :

۱- روش مستقیم

۲- روش شبکه بندی

۳- روش برداشت نقاط نامنظم

● تهیه و ترسیم منحنی میزان به روش شبکه بندی دارای مراحل زیر می باشد :

۱- برداشت ارتفاعات ۲- درون یابی ۳- ترسیم منحنی میزان ها

## خودآزمایی

### سؤالات تشریحی

- ۱- نحوه محاسبات مربوط به جدول ترازبانی هندسی را توضیح دهید.
- ۲- مقطع یا پروفیل را بیان کنید.
- ۳- انواع مقطع در نقشه برداری را توضیح دهید.
- ۴- مراحل کار تهیه پروفیل، طراحی و پیاده سازی مسیر را بیان کنید.
- ۵- خط پروژه را تعریف کنید.
- ۶- مراحل مختلف تسطیح یک زمین را بیان کنید.
- ۷- نحوه محاسبه حجم عملیات خاکی را توضیح دهید.
- ۸- منحنی میزان را تعریف کنید.
- ۹- فاصله ارتفاعی را تعریف کنید.
- ۱۰- نقشه توپوگرافی را تعریف نمایید.
- ۱۱- روش های مختلف تهیه و ترسیم منحنی میزان در نقشه های توپوگرافی را بیان کنید.
- ۱۲- مراحل تهیه و ترسیم منحنی میزان به روش شبکه بندی را بیان کنید.
- ۱۳- درون یابی یا انترپولاسیون را تعریف کنید.

### سؤالات چهارگزینه ای

(الف) با توجه به جدول به سؤالات ۱۴ تا ۱۸ پاسخ دهید.

شماره نقاط	B.S	I.S	F.S	$\Delta H$	H به واحد متر	C	Hc
A	۳۵۲۲				۱۰۰		
B	۳۳۴۸		۲۰۳۸				?
C		۰۰۵۴		?		?	
D			?	۳۱۰۸	?	۲	

۱۴- قرائت جلوی نقطه D کدام گزینه است؟

۲۴۲(۴)

۲۴۱(۳)

۲۴۰(۲)

۲۳۹(۱)

۱۵- اختلاف ارتفاع در نقطه C کدام گزینه است؟

- ۳۲۸۸ (۱)      ۳۲۹۰ (۲)      ۳۲۹۲ (۳)      ۳۲۹۴ (۴)

۱۶- ارتفاع نقطه D کدام گزینه است؟

- ۱۰۴/۵۹۲ (۱)      ۱۰۴/۵۹۴ (۲)      ۱۰۴/۵۹۶ (۳)      ۱۰۴/۵۹۸ (۴)

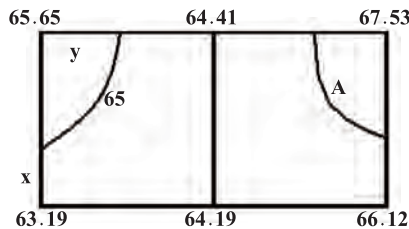
۱۷- میزان تصحیح در نقطه C کدام گزینه است؟ (میلی متر)

- ۰ (۱)      ۱ (۲)      ۲ (۳)      ۴ (۴)

۱۸- ارتفاع تصحیح شده نقطه B کدام گزینه است؟

- ۱۰۱/۴۸۴ (۱)      ۱۰۱/۴۸۲ (۲)      ۱۰۱/۴۸۵ (۳)      ۱۰۱/۴۸۶ (۴)

(ب) باتوجه به شبکه بندی ۵ متری زیر به سؤالات ۱۹ تا ۲۱ پاسخ دهید.



۱۹- مقدار x کدام گزینه است؟

- ۳۶/۷۹ (۱)      ۱۳/۲۱ (۲)      ۳۸/۹۰ (۳)      ۱۱/۱۰ (۴)

۲۰- مقدار y کدام گزینه است؟

- ۲۳/۷۹ (۱)      ۲۶/۲۱ (۲)      ۲۴/۳۰ (۳)      ۲۵/۷۰ (۴)

۲۱- منحنی میزانی که از نقطه A می‌گذرد کدام گزینه است؟

- ۶۴ (۱)      ۶۵ (۲)      ۶۶ (۳)      ۶۷ (۴)

۲۲- اگر درصد شیب بین دو منحنی میزان ۱۰ درصد و فاصله بین آنها ۵ متر باشد، اختلاف

ارتفاع بین دو منحنی چند متر است؟

- ۰/۵ (۱)      ۵ (۲)      ۲ (۳)      ۰/۲ (۴)

# سؤال جورکردنی

۲۳ - تصاویر سمت راست را با منحنی میزان‌های سمت چپ جور کنید.

