فصل
اول

کاربردهای ترازیابی

هدف‌های رفتاری

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

۱ــ راهکار کلی مربوط به محاسبات یک جدول ترازیابی رفت و برگشت از نوع تدریجی را شرح دهد.

۲ــ محاسبات مربوط به یک جدول ترازیابی رفت و برگشت از نوع تدریجی را انجام دهد.

۳ــ بحث و بررسی مربوط به یک جدول ترازیابی رفت و برگشت از نوع تدریجی را شرح دهد.

۴ــ راهکار کلی مربوط به محاسبه و ترسیم پروفیل طولی به روش مستقیم را شرح دهد.

۵ــ محاسبات مربوط به پروفیل طولی به روش مستقیم را انجام دهد.

۶ــ بحث و بررسی مربوط به محاسبه و ترسیم پروفیل طولی به روش مستقیم را شرح دهد.

۷ــ راهکار کلی مربوط به ترسیم و محاسبهٔ حجم عملیات خاکی یک شبکهٔ ارتفاعی را شرح دهد.

۸ــ محاسبات مربوط به حجم عملیات خاکی یک شبکهٔ ارتفاعی را انجام دهد.

۹ــ بحث و بررسی مربوط به ترسیم و محاسبهٔ حجم عملیات خاکی یک شبکهٔ ارتفاعی را شرح دهد.

۱۰ــ راهکار کلی مربوط به محاسبه و ترسیم منحنی تراز یک شبکهٔ ارتفاعی به روش درون‌یابی را شرح دهد.

۱۱ــ محاسبات و ترسیم منحنی تراز یک شبکهٔ ارتفاعی را انجام دهد.

۱۲ــ بحث و بررسی مربوط به محاسبه و ترسیم منحنی تراز یک شبکهٔ ارتفاعی به روش درون‌یابی را شرح دهد.

مطالب پیش نیاز

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

۱ــ آشنایی با فصل اول کتاب «نقشه‌برداری عمومی»

۲ــ آشنایی با فصل یازدهم، دوازدهم و سیزدهم کتاب «مساحی»

● 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 نقطهٔ آخر ارتفاع به‌دست آمده برای نقطهٔ 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 : ۱ طراحی پلان مسیر ۲ــ پیاده سازی مسیر ۳ــ ترازیابی مسیر ۴ــ محاسبات پروفیل طولی ۵ــ ترسیم پروفیل طولی ۶ــطراحی 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 به‌دست می‌آید که آن خطوط را منحنی‌میزان می‌نامند.

● به نقشه‌هایی که علاوه بر شکل و موقعیت عوارض مسطحاتی زمین، وضع ارتفاعی آن‌را نیز معمولاً به‌صورت 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)، خط‌القعرها (مانند محور آبریز) و خط‌الرأس‌ها (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 فاصله ارتفاعی منحنی میزان بیشتر شود.

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

۱ــ روش مستقیم

۲ــ روش شبکه بندی

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

مثال ۱ــ۱ : کنترل ترازیابی

یک ترازیابی تدریجی درجه سه از نقطهٔ BM۱ با ارتفاع معلوم ۱۶۷۰/۴۲۰ شروع شده و مجدد به همان نقطه بازگشته است. اگر طول مسیر ترازیابی ۱۸۵۰ متر باشد مطلوب است :

الف) محاسبه خطای مجاز ترازیابی.

ب) در صورت مجاز بودن خطا محاسبهٔ مقدار تصحیح.

ج) محاسبه ارتفاع تصحیح شدهٔ نقاط.

شماره نقاط	قرائت عقب (B S)	قرائت جلو (F S)
BM۱	۲۶۹۷	
۱	۳۱۷۶	۱۵۷۴
۲	۲۹۴۵	۲۹۶۸
TP۱	۷۳۲	۳۷۴۲
۳	۱۸۴	۲۵۹۲
۴	۳۲۹	۱۷۵۷
TP۲	۲ ۶۳	۲۸۶۸
۵	۱۱۵۹	۱۳۷۷
BM۱		۱ ۴

راهکار کلی :

ابتدا جدولی مطابق شکل زیر ترسیم نموده و قرائت روی شاخص‌ها را از روی جدول بالا وارد آن می کنیم :

شماره نقاط	قرائت عقب (B S)	قرائت جلو (F S)	اختلاف ارتفاع (ΔH)	ارتفاع (H)	تصحیح (C)	ارتفاع تصحیح شده (H_C)

با استفاده از رابطهٔ اختلاف‌ارتفاع بین نقاط در ترازیابی تدریجی ستون مربوط به آن را کامل کرده و سپس ارتفاع نقاط را محاسبه و در ستون ارتفاع وارد می کنیم :

ΔH B.S F.S

H نقطه بعد H نقطه قبل ΔH

با کمی دقت مشاهده می‌کنید که ترازیابی از یک بنچ‌مارک شروع شده و مجدد به همان بنچ‌مارک بسته شده است، در نتیجه قابل کنترل می‌باشد و می‌توان خطای بست ترازیابی را محاسبه نمود. یعنی داریم :

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

e_L h′ h

بعد از محاسبهٔ خطای بست ترازیابی، با توجه به این‌که این ترازیابی از نوع درجه ۳ می‌باشد، مقدار مجاز خطا را برای آن از رابطهٔ زیر بدست می‌آوریم :

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

و درصورتی‌که خطای بست ترازیابی در محدودهٔ مجاز آن قرار داشته باشد، آن را تصحیح می‌کنیم. مقدار تصحیح از رابطهٔ زیر به‌دست می‌آید :

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

مقدار تصحیح درنقطهٔ اول صفر بوده و برای نقاط دیگر مطابق روابط زیر به‌دست می‌آید :

$C_۱$ o

$$C_۲ = (\frac{-e_L}{n}) \times ۱$$

$$C_۳ = (\frac{-e_L}{n}) \times ۲$$

....

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

پس از محاسبهٔ مقدار تصحیح برای همهٔ نقاط، آن‌ها را در ستون مربوط به خود در جدول ترازیابی وارد می‌کنیم. در پایان ارتفاع تصحیح شده نقاط را از رابطهٔ ساده موجود (H_C H C) بدست آورده و ستون آخر را کامل می‌کنیم .

روش حل:

$H_{BM۱}$ 1670.4

$\Delta H_{BM۱\ ۱}$ 2697 1574 1123 → $H_{۱}$ 1671.543

$\Delta H_{۱\ ۲}$ 3176 2968 0208 → $H_{۲}$ 1671.751

$\Delta H_{۲\ P۱}$ 2945 3742 0797 → $H_{P۱}$ 1670.954

$\Delta H_{TP۱\ ۳}$ 0732 2592 1860 → $H_{۳}$ 1669.094

$\Delta H_{۳\ ۴}$ 1840 1757 0083 → $H_{۴}$ 1669.177

$\Delta H_{۴\ TP۲}$ 2390 2868 0422 → $H_{P۲}$ 1669.599

$\Delta H_{P۲\ ۵}$ 2063 1377 0686 → $H_{۵}$ 1670.285

$\Delta H_{۵\ BM۱}$ 1159 0040 0 → $H_{BM۱}$ 1670.404

شماره نقاط	قرائت عقب (B S)	قرائت جلو (F S)	اختلاف ارتفاع (ΔH)	ارتفاع (H)	تصحیح (C)	ارتفاع تصحیح شده (H_C)
BM۱	۲۶۹۷			۱۶۷ /۴۲		
۱	۳۱۷۶	۱۵۷۴	۱۱۲۳	۱۶۷۱/۵۴۳		
۲	۲۹۴۵	۲۹۶۸	۲ ۸	۱۶۷۱ /۷۵۱		
TP۱	۷۳۲	۳۷۴۲	۷۹۷-	۱۶۷ /۹۵۴		
۳	۱۸۴	۲۵۹۲	۱۸۶ -	۱۶۶۹ / ۹۴		
۴	۳۲۹	۱۷۵۷	۸۳	۱۶۶۹ /۱۷۷		
TP۲	۲ ۶۳	۲۸۶۸	۴۲۲	۱۶۶۹ /۵۹۹		
۵	۱۱۵۹	۱۳۷۷	۶۸۶	۱۶۷ /۲۸۵		
BM۱		۱ ۴	۱۱۹	۱۶۷ /۴ ۴		

$e_L \quad 1670.404 \quad 1670.420 \quad 16mm$

$e_{max} = \pm 12\sqrt{1.850} = 16.32$

$e_L \leq e_{max}$

$$C = \frac{-(-16)}{8} = 2mm$$

شماره نقاط	قرائت عقب (B S)	قرائت جلو (F S)	اختلاف ارتفاع (ΔH)	ارتفاع (H)	تصحیح (C)	ارتفاع تصحیح شده (H_C)
BM۱	۲۶۹۷			۱۶۷ /۴۲		۱۶۷ /۴۲
۱	۳۱۷۶	۱۵۷۴	۱۱۲۳	۱۶۷۱/۵۴۳	۲mm	۱۶۷۱/۵۴۵
۲	۲۹۴۵	۲۹۶۸	۲ ۸	۱۶۷۱ /۷۵۱	۴mm	۱۶۷۱ /۷۵۵
TP۱	۷۳۲	۳۷۴۲	۷۹۷–	۱۶۷ /۹۵۴	۶mm	۱۶۷ /۹۶
۳	۱۸۴	۲۵۹۲	۱۸۶ –	۱۶۶۹ / ۹۴	۸mm	۱۶۶۹ /۱ ۲
۴	۳۲۹	۱۷۵۷	۸۳	۱۶۶۹ /۱۷۷	۱ mm	۱۶۶۹ /۱۸۷
TP۲	۲ ۶۳	۲۸۶۸	۴۲۲	۱۶۶۹ /۵۹۹	۱۲mm	۱۶۶۹ /۶۱۱
۵	۱۱۵۹	۱۳۷۷	۶۸۶	۱۶۷ /۲۸۵	۱۴mm	۱۶۷ /۲۹۹
BM۱		۱ ۴	۱۱۹	۱۶۷ /۴ ۴	۱۶mm	۱۶۷ /۴۲

بحث و بررسی :

زمانی‌که ترازیابی از یک نقطه شروع و به نقطهٔ دیگری ختم می‌شود، رابطهٔ زیر اختلاف‌ارتفاع دو نقطه را مشخص می‌کند :

$$\Sigma B.S \quad \Sigma F.S$$

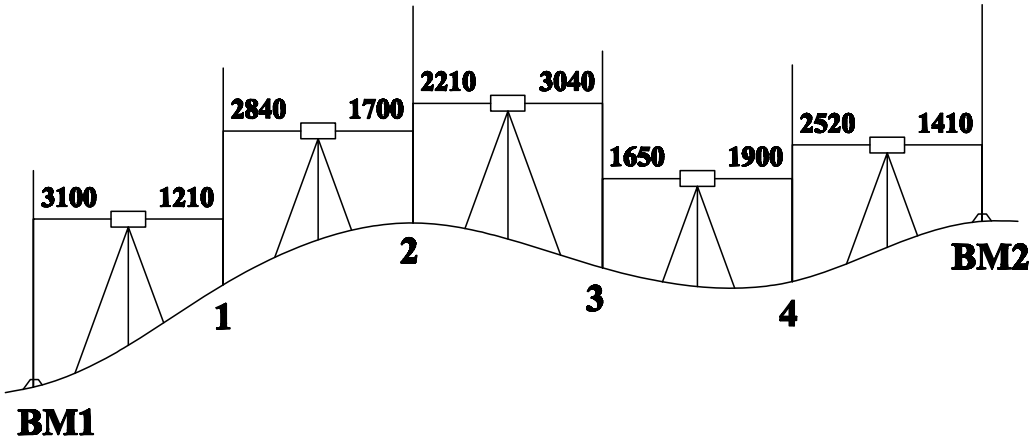
ولی زمانی‌که نقطه اول و آخر ترازیابی مانند این مثال یکی باشد رابطه بالا مقدار خطای ترازیابی را نشان می‌دهد. بنابراین مقدار e را از این رابطه نیز می‌توان محاسبه کرد :

$$e_L \quad \Sigma B.S \quad \Sigma F.S$$

قابل توجه است که در روش ترازیابی شعاعی مطلوب‌ترین روش برای تصحیح خطا، توزیع خطای ترازیابی بر روی قرائت‌های عقب است و در این روش نیازی به تشکیل ستون ارتفاع تصحیح شده نمی‌باشد.

تمرین های کلاسی مثال ۱ــ۱

۱ــ شکل زیر مربوط به عملیات ترازیابی از BM۱ به ارتفاع ۱۰۰ متر تا BM۲ به ارتفاع ۱۰۳/۰۵۰ متر می‌باشد. اگر طول مسیر ترازیابی ۲۵۰ متر و خطای کیلومتری ۲۵میلی‌متر باشد، جدول ترازیابی را تنظیم و ارتفاع سرشکن شده (تصحیح شده) نقاط را محاسبه کنید.



۲ــ جدول زیر مشاهدات یک ترازیابی بسته درجه سه به طول یک کیلومتر می‌باشد. مطلوب است :

الف) تعیین اختلاف ارتفاع نقاط. ب) محاسبهٔ خطای بست ترازیابی.

ج) در صورت مجاز بودن، تصحیح ارتفاع نقاط.

شماره نقاط	قرائت عقب (B S)	قرائت جلو (F S)	اختلاف ارتفاع (ΔH)	ارتفاع (H)	تصحیح (C)	ارتفاع تصحیح شده (H_C)
A	۱۴۱			۱		
۱	۱۶۲	۱۵۳				
۲	۱۲۹	۱۵۷				
۳	۱۷۲	۱۱۸				
۴	۱۶۳	۱۷۴				
A		۱۶۶				

۳ــ از نقطهٔ BM۱ به ارتفاع ۱۵۰/۳۲۰ متر ترازیابی را شروع کرده و تا نقطهٔBM۲ به ارتفاع ۱۵۴/۸۹۴ متر ادامه داده‌ایم. در صورتی‌که فاصله ترازیابی ۷۰۰ متر و خطای کیلومتری ترازیابی ۲۵ mm در نظر گرفته شود مطلوب است :

الف) محاسبه خطای بست ترازیابی.

ب) محاسبه خطای ماکزیمم.

ج) محاسبه ارتفاع سرشکن شده نقاط در صورت قابل قبول بودن خطای عملیات.

شماره نقاط	قرائت عقب (B S)	قرائت جلو (F S)	اختلاف ارتفاع (ΔH)	ارتفاع (H)	تصحیح (C)	ارتفاع تصحیح شده (H_C)
BM۱	۱۴۲					
۱	۲ ۹	۱۷ ۸				
۲	۲۱۵	۹۵				
۳	۱۸۴	۱۱۲				
۴	۳۱۵	۱				
۵	۱۷۱	۲۱				
BM۲		۹۲				

۴ــ جدول صفحهٔ بعد مربوط به عملیات ترازیابی بسته به طول ۷۰۰ متر و با خطای کیلومتری ۲۵mm می‌باشد با توجه به این‌که ارتفاع تصحیح نشده نقاط محاسبه شده است مطلوب است :

الف) محاسبه خطای بست ترازیابی و کنترل آن با خطای مجاز ترازیابی

ب) درصورت قابل قبول بودن خطای بست ترازیابی ارتفاع تصحیح شده نقاط را محاسبه کنید.

نقاط	قرائت عقب (m)	قرائت جلو (m)	ارتفاع دستگاه (m)	ارتفاع تصحیح نشده (m)	مقدار تصحیح (m)	ارتفاع تصحیح شده (m)

BM	۱/۷۵۶	_	۵۱/۷۵۶	۵ /	؟	؟
۱	۱/۵۹۵	۲/۹۵۱	۵ /۴	۴۸/۸ ۵	؟	؟
۲	۲/۳۵۲	۱/۸۳۳	۵ /۹۱۹	۴۸/۵۶۷	؟	؟
۳	۱/۴۳۴	۱/۲۵۱	۵۱/۱ ۲	۴۹/۶۶۸	؟	؟
۴	۱/۵۵۲	/۹۸۳	۵۱/۶۷۱	۵ /۱۱۹	؟	؟
۵	۱/۸۹۱	۲/۴۴۲	۵۱/۱۲	۴۹/۲۲۹	؟	؟
BM	_	۱/۱ ۲	_	۵ / ۱۸	؟	؟

مثال ۱ــ۲ : پروفیل طولی و طراحی خط پروژه

با توجه به جدول زیر مطلوب است :

الف) ترسیم پروفیل طولی مسیر بین نقاط A و B.

ب) تنظیم جدول مشخصات پروفیل طولی شامل : (نقاط مسیر، فاصله بین نقاط، فاصله نقاط از مبدأ، ارتفاع نقاط). (مقیاس طولی را ۱۰۰۰ :۱ انتخاب نمایید.)

ج) خط پروژه را ترسیم کرده و نقاط خاک‌برداری و خاک‌ریزی را مشخص کنید.

کیلومتراژ Km	فاصله بین نقاط(L) به واحد متر	ارتفاع نقاط(H) به واحد متر	نقاط میخ‌کوبی شده
+		۱۳	A
+ ۳		۱۲	۱
+ ۵		۱ /۵	۲
+ ۷		۱۱	۳
+ ۹۵	۳	۱۳	۴
+۱۱	۲	۱۲/۵	۵
+۱۳	۲	۱۱	۶
+۱۴۵	۲۵	۱۳	۷
۰+۱۷۰	۱۵	**۹۹/۶**	**B**
	۲		
	۱۵		
	۲۵		

راهکار کلی :

با توجه به این‌که مقیاس طولی ۰۰ ، ۱ :۱ است پس باید مقیاس ارتفاعی را ۱۰۰ :۱ در نظر بگیرید. و چون کمترین ارتفاع در جدول ۹۹/۶۰ متر می‌باشد باید مبدأ ارتفاع را عدد صحیحی کمتر از آن در نظر گرفت. مثلاً ارتفاع ۹۹ متر را می‌توان به عنوان مبدأ ارتفاعی در نظر بگیرید.

لازم است محورهای ارتفاعی برای حداقل اختلاف ارتفاع ۱ متر در مقیاس ۱۰۰ :۱ درنظر گرفته شود. هم‌چنین محور طولی را برای حداقل فاصله ۱۷۰ متر از مبدأ در مقیاس ۱۰۰۰ :۱ ترسیم کنید.

سپس فاصله‌ها را در مقیاس ۱۰۰۰ :۱ و ارتفاع نقاط را با توجه به مبدأ ارتفاعی که ۹۹ متر است در مقیاس ۱۰۰ :۱ روی محورها جدا کنید.

برای این کار می‌توانید از اشل (خط کش مقیاس) استفاده نمایید. اکنون محل هر نقطه را روی صفحه کاغذ مشخص کرده و آن‌ها را با خطوط مستقیم به هم وصل کنید. در واقع شما عمل نقطه‌یابی را با داشتن x و y نقاط انجام می‌دهید.

نحوه استفاده از خط‌کش مقیاس : فواصل روی محورهای فاصله و ارتفاع در پروفیل طولی باید در مقیاس صحیح ترسیم شوند. برای این کار می‌توانید از خط‌کش مقیاس (اشل) استفاده کنید. اشل به‌صورتی درجه‌بندی شده است که اعداد روی آن فاصله واقعی را روی زمین نشان می‌دهند. بنابراین برای ترسیم با اشل، ابتدا مقیاس مورد نظر را روی اشل پیدا کرده سپس با توجه به درجه‌بندی اعداد روی آن عدد مورد نظر را پیدا می‌کنیم.

روش حل

برای نشان دادن وضعیت ارتفاعی نقاط برداشتی از نواری با جنس کالک یا کاغذ میلی‌متری استفاده می‌شود. همان‌طور که گفته شد روی این نوار دو محور متعامد OX و OY رسم می‌شود. محور OX در راستای طول نوار و برای فواصل طولی و محور OY برای فواصل ارتفاعی در نظر گرفته می‌شود. نقطه‌ای در نزدیکی حاشیه چپ پایین به عنوان مبدأ مختصات انتخاب می‌گردد. X هر نقطه عبارت از فاصله آن نقطه تا مبدأ مسیر و Y آن نقطه اختلاف ارتفاع آن نقطه نسبت به یک مبدأ ارتفاعی فرضی است (این مبدأ معمولاً کمترین ارتفاع مسیر است که با رقم صحیحی از متر یا مضربی از متر گرد شده است).

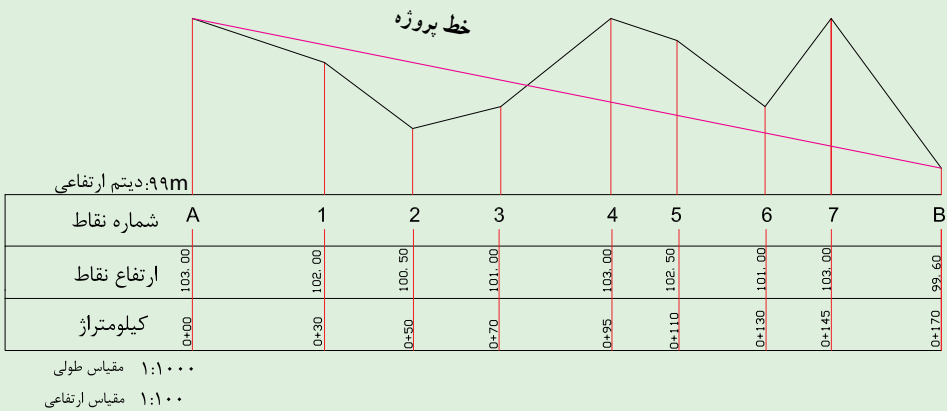
چون اختلاف ارتفاعات نسبت به فواصل طولی بسیار کم است، برای بهتر نشان دادن وضعیت ارتفاعی نقاط مختلف مسیر معمولاً مقیاس ارتفاعی را ده مرتبه بزرگتر از مقیاس طولی تعیین می‌کنند. مثلاً اگر مقیاس محور طولی ۱:۱۰۰۰ باشد، مقیاس محور ارتفاعی را ۱:۱۰۰ در نظر می‌گیرند. هر نقطه در روی زمین را با استفاده از مختصات دوگانه‌اش روی این دو محور مختصات پیدا کرده و سپس نقاط به‌دست آمده را به ترتیب به یکدیگر متصل می‌کنیم تا پروفیل طولی مسیر ترسیم شود. پس از ترسیم پروفیل طولی با تعیین ارتفاع خط پروژه در ابتدا و انتهای مسیر این دو نقطه را به یکدیگر متصل کرده تا خط پروژه حاصل شود.

معمولاً پروفیل طولی با رنگ مشکی و خط پروژه با رنگ قرمز ترسیم می‌گردد. با ترسیم خط پروژه مشخص می‌شود در نقاط A و۱ و۲ و ۳ عملیات خاک‌ریزی و در سایر نقاط عملیات خاک‌برداری انجام می‌شود.

برای استفاده بهتر و بیشتر از پروفیل‌های طولی، اولاً کروکی نمای افقی (پلان) مسیر را در گوشه‌ای از کاغذ ترسیم می‌کنند و ثانیاً در زیر نمودار جدولی ترسیم کرده و خصوصیات نقاط برداشتی را در زیر هر نقطه یادداشت می‌کنند. برخی از این خصوصیات عبارتند از :

۱ــ شماره نقطه یا میخ ۲ــ فاصله بین نقاط ۳ــ ارتفاع نقاط و کیلومتراژ ۴ــ شیب پروژه
۵ــ ارتفاع پروژه ۶ــ عمق خاک و غیره

بحث و بررسی : با ترسیم خط پروژه، نقاطی که ارتفاع آن‌ها بیشتر از ارتفاع خط پروژه است و در بالای آن قرار می‌گیرند با علامت مثبت نشان داده شده و به عبارتی در این نقاط باید خاک‌برداری انجام شود. ولی نقاطی که ارتفاع آن‌ها کمتر از ارتفاع خط پروژه است و در زیر آن



قرار می‌گیرند با علامت منفی نشان داده شده و به عبارتی در این نقاط باید خاک‌ریزی انجام شود.

تمرین‌های کلاسی مثال ۱ــ۲

۱ــ با توجه به اطلاعاتی که در جدول زیر مشاهده می‌کنید مطلوب است :
الف) ترسیم پروفیل طولی با مقیاس ۱/۱۰۰۰.

ب) رسم جدول مشخصات (شمارهٔ نقطه، ارتفاع نقطه و کیلومتراژ).

کیلومتراژ Km	ارتفاع نقاط(H) به واحد متر	نقاط میخ‌کوبی شده
+	۱ /	A
+ ۲۵	۱ ۱/۴	۱
+ ۴۵	۱ ۳/۱	۲
+ ۵۵	۱ ۲/۷	۳
+ ۷	۱ ۱/۲	۴
+ ۹	۱ ۲/۹	۵
+۱۱	۱ ۳/۴	B

۲ــ در یک ترازیابی بین نقاط BM۱ و BM۲ برای تهیه پروفیل طولی نتایج مطابق جدول صفحهٔ بعد به‌دست آمده است. مطلوب است :

الف) ترسیم پروفیل طولی مسیر BM۱ BM۲ با مقیاس طولی ۱:۱۰۰۰ .

ب) تنظیم جدول مشخصات پروفیل شامل : (نقاط مسیر، فاصله بین نقاط، فاصله نقاط از مبدأ، ارتفاع نقاط).

کیلومتراژ Km	فاصله بین‌نقاط(L) به واحد متر	ارتفاع نقاط(H) به واحد متر	نقاط میخ‌کوبی شده

+			BM۱
+ ۳			۱
+ ۵			۲
+ ۸		۳	۳
+۱ ۵		۲	۴
+۱۳۵		۳	۵
+۱۵		۲۵	BM۲

۳

۳ــ با توجه به جدول زیر پر ۱۵ لی مسیر بین A و B را ترسیم نمایید. (مقیاس ارتفاعی برابر ۱:۱۰۰ می‌باشد.)

کیلومتراژ Km	فاصله بین‌نقاط(L) به واحد متر	ارتفاع نقاط(H) به واحد متر	نقاط میخ‌کوبی شده
+		۱ /	A
+ ۲۴		۱ /۹	۱
+ ۴۴		۱ ۲/۷	۲
+ ۹۴	۲۴	۱ /۷	۳
+۱ ۴	۲	۹۹/۳	۴
+۱۱۸	۵	۱ /۴	۵
+۱۳۸	۱	۱ ۱/	B

۱۴

مثال ۱ــ۳ : تسطیح ار ـی

شبکهٔ ارتفاعی قطعه زمینی با ابعاد هر شبکه (۲۰×۲۰ متر) مطابق شکل زیر برداشت شده است.

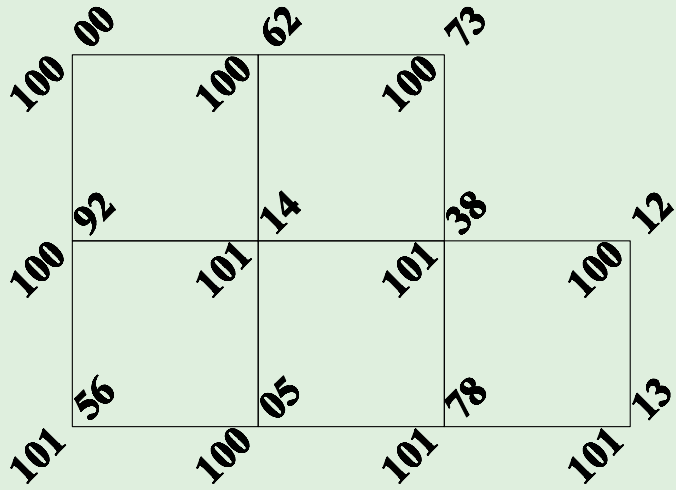
مطلوب است :

الف) رسم شبکه با مقیاس ۱۰۰۰ :۱؛

ب) جهت مسطح نمودن این قطعه زمین در ارتفاع ۹۵ متر نیاز به چند متر مکعب خاک‌برداری می‌باشد؟

راهکار کلی قسمت الف :

برای ترسیم شبکه با مقیاس خواسته شده ابتدا طول و عرض کل زمین را در نظر گرفته و سپس



با توجه به مقیاس، کاغذ موردنظر را انتخاب کنید. کافی است طول ضلع شبکه را به مقیاس برده و به کمک خط‌کش یا اشل و با استفاده از گونیا (برای عمود رسم کردن)، شبکه را بر روی کاغذ ترسیم کنید. بعد از آن ارتفاع‌های محاسبه شده از ترازیابی را با توجه به کروکی در هر رأس یادداشت نمایید.

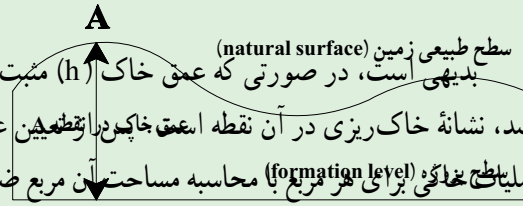
نحوهٔ نوشتن ارتفاعات روی شبکه به این صورت است که نقطهٔ ارتفاعی را طوری در گوشهٔ هر شبکه یادداشت می‌کنید که به جای ممیزِ عدد، رأس گوشهٔ شبکه قرار گیرد. ضمناً اعداد ارتفاعی با زاویهٔ ۴۵ درجه در گوشه‌ها یادداشت می‌شوند.

راهکار کلی قسمت ب :

در صورتی‌که ارتفاع سطح پروژه H_P فرض شود، از تفاضل ارتفاع هر نقطهٔ شبکه نسبت به ارتفاع پروژه، عمق خاک در آن نقطه مشخص می‌شود :

عمق خاک ارتفاع زمین ارتفاع پروژه

h H H_P



بدیهی است، در صورتی که عمق خاک (h) مثبت باشد، نشانهٔ خاک‌برداری و اگر (h) منفی باشد، نشانهٔ خاک‌ریزی در آن نقطه است. برای تعیین عمق خاک در گوشهٔ مربع‌های شبکه، حجم عملیات خاکی برای هر مربع با محاسبه مساحت آن مربع ضرب در میانگین عمق خاک در چهار گوشهٔ مربع به‌دست می‌آید.

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

روابط بالا برای یکی از مربع‌های شبکه در نظر گرفته می‌شود. اما زمانی که تعداد شبکه‌ها افزایش می‌یابد، برای ساده کردن و جلوگیری از تکرار محاسبات می‌توان حجم قسمت‌های مربع شکل را از رابطهٔ زیر بدست آورد :

$$V_{abcd} = \frac{A}{4} \times (\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 3\Sigma h_3 + 4\Sigma h_4)$$

Σh_1 مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در یک مربع مشترکند.

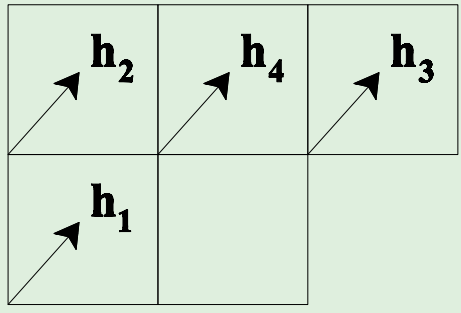
Σh_2 = مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در دو مربع مشترکند.

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

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

روش حل قسمت الف :

برای ترسیم شبکه با توجه به مقیاس داده شده که برابر ۱۰۰۰ : ۱ است باید طول‌ها را جداگانه به مقیاس برده و بر روی کاغذ ترسیم کنیم. در این‌جا هر یک متر روی زمین برابر یک سانتی‌متر روی



نقشه می‌باشد. بنابراین با کمک خط‌کش و گونیا یک مستطیل ۴ × ۶ سانتی‌متری ترسیم کرده و هر کدام از اضلاع را به طول‌های ۲ سانتی‌متری تقسیم می‌کنیم. به این ترتیب ۶ مربع ۲ × ۲ سانتی‌متری ترسیم می‌شود. سپس مربع بالا سمت راست را پاک کرده تا شبکه مورد نظر حاصل شود. باید توجه داشت برای نوشتن اعداد ارتفاع روی شبکه پس از محاسبه هر یک از اعداد ارتفاع از روی جدول با توجه به کروکی که سر زمین تهیه کرده‌ایم آن‌ها را در جای خود به نحوی که گفته شد یادداشت می‌کنیم :

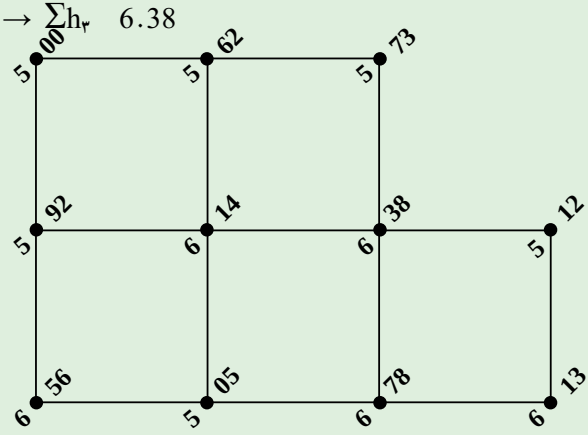
روش حل قسمت ب :

H_1	100.00	95	5	H_2	100.62	95	5.62
H_3	100.73	95	5.73	H_4	100.12	95	5.12
H_5	101.38	95	6.38	H_6	101.14	95	6.14
H_7	100.92	95	5.92	H_8	101.56	95	6.56
H_9	100.50	95	5.50	H_{10}	101.78	95	6.78
H_{11}	101.13	95	6.13				

h_1 5, 5.73, 5.12, 6.13, 6.56 $\rightarrow \Sigma h_1$ 28.54

h_2 5.62, 6.78, 5.50, 5.92 $\rightarrow \Sigma h_2$ 23.82

h_3 6.38 $\rightarrow \Sigma h_3$ 6.38



$h_4 \quad 6.14 \rightarrow \Sigma h_4 \quad 6.14$

$A \quad a \times a \rightarrow A \quad 20m \times 20m \quad 400m^2$

$$V = \frac{A}{4} \times (\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 3\Sigma h_3 + 4\Sigma h_4)$$

$$V = \frac{400}{4} \times (28.54 + 23.82 + 6.38 + 6.14) \rightarrow V = 6488m^3$$

بحث و بررسی :

گاهی ممکن است زمین مورد نظر کاملاً مربع شکل یا مستطیل شکل نباشند و پس از شبکه بندی مقداری از گوشه‌های آن باقی بماند. این قسمت‌ها را می‌توان به اشکال مختلف هندسی مانند مثلث یا ذوزنقه تقسیم کرده و حجم هر یک را جداگانه محاسبه و با حاصل حجم کل مربع‌ها جمع کنیم. به این ترتیب حجم عملیات خاکی برای کل زمین محاسبه می‌شود. برای این منظور می‌توان از رابطهٔ تعمیم یافته زیر استفاده کرد :

$$V_{abcd} = A \times \frac{1}{4}(\Sigma h_1 + 2\Sigma h_2 + 3\Sigma h_3 + 4\Sigma h_4) + \Sigma R$$

Σh_1 مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در یک مربع مشترکند.

Σh_2 مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در دو مربع مشترکند.

Σh_3 مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در سه مربع مشترکند.

Σh_4 مجموع عمق خاک گوشه‌هایی که در چهار مربع مشترکند.

ΣR مجموع حجم‌های اشکال مثلثی و ذوزنقه‌ای شکل.

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

$V_{\text{ذوزنقه}} \quad A \times \frac{(h_1 + h_2 + h_3 + h_4)}{4}$

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.

تمرین‌های کلاسی مثال ۱ــ۳

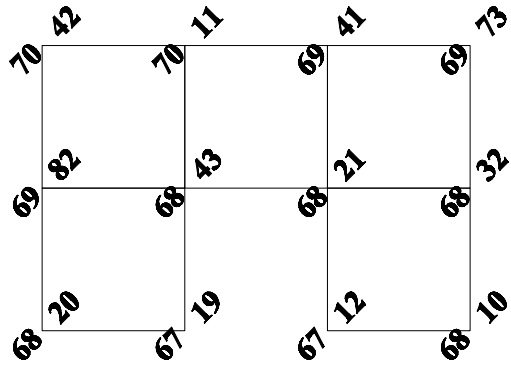
۱ــ بر روی شبکهٔ ارتفاعی شکل زیر با ابعاد هر شبکه (۱۵× ۱۵) متر مطلوب است :

الف) رسم شبکه با مقیاس ۱/۵۰۰

ب) محاسبه حجم عملیات خاکی (خاک‌برداری) با توجه به این‌که سطح پروژه ۶۵ متر می‌باشد.

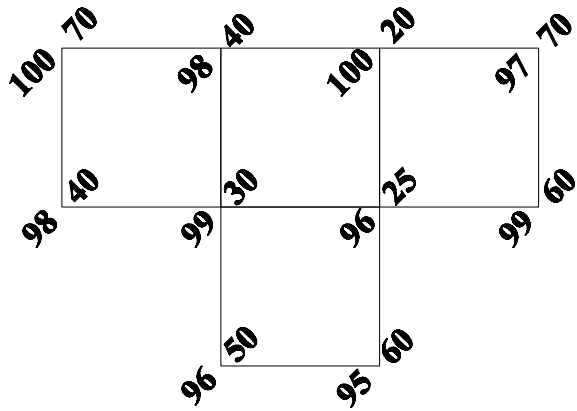
۲ــ شبکهٔ ارتفاعی قطعه زمینی با ابعاد هر شبکه (۱۵ × ۱۵) متر مطابق شکل زیر برداشت گردیده است. جهت مسطح نمودن این قطعه زمین در ارتفاع ۹۳ متر نیاز به چند متر مکعب خاک‌برداری می‌باشد؟

۳ــ با استفاده از شبکه ارتفاعی زیر مطلوب است حجم عملیات خاکی مربوط به سطح پروژه

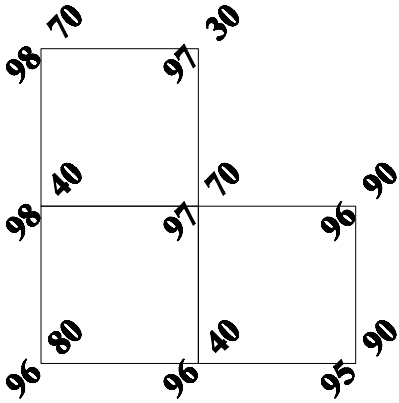


۱۰۰ متر. (ابعاد شبکه بیست متری است)

۴ــ در شبکه ارتفاعی زیر، ابعاد هر یک از شبکه‌ها (۶ × ۶) متر می‌باشد. در صورتی‌که مبدأ مختصات را گوشهٔ پایین سمت چپ شبکه در نظر بگیریم، مختصات سه بعدی کلیهٔ نقاط رئوس شبکه



را استخراج و در جدول زیر یادداشت کنید. سپس حجم عملیات خاکی کل شبکه را محاسبه کنید. (سطح پروژه ۶۰متر است.)



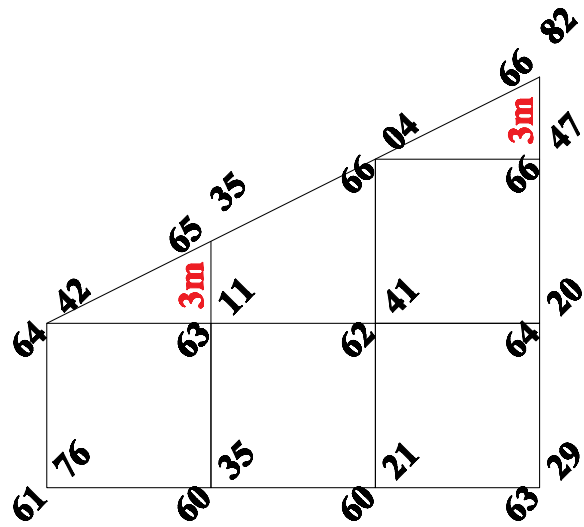
۵ــ در پلان شبکه ارتفاعی زیر با توجه به اندازه‌های داده شده در شبکه‌بندی مطلوب است :

الف) رسم شبکه‌بندی با مقیاس $\frac{۱}{۵۰۰}$

ب) ترسیم منحنی تراز ۱۰۰متر به روش واسطه‌یابی.

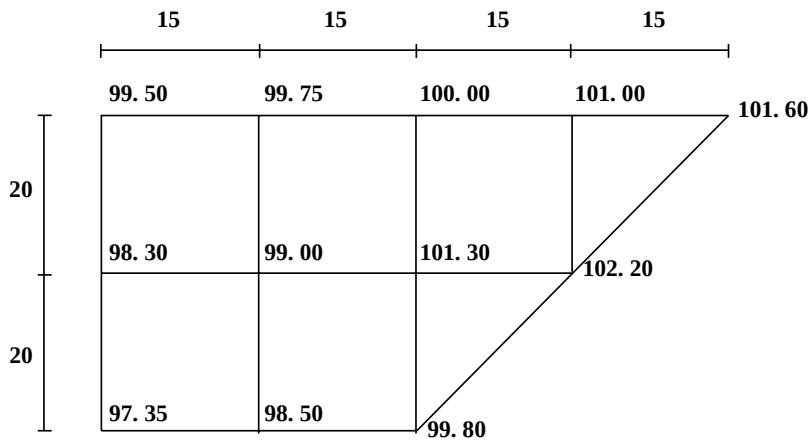
(ارتفاع نقاط و ابعاد شبکه روی پلان رقوم‌دار بر حسب متر است.)

No	X	Y	Z
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			
۶			
۷			
۸			
۹			
۱			
۱۱			
۱۲			



۶ــ دستگاه ترازیاب جهت محاسبه حجم عملیات خاکی بر روی B.M به ارتفاع ۲۰ متر مطابق کروکی زیر مستقر شده و اطلاعات جدول ترازیابی زیر برداشت شده است. در صورتی‌که ارتفاع دوربین از سطح زمین ۱۵۰۰ میلی‌متر باشد مطلوب است :

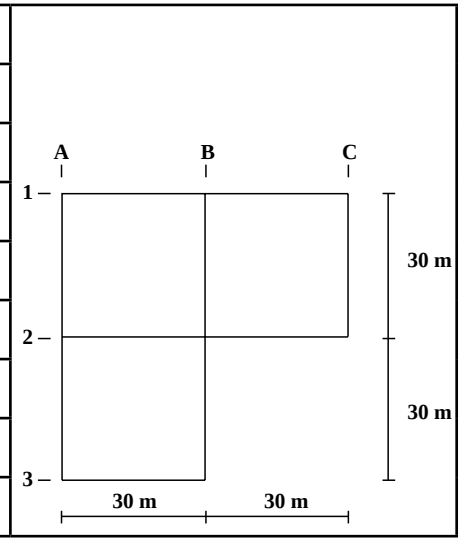
الف) محاسبه ارتفاع رئوس شبکه.



ب) محاسبه حجم عملیات خاکی مربوط به سطح پروژه ۱۹ متر.

نقاط	B S (mm)	M S (mm)	F S (mm)	HI (mm)	H (mm)	کروکی

B M	۱۵				
A۱		۸			
B۱		۵۸			
C۱		۱			
C۲		۲۱			
B۲		۱۷			
A۲		۱۲			
A۳		۱۵			
B۳			۲۳		



مثال ۱ــ۴ :منحنی میزان B. M.

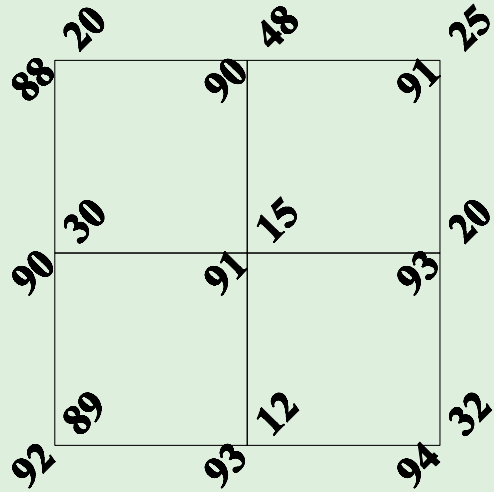
در شبکه ارتفاعی شکل زیر با ابعاد هر شبکه (۲۰ ×۲۰) متر مطلوب است :

الف) رسم شبکه با مقیاس ۱/۱۰۰۰.

ب) رسم منحنی تراز ۸۹ متری از طریق انترپوله (واسطه‌یابی).

راهکار کلی قسمت الف :

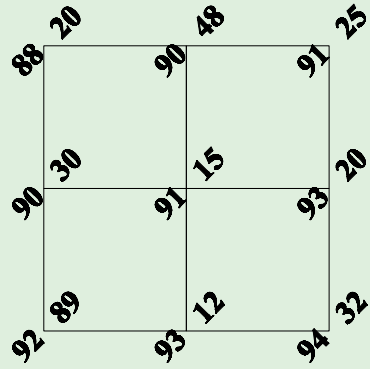
برای رسم هر شبکه، ابتدا طول آن را به مقیاس خواسته شده می‌برید. در این مسئله هر ضلع



برابر ۲۰ متر روی زمین است. با توجه به مقیاس ۱۰۰۰ :۱، روی نقشه این طول برابر ۲۰ میلی‌متر یا ۲ سانتی‌متر می‌شود. سپس با استفاده از خط‌کش یا اشل و به کمک گونیا مربع‌های ۲ در۲ سانتی‌متری را رسم کرده و ارتفاعات را با توجه به کروکی روی آن یادداشت کنید.

راهکار کلی قسمت ب :

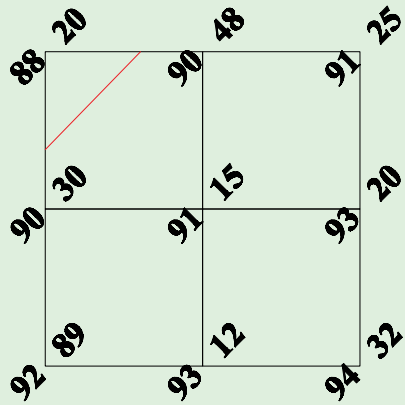
ابتدا روی هر یک از ضلع‌های مربع‌ها، به صورت تقریبی ارتفاع خواسته شده را مشخص



ترسیم مربع‌های
۲ در۲ سانتی‌متری

می‌کنیم تا مشخص شود عملیات واسطه‌یابی باید بر روی کدام یک از اضلاع انجام بگیرد. این کار باعث می‌شود محاسبات اضافی انجام نگیرد و از اتلاف وقت جلوگیری شود.

حال با معلوم شدن اضلاعی که نقاط مورد نظر در آن موجود است، برای محاسبهٔ جای دقیق نقطه، به روش انترپوله یا واسطه‌یابی عمل می‌کنیم. به این صورت که فاصلهٔ بین اضلاع روی زمین



معلوم است. ارتفاع رئوس شبکه نیز به وسیلهٔ عملیات ترازیابی محاسبه شده و مطابق کروکی در جای خود نوشته شده است. حال با داشتن اختلاف ارتفاع دو رأس شبکه و اختلاف ارتفاع نقطهٔ مورد نظر تا یکی از رأس‌ها (معمولاً ارتفاع کمتر) و هم‌چنین طول ضلع شبکه با یک تناسب ساده، فاصلهٔ مجهول مورد نظر محاسبه می‌شود.

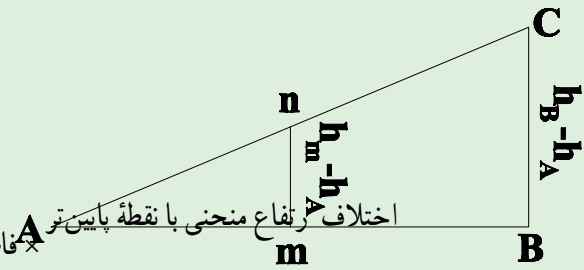
سپس طول محاسبه شده را به مقیاس خواسته شده تبدیل کرده و با کمک اشل و خط‌کش روی کاغذی که از قبل روی آن شبکه را ترسیم کرده‌اید با توجه به کروکی رسم کنید.

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

$mn \quad h_m \quad h_A, BC \quad h_B \quad h_A$

$$\frac{h_m-h_A}{h_B-h_A}=\frac{mA}{AB}$$

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



× فاصله دو نقطه اختلاف ارتفاع منحنی با نقطهٔ پایین‌تر

اختلاف ارتفاع دو نقطه

فاصله منحنی از

نقطهٔ ارتفاع پایین‌تر

روش حل و ترسیم :

منحنی‌هایی که با انجام عملیات فوق (واسطه‌یابی) و با اتصال نقاط هم ارتفاع به‌دست می‌آیند، شبیه خطوط شکسته می‌باشند و باید آن‌ها را به اصطلاح نرم نموده و به منحنی تبدیل کرد. در جایی که دو خط شکسته به هم وصل می‌شوند، به وسیلهٔ مداد و پیستوله و با ایجاد خمیدگی‌های ملایم، خطِ شکسته را به صورت منحنی پیوسته درمی‌آورند.

برای سهولت قرائت منحنی‌های تراز، از هر پنج یا ده منحنی تراز یکی را ضخیم ترسیم می‌کنند که به نام منحنی‌تراز اصلی خوانده می‌شود. میان منحنی‌تراز اصلی، منحنی‌های تراز فرعی با ضخامت کمتر رسم می‌شوند. رقم ارتفاعات معمولاً روی منحنی‌های تراز اصلی نوشته می‌شود.

برای نوشتن صحیح رقم ارتفاعات بر روی نقشه رعایت موارد زیر الزامی است :

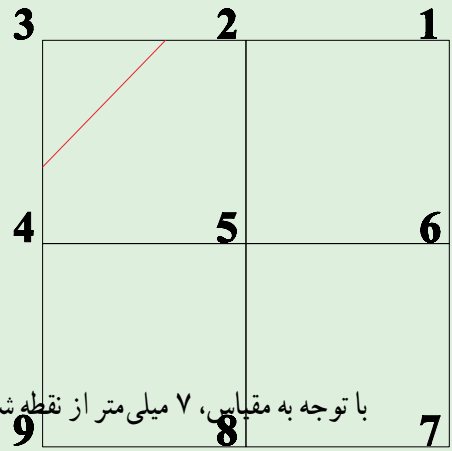
- اعداد روی نقشه حتی‌الامکان باید موازی با محور افقی کادر نقشه و در جهت مطالعهٔ نقشه باشد و عدم رعایت آن می‌تواند موجب بروز مشکلاتی شود.
- در نقشه‌های بزرگ مقیاس و نقشه‌های مهندسی ممکن است عددگذاری منحنی‌میزان‌ها همیشه در جهت مطالعهٔ نقشه نباشد که علت آن غالباً منطبق نبودن کادر قائم نقشه با شمال جغرافیایی است. از آنجایی که نقشه‌های بزرگ مقیاس در روی منطقه مورد استفاده قرار می‌گیرند و انطباق جهت نقشه و زمین ضرورت پیدا می‌کند، لذا نوشتن اعداد ارتفاعی به صورت مورب و عمود بر جهت شمال ــ نه عمود بر کادر قائم نقشه ــ انطباق نقشه با زمین را آسان‌تر می‌نماید. جهت افزایش ارتفاع در روی نقشه با افزایش اعداد همراه است و جهت عکس آن یعنی جهت شیب با اعدادی که به تدریج از مقدارشان کاسته می‌گردد نشان داده می‌شود. به این ترتیب استفاده کننده به راحتی می‌تواند پس از توجیه، جهت ارتفاعات و جهت شیب‌ها را از هم تشخیص دهد.
- در نقشه‌های کوچک مقیاس سعی می‌شود که اعداد حتی‌الامکان موازی با کادر نقشه و بدون توجه به جهت واقعی شیب در جهت مطالعه نقشه قرار گیرند. از این رو برای یافتن ارتفاع منحنی‌میزان‌ها باید امتداد خطوط را دنبال کرده تا اعدادِ نشان دهنده ارتفاع را پیدا کرد.
- در منحنی‌میزان‌های نزدیک به هم، اعداد معمولاً در یک امتداد و به صورت منظم نوشته شده و ارتفاع منحنی‌ها در قسمت صاف و کم پیچ و خم خطوط قید می‌شود.
- عدد نویسی روی منحنی‌های میزان به این صورت است که قسمتی از منحنی که کمی بیشتر

از طول عدد مورد نظر است، پاک شده و رقم ارتفاعی در آن محل قرار داده می‌شود.

● در هنگام ترسیم خطوط منحنی‌میزان باید دقت کنیم منحنی‌ها در هنگام برخورد با عوارض مسطحاتی مانند جاده، ساختمان، پل و غیره قطع می‌شوند.

نقطه 2, 3

$$x = \frac{\Delta h_{3,89} \times d}{\Delta h_{2,3}}$$



$\Delta h_{2\,3} \quad 90.48 \quad 88.20 \quad 2.28m$

$\Delta h_{3\,89} \quad 89 \quad 88.20 \quad 0.8m$

$$x = \frac{0.8 \times 20}{2.28} \rightarrow x = 7.02m \rightarrow x = 7mm$$

با توجه به مقیاس، ۷ میلی‌متر از نقطه شماره ۳ به سمت نقطه شماره ۲ جدا می‌کنیم.

نقطه 3, 4

$$x = \frac{\Delta h_{3,89} \times d}{\Delta h_{3,4}}$$

$\Delta h_{3\,4} \quad 90.30 \quad 88.20 \quad 2.10m$

$\Delta h_{3\,89} \quad 89 \quad 88.20 \quad 0.8m$

$$x = \frac{0.8 \times 20}{2.10} \rightarrow x = 7.62m \rightarrow x = 7.5mm$$

با توجه به مقیاس ۷/۵ میلی‌متر از نقطه شماره ۳ به سمت نقطه شماره ۴ جدا می‌کنیم.

بحث و بررسی :

هیچ منحنی‌میزانی در متن نقشه بلاتکلیف نمی‌ماند. به عبارتی دیگر راه عبورش بسته نیست و

حتما اگر از نقطه‌ای در متن نقشه شروع شود، یا به همان نقطه برمی‌گردد و یا به مسیر خود ادامه داده تا از متن نقشه خارج شده و به نقشهٔ کناری برود.

هیچ منحنی‌میزانی، منحنی‌میزان‌های دیگر را قطع نمی‌کند. مگر این‌که شیب در قسمتی از نقشه آن‌قدر زیاد باشد که تقریباً منحنی‌میزان‌ها روی هم بیفتند. (مانند یک دیوارهٔ قائم). در چنین حالت‌هایی قبل از برخورد با عارضه، منحنی‌میزان‌ها قطع و به جای آن‌ها علامت قراردادی ترانشه (به معنی دیوارهٔ قائم) گذاشته می‌شود.

روی همهٔ منحنی‌میزان‌ها به دلیل شلوغ شدن نقشه، مقدار ارتفاع‌ها نوشته نمی‌شود. بلکه از هر ۵ منحنی یکی را ضخیم‌تر کشیده (منحنی میزان اصلی یا مترس)، قسمتی از منحنی را در محل معینی برش داده و ارتفاع منحنی را در قسمت برش داده شده می‌نویسیم. (سمت نوشتن ارتفاع منحنی‌ها باید در جهت بزرگترین شیب منطقه باشد.)

با استفاده از پیستوله منحنی میزان‌ها را نرم کرده و با قراردادن یک شیت شفاف برروی نقشه و کپی کردن خطوط منحنی‌میزان برروی آن می‌توانیم نقشهٔ نهائی توپوگرافی منطقه را داشته باشیم.

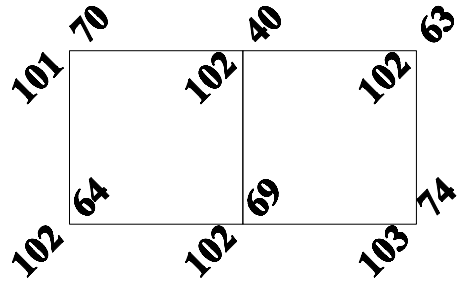
تمرین های کلاسی مثال ۱ــ۴

۱ــ در شکل زیر ابعاد شبکه‌ها ۳۰ × ۳۰ متر می‌باشد مطلوب است :

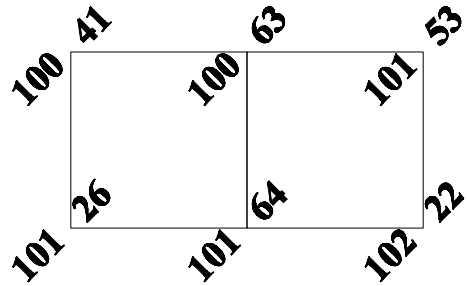
الف) رسم شبکه با مقیاس ۱:۱۰۰۰ .

ب) ترسیم منحنی‌های تراز ۱۰۲ و ۱۰۳ متری به روش واسطه‌یابی.

۲ــ با استفاده از انتریوله کردن (واسطه‌یابی) منحنی تراز مربوط به ارتفاع ۱۰۱ متری را بر روی شبکه ارتفاعی شکل زیر ترسیم نمایید. ابعاد شبکهٔ قائم‌الزاویه ۴۰ متر و اعداد ارتفاع بر حسب متر می‌باشند.

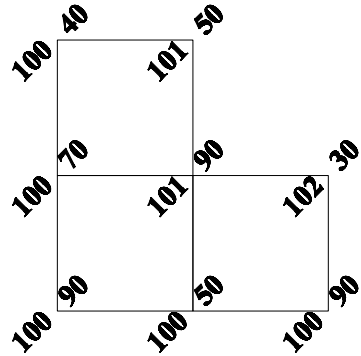


۳ ــ پلان رقوم دار شکل زیر را با مقیاس ۱/۵۰۰ رسم کرده و منحنی تراز ۱۰۱ متر را با استفاده از واسطه یابی ترسیم کنید. (ابعاد شبکه ۱۵ متری است.)



۴ــ در شبکه ارتفاعی شکل زیر با ابعاد هر شبکه ۱۵×۱۵ متر مطلوب است :

الف) رسم شبکه با مقیاس ۱/۵۰۰ .



ب) رسم منحنی تراز ۹۹ متر از طریق انترپوله (واسطه‌یابی).

۵ــ پس از ترسیم شبکه‌بندی زیر به ابعاد ۲۰متر، در مقیاس $\frac{۱}{۱۰۰۰}$ منحنی میزان‌ها با فاصله ارتفاعی یک‌متر را ترسیم کنید.