فصل
اول

کاربردهای ترازیابی

تسطیح اراضی

هدف‌های رفتاری

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

۱ــ نحوهٔ محاسبات مربوط به جدول ترازیابی هندسی را توضیح دهد.

۲ــ مفهوم و هدف از تهیهٔ مقطع یا پروفیل را بیان کند.

۳ــ انواع مقطع در نقشه‌برداری را نام برده و هریک را توضیح دهد.

۴ــ مراحل کار تهیهٔ پروفیل، طراحی و پیاده سازی مسیر را بیان کند.

۵ــ خطِ پروژه را تعریف کند.

۶ــ مراحل مختلف تسطیح یک زمین را بیان کند.

۷ــ نحوهٔ محاسبهٔ حجم عملیات خاکی را توضیح دهد.

۸ــ منحنی میزان را تعریف کند.

۹ــ فواصل ارتفاعی را تعریف کرده و رابطه آن با توپوگرافی زمین را بیان کند.

۱۰ــ نقشهٔ توپوگرافی را تعریف نماید.

۱۱ــ روش‌های مختلف تهیه و ترسیم منحنی میزان در نقشه‌های توپوگرافی را بیان کند.

۱۲ــ مراحل تهیه و ترسیم منحنی میزان به روش شبکه‌بندی را بیان کند.

۱۳ــ درونیابی یا انترپولاسیون را تعریف کند.

مطالب پیش نیاز

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

۱ــ آشنایی با فصول ۹ تا ۱۳ کتاب «مسّاحی»

۲ــ آشنایی با فصل ۵ کتاب «هندسه (نقشه‌برداری)» مبحث سیستم مختصات قائم‌الزاویهٔ دوبعدی

کاربرد ترازیابی

مقدمه

تغییر در وضعیت پستی و بلندی‌های زمین (توپوگرافی) و مناسب نمودن آن برای اجرای پروژه‌های مختلف عمرانی در اغلب موارد امری الزامی است. در این میان شناخت و آگاهی از وضعیت ارتفاعی زمین در طراحی پروژه‌های خطی (که در امتداد یک خط طراحی و اجرا می‌شوند) از قبیل بزرگراه‌ها، خطوط راه آهن و مترو، خطوط انتقال نیرو و همچنین پروژه‌هایی مثل شهرسازی، کشاورزی، دریاچه‌های ذخیرهٔ 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 هزینه‌ها امکان‌پذیر نمی‌باشد. در این میان ترازیابی هندسی (مستقیم) به عنوان یکی از روش‌های دقیق و متداول در تعیین و کنترل ارتفاع نقاط کاربرد پیدا می‌کند. در این فصل، بعد از یادآوری کوتاهی از ترازیابی هندسی، برخی از کاربردهای ترازیابی هندسی در طراحی و اجرای پروژه‌های عمرانی را شرح می‌دهیم.

مفاهیم کلیدی

ترازیابی هندسی
Geometry Levelling

مقطع
Section

مقطع طولی
Longitudinal Profile

مقطع عرضی
Cross Section

خط پروژه
Final Ground

خاکریزی
Fill

خاکبرداری
Cut

منحنی‌تراز
Contour

فاصلهٔ ارتفاعی منحنی‌تراز
Contour Interval

درون‌یابی
Interpolation

تسطیح
Land levelling & Grading

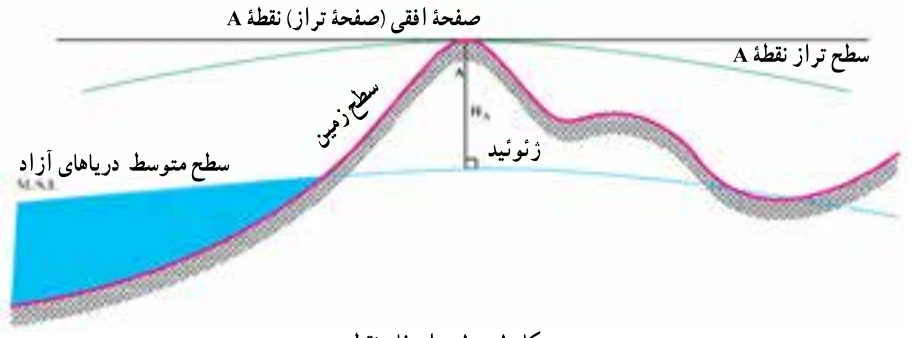
بیشتر بدانیم

«تراز» در لغت نامهٔ دهخدا : اسبابی است که به‌وسیلهٔ آن سطوح افقی را می‌توان تشخیص داد، برای تعیین اختلاف ارتفاع دو نقطه نیزبه‌کار می‌رود. از اقسام آن تراز آبی ، تراز هوائی و تراز بنائی است.

۱ــ۱ــ یادآوری

ارتفاع نقطه (Point Elevation)

همان‌طور که در کتاب مسّاحی سالِ قبل آموختید، ارتفاع یک نقطه عبارت است از فاصلهٔ 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 دریاهای آزاد) باشد، ارتفاع نقطه، مطلق و در صورتی که سطح مبنای دیگری باشد، ارتفاعِ نقطه، نسبی است.



شکل ۱ ــ ۱ ــ ارتفاع نقطه

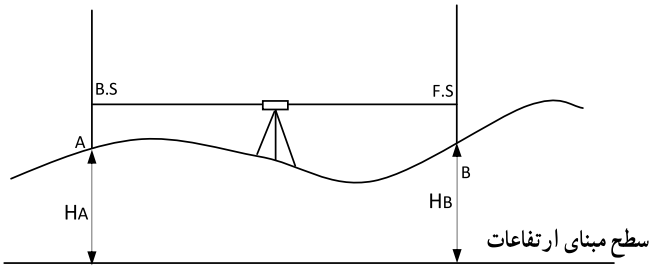
نقاط بنچ مارک (BenchMark)

شکل ۱ ــ ۲ ــ نقطه (بنچ مارک)

برای به‌دست آوردن ارتفاع مطلق نقاط باید اختلافِ ارتفاع آنها را از سطح متوسط آب دریاهای 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 ترازیابی 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 ۴ــ۵ فصل چهارم)

ترازیابی هندسی (Geometric Levelling)

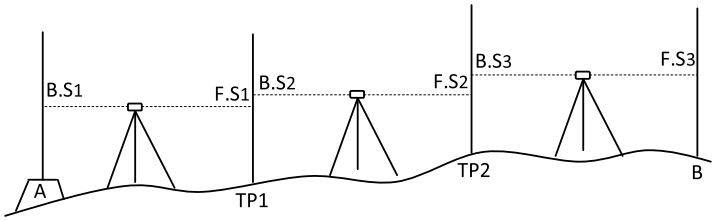
در شکل زیر یک ترازیابی ساده را مشاهده می‌کنید که در آن ارتفاع نقطهٔ A از قبل معلوم می‌باشد و با انجام این ترازیابی ساده و محاسبات آن اختلافِ ارتفاع بین دو نقطه و همچنین ارتفاع نقطهٔ B به‌دست می آید.



$$HB + F.S = HA + B.S$$
$$HB - HA = B.S - F.S$$
$$\Delta HAB = B.S - F.S$$
$$HB = HA + \Delta HAB$$

شکل ۱ــ ۳ ــ ترازیابی هندسی

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



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

شکل ۱ ــ ۴ ــ ترازیابی تدریجی

بیشتر بدانیم

ارتفاع ژئودتیک : حاصل از GPS

ارتفاع ارتومتریک : حاصل از ترازیابی

ارتفاع ژئوئید : حاصل از ثقل سنجی

$$N = h - H$$

h = ارتفاع ژئودتیک H = ارتفاع ارتومتریک

N = ارتفاع ژئوئید

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

ارتفاع معلوم نقطهٔ آخر – ارتفاع به‌دست آمده برای نقطهٔ آخر = خطای بست ترازیابی

چنانچه خطای ترازیابی درمحدودهٔ مجاز باشد می‌توان آن‌را بین دهنه‌ها سرشکن کرد و در این‌حالت ترازیابی قابل قبول می‌باشد. محدودهٔ مجاز خطای ترازیابی درجهٔ ۳ برحسب میلی‌متر از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

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

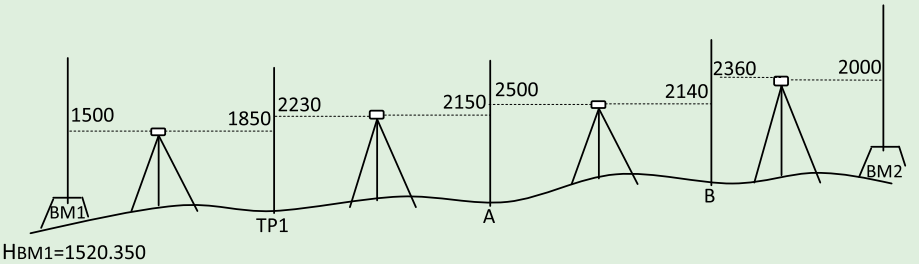
که در آن k طول مسیر ترازیابی بر حسب کیلومتر می‌باشد. مقدار تصحیح برای دهنهٔ اول ترازیابی از رابطهٔ $C = \frac{-e_L}{n}$ قابل محاسبه است که در آن n تعداد دهنه‌ها می‌باشد.

مثال ۱ــ۱ : ترازیابی تدریجی

شکل زیر یک ترازیابی 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 ترازیابی وارد نموده و ارتفاع نقاط را محاسبه نمایید.

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



HBM1=1520.350

HBM2=1520.808

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 می کنیم.

P.N شماره نقاط	B.S قرائت عقب	F.S قرائت جلو	ΔH(mm) اختلاف ارتفاع	H(m) ارتفاع	C(mm) تصحیح	Hc(m) 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 می کنیم و پس از آن ارتفاع نقاط را بدست آورده و در ستون ارتفاع وارد می کنیم :

$$\Delta H = B\ S - F\ S$$
$$H_{(\text{نقطه بعد})} = H_{(\text{نقطه قبل})} + \Delta H$$

با کمی دقت می بینیم که ترازیابی از یک بنچ مارک شروع شده و به بنچ مارکی 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 نقطهٔ آخر= خطای بست ترازیابی

$$e_L \quad h' \quad h$$

بعد از محاسبهٔ 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 :

$$e_{max} = \pm ۱۲\sqrt{k}$$

و درصورتی‌که خطای بست ترازیابی در محدودهٔ مجاز آن قرار دارد آن را تصحیح می‌کنیم، مقدار تصحیح از رابطه زیر بدست می آید :

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

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

$$C_1 = 0$$

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

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

.....

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

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

روش حل : الف)

$\Delta H\ BM1 - TP1 = 1500 - 1850 = -350$

$\Delta H\ TP1 - A = 2230 - 2150 = 80$

$\Delta H\ A - B = 2500 - 2140 = 360$

$\Delta H\ B - BM2 = 2360 - 2000 = 360$

$\Rightarrow$

$H\ TP_1 = 1520.350 + (-0.350) = 1520$

$H\ A = 1520 + 0.080 = 1520.080$

$H\ B = 1520.080 + 0.360 = 1520.440$

$H\ BM_2 = 1520.440 + 0.360 = 1520.800$

$\Downarrow$

P.N شماره نقاط	B.S قرائت عقب	F.S قرائت جلو	ΔH(mm) اختلاف ارتفاع	H(m) ارتفاع	C(mm) تصحیح	Hc(m) ارتفاع تصحیح شده
BM_1	1500			1520.350		1520.350
TP_1	2230	1850	−350	1520		
A	2500	2150	80	1520.080		
B	2360	2140	360	1520.440		
BM_2		2000	360	1520.800		1520.808

ب)

$e_L = 1520.800 - 1520.808 = -0.008\ m = -8mm$

$c = -(-8)/4 = 2mm$

$c_1 = 0$

$c_2 = 2 \times 1 = +2mm$

$c_3 = 2 \times 2 = +4mm$

$c_4 = 2 \times 3 = +6mm$

$c_5 = 2 \times 4 = +8mm$

محاسبه شده ⇓

P.N شماره نقاط	B.S قرائت عقب	F.S قرائت جلو	ΔH(mm) اختلاف ارتفاع	H(m) ارتفاع	C(mm) تصحیح	Hc(m) ارتفاع تصحیح شده
BM_1	1500			1520.350	0	1520.350
TP_1	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_2		2000	360	1520.800	+8	1520.808
Σ						

بحث و بررسی : در قسمت الف در پایان محاسبات می‌توان برای کنترل درستی محاسبات مقدار اختلاف ارتفاع کل را از رابطه زیر به‌دست 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	ΔH(mm) اختلاف ارتفاع	H(m) ارتفاع	C(mm) تصحیح	Hc(m) ارتفاع تصحیح شده
BM_1	1500			1520.350	0	1520.350
TP_1	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_2		2000	360	1520.800	8	1520.808
Σ =	8590	8140	450			

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

۱ــ۲ــ پروفیل (Profile)

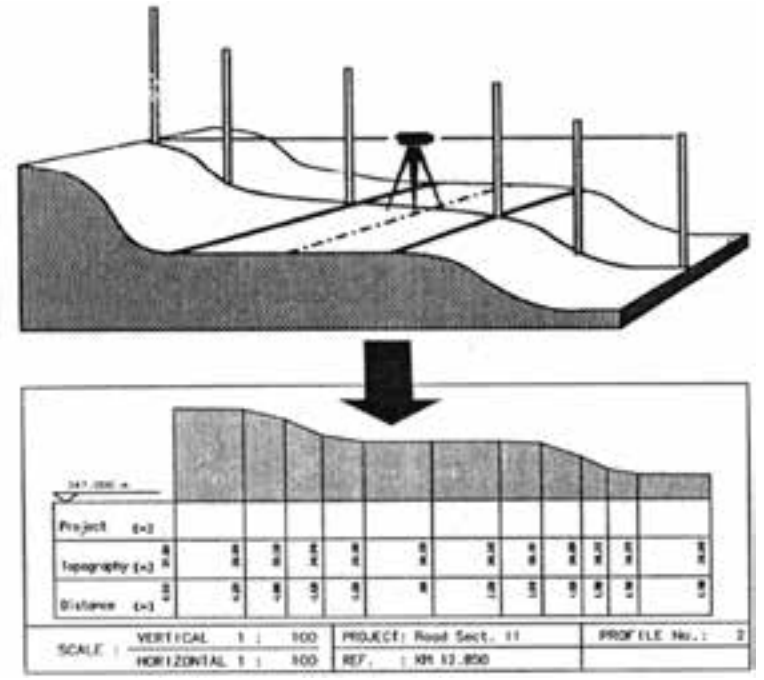
اگر بریک امتداد مستقیم مشخص روی زمین، صفحه قائم فرضی عبور داده شود (به عبارت دیگر در امتداد مورد نظر برشی فرضی به زمین داده شود) از برخورد این صفحه فرضی با سطح طبیعی زمین، خطوط شکسته‌ای حاصل می شود که چنانچه آن را در مقیاس مشخصی ترسیم نماییم نقشه حاصل را پروفیل (مقطع یا نیمرخ) می گویند.

در واقع هدف از تهیه پروفیل، نمایش پستی و بلندی ها 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 متداول ترین و دقیق‌ترین روش نمایش پستی و بلندی‌ها، نشان دادن ارتفاع نقاط است به گونه‌ای که عددی که برای ارتفاع هر نقطه از ترازیابی اندازه‌گیری شده است دقیقاً روی نقشه منتقل و نوشته شود.

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

۱ــ پروفیل طولی (Longitudinal Profile)

۲ــ پروفیل عرضی (Cross Section)



شکل ۱ــ ۵ــ پروفیل

اگر صفحهٔ 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 ایجادمی‌شود پروفیل طولی (مقطع طولی) گویند. توجه شود که در پروفیل طولی مسیر موردنظر الزاماً مستقیم نبوده و می‌تواند دارای شکستگی و انحنا باشد. در مقابل اگر در فواصل مشخصی از مسیر موردنظر، در عرض مسیر اقدام به تهیه پروفیل نماییم به آن پروفیلِ عرضی گویند. لازم به ذکر است که برای یک مسیر پروفیل‌های عرضی زیادی وجود دارد که معمولاً برش آنها در راستای مستقیم و در هر نقطه عمود بر مسیر می‌باشد.

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 می‌گویند.

پروفیل طولی را به دو روش مستقیم و غیرمستقیم می‌توان تهیه کرد. در روش مستقیم، پروفیل طولی از اندازه‌گیری مستقیم زمینی با انجام ترازیابی در طول مسیر موردنظر تهیه می‌شود. در روش غیرمستقیم، پروفیل طولی با استفاده از نقشهٔ توپوگرافی تهیه می‌شود. در ادامه، تهیهٔ پروفیل طولی

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

۱ــ طراحی پلان مسیر

۲ــ پیاده‌سازی مسیر

۳ــ ترازیابی مسیر

۴ــ محاسبات پروفیل طولی

۵ــ ترسیم پروفیل طولی

۶ــ طراحی خط پروژه

۷ــ پیاده‌سازی و کنترل.

بیشتر بدانیم

موارد استفاده از ترازیاب‌ها :

۱ــ اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع (دقت زیاد)

۲ــ اندازه‌گیری فاصله با ترازیاب (دقت کم)

۳ــ اندازه‌گیری زاویه افقی با ترازیاب (دقت کم)

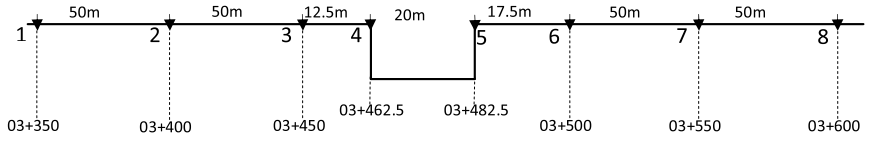
۱ــ طراحی پلان مسیر : در این مرحله، موقعیت مسطحاتی مسیر در چندین مرحله به‌صورت تقریبی تا کاملاً دقیق روی نقشه‌های پوششی کوچک تا بزرگ مقیاس طراحی می‌شود. در طراحی مسیر جنبه‌های مختلف شامل رعایت اصول مهندسی، ایمنی، هزینه ساخت‌وساز، محیط زیست، آمایش زمین و نظایر آن توسط مهندسین مشاور طراح مسیر بررسی می‌گردد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

۲ــ 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 (پیکه‌تاژ) تشریح می‌شود که در آن ابتدا نقاط شکستگی مسیر میخکوبی شده و سپس فواصل افقی بین میخ‌ها اندازه‌گیری و جدول

پیکه‌تاژ تنظیم می گردد.

مسیر موردنظر برای تهیه پروفیل طولی که ممکن است به شکل یک امتداد مستقیم و یا مجموعه‌ای از خطوط شکسته و یا منحنی باشد، ابتدا باید توسط عمل میخکوبی روی زمین مشخص شود. فاصلهٔ میخ‌ها 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 کوتاه‌تر انتخاب شوند.

علاوه بر میخکوبی نقاط در فواصل ثابت، باید نقاط تغییر شیب در طول مسیر، محل تقاطع وبرخورد مسیر با راه‌ها، کانال‌ها، رودخانه‌ها، جوی‌ها، نهرها و ... نیز میخکوبی شوند. به این نقاط در اصطلاح نقاط اجباری می گویند.



شکل ۱ ــ ۶ ــ پیکه‌تاژ مسیر

در حالت کلی کیلومتراژ هر میخ را با فرم ۰۰+۰۰۰/۰۰ نمایش می‌دهند. که دو رقم اول فاصله برحسب کیلومتر و ارقام بعدی مقدار باقیمانده فاصله بر حسب متر و سانتی‌متر می‌باشد. به عنوان مثال عدد۱۰۳۲۰/۴۷ متر را به شکل ۳۲۰/۴۷ نشان می‌دهند : یعنی ده کیلومتر و سیصد و بیست متر و چهل و هفت سانتی‌متر.

در حین میخکوبی نقاط مسیر موردنظر به جهت سادگی در ترسیم پروفیل سادگی در محاسبات و بالا رفتن سرعت کار، فاصلهٔ بین میخ‌ها را ثابت در نظر گرفته و سعی می‌شود که کیلومتراژ هر میخ مضربی از ده باشد.

فاصله افقی هر نقطه تا مبدأ را کیلومتراژ آن نقطه گویند.

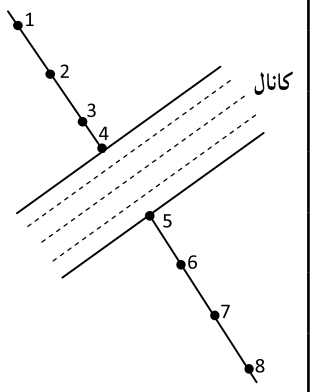
به عنوان مثال فرض کنید مطابق شکل (۱ــ۶) امتداد مستقیم AB را از میخ شماره یک با کیلومتراژ ۰۳+۳۵۰/۰۰ پیکه‌تاژ نموده و پس از کوبیدن دو میخ به فاصله ثابت ۵۰ متر به یک کانال رسیده‌ایم و میخ‌های شماره ۴ و ۵ را در لبه‌های کانال می کوبیم. پس از کوبیدن میخ‌ها در نقاط اجباری لبهٔ کانال، فاصله بین میخ شماره ۳ و ۴ را ۱۲/۵متر و بین میخ ۴ و ۵ را ۲۰ متر اندازه‌گیری می‌کنیم. بنابراین کیلومتراژ نقطه ۵ برابر۰۳+۴۸۲/۵۰ می‌گردد. از اینجا نتیجه می‌گیریم که میخ شماره ۶ را

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

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

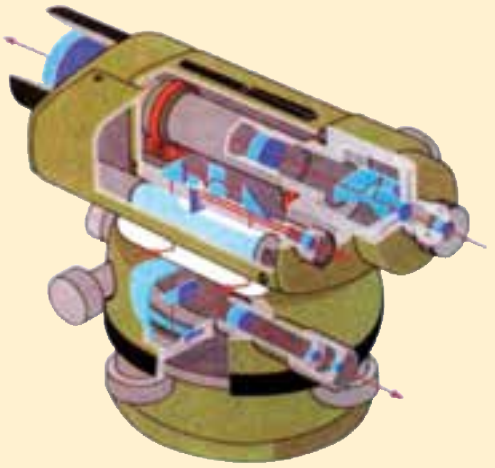
بعد از میخکوبی مسیر، فاصله بین میخ‌ها توسط متر دقیقاً اندازه‌گیری شده و در جدولی مطابق جدول ۱ــ۱ یادداشت می‌شود. همان‌طور که مشاهده می‌شود این جدول علاوه بر ستون شماره نقاط و فاصله بین میخ‌ها، شامل فاصله از نقطه شروع (کیلومتراژ) و کروکی نیز می‌باشد.

جدول ۱ــ۱ــ پیکه‌تاژ 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	

بیشتر بدانیم

قسمت‌های داخلی یک ترازیاب



۳ــ ترازیابی مسیر (پروفیل بَرداری) : بعد از تعیین موقعیت مسیر بر روی زمین، نوبت به ترازیابی در امتداد آن می‌رسد. در این بخش روش ترازیابی هندسی برای تعیین ارتفاع نقاط مشخص شده در طول مسیر تشریح می‌گردد که به آن پروفیل برداری نیز می‌گویند. ارتفاع کلیهٔ نقاط میخکوبی شده با استفاده از ترازیابی مستقیم و به شیوه تدریجی و یا ترکیبی از تدریجی و شعاعی به‌دست می‌آید. در هر حال ترازیابی باید به صورت رفت و برگشت بین نقاط بنچ مارک انجام پذیرد به عبارتی چنانچه در منطقه و یا در نزدیکی آن بنچ‌مارک موجود باشد بهتر است ترازیابی 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 ترازیابی به صورت رفت و برگشت انجام می‌شود. چنانچه مسیر طولانی باشد معمولاً بعد از هر دو کیلومتر، کار ترازیابی به صورت رفت و برگشت کنترل می‌شود.

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

در صفحه بعد یک نمونه جدول ترازیابی مخصوص برداشت پروفیل نشان داده شده است که درآن ستون‌هایی برای فاصله بین نقاط و کیلومتراژ نقاط در نظر گرفته شده و به روش ارتفاع‌دستگاه (ارتفاع خط دید دوربین) قابل حل می‌باشد. نحوه محاسبه جدول به روش ارتفاع‌دستگاه بیشتر در تهیه

و ترسیم پروفیل مورد استفاده قرار می‌گیرد که در قسمت بعد توضیح داده می‌شود.

جدول ۱ــ۲

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

۴ــ محاسبات پروفیل طولی: برای تهیه پروفیل طولی باید فاصله و ارتفاع نقاط ترازیابی در طول مسیر را به‌دست آورد. فاصله نقاط معمولاً از ابتدای مسیر محاسبه می‌شود که تحت عنوان «فاصله از مبدأ» بر حسب کیلومتر (کیلومتراژ) نشان داده می‌شود. برای تعیین ارتفاع نقاط، در این قسمت محاسبات ترازیابی هندسی به روش ارتفاع دستگاه (Height of Instrument) از طریق حل جدول ترازیابی تشریح می‌گردد.

به طورکلی برای حل جدول ترازیابی از دو روش می‌توان استفاده کرد ، روش اول روشی است که به آن روش اختلاف ارتفاع (فراز و نشیب) می‌گویند که قبلاً آن را در کتاب مسّاحی آموختید و روش دوم، روش ارتفاع دستگاه (ارتفاع خط دید دوربین) می‌باشد که در این قسمت در قالب یک مثال کاربردی به شرح آن می‌پردازیم.

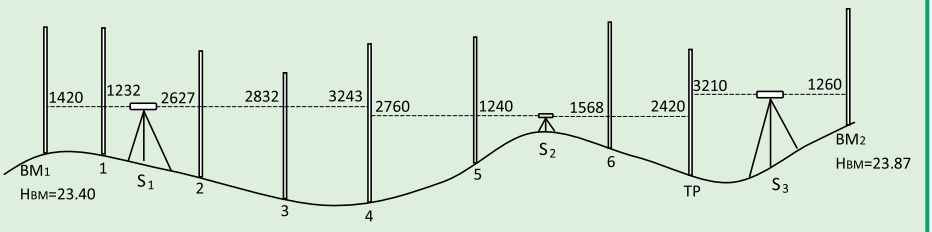
بیشتر بدانیم

بزرگراه‌های چند طبقه که بر اساس اندازه‌گیری‌های دقیق ترازیابی اجرا و کنترل شده‌اند.

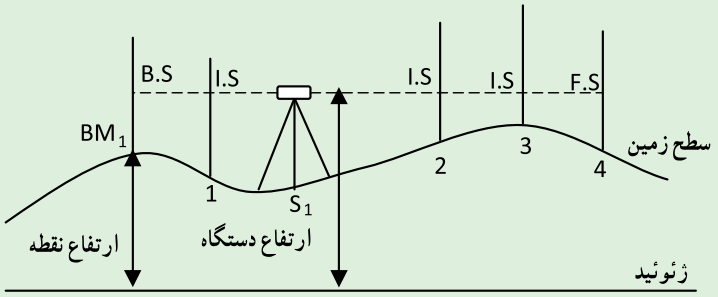
مثال ۱ــ۲ :

محاسبه جدول ترازیابی 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 ترازیابی ۶۰۰ متر و ترازیابی درجه ۳ می‌باشد)



راهکار کلی : در این روش مطابق شکل زیر با اضافه کردن قرائت عقب به ارتفاع نقطه، ارتفاع خط دید دوربین (ارتفاع دستگاه) به‌دست می‌آید، سپس از این ارتفاع (ارتفاع دستگاه)، قرائت جلو کم می‌گردد و عدد حاصل همان ارتفاع نقطه می‌باشد.



$$H\,I_1 = \text{(ارتفاع دستگاه)} = HBM + B.SBM$$

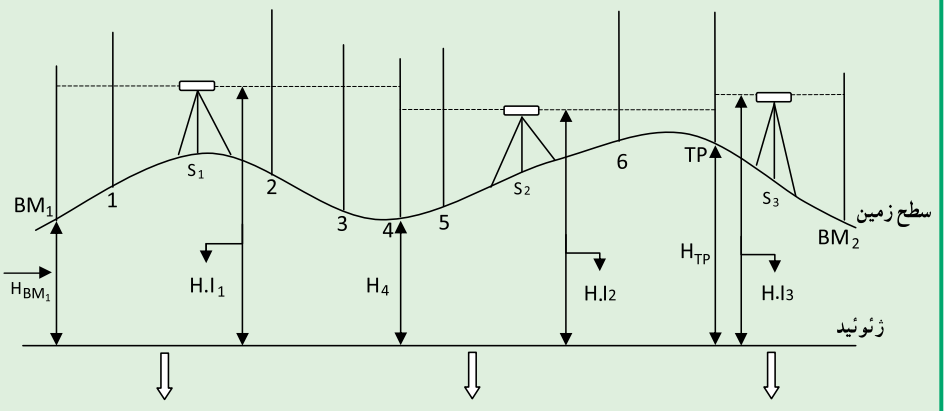
$$H_1 = H.I - I.S_1$$

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

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

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

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 به‌دست می‌آید. چنانچه برای ادامهٔ کار ترازیابی، 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 نقطهٔ آخر دهنهٔ قبل و قرائت عقب آن که در اینجا نقطه ۴ است، به‌دست آورده و ارتفاع سایر نقاط قرائت شده از این ایستگاه را محاسبه کنیم تا به (نقطه آخر دهنهٔ دوم نقطه TP) برسیم و به همین ترتیب برای ایستگاه سوم (S_3) کار را دنبال کنیم :



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

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_1	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_2			1260	25.127	23.867		23.870

محاسبهٔ 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 $H.I_2$ را از H_4 محاسبه می‌کنیم

$H.I_2 = 21.577 + 2.760 = 24.337$

$H_5 = 24.337 - 1.240 = 23.097$

$H_6 = 24.337 - 1.568 = 22.769$

$HTP = 24.337 - 2.420 = 21.917$

حال $H.I_3$ را از HTP محاسبه می‌کنیم

$H.I_3 = 21.917 + 3.210 = 25.127$

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

برای محاسبه خطای ترازیابی داریم(تکراری) :

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

یعنی : $e_L = 23.867 - 23.870 = -0.003\ m = -3mm$

و همچنین خطای مجاز ترازیابی درجه ۳ برابر است با :

$$e_{max} = ۱۲\sqrt{k}$$

$$e_{max} = ۱۲\sqrt{۰/۶۰۰} \approx ۹mm$$

پس خطای بست ترازیابی مجاز می‌باشد ومی‌توان آن‌را سرشکن کرد.

حال مقدار ثابت تصحیح را به‌دست می‌آوریم :

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

$$c = \frac{-(-۳)}{۳} = +۱mm$$

ارتفاع تصحیح شده نقاط را محاسبه کرده و جدول را کامل 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_1	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_2			1260	25.127	23.867	+3	23.870

بحث و بررسی : همان طور که در جدول ترازیابی بالا مشاهده می‌کنید نقاطی که در هر دهنه دارای قرائت میانی (I.S) می‌باشند، ارتفاع دستگاه برای آنها تغییری نمی‌کند چرا که همه آنها از یک دوربین با یک ارتفاع قرائت شده‌اند. همچنین مقدار تصحیح برای این نقاط نیز یکسان می‌باشد.

● قابل توجه است که در روش ترازیابی شعاعی برای سرشکنی (تعدیل) خطای ترازیابی بهتر است که خطای موجود را (در صورت مجاز بودن) بر روی قرائت‌های عقب توزیع نمود. یعنی می‌توان از همان ابتدا قبل از محاسبه ارتفاع نقاط، ابتدا خطای ترازیابی را محاسبه کرده، سپس مقدار ثابت تصحیح را به‌دست آورد و این مقدار ثابت را به قرائت‌های عقب اِعمال کرد. در این صورت ارتفاع محاسبه شده برای نقاط تصحیح شده می‌باشد و نیازی به تشکیل ستون تصحیح و ارتفاع تصحیح شده نیست.

۵ــ ترسیم پروفیل طولی : معمولاً پروفیل را بر روی کاغذ میلی‌متری رسم می‌کنند. برای رسم پروفیل طولی برروی کاغذ میلی‌متری 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 می‌گیریم. به دلیل اینکه تغییرات ارتفاع نقاط بسیار کمتر از تغییرات طولی (فاصله بین دو نقطه) می‌باشد، معمولاً مقیاس محور ارتفاع را ده برابر مقیاس محور طولی در نظر می‌گیرند 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 می‌شود.

پس از انتخاب مقیاس طولی و ارتفاعی، به جدول ارتفاعات مراجعه و کمترین عدد ارتفاعی را از داخل جدول استخراج می‌کنیم. سپس عدد گرد شده‌ای کمتر از این عدد مشخص کرده و به عنوان ارتفاع مبنا برای محور افقی (محور X) در نظر می‌گیریم. بنابراین با این کار تمام پروفیل طولی در بالای محور طول‌ها قرار گرفته و در هیچ نقطه‌ای این محور را قطع نمی‌کند. 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 خط‌های مستقیم به هم وصل می‌کنیم. نمودارحاصل، پروفیل طولی است.

مثال ۱ــ۳ : ترسیم پروفیل طولی

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

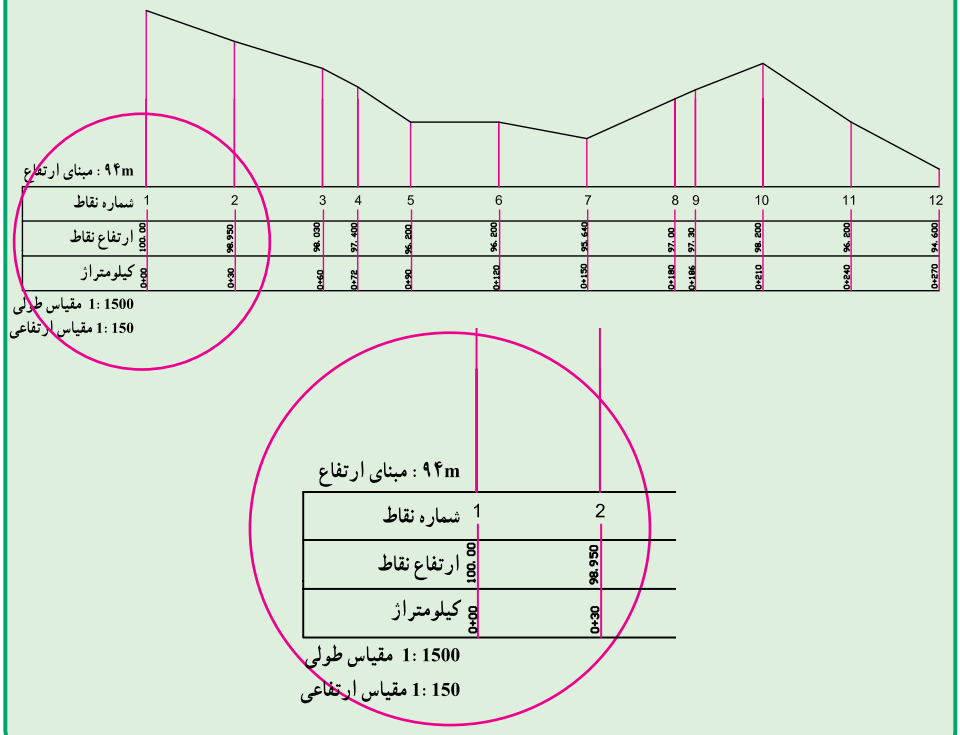
شماره میخ NO.P	فاصله بین دو میخ Di	فاصله از مبدأ km	ارتفاع نقاط H
1	30	00 + 000	100.000
2	30	+030	98.950
3	12	+060	98.030
4	18	+072	97.400
5	30	+090	96.200
6	30	+120	96.200
7	30	+150	95.640
8	7	+180	97.000
9	23	+187	97.300
10	30	+210	98.200
11	30	+240	96.200
12		00 + 270	94.600

راهکار کلی : با توجه به این‌که 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 می‌باشد باید مبدأ ارتفاع را عدد گرد شده‌ای (رُندی) کمتر از آن در نظر گرفت مثلاً ارتفاع ۹۴ متر را می‌توان 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 درنظر بگیرید. و همچنین محور طولی را برای حداقل فاصله ۲۷۰ متر از مبدأ در مقیاس ۱:۱۵۰۰ ترسیم کنید. سپس فاصله‌ها را در مقیاس ۱:۱۵۰۰ 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 می‌توانید از اِشِل (خط‌کش مقیاس) استفاده کنید. اکنون محل هر نقطه را روی صفحه کاغذ مشخص کرده و آنها را با خطوط مستقیم به هم وصل کنید.

برای استفادهٔ 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، کیلومتراژ، ارتفاع نقاط، شیب زمین و ... را مقابل هر نقطه می‌نویسند.

روش حل و ترسیم :



۶ــ 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 خطِ پروژه می‌گویند.

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

با توجه به محدودیت‌ها و رعایت اصول مهندسی باید شیب خطِ 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 خطِ پروژه را با رنگ قرمز ترسیم می‌کنند. و به آن خط قرمز نیز گفته می‌شود.

بیشتر بدانیم

۷ــ 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 به‌دست آورد ودر نهایت خط پروژه را روی زمین پیاده نمود.

مثال ۱ــ۴ : 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 خطِ 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 آن‌را برحسب درصد بیان می‌کنند.

$$P = (\Delta H / D_h) \quad \Rightarrow \quad P\% = (\Delta H / D_h) \times ۱۰۰$$

همان‌طور که در صورتِ 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 به‌دست آورد زیرا فاصله بین نقاط نیز معلوم است. به عبارتی داریم :

$$P\% = (\Delta H / D_h) \times ۱۰۰ \Rightarrow \Delta H = (D_h \times P\%) / ۱۰۰$$
$$Hpi = Hp۱ + \Delta H$$

در این رابطه Hpi همان ارتفاع پروژه در نقطه i ام می باشدکه برای هر نقطه با توجه به شیب خط پروژه و فاصله‌اش از مبدأ قابل محاسبه می‌باشد. حال با استفاده از این رابطه ارتفاع پروژه در میخ آخر را به‌دست می‌آوریم 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 می‌کنیم. حال که خط پروژه ترسیم شد، با معلوم بودن فاصله نقاط از نقطه اول و استفاده از رابطه بالا ارتفاع پروژه را برای همه میخ‌ها به‌دست می آوریم. ارتفاع زمین نیز برای همه میخ‌ها از قبل معلوم است پس اختلاف این دو مقدار همان عمق خاک را در محل میخ نشان می‌دهد.

روش حل :

ارتفاع پروژه در نقطه اول (H_{P1}) = 100.000 m
شیب درصد خط پروژه ($p\%$) = −2%
فاصله میخ اول و آخر (D_h) = 270 m

$\Rightarrow$

(اختلاف ارتفاع اول و آخر پروژه) = (270 × −2) ÷ 100 = −5.400m
Hp (ارتفاع پروژه در میخ آخر) = 100.000 + (−5.400) ΔH = 94.600m

$\Delta H_{1-2} = (30 \times -2) / 100 = -0.6$ m
Hp2 = 100 + (−0.6) = 99.400 m

$\Delta H_{1-3} = (60 \times -2) / 100 = -1.2$ m
Hp3 = 100 + (−1.2) = 98.800 m

$\Delta H_{1-4} = (72 \times -2) / 100 = -1.44$ m
Hp4 = 100 + (−1.44) = 98.560 m

$\Delta H_{1-5} = (90 \times -2) / 100 = -1.80$ m
Hp5 = 100 + (−1.80) = 98.200 m

$\Delta H_{1-6} = (120 \times -2) / 100 = -2.40$ m
Hp6 = 100 + (−2.40) = 97.600 m

$\Delta H_{1-7} = (150 \times -2) / 100 = -3.00$ m
Hp7 = 100 + (−3.00) = 97.000 m

$\Delta H_{1-8} = (180 \times -2) / 100 = -3.60$ m
Hp8 = 100 + (−3.60) = 96.400 m

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

Hp9 = 100 + (−3.74) = 96.260 m

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

Hp10 = 100 + (−4.20) = 95.800 m

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

Hp11 = 100 + (−4.80) = 95.00 m

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

Hp12 = 100 + (−5.40) = 94.600 m

ارتفاع پروژه − ارتفاع زمین = عمق خاک در هر میخ

عمق 1 = 100 − 100 = 0 m

عمق 2 = 98.950 − 99.400 = − 0.450 m

عمق 3 = 98.030 − 98.800 = − 0.770 m

عمق 4 = 97.400 − 98.560 = −1.160 m

عمق 5= 96.200 − 98.200 = −2.000 m

عمق 6= 96.200 − 97.600 = −1.400 m

عمق 7= 95.640 − 97.000 = −1.360 m

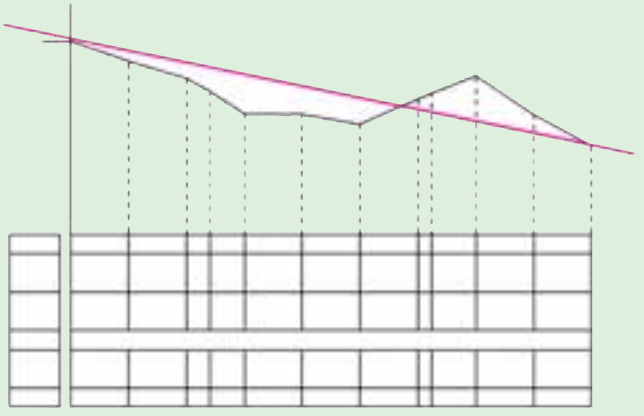
عمق 8= 97.000 − 96.400 = +0.600 m

عمق 9= 97.300 − 96.260 = +1.040 m

عمق 10= 98.200 − 95.800 = +2.400 m

عمق 11= 96.200 − 95.200 = +1 m

عمق 12= 94.600 − 94.600 = 0 m



بحث و بررسی : همان‌طوری که در صفحه قبل مشاهده می‌کنید عددی که برای عمق خاک به‌دست آمده در بعضی از نقاط مثبت و در بعضی منفی می‌باشد، می‌توان 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 می‌باشد نشان‌دهنده این است که باید در آن نقاط خاکبرداری کنیم تا به ارتفاع پروژه برسیم. طبیعتاً عدد صفر برای عمق خاک بدین معنی است که خطِ پروژه در این نقاط بر خط زمین منطبق می‌باشد و در این نقاط عملیات خاکی نداریم.

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

۱ــ۳ــ تسطیح اراضی(Land leveling & grading)

تغییر در وضعیت پستی و بلندی‌های زمین (توپوگرافی) و مناسب نمودن آن برای اجرای پروژه‌های مختلف عمرانی در اغلب موارد امری الزامی است. در کشاورزی ــ به خصوص در مواردی که آبیاری به روش سطحی انجام می‌شود ــ این تغییر از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. یک زمین با شکل مناسب نه تنها موجب گسترش یکنواخت آب و در نتیجه بالا بردن راندمان آبیاری می‌گردد، بلکه دیگر فعالیت‌های زراعی (کاشت، داشت و برداشت) را آسان می‌سازد.

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

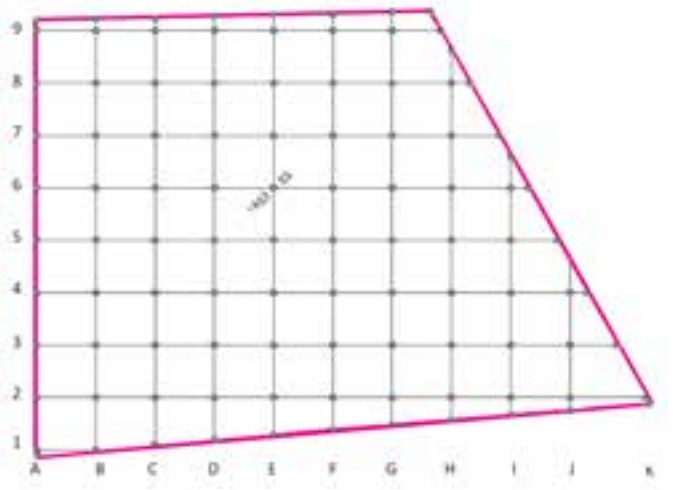
برای تسطیح ابتدا زمین مورد نظر شبکه‌بندی شده و ارتفاع نقاط شبکه به روش ترازیابی مستقیم و یا روش‌های دیگر به‌دست آورده می‌شود. پس از آن، طرح تسطیح توسط مهندسان مشاور طراحی می‌شود و سپس ارتفاع تک تک نقاط شبکه روی طرح محاسبه شده و با ارتفاع زمین موجود مقایسه می‌شود. به عبارتی عمق خاک در نقاط شبکه مشخص می‌شود و حجم عملیات خاکی (خاکبرداری و خاکریزی) محاسبه و هزینهٔ آن برآورد شده و در پایان، طرح به اجرا در می‌آید. پس به طورکلی تسطیح را می‌توان در چند مرحلهٔ زیر خلاصه کرد : ۱ــ شبکه‌بندی ۲ــ ترازیابی و محاسبات

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

۱ــ شبکه‌بندی : در این مرحله ابتدا سطح زمین به صورت اشکال هندسی قابل حل مانند مربع، مستطیل، مثلث و ذوزنقه تقسیم‌بندی شده و محل تقاطع اضلاع شبکه (نقاط گِرِهی) روی زمین علامت‌گذاری (میخکوبی) می‌شود. معمولاً اندازهٔ اضلاع شبکه تا حد ممکن نزدیک به هم انتخاب می‌شود. 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 سانتی‌متر در مقیاس نقشه در نظر می‌گیرند مثلاً اگر مقیاس نقشه شبکه‌بندی مورد نظر ۱ : ۵۰۰ باشد باید اضلاع شبکه را ۱۰ متری در نظر گرفت.

۲ــ ترازیابی و محاسبات : پس از مرحلهٔ شبکه‌بندی انجام ترازیابی مستقیم و به شیوه شعاعی ارتفاع نقاط شبکه محاسبه می‌شود.

۳ــ ترسیم شبکه :در ادامه مطابق شکل (۱ــ۷) شبکه مورد نظر را با توجه به مقیاس موردنظر روی کاغذ ترسیم کرده و ارتفاع نقاط روی آن نوشته می‌شود.



شکل ۱ ــ ۷ ــ شبکه ارتفاعی نقاط

بیشتر بدانیم

تسطیح کردن در لغت‌نامهٔ دهخدا :

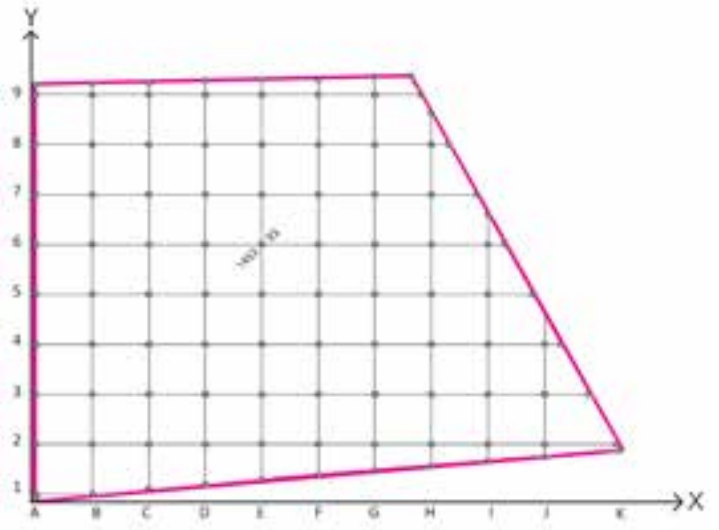
هموار کردن. یکسان کردن. صاف و مسطح کردن زمین و جز آن.

علم تسطیح کره ، دانستن چگونگی نقل کره است به سطح با حفظ خط‌ها و دایره‌ها که بر آن رسم شده است و چگونگی نقل این دایره‌ها از دایره به‌خط.

می‌توان با اختیار کردن یک سیستم مختصات سه‌بعدی برای قطعه زمینِ شبکه‌بندی شده، مختصات سه‌بعدی هر نقطه از رئوس این شبکه را در این سیستم مختصات به‌دست 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 ــ که عمود بر سطح زمین است ــ در نظر می‌گیرند.

به طور مثال در شکل صفحه بعد اگر ابعاد شبکه ۱۰ متری باشد، مختصات نقطهٔ E۶ برابر است با :

(۱۴۵۲/۲۳ و ۵۰ و ۴۰)



شکل ۱ ــ ۸ ــ شبکه ارتفاعی نقاط با مختصات

۴ــ 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 ــ که حتی در شرایط انجام صحیح کار هم بسیار بالاست ــ به میزان زیادی افزایش پیدا می‌کند.

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

۱ــ تسطیح با حداقلِ حجم خاکبرداری و خاکریزی انجام شود.

۲ــ 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 :

۱ــ محاسبه بهترین شیب برای زمین در جهت‌های مختلف.

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

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

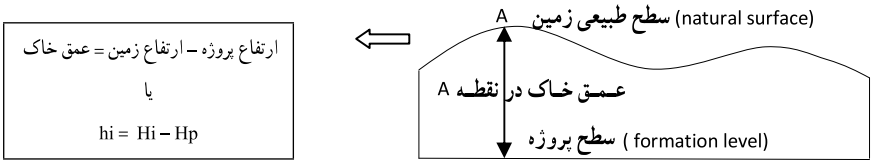
۴ــ تهیه نقشه اجرایی تسطیح.

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 ساده ای 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 به‌هم می‌رساند.



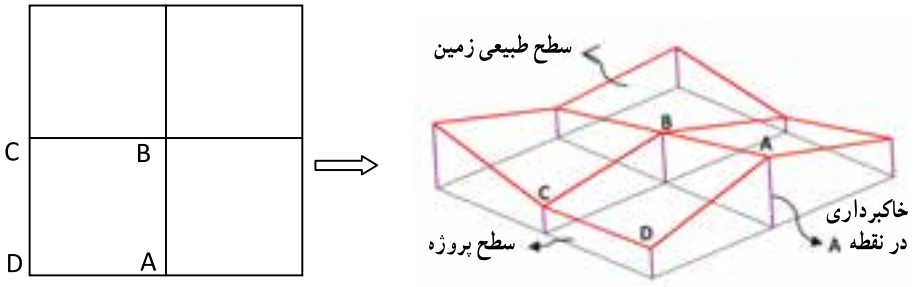
شکل ۱ ــ ۹

در صورتی‌که 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 گوشهٔ مربع‌های شبکه، حجم عملیات خاکی برای هر مربع با محاسبه مساحت آن مربع ضربدر میانگین عمق خاک در چهار گوشهٔ مربع به‌دست می‌آید :

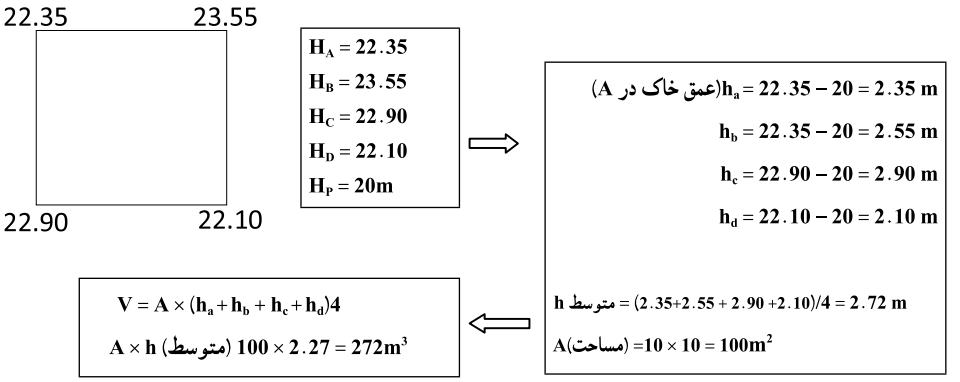
$$V_{abcd} = \frac{A \times (h_a + h_b + h_c + h_d)}{۴}$$

(منظور از V همان حجم است)

به طور مثال چنانچه ارتفاع گوشه‌های مربع ABCD به اضلاع ۱۰ متری مطابق شکل صفحه بعد بوده و ارتفاع سطح پروژه از قرار ۲۰ متر باشد، می‌توان حجم عملیات خاکی را محاسبه نمود.



شکل ۱ ــ ۱۰ ــ نمای سه بعدی از شبکه ارتفاعی نقاط



شکل ۱ ــ 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 ذوزنقه‌ای شکل باقی بماند باید حجم آنها را جداگانه محاسبه کرده و با حجم مربع‌ها جمع نمود.

برای ساده‌کردن محاسبه و جلوگیری از تکرار محاسبات می‌توان حجم قسمت‌های مربع شکل را از رابطهٔ صفحهٔ بعد به‌دست آورد :

بیشتر بدانیم

Surfer نرم‌افزاری است که برای ترسیم سطوح و نقشه‌های سه‌بعدی به‌کار می‌رود. این نرم‌افزار بسیار سریع داده‌های جغرافیایی را تبدیل به نقشه‌های توپوگرافی و ... می‌کند.

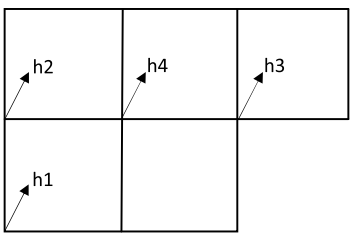
$$V = A \times 1/4 \left(\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 3\Sigma h_3 + 4\Sigma h_4 \right)$$

Σh_1 = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در یک مربع مشترک‌اند.

Σh_2 = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که دردو مربع مشترک‌اند.

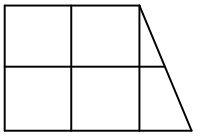
Σh_3 = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در سه مربع مشترک‌اند.

Σh_4 = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در چهار مربع مشترک‌اند.



شکل ۱ ــ ۱۲

و در صورتی که شکل زمین شبکه‌بندی شده ، علاوه بر مربع‌ها دارای اشکال مثلث و ذوزنقه‌ای نیز باشد، باید حجم این قسمت‌ها را جداگانه محاسبه کرده و با حاصلِ حجم مربع‌ها جمع نمود. به عبارتی حجم کل از رابطهٔ تعمیم یافتهٔ زیر قابل محاسبه می‌باشد :



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

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

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

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

Σh_1 = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در یک متر مربع مشترک‌اند.

Σh_2 = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در دو متر مربع مشترک‌اند.

Σh_3 = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در سه متر مربع مشترک‌اند.

Σh_4 = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در چهار متر مربع مشترک‌اند.

ΣR = مجموع حجم‌های اشکال مثلثی و ذوزنقه‌ای شکل

شکل ۱ ــ ۱۳

۵ــ اجرای طرح و کنترل آن: در این مرحله عمق خاک به‌دست آمده برای نقاط را تا حد سانتی‌متر 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، محدودهٔ خاکبرداری و خاکریزی مشخص می‌شود. در روی زمین نیز با علامت‌گذاری روی میخ‌ها، عمق خاکبرداری و خاکریزی مشخص می‌شود.

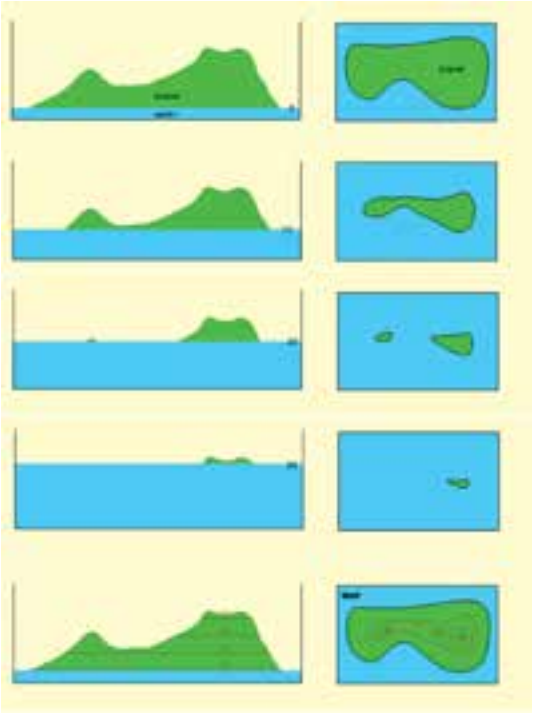
شکل ۱ ــ ۱۴ ــ اجرای تسطیح و کنترل حین اجرا

در حین اجرای تسطیح و عملیات خاکبرداری و خاکریزی، وظیفهٔ نقشه‌بردار کنترل ارتفاع منطقه با توجه به سطح پروژه و نقشهٔ اجرایی می‌باشد. این کار توسط ترازیابی مداوم از محل نقاط شبکه امکان پذیر است. شکل (۱ــ۱۴)

۱ــ۴ــ منحنی میزان

هرگاه تعدادی نقطه با ارتفاع یکسان در روی زمین را به هم وصل کنند، خطوط کم و بیش منحنی شکلی به‌دست می‌آید که آن خطوط را منحنی میزان می‌نامند. معمولاً این‌کار برای نقاط دارای ارتفاعِ عددِ صحیح (گرد شده یا رُند) انجام می‌گیرد. به عبارت دیگر مطابق شکل (۱ــ۱۵)

می‌توان گفت هر منحنی بستهٔ منحنی میزان عبارت‌است از فصل مشترکِ سطح زمین با یک صفحهٔ افقی دارای ارتفاعِ مشخص. این منحنی‌ها شکل زمین را ازنظر برجستگی و فرورفتگی مجسم می‌سازند.



شکل ۱ ــ ۱۵ ــ مفهوم منحنی میزان

بیشتر بدانیم

خط داغی آب

به نظر شما این خط نشان‌دهندهٔ چیست؟

خطوط منحنی میزان حاصل برخورد صفحات افقی فرضی با سطح زمین است. به فاصلهٔ صفحات افقی که زمین را قطع می‌کنند (که همان فاصلهٔ منحنی میزان‌ها نسبت به یکدیگرند) فاصله ارتفاعی می‌گویند.

هرچه فواصل ارتفاعی این صفحات فرضی کمتر باشد شکل زمین بهتر مجسم می‌گردد. به همین خاطر هرگاه بخواهند دقت نمایش ناهمواری‌های زمین را در نقشه‌ای زیاد کنند فواصلِ ارتفاعی را تا آنجا که امکان دارد کمتر درنظر می‌گیرند. تعیین مقدار فواصلِ ارتفاعی به شکل زمین از لحاظ شدت پستی و بلندی، دقت و روش نقشه‌برداری ارتفاعی، مقیاس و هدف نقشه مورد درخواست بستگی دارد. هرچه پستی و بلندی یا توپوگرافی زمین شدیدتر باشد به‌واسطهٔ محدودیت نمایش منحنی میزان‌ها و تراکم و تداخل آنها، فاصله فواصلِ ارتفاعی را بیشتر درنظر می‌گیرند. در مناطق مسطح مانند دشت و نقشه‌های بزرگ مقیاس معمولاً فاصلهٔ فواصلِ ارتفاعی را کوچک انتخاب می‌کنند. مثلاً در یک نقشه شهری بزرگ مقیاس (مقیاس ۱:۵۰۰ ، ۱:۱۰۰۰ یا ۱:۲۰۰۰) بسته به دقت ارتفاعی موردنیاز، معمولاً فواصلِ ارتفاعی را ۲۵ سانتی‌متر، ۰/۵ متر یا یک متر درنظر می‌گیرند.

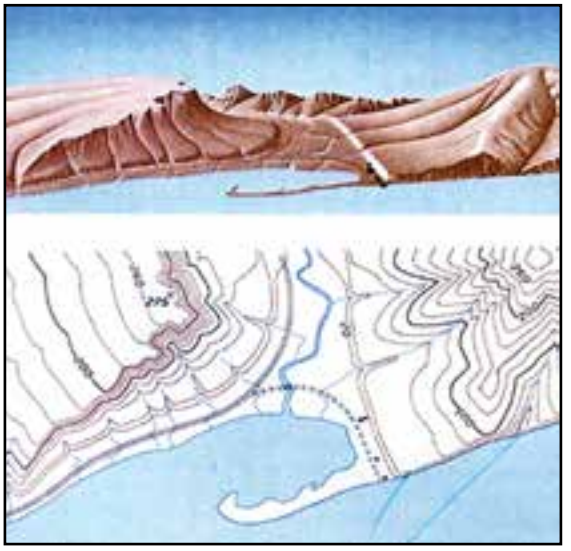
برای سهولت نمایش و قرائت منحنی میزان‌ها، از هر پنج یا ده منحنی، یکی را ضخیم‌تر ترسیم کرده و عدد ارتفاعی منحنی را در فواصل مشخص (معمولاً ۱۰ تا ۲۰ سانتی‌متر روی‌نقشه) روی آن می‌نویسند. به این منحنی میزان‌ها، منحنی میزان‌های اصلی می‌گویند. در مناطق مسطح که فاصلهٔ افقی منحنی میزان‌ها از هم به‌شدت افزایش می‌یابد، برای نمایش دقیق‌ترِ توپوگرافی زمین، از منحنی میزان‌های کمکی استفاده می‌کنند که فواصلِ ارتفاعی آنها نصف فواصلِ ارتفاعی منحنی میزان‌های فرعی است.

توجه شود که فاصلهٔ افقی دو منحنی‌میزان متوالی ربطی به فواصلِ ارتفاعی ندارد اما این فواصلِ افقی متغیر نشان‌دهندهٔ شیب زمین (از هر نقطه و در هر امتداد) می‌باشد. با نگاه به شکل منحنی میزان‌ها می‌توان شکل توپوگرافی زمین را تجسم نمود. این امر مهارتی است که به تجربه فرد بستگی دارد و بر مبنای قواعدی مانند زیر صورت می‌گیرد :

- هرچه منحنی‌میزان‌ها به هم نزدیک‌تر باشند، شیب منطقه در آن محل بیشتر است و بالعکس.
- در حد فاصل هر دو خط متوالی شیب زمین ثابت درنظر گرفته می‌شود.
- اگر خطوط تراز منحنی‌های تو در تو بسته بوده و رقم آنها از خارج به داخل افزایش پیدا نماید نشان‌دهندهٔ یک برآمدگی تپه‌ای شکل است و برعکس اگر کاهش پیدا نماید نشان‌دهندهٔ یک تورفتگی

گودالی شکل است.

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



شکل ۱ ــ ۱۶ــ مفهوم منحنی میزان

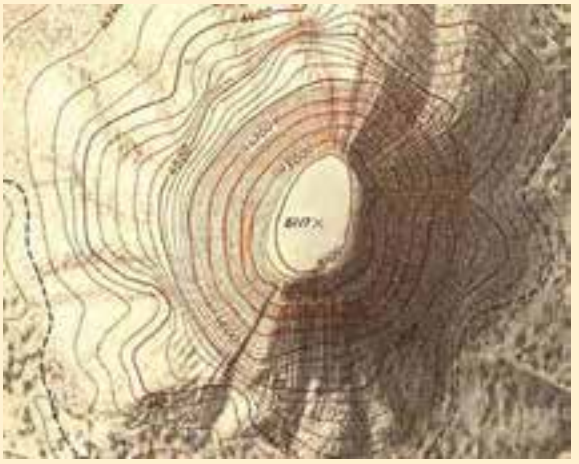
بیشتر بدانیم

موارد استفاده از نقشه‌های دارای منحنی میزان :

۱ــ محاسبه شیب خطوط؛

۲ــ پیاده کردن یک امتداد با شیب معین؛

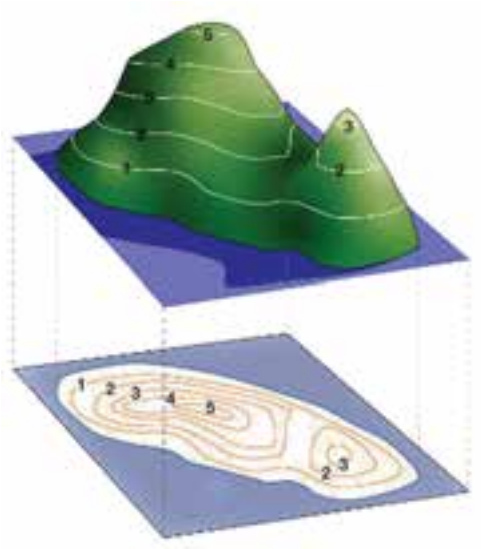
۳ــ رسم پروفیل (نیم رخ) یک امتداد؛



۱ــ ۵ ــ نقشهٔ توپوگرافی

فرض کنید از یک منطقه نقشهٔ مسطحاتی تهیه شده و عوارض روی آن نمایش داده شده‌اند. اگر بخواهیم روی این نقشهٔ توپوگرافی زمین (برآمدگی‌ها و فرورفتگی‌های سطح زمین) را نشان دهیم، به دلیل دو بعدی بودن صفحهٔ نقشه، این کار به‌صورت 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 سطحِ زمین به جای نمایش سه بعدی آن است شکل (۱ــ۱۷).



شکل ۱ ــ ۱۷ــ نقشه توپوگرافی

به نقشه‌هایی که علاوه بر شکل و موقعیت عوارض مسطحاتی زمین، وضع ارتفاعی آن را نیز معمولاً به‌صورت 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 منحنی‌میزان‌های با ارتفاع دقیق‌تر و با فواصلِ ارتفاعی کمتر است. از این‌رو در برداشت نقاط برای تهیهٔ نقشهٔ 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 سانتی‌متر 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 منحنی‌میزان در نقشهٔ توپوگرافی

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

۱ــ روش مستقیم : در این روش خطوط منحنی میزان مستقیماً روی زمین تعیین شده و بعد روی نقشه منتقل می‌شود که این روش معمول نبوده و خارج از بحث این کتاب است.

۲ــ روش شبکه بندی : در این روش زمین را بر حسب شیب آن به سلول‌های مربع یا مستطیل شکل تقسیم نموده و ارتفاع رئوس آنها را برداشت می‌نماییم. پس از انتقال نقاط روی کاغذ، منحنی میزان‌ها را از طریق درونیابی تعیین و ترسیم می‌کنیم. جزئیات این روش در ادامهٔ این فصل تشریح خواهد شد.

۳ــ روش برداشت نقاط نامنظم : در این روش همزمان با عملیات برداشت سه بعدی عوارض مسطحاتی، نقاطی اضافه برای نمایش توپوگرافی زمین برداشت می‌شود. سپس از طریق کلیهٔ نقاط سه‌بعدی که برخلاف روش دوم دارای موقعیت نامنظمی هستند منحنی میزان‌ها محاسبه و ترسیم می‌شوند. جزئیات این روش را در فصل ۶ خواهید آموخت.

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

۱ــ برداشت ارتفاعات

۲ــ درونیابی

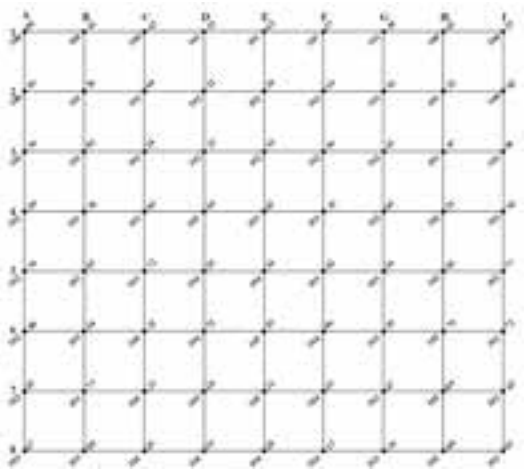
۳ــ ترسیم منحنی میزان‌ها

بیشتر بدانیم

آیا می‌دانستید که یکی از نوآوری‌های ابوریحان بیرونی دانشمند نامدار ایرانی این بود که برای نشان دادن ناهمواری‌ها و موقعیت‌های جغرافیائی زمین، جامع‌تر از پیشینیان خود به استفاده از رنگ‌های گوناگون اشاره کرده‌است.

۱ــ برداشت ارتفاعات

برای برداشت ارتفاعات ابتدا باید محدودهٔ موردنظر در روی زمین را شبکه‌بندی نمود. روش انجام شبکه‌بندی را در قسمت تسطیح اراضی فرا گرفتیم. در مرحلهٔ بعد مطابق با آن‌چه در این قسمت ذکر شد روی رئوس شبکه، عملیات ترازیابی را انجام داده و ارتفاع رئوس شبکه را با محاسبات جداول ترازیابی به‌دست می‌آوریم. در انتها نقشه‌ای از شبکه را در مقیاس مناسب ترسیم نموده و ارتفاع نقاط را مطابق شکل (۱ــ۱۸) در کنار رئوس شبکه ثبت می‌نماییم.



شکل ۱ ــ ۱۸ ــ برداشت شبکه ارتفاعات

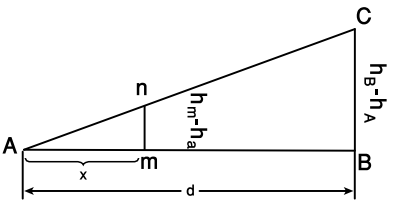
۲ــ درون‌یابی (واسطهٔ یابی یا انترپولاسیون)

درون‌یابی یا انترپولاسیون عبارت‌است از محاسبهٔ ارتفاع مجهولِ نقاطِ مورد نظر از روی ارتفاع معلومِ نقاطِ همسایهٔ آنها. روش‌های گرافیکی و محاسباتی دو روش از روش‌های درون‌یابی می‌باشند که در این قسمت به شرح آنها می‌پردازیم :

درون‌یابی گرافیکی (تقریبی) : پس از ترسیم شبکه با مقیاس مورد نظر بر روی کاغذ و نوشتن ارتفاع رئوس شبکه می‌توانیم 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 گردشده یا مضربی از متر را روی این ضلع جدا می‌کنیم. سپس عددهای هم ارتفاع را روی اضلاع هر سلول مربع شکل به هم وصل کرده تا خطوط منحنی میزان به‌دست آید .

در هنگام ترسیم باید دقت شود که هیچ منحنی میزانی در متن نقشه بلاتکلیف نماند. به عبارتی دیگر راه عبور منحنی میزان بسته نباشد و حتماً اگر از نقطه‌ای در متنِ نقشه شروع شود، یا به همان نقطه برگردد و یا به مسیر خود ادامه داده تا از متن نقشه خارج شده و به نقشهٔ کناری برود. هیچ منحنی میزانی منحنی میزان دیگر را قطع نمی‌کند. اگر یکی از این موارد رخ داد معلوم می‌شود عدد ارتفاعی روی رأس آن ضلع یا اشتباه وارد محاسبات شده و یا ارتفاع درون‌یابی به‌صورت نادرست محاسبه گردیده است.

درون‌یابی محاسباتی : فرض می‌کنیم روی امتداد AB و بین این دو نقطه شیبِ زمین یکنواخت باشد :



شکل ۱ ــ ۱۹ ــ درون یابی محاسباتی

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 می‌کنیم. (این مقدار همان طول ضلع شبکه موجود روی زمین است.) اگر m نقطه‌ای 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 می‌توانیم بنویسیم :

بیشتر بدانیم

تصویری ماهواره‌ای از پستی و بلندی‌های زمین (رشته‌کوه البرز)

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

$$\mathbf{AB=d\ ,\ mn=h_m-h_A\ ,\ BC=h_B-h_A}$$

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

در این رابطه mA فاصلهٔ m از A (نقطه‌ای که ارتفاع کمتر دارد) است و می‌توان آن‌را به کمک

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

به طور کلی می‌توان نوشت :

(اختلاف ارتفاع دو نقطه)/ (اختلاف ارتفاع نقطه پایین‌تر با ارتفاع منحنی) × فاصله دو نقطه = فاصله منحنی از نقطه ارتفاع پایین‌تر

به عنوان مثال فرض می‌کنیم ارتفاع نقاط B و A (در شکل ۱ــ۱۶) به ترتیب ۹۰/۴۸ و ۸۸/۲۰ متر و فاصلهٔ بین این دو نقطه در روی زمین ۲۰ متر است اگر بخواهیم نقطه‌ای با ارتفاع ۹۰ متر را در این فاصله بیابیم با روش اَنترپوله به صورت زیر عمل می‌کنیم :

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

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

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

$$d_{AB} = 20m$$

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

مقدار به‌دست 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 نقطه‌ای که ارتفاع کمتری دارد یعنی نقطهٔ A) جدا می‌کنیم.

۳ــ 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 نقشه‌برداری تعدادی نقطه در سراسر کشور ایجاد شده و ارتفاع آنها از ژئوئید به‌دست آمده است تا در موقع لزوم بتوان با استفاده از این نقاط ارتفاع سایر نقاط اطراف آن‌را توسط عملیات ترازیابی هندسی تعیین نمود. به این نقاط که در نقشه‌برداری زمینی فرض می‌شود ارتفاع آنها از قبل معلوم است، در اصطلاح نقاط بنچ‌مارک می‌گویند.

● اغلب مواقع به علت شیب زیاد بین نقاط ویا 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 به‌دست آمده برای نقطه آخر= خطای بست ترازیابی

$e_L \quad h' \quad h$

● مقدار مجاز **خطای بست ترازیابی** از رابطه زیر به‌دست می‌آید :

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

● مقدار تصحیح از رابطه زیر به‌دست می‌آید :

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

● اگر بر یک امتداد مستقیم مشخص روی زمین، صفحهٔ قائم فرضی عبور داده شود (به عبارت دیگر در امتداد مورد نظر بُرشی 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 :

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

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

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

● ازجمله کارهایی که درمرحله طراحی تسطیح انجام می‌شود، می‌توان موارد زیر را نام برد :

۱ــ محاسبه بهترین شیب برای زمین در جهت‌های مختلف.

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

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

۴ــ 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 :

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

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

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

۴ــ تراکم نقاط برداشتی حداقل دو سانتی‌متر در مقیاس نقشه.

۵ــ رعایت حد مجاز خطای ارتفاعی برای نقاط برداشت شده که براساس آن حداکثر خطای ارتفاعی نقاط برداشت شده نباید از نصف فاصلهٔ ارتفاعی منحنی میزان بیشتر شود.

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

۱ــ روش مستقیم

۲ــ روش شبکه‌بندی

۳ــ روش برداشت نقاط نامنظم

● تهیه و ترسیم منحنی‌میزان به روش شبکه‌بندی دارای مراحل زیر می‌باشد :

۱ــ برداشت ارتفاعات ۲ــ درون‌یابی ۳ــ ترسیم منحنی میزان‌ها

خودآزمایی

سؤالات تشریحی

۱ــ نحوه محاسبات مربوط به جدول ترازیابی هندسی را توضیح دهید.

۲ــ مقطع یا پروفیل را بیان کنید.

۳ــ انواع مقطع در نقشه‌برداری را توضیح دهید.

۴ــ مراحل کار تهیه پروفیل، طراحی و پیاده سازی مسیر را بیان کنید.

۵ــ خط پروژه را تعریف کنید.

۶ــ مراحل مختلف تسطیح یک زمین را بیان کنید.

۷ــ نحوه محاسبه حجم عملیات خاکی را توضیح دهید.

۸ــ منحنی میزان را تعریف کنید.

۹ــ فاصله ارتفاعی را تعریف کنید.

۱۰ــ نقشه توپوگرافی را تعریف نمایید.

۱۱ــ روش های مختلف تهیه و ترسیم منحنی میزان در نقشه‌های توپوگرافی را بیان کنید.

۱۲ــ مراحل تهیه و ترسیم منحنی میزان به روش شبکه بندی را بیان کنید.

۱۳ــ درون‌یابی یا انترپولاسیون را تعریف کنید.

سؤالات چهارگزینه‌ای

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

شماره نقاط	B.S	I.S	F.S	ΔH	H به واحد متر	C	Hc
A	۳۵۲۲				۱۰۰		
B	۳۳۴۸		۲۰۳۸				؟
C		۰۰۵۴		؟		؟	
D			؟	۳۱۰۸	؟	۲	

۱۴ــ قرائت جلوی نقطه D کدام گزینه است؟

۱) ۲۳۹ ۲) ۲۴۰ ۳) ۲۴۱ ۴) ۲۴۲

۱۵ــ اختلاف ارتفاع در نقطهٔ C کدام گزینه است؟

۱) ۳۲۸۸ ۲) ۳۲۹۰ ۳) ۳۲۹۲ ۴) ۳۲۹۴

۱۶ــ ارتفاع نقطهٔ D کدام گزینه است؟

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

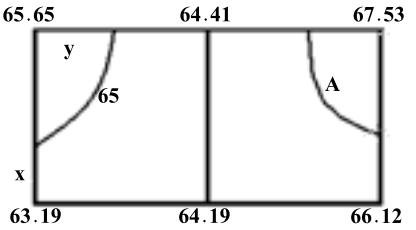
۱۷ــ میزان تصحیح در نقطهٔ C کدام گزینه است؟ (میلی متر)

۱) ۰ ۲) ۱ ۳) ۲ ۴) ۴

۱۸ــ ارتفاع تصحیح شدهٔ نقطهٔ B کدام گزینه است؟

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

ب) باتوجه به شبکه بندی ۵۰ متری زیر به سؤالات ۱۹ تا ۲۱ پاسخ دهید.



۱۹– مقدار x کدام گزینه است؟

۱) ۳۶/۷۹ ۲) ۱۳/۲۱ ۳) ۳۸/۹۰ ۴) ۱۱/۱۰

۲۰ــ مقدار y کدام گزینه است؟

۱) ۲۳/۷۹ ۲) ۲۶/۲۱ ۳) ۲۴/۳۰ ۴) ۲۵/۷۰

۲۱ــ منحنی میزانی که از نقطهٔ A می‌گذرد کدام گزینه است؟

۱) ۶۴ ۲) ۶۵ ۳) ۶۶ ۴) ۶۷

۲۳ــ اگر درصد شیب بین دو منحنی میزان ۱۰ درصد و فاصله بین آنها ۵۰ متر باشد، اختلاف ارتفاع بین دو منحنی چند متر است؟

۱) ۰/۵ ۲) ۵ ۳) ۲ ۴) ۰/۲

سؤال جورکردنی

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