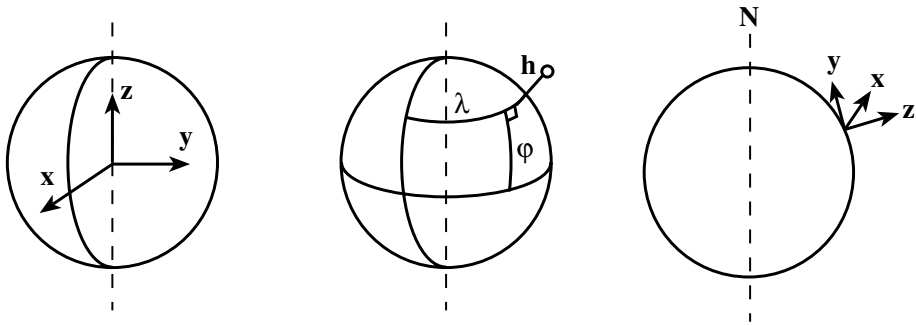


سیستم‌های مختصات محلی، ژئودتیک و زمین مرکز
شکل ۲۲ــ۲

سیستم مختصات محلی همان سیستم مختصاتی است که معمولاً نقشه‌برداران آن را به‌صورت موضعی درروی سطح زمین تعریف می‌کنند. مبدأ آن روی نقطه‌ای مشخص در روی سطح زمین، محور y در راستای شمال N، محور z در راستای قائم به بالا (زنیط) و محور x عمود بر صفحه‌ی yz و دست راستی تعریف می‌شود. همان‌طور که در شکل ۲۲ــ۲ دیده می‌شود با دور شدن از مبدأ کرویت زمین باعث ایجاد خطا در مختصات xyz سیستم مختصات محلی می‌شود.

در سیستم مختصات ژئودتیک سطح مبنای مسطحاتی و ارتفاعی، یک بیضوی مبنااست. این بیضوی معمولاً WGS84 سیستم ژئودتیک جهانی (World Geodetic System 1984) انتخاب می‌گردد. تعیین موقعیت در این سیستم مختصات مشابه سیستم مختصات کروی می‌باشد با این تفاوت که به‌جای اندازه‌گیری فاصله از مبدأ، فاصله از سطح بیضوی اندازه‌گیری می‌شود. مختصات مسطحاتی در این سیستم همان طول و عرض ژئودتیک یا جغرافیایی (ϕ,λ) می‌باشد[1]. مختصه ارتفاعی h نیز ارتفاع نقطه از سطح بیضوی مبنا است که به آن ارتفاع ژئودتیک هم می‌گویند. کاربرد اصلی این سیستم مختصات تعیین موقعیت جهانی عوارض در سطح زمین می‌باشد. لازم به ذکراست که مختصات حاصل از GPS همان طول، عرض و ارتفاع ژئودتیک می‌باشد.

سیستم مختصات زمین مرکز نیز شبیه سیستم مختصات محلی یک نوع سیستم مختصات متعامد سه بعدی است با این تفاوت در این سیستم مختصات محل مبدأ و امتداد محورهای آن تعریف جهانی داشته و وابسته به موقعیت نقشه‌بردار نمی‌باشد. مبدأ سیستم مختصات زمین مرکز همان‌طور که از نام آن پیداست بر مرکز کره زمین واقع است. مطابق شکل ۲۲ــ۲ امتداد محور z منطبق بر محور

۱ــ تعریف دقیق طول و عرض ژئودتیک با طول وعرض جغرافیایی متفاوت است اما در این‌جا به‌خاطر سادگی ارائه مطلب آن‌ها را یکسان در نظر گرفته‌ایم.

دورانی زمین، امتداد محور x در روی استوانه و منطبق بر صفحه نصف‌النهار مرجع گرینویچ و محور y نیز در استوا و عمود بر دو محور دیگر و به‌صورت دست راستی می‌باشد. کاربرد اصلی این سیستم مختصات در تعیین موقعیت ماهواره‌ها و اجرام سماوی نسبت به زمین می‌باشد.

مطالعه آزاد

از آن‌جا که هر دو سیستم مختصات ژئودتیک و زمین مرکز، جهانی هستند، معمولاً نیاز به تبدیل بین مختصات این دو سیستم پیدا می‌شود. این تبدیل به‌صورت زیر است :

$$x = (N+h)\cos\varphi\cos\lambda$$

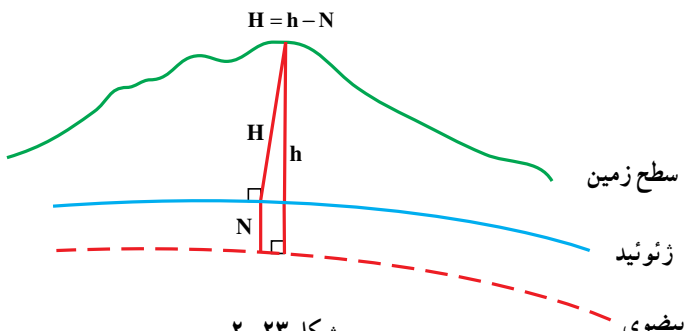
$$y = (N+h)\cos\varphi\sin\lambda$$

$$z = \left[N(1-e^2)+h\right]\sin\varphi$$

که در آن (φ,λ,h) مختصات ژئودتیک، (xyz) مختصات زمین مرکز، e خروج از مرکز بیضوی مبنا و N شعاع انحنای حداکثر بیضوی در نقطه‌ی موردنظر می‌باشد که به‌صورت زیر به‌دست می‌آید :

$$N = \frac{a}{\sqrt{1-e^2\sin^2\varphi}}$$

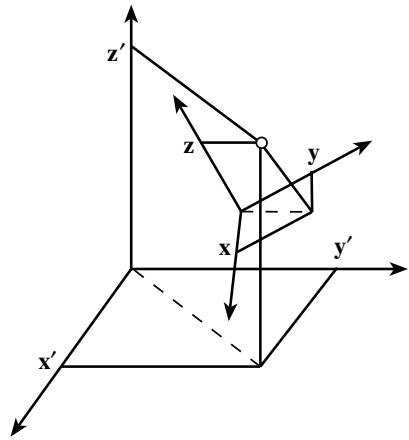
۳ــ ارتفاع ارتومتریک و ژئودتیک: همان‌طورکه در بالا ذکر شد سطح مبنای ارتفاعی سطح هم پتانسیل ژئوئید می‌باشد که تعریفی فیزیکی دارد. در صورتی‌که N جدایی ژئوئید برابر فاصله بین سطح ژئوئید از بیضوی مبنا باشد می‌توان از رابطه‌ی زیر ارتفاع ارتومتریک (ارتفاع از ژئوئید) H نقطه را از ارتفاع ژئودتیک h آن با تقریب خوبی محاسبه نمود (شکل ۲۳ــ۲).



شکل ۲۳ــ۲

جدایی ژئوئید یا ارتفاع ژئوئید N را می‌توان از طریق مدل‌های ژئوئید که با دقت‌های مختلفی از چند متر تا چند سانتی‌متر به‌صورت جهانی، منطقه‌ای، ملی و حتی محلی از طریق مشاهدات ثقل‌سنجی محاسبه می‌شود به‌دست آورد. ارتفاع ژئودتیک h نیز از طریق مشاهدات GPS قابل دستیابی است. این در حالی‌است که مشاهدات ترازیابی زمینی در صورت در دسترس بودن ارتفاع یک نقطه از سطح متوسط آب‌های آزاد، درعمل ارتفاع ارتومتریک را به‌دست می‌دهند. به طورکلی به‌جای انجام ترازیابی زمینی به‌خصوص درمناطق کوهستانی که باهزینه و دشواری‌های زیادی مواجه است، می‌توان به شرط در دسترس بودن یک مدل ژئوئید نسبتاً دقیق از مشاهدات ارتفاعی GPS استفاده نمود. به این روش اصطلاحاً ترازیابی ماهواره‌ای هم می‌گویند.

۳ــ۲ــ۲ــ انتقال بین سیستم‌های مختصات: از آن‌جا که سیستم‌های مختصات متعدد با اهداف مختلفی در نقشه‌برداری مورد استفاده قرار می‌گیرد، انتقال بین سیستم‌های مختصات (coordinate system transformation) امری اجتناب‌ناپذیر است. برای روشن شدن موضوع فرض کنید مختصات نقطه‌ای در یک سیستم مختصات معلوم است و می‌خواهیم مختصات همان نقطه را در سیستم مختصات دیگری به‌دست آوریم. شکل **۲۴ــ۲** موقعیت سه بعدی یک نقطه را در دو سیستم مختصات متعامد سه بعدی نشان می‌دهد. مطابق این شکل، موقعیت (x,y,z) مشخص است و ما می‌خواهیم موقعیت (x' , y' , z') را به‌دست آوریم. برای این منظور بایستی ابتدا ارتباط بین دوسیستم مختصات از لحاظ میزان جابه‌جایی دو مبدأ و میزان دوران محورهای آن‌ها نسبت به هم را پیدا نمود. سپس با معرفی موقعیت نقطه در سیستم مختصات اول، موقعیت همان نقطه را در سیستم مختصات دوم به‌دست آورد.

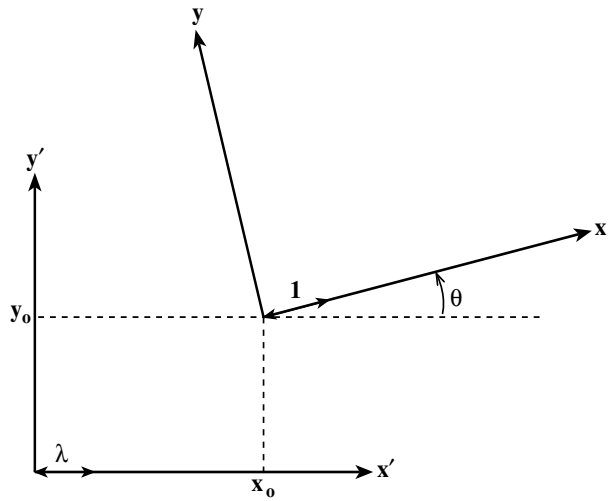


شکل ۲۴ــ۲

سیستم مختصات یک نقشه موجود را نیز می‌توان تغییرداد. برای این منظور کافی است پس از محاسبه پارامترهای انتقال بین سیستم مختصات اولیه نقشه و سیستم مختصات جدید موردنظر، مختصات جدید کلیه نقاط مربوط به عوارض هندسی نقشه را مانند فوق از روی مختصات اولیه آن‌ها محاسبه نمود و نقشه را با مختصات جدید عوارض ترسیم کرد.

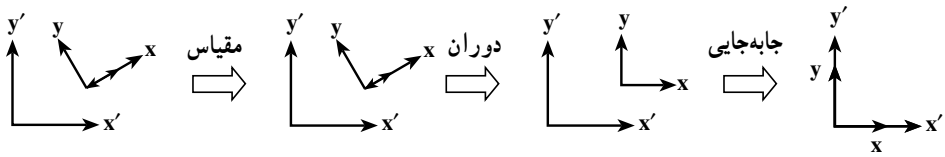
در ادامه ابتدا انتقال بین دو سیستم مختصات متعامد دو بعدی تشریح شده و سپس کاربردهای معمول انتقال سیستم مختصات در نقشه‌برداری مورد بحث قرار می‌گیرد. انتقال بین سیستم‌های مختصات دیگر مانند انتقال بین دو سیستم مختصات متعامد سه بعدی نمایش یافته در شکل **۲۴ــ۲** را در مقاطع تحصیلی بالاتر خواهید آموخت.

۱ــ انتقال سیستم مختصات متعامد دو بعدی: دو سیستم مختصات متعامد دو بعدی (x,y) و (x',y') را در نظر بگیرید. فرض کنید مختصات نقطه‌ای در سیستم مختصات (x,y) معلوم است. می‌خواهیم مختصات این نقطه را در سیستم مختصات (x',y') به‌دست آوریم. برای این منظور باید سیستم مختصات (x,y) را به سیستم مختصات (x',y') انتقال دهیم. در حالت انتقال دو بعدی مطابق شکل **۲۵ــ۲** چهار پارامتر انتقال باید تعیین شود : دو پارامتر (x_o,y_o) جابه‌جایی بین مبدأ دو سیستم مختصات، یک پارامتر θ دوران بین محورهای دو سیستم مختصات و یک پارامتر λ مقیاس که برابر نسبت طول بردار واحد در دو سیستم مختصات است.



شکل ۲۵ــ۲

با معلوم بودن چهار پارامتر انتقال فوق، می‌توان مطابق شکل ۲۶ــ۲ در سه مرحله سیستم مختصات (x,y) را به سیستم مختصات (x' , y') انتقال داد. ابتدا مقیاس سیستم مختصات (x,y) با ضرب مختصات آن در مقدار λ با مقیاس سیستم مختصات (x' , y') یکسان می‌شود. سپس سیستم مختصات تغییر مقیاس یافته (x,y) به اندازه‌ی زاویه‌ی θ دوران می‌یابد. در انتها مرکز سیستم مختصات دوران یافته (x,y) به میزان (xo,yo) جابه‌جا شده تا به‌طور کامل بر سیستم مختصات (x' , y') انطباق یابد.



شکل ۲۶ــ۲

از نقطه‌نظر ریاضی رابطه انتقال بین دو سیستم مختصات متعامد دو بعدی به‌صورت زیر تعریف می‌شود :

$$\begin{cases} x' = ax + by + c \\ y' = -bx + ay + d \end{cases}$$

در این رابطه (x,y) مختصات اولیه، (x′y′) مختصات انتقال یافته و a، b، c و d پارامترهای انتقال می‌باشند. معمولاً این رابطه را انتقال متشابه دو بعدی (2D conformal Transformation) می‌نامند زیرا در این انتقال اگر چه موقعیت وضعیت و ابعاد عوارض تغییر می‌کند اما تشابه عوارض حفظ می‌شود.

مطالعه آزاد

انتقال متشابه دو بعدی را می‌توان به‌صورت رابطه ریاضی زیر نوشت که در آن R ماتریس دوران دو بعدی است :

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \lambda . R_\theta . \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_o \\ y_o \end{bmatrix}$$

مقیاس دوران جابه‌جایی

در انتها رابطه ریاضی زیر برای انتقال دو سیستم مختصات به‌دست می‌آید :

$$x' = \lambda \cos\theta . x + \lambda \sin\theta . y + x_o$$

$$y' = -\lambda \sin\theta . x + \lambda \cos\theta . y + y_o$$

در این رابطه اگر چهار پارامتر abcd را جایگزین چهار پارامتر θ λ $x_o y_o$ کنیم آن‌گاه رابطه نسبتاً ساده زیر برای انتقال مختصات به‌دست می‌آید.

$$\begin{aligned} a &= \lambda \cos\theta \\ b &= \lambda \sin\theta \\ c &= x_o \\ d &= y_o \end{aligned} \Longrightarrow \begin{aligned} x' &= ax + by + c \\ y' &= -bx + ay + d \end{aligned}$$

مثال: مختصات نقطه‌ای در سیستم مختصات $(x,y) = (۶,۴)$ متر است. در صورتی‌که سیستم مختصات ابتدا به اندازه‌ی ۳۰ درجه در جهت عقربه‌های ساعت دوران نماید و سپس به اندازه‌ی (۲،۳) متر جابه‌جا شود، مختصات جدید نقطه را محاسبه نمایید.

راه‌حل: چون مقیاس تغییری ننموده است $\lambda = ۱$ است. هم‌چنین $\theta = ۳۰$ ، $x_o = ۳$ و $y_o = ۲$ است.

$$a = \lambda \cos\theta = \cos ۳۰ = ۰/۵۰$$

$$b = \lambda \sin\theta = \sin ۳۰ = ۰/۸۷ \Longrightarrow \begin{aligned} x' &= ax + by + c = ۰/۵۰x + ۰/۸۷y + ۲ \\ y' &= -bx + ay + d = -۰/۸۷x + ۰/۵۰y + ۳ \end{aligned}$$

$$c = x_o = ۲ \qquad d = y_o = ۳$$

$$\begin{aligned} x &= ۶ \\ y &= ۴ \end{aligned} \Longrightarrow \begin{aligned} x' &= ۰/۵۰x + ۰/۸۷y + ۲ = ۰/۵۰^{*}۶ + ۰/۸۷^{*}۴ + ۲ = ۸/۴۸ \\ y' &= -۰/۸۷x + ۰/۵۰y + ۳ = -۰/۸۷^{*}۶ + ۰/۵۰^{*}۴ + ۳ = -۰/۲۲ \end{aligned}$$

بنابراین مختصات جدید نقطه $(x', y') = (۸/۴۸, -۰/۲۲)$ می‌باشد.

در صورتی‌که چهار پارامتر انتقال سیستم مختصات دو بعدی مجهول باشد، معمولاً به کمک نقاط کنترل مقادیر آن‌ها را برآورد می‌نمایند. نقاط کنترل نقاطی هستند که مختصات آن‌ها در دو سیستم مختصات معلوم می‌باشد. برای تعیین چهار پارامتر انتقال، حداقل به دو نقطه کنترل نیاز است

تا بتوان با آن‌ها دستگاه چهار معادله چهار مجهول را تشکیل داد و پارامترهای انتقال مجهول را به‌دست آورد. اگر اندیس یک و دو مبین دو نقطه کنترل در سیستم مختصات (x,y) و (x',y') باشد، پارامترهای انتقال از روابط زیر قابل محاسبه خواهند بود. در این روابط منظوراز Δ اختلاف بین مختصات دو نقطه برای هر سیستم مختصات می‌باشد :

$$\Delta x = x_2 - x_1 \qquad a = \frac{\Delta x' \Delta x + \Delta y' \Delta y}{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$\Delta y = y_2 - y_1 \qquad b = \frac{\Delta x' \Delta y + \Delta y' \Delta x}{\Delta x^2 + \Delta y^2}$$

$$\Delta x' = x'_2 - x'_1 \quad \Rightarrow \quad c = x'_1 - ax_1 - by_1$$

$$\Delta y' = y'_2 - y'_1 \qquad d = y'_1 + bx_1 - ay_1$$

تمرین: مختصات نقاط A و B قبل و بعد از انتقال سیستم مختصات داده شده است.

الف ــ پارامترهای انتقال سیستم مختصات را محاسبه کنید.

ب ــ مختصات نقطه‌ی C بعد از انتقال سیستم مختصات چه‌قدر است؟

نقطه	x	y	x'	y'
A	۳	۵	۴	۶
B	۷	۹	۵	۳
C	۴	۲	?	?

مطالعه آزاد

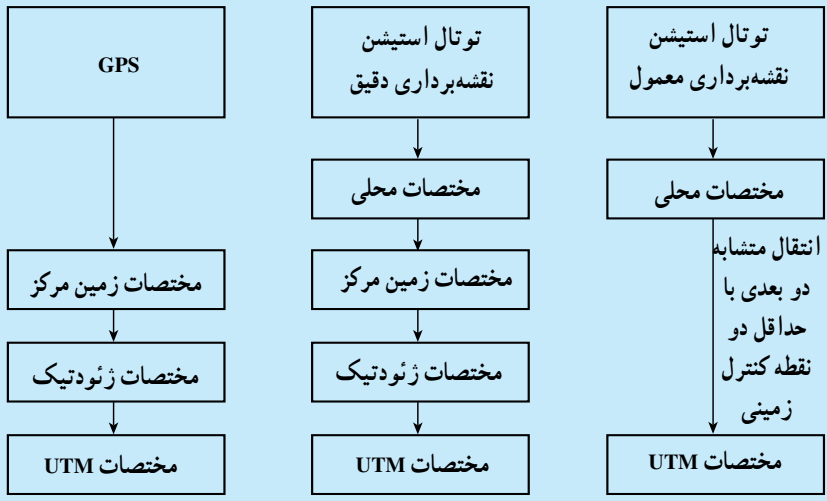
کاربردهای انتقال سیستم مختصات

برای تعیین موقعیت نقاط در نقشه‌برداری زمینی معمولاً از GPS یا توتال استیشن استفاده می‌کنند. GPS موقعیت نقاط را در سیستم مختصات زمین مرکز اندازه‌گیری می‌کند در حالی‌که توتال استیشن موقعیت نقاط را در سیستم مختصات محلی اندازه‌گیری می‌نماید. از سوی دیگر نقشه‌برداران معمولاً نقشه‌ها را در سیستم تصویر UTM تهیه و ترسیم می‌کنند. از این‌رو بایستی مختصات زمین مرکز حاصل از GPS و مختصات محلی حاصل از توتال استیشن به مختصات UTM تبدیل شوند.

برای تبدیل مختصات زمین مرکز GPS کافی است ابتدا سیستم مختصات زمین مرکز را به سیستم مختصات ژئودتیک (از طریق روابط ذکر شده در مطالعه آزاد

صفحه‌ی ۳۷) تبدیل نمود. سپس توسط روابط تبدیل مختصات در سیستم تصویر UTM مختصات UTM را از روی مختصات طول و عرض ژئودتیک محاسبه کرد (شکل ۲۷ــ۲). البته دستگاه‌های امروزی GPS این محاسبات را مستقیماً انجام داده و می‌توانند مختصات ژئودتیک و UTM را به سرعت ارائه دهند.

هم‌چنین برای تبدیل مختصات محلی به مختصات UTM کافی است ابتدا سیستم مختصات محلی به سیستم مختصات زمین مرکز انتقال یابد. سپس مشابه فوق مختصات زمین مرکز از طریق تبدیل آن به مختصات ژئودتیک، به مختصات UTM انتقال یابد (شکل ۲۷ــ۲). این فرایند تبدیل مختصات در پروژه‌های نقشه‌برداری دقیق باید رعایت شود. البته در پروژه‌های معمول نقشه‌برداری زمینی چون ابعاد منطقه به‌حدی کوچک است که در آن خطای کرویت زمین در مقایسه با دقت تعیین موقعیت قابل چشم‌پوشی است، می‌توان زمین را مسطح فرض نموده و سیستم مختصات محلی دو بعدی را به سیستم مختصات UTM دو بعدی انتقال داد. این امر به‌سادگی از طریق روابط ذکر شده در بخش قبل قابل انجام می‌باشد (شکل ۲۷ــ۲). از این‌رو برای محاسبه پارامترهای انتقال، نیاز به حداقل دو نقطه کنترل زمینی می‌باشد که موقعیت UTM آن‌ها معلوم بوده و نقشه‌بردار مختصات محلی این دو نقطه را نیز تعیین می‌نماید. موقعیت UTM نقاط کنترل را می‌توان توسط GPS اندازه‌گیری نمود یا آن‌ها را تحت نام نقاط کانوا یا نقاط مبنا از سازمان نقشه‌برداری کشور خریداری کرد.



شکل ۲۷ــ۲

تمرین: در یک عملیات نقشه‌برداری معمول، ابتدا مختصات UTM نقاط مبنای A و B توسط GPS اندازه‌گیری شد. سپس توتال استیشن در نقطه‌ی A استقرار یافته و مختصات اختیاری (1000,1000) متر برای ایستگاه به دستگاه معرفی گردید. در مرحله‌ی بعد لمب افقی دوربین به نقطه‌ی B صفر ــ صفر شده و مختصات محلی نقاط مطابق جدول زیر اندازه‌گیری شد. مطلوبست مختصات UTM نقاط C و D.

نقطه	X_{local}	Y_{local}	X_{UTM}	Y_{UTM}
A	۱۰۰۰٫۰۰۰	۱۰۰۰٫۰۰۰	۲۵۶۱۸۸/۱۰۳	۳۷۳۸۹۶۱/۲۳۰
B	۱۰۹۵/۲۳۴	۱۰۰۰٫۰۰۰	۲۵۶۲۵۰/۸۸۴	۳۷۳۸۸۸۹/۶۲۰
C	۹۷۶/۱۲۴	۱۰۱۱/۵۵۶	?	?
D	۱۱۳۹/۹۰۱	۸۹۸/۰۰۲	?	?

در انتقال سیستم‌های مختصات گاهی اوقات موقعیت مسطحاتی نقاط ثابت مانده اما موقعیت ارتفاعی نقاط انتقال می‌یابد. برای مثال ارتفاعات ژئودتیک حاصل از GPS چون نسبت به سطح بیضوی مبنا WGS84 می‌باشند باید در یک منطقه کوچک آن‌ها را به اندازه جدایی ژئوئید N به یک اندازه کم نمود تا ارتفاع ارتومتریک به‌دست آید. یا این‌که در نقشه‌برداری اگر ارتفاع توتال استیشن یا رفلکتور درست معرفی نشود باید ارتفاع به‌دست آمده برای همه نقاط رابه میزان یکسانی افزایش یا کاهش داد تا ارتفاع صحیح نقاط به‌دست آید.

خودآزمایی

۱ــ نحوه‌ی اندازه‌گیری شعاع زمین به‌وسیله‌ی اراتوستن را با رسم شکل توضیح دهید.

۲ــ نحوه‌ی اندازه‌گیری شعاع کره‌ی زمین به‌وسیله‌ی «پوسیدونیوس» را شرح دهید.

۳ــ سطح طبیعی زمین را به عنوان یک سطح مبنا توضیح دهید.

۴ــ سطح ژئوئید را به‌عنوان یک سطح مبنا توضیح دهید.

۵ــ سطوح تراز را تعریف کنید.

۶ــ نحوه‌ی تعیین ژئوئید را توضیح دهید.

۷ــ بیضوی به عنوان یک سطح مبنا را توضیح دهید.

۸ــ پارامترهای یک بیضوی را با رسم شکل توضیح دهید.

۹ــ بیضوی جهانی را توضیح دهید.

۱۰ــ انواع ارتفاع‌ها را که در ژئودزی با آن‌ها سروکار داریم، نام ببرید.

۱۱ــ ارتفاع ارتومتریک یک نقطه را با رسم شکل توضیح دهید.

۱۲ــ ارتفاع ژئودتیک یک نقطه را با رسم شکل توضیح دهید.

۱۳ــ ارتفاع ژئوئید را با رسم شکل توضیح دهید.

۱۴ــ انواع سیستم مختصات در هندسه را نام ببرید و هر کدام را توضیح دهید.

۱۵ــ انواع تعیین موقعیت در نقشه‌برداری را نام ببرید.

۱۶ــ تعیین موقعیت مسطحاتی و ارتفاعی را توضیح دهید.

۱۷ــ انواع تعیین موقعیت سه بعدی را نام ببرید.

۱۸ــ ارتفاع ارتومتریک و ژئودتیک و ژئوئید را تعریف کنید.

۱۹ــ لزوم انتقال بین سیستم‌های مختصات را بنویسید.

۲۰ــ با رسم یک شکل انتقال سیستم مختصات متعامد دو بعدی را توضیح دهید.

فصل سوم

سیستم‌های تصویر در نقشه‌برداری
(Projection Systems in Surveying)

هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل فراگیر باید بتواند :

۱ــ لزوم تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین به روی صفحه را توضیح دهد.

۲ــ دو مشکل اساسی تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین به روی صفحه را توضیح دهد.

۳ــ سیستم تصویر را تعریف کند.

۴ــ ویژگی‌های یک سیستم تصویر مناسب را توضیح دهد.

۵ــ ویژگی انواع سیستم تصویر را نام ببرد.

۶ــ سیستم تصویر متشابه را به اختصار شرح دهد.

۷ــ سیستم تصویر هم مساحت را به اختصار شرح دهد.

۸ــ سیستم تصویر هم فاصله را به اختصار شرح دهد.

۹ــ سیستم تصویر آزیموتی را به اختصار شرح دهد.

۱۰ــ انواع سیستم‌های تصویر را از نظر روش نام ببرد.

۱۱ــ سیستم تصویر مخروطی را تعریف کند.

۱۲ــ کاربردهای سیستم تصویر مخروطی و ویژگی آن را توضیح دهد.

۱۳ــ سیستم تصویر مرکاتور را توضیح دهد.

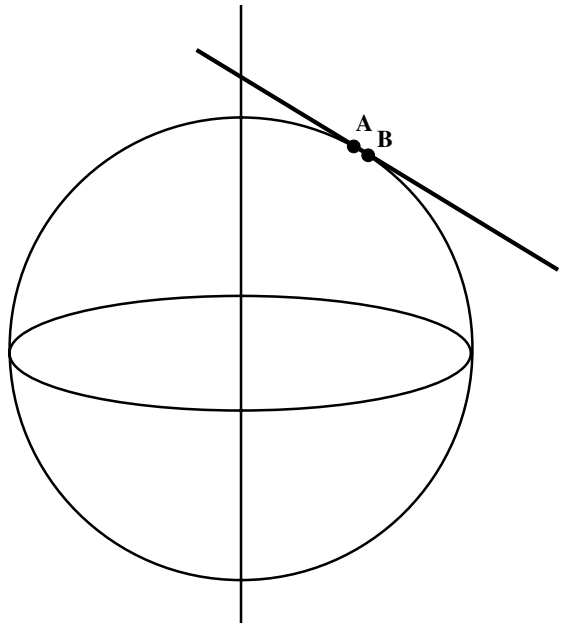
۱۴ــ سیستم تصویر ترانسورس مرکاتور را تعریف کند.

۱۵ــ سیستم تصویر یونیورسال ترانسورس مرکاتور را توضیح دهد.

۱۶ــ ویژگی‌های سیستم تصویر یونیورسال ترانسورس مرکاتور را توضیح دهد.

۱ــ۳ــ سیستم‌های تصویر و انواع آن

۱ــ۱ــ۳ــ لزوم تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین به روی صفحه: برای تهیه‌ی نقشه از مناطق کوچک می‌توانیم از انحنای کره‌ی زمین صرف‌نظر کنیم و منطقه را روی یک صفحه تصویر نماییم. برای شناخت بیش‌تر میزان انحنای کره‌ی زمین به شکل توجه کنید. شعاع کره را اگر ۶۴۰۰ کیلومتر فرض کنیم دو نقطه‌ی A و B به فاصله‌ی تقریبی ۲۰۰m در مقایسه با شعاع و محیط این کره بسیار ناچیز بوده می‌توان از انحنای موجود صرف‌نظر نمود. اما هرگاه منطقه بزرگ و وسیع باشد و پروژه مستلزم دقت بسیار باشد باید انحنای زمین را در نظر بگیریم. واقعیت امر این است که اگر بخواهیم زمین و موقعیت نقاط روی آن را به‌طور واقعی نشان دهیم درنظر گرفتن یک صفحه برای تهیه‌ی نقشه مناسب نیست و باید برای نشان دادن موقعیت‌ها از کره یا بیضوی استفاده نمود. اما این موضوع امکان‌پذیر نیست، زیرا برای مثال می‌خواهیم موقعیت‌ها را با مقیاس $\frac{۱}{۱۰۰/۰۰۰}$ نشان دهیم در آن صورت به کره‌ای به شعاع ۶۴m نیاز است. یا برای داشتن موقعیت‌ها با مقیاس $\frac{۱}{۱/۰۰۰}$ کره‌ای به شعاع ۶۴۰۰m نیاز است که چنین نمایشی برای موقعیت‌ها مناسب نیست. پس به تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین بر روی صفحه نیاز است.

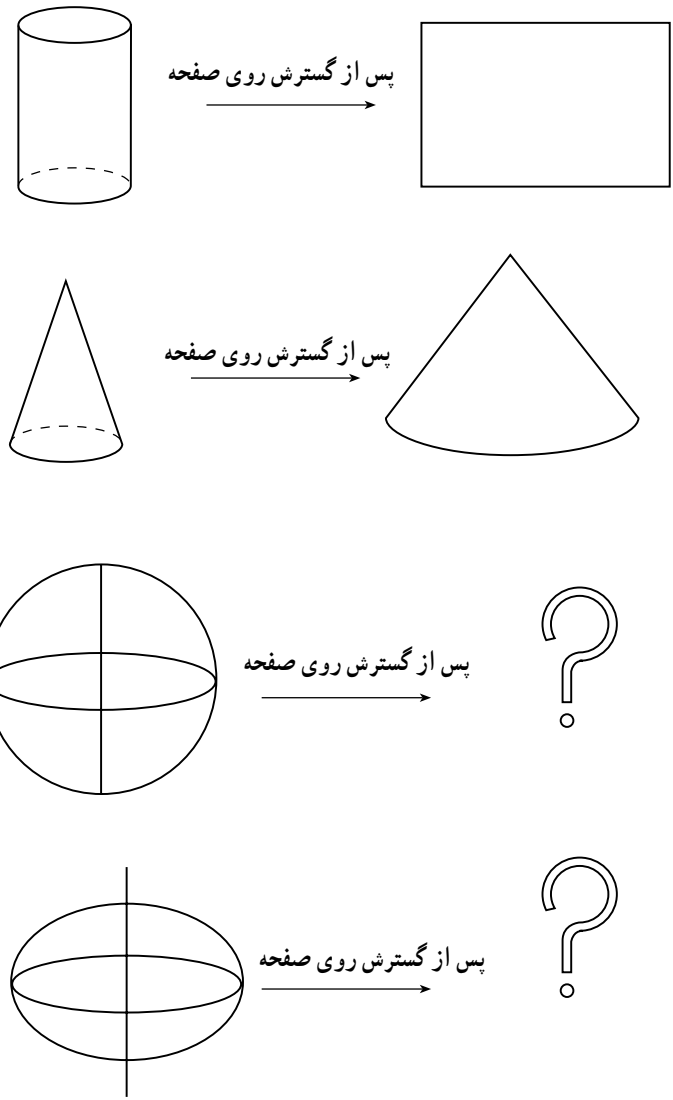


شکل ۱ــ۳

۲ــ۱ــ۳ــ دو مشکل عمده‌ی تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین بر روی صفحه

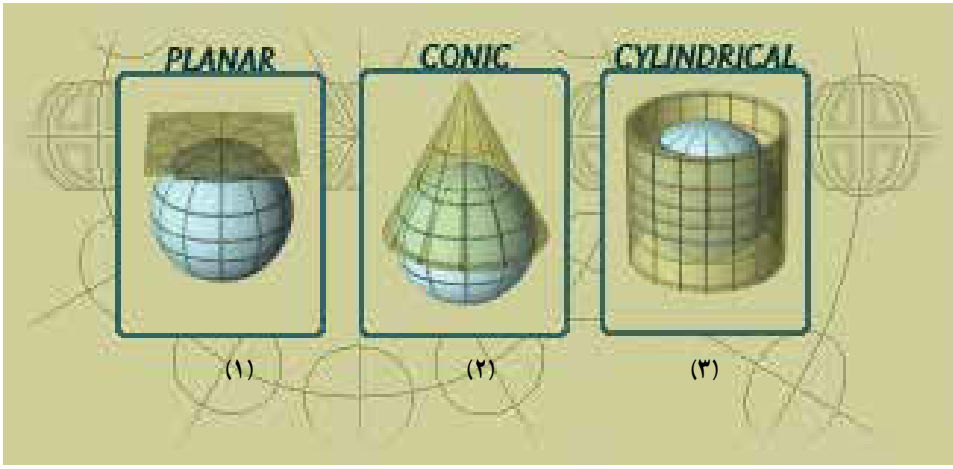
۱ــ موقعیت‌ها بر روی کره‌ی زمین سه‌بعد دارند ؛ در حالی که صفحه دارای دو بعد است ؛ از این رو، باید روشی برای نمایش سه بعد بر روی دو بعد در اختیار داشته باشیم.

۲ــ شکل هندسی کره یا بیضوی هیچ‌گاه روی یک صفحه باز نمی‌شوند توجه کنید اشکال هندسی مانند مخروط و استوانه، خلاف کره و بیضوی، قابل باز شدن روی صفحه هستند.



شکل ۲ــ۳ــ وضعیت شکل‌های قابل گسترش و غیر قابل گسترش را در روی صفحه نشان می‌دهد.

پس نیاز به سطح واسطه‌ی قابل گسترش بر روی صفحه را داریم که پس از تصویر کردن کره یا بیضوی بر روی این سطح واسطه با روش‌های مختلف، در مرحله‌ی بعد تصویر دیگری بر روی صفحه ایجاد می‌نماییم.



۱ــ سطح واسطه‌ی صفحه ۲ــ سطح واسطه‌ی مخروط ۳ــ سطح واسطه‌ی استوانه

شکل ۳ــ۳ــ سه ایده‌ی اصلی برای استفاده از سطوح واسطه برای تصویر کردن را نشان می‌دهد.

۳ــ۱ــ۳ــ تعریف سیستم تصویر و ویژگی‌های آن: ارائه‌ی روش‌های مناسب برای تصویر کردن بخشی از کره یا بیضوی بر روی صفحه را سیستم‌های تصویر می‌گویند.

مناسب‌ترین سیستم تصویر آن است که دارای این ویژگی‌ها باشد :

۱ــ طول‌ها و مساحت‌ها روی نقشه باید به یک نسبت مشخص کوچک شده باشند.

۲ــ تمامی زوایا بین امتدادها و آزیموت امتدادها بر روی نقشه برابر زاویه و آزیموت امتدادها در روی زمین باشد.

۳ــ تمامی دوایر عظیمه بر روی کره به صورت خط‌های مستقیم بر روی نقشه باشد.

۴ــ طول و عرض ژئودتیک نقاط به‌طور صحیح بر روی نقشه نشان داده شود.

اما با توجه به مطالب یادشده و موضوع شکل زمین، غیرممکن است که تمامی ویژگی‌های موردنظر بالا در تصویر کردن و تهیه‌ی نقشه رعایت گردد، بلکه فقط می‌توانیم یک یا چند ویژگی یادشده را رعایت کنیم. براساس این که در تصویر کردن کدام ویژگی رعایت گردیده سیستم‌های تصویر به‌نمونه‌هایی دسته‌بندی می‌شوند که برخی از آن‌ها بدین قرارند :

۴ــ۱ــ۳ــ انواع سیستم تصویر از نظر ویژگی

۱ــ *سیستم تصویر متشابه*[1]: در این نوع سیستم تصویر زوایا ثابت می‌ماند و در حقیقت در مساحت‌های کوچک‌تر حتی شکل محدوده‌ها نیز حفظ می‌گردد، اما در مساحت‌های بزرگ‌تر به‌دلیل تغییر در مقیاس شکل نیز متفاوت می‌شود.

۲ــ *سیستم تصویر هم مساحت*[2]: در این نوع سیستم تصویر مساحت محدوده‌های مختلف بر روی سطح زمین به یک نسبتی کوچک می‌گردد و روی نقشه نشان داده می‌شود. در این سیستم ممکن است طول‌ها و زوایا تغییر کند، اما مساحت‌ها ثابت بماند.

۳ــ *سیستم تصویر هم فاصله*[3]: در این سیستم تصویر فاصله‌ی تمامی نقاط از یک نقطه‌ی مرکزی بر روی نقشه به یک نسبت مشخصی نسبت به فواصل روی سطح زمین کوچک شده است.

۴ــ *سیستم تصویر آزیموتی*[4]: در این نوع سیستم تصویر جهت، آزیموت امتدادها ثابت می‌ماند :

۵ــ۱ــ۳ــ انواع سیستم‌های تصویر از نظر روش: به‌طورکلی در تمامی سیستم‌های تصویر در پی به‌دست آوردن x و y از φ و λ هستیم که معمولاً به سه روش انجام می‌گیرد :

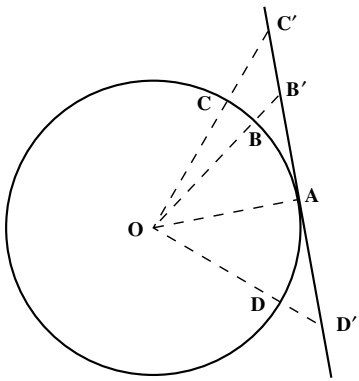
۱ــ سیستم تصویر صفحه‌ای

۲ــ سیستم تصویر مخروطی

۳ــ سیستم تصویر استوانه‌ای

۲ــ۳ــ سیستم تصویر صفحه‌ای

ساده‌ترین سیستم تصویر هندسی تصویر کره روی یک صفحه‌ی مماس بر کره در یک نقطه‌ی خاص مانند A است که البته می‌توان آن را به سه صورت تصویر نمود. در شکل‌های ۴ــ۳ تا ۶ــ۳ نحوه‌ی تصویر کردن را مشاهده می‌کنید.



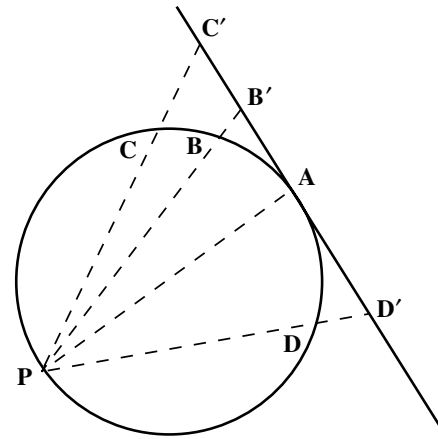
شکل ۴ــ۳

۱ــ Conformal projection

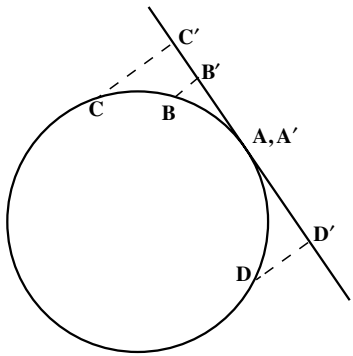
۲ــ Equal - arca projection

۳ــ Equidistant projection

۴ــ Azimuthal projection



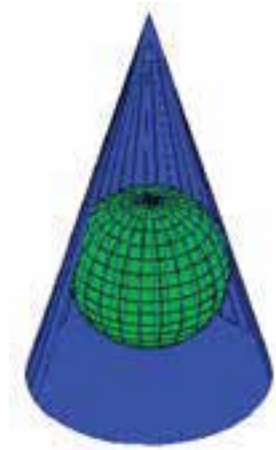
شکل ۵ــ۳



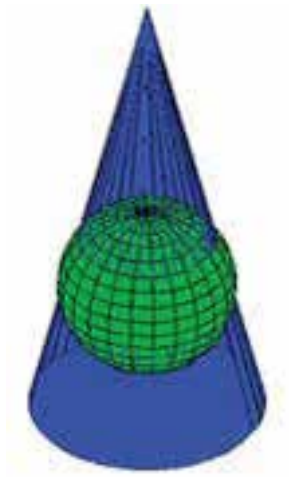
شکل ۶ــ۳

۳ــ۳ ــ سیستم تصویر مخروطی (Conical Projection)

در این سیستم‌های تصویر که مخروطی نام دارند سطح مخروطی حول یک مدار (مدار استاندارد) بر کره مماس هستند (شکل ۷ــ۳)، به گونه‌ای که محور مخروط در امتداد محور زمین قرار دارد. این سیستم که بیش‌تر به «لامبرت» معروف است برای مناطق شرقی ــ غربی یا حول مداری و عرض‌های جغرافیایی میانی بسیار مناسب است. مطابق شکل ۸ــ۳ ممکن است به‌جای یک مدار برای تماس، دو مدار استاندارد انتخاب شود ؛ به‌طوری‌که مخروط در این دو مدار کره را قطع می‌کنند. بدین‌وسیله



شکل ۷ــ۳ــ سیستم تصویر مخروطی با مخروط مماس بر کره را نشان می‌دهد.



شکل ۸ــ۳ــ سیستم تصویر مخروطی با مخروط متقاطع با کره را نشان می‌دهد.

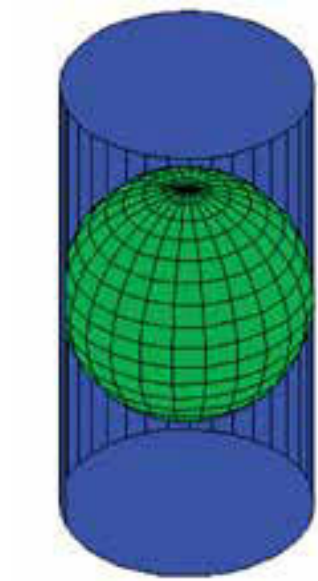
حوزه‌ی دقت و دامنه‌ی گسترش منطقه‌ی مفید سیستم را زیاد می‌کنند. سیستم مخروطی کاربردهای زیادی دارد، اما مانند سیستم تصویرهای قبلی برای عرض جغرافی‌های بالا مناسب بوده و برای ترسیم نقشه‌های جهانی مناسب نیستند.

در این نوع سیستم، مدارات به صورت دوایر متحدالمرکز و نصف‌النهارات شکل خطوطی راست تصویر می‌شوند.

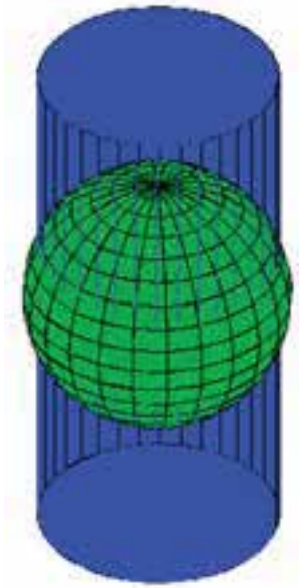
برای تهیه‌ی نقشه‌ی کشورهایی نظیر فرانسه و ایالات متحده‌ی آمریکا، از سیستم تصویر لامبرت استفاده گردیده هم‌چنین برای قسمت‌های جنوبی ایران و نیز مناطق مرزی ایران و عراق، این سیستم به کار گرفته شده است.

۴ــ۳ــ سیستم‌های تصویر استوانه‌ای یا مرکاتور (Mercator Projection)

۱ــ۴ــ۳ــ سیستم تصویر مرکاتور: در این حالت سطح موردنظر که بر بیضوی مماس و سپس گسترش پیدا می‌کند استوانه‌ای است که در طول یک دایره‌ی عظیمه بر کره مماس است (شکل ۹ــ۳ــ الف). البته در برخی مواقع نیز این استوانه متقاطع با کره بوده است (شکل ۹ــ۳ــ ب).



شکل ۹ــ۳ــ الف ــ سیستم تصویر استوانه‌ای با استوانه‌ی مماس بر کره را نشان می‌دهد.

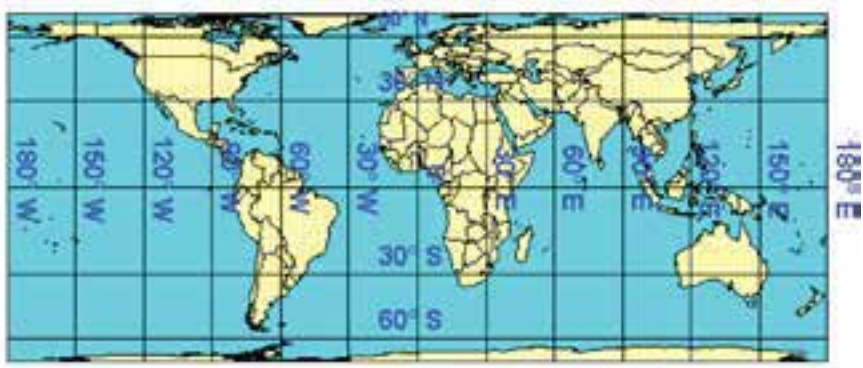


شکل ۹ــ۳ــ ب ــ سیستم تصویر استوانه‌ای با استوانه‌ی متقاطع بر کره را نشان می‌دهد.

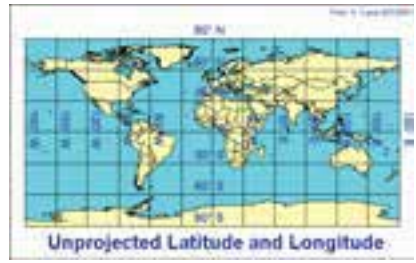
بانی این سیستم تصویر (Gerard Mercator) ریاضیدان و کارتوگراف بزرگ «جهان» است که در قرن شانزدهم و بین سال‌های ۱۵۱۲ تا ۱۵۹۴ می‌زیسته است.

به هنگام نوجوانی وی، ماژلان دست به سفر زد. این مسافرت‌ها و مسیر پیموده شده ماژلان او را تحت تأثیر قرار داد و با وجود سن کم کارتوگراف برجسته‌ای گردید. همگان تحولی را که او در نقشه به‌وجود آورد، بزرگترین ابداع قرن شانزدهم دانسته‌اند. در حقیقت او بود که نقشه را از حالت یک نقاشی ساده به یک وسیله‌ی دقیق درخور استفاده تبدیل کرد. در سال ۱۵۶۹ اولین نقشه‌ی جهان در سیستم تصویر مرکاتور تهیه گردید که ارتباط حقیقی طول و عرض جغرافیایی در آن ملحوظ شده بود، به همین سبب این نقشه به مثابه‌ی چراغ راهنمای دریانوردان بوده و هست ؛ به گونه‌ای که امروزه چارت‌های مرکاتور یک وسیله‌ی الزامی برای سیستم‌های ناوبری به‌شمار می‌آیند.

در شکل ۱۰ــ۳ مقایسه‌ای بین طول و عرض واقعی کره‌ی زمین با تصویر آن در سیستم مرکاتور دیده می‌شود، مرکاتور استوانه‌ای (که در حول استوا به کره مماس نموده) بنابراین در نزدیک استوا کاملاً هر دو شکل با هم مطابقت دارند، اما در مناطق نزدیک به قطب جدایی و کشیدگی مشاهده می‌شود.



شکل ۱۰ــ۳ــ الف ــ تصویر بخشی از کره‌ی زمین را روی صفحه توسط سیستم تصویر استوانه‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۱۰ــ۳ــ ب ــ طول و عرض واقعی نقاط بدون تصویر کردن

در این سیستم مرکاتور تغییر مقیاس در طول نصف‌النهارات از مدارات بیش‌تر است و تصویر نصف‌النهارات و مدارات، خطوطی موازی و عمود بر یک‌دیگر هستند (تقارب نصف‌النهارات برای مناطق وسیع وجود دارد). با انعطاف و قابلیت‌هایی که در این سیستم وجود دارد می‌توان استوانه را به هر طرف چرخاند و بر بیضوی زمین حول هر دایره‌ی عظیمه‌ای مماس نمود که این بزرگ‌ترین امتیاز سیستم مرکاتور می‌باشد.

آیا می‌دانید؟

یکی از روش‌های ابوریحان بیرونی، که خود آن را تسطیح اسطوانی(استوانه‌ای) نامیده است، شباهت زیادی به روش تسطیح نیکولوسی دی پاترینو دارد که در سال ۱۶۶۰ میلادی منتشر کرد و امروزه نقشه‌های جغرافیایی موسوم به مرکاتور بر اساس آن تنظیم می‌شود. از نوآوری‌های دیگر او در نقشه‌کشی این است که برای نشان دادن ناهمواری‌ها و موقعیت‌های جغرافیایی زمین، جامع‌تر از پیشینیان خود به استفاده از رنگ‌های گوناگون اشاره کرده است. هم‌چنین، در کتاب التفهیم نقشه‌ای از کره‌ی زمین رسم کرده است که ارتباط اقیانوس هند با اقیانوس اطلس برای نخستین بار در آن نشان داده شده است. از این رو، برخی او را از بنیان گذاران دانش مساحی (نقشه‌کشی) و از پیشگامان جغرافیایی ریاضی می‌دانند.

۲ــ۴ــ۳ ــ ترانسورس مرکاتور (TM)[1] : در این سیستم تصویر به‌جای تماس استوانه با استوا، استوانه بر نصف‌النهارات مماس می‌گردد.

۳ــ۴ــ۳ــ یونیورسال ترانسورس مرکاتور(UTM)[2]: در این سیستم بیضوی زمین به ۶۰ قاچ (Zone)°۶ به مبدأ نصف‌النهار گرینویچ (مطابق شکل ۱۱ــ۳) تقسیم می‌گردد. بدین ترتیب، ۳۰ قاچ در شرق نصف‌النهار گرینویچ و ۳۰ قاچ در غرب گرینویچ است.

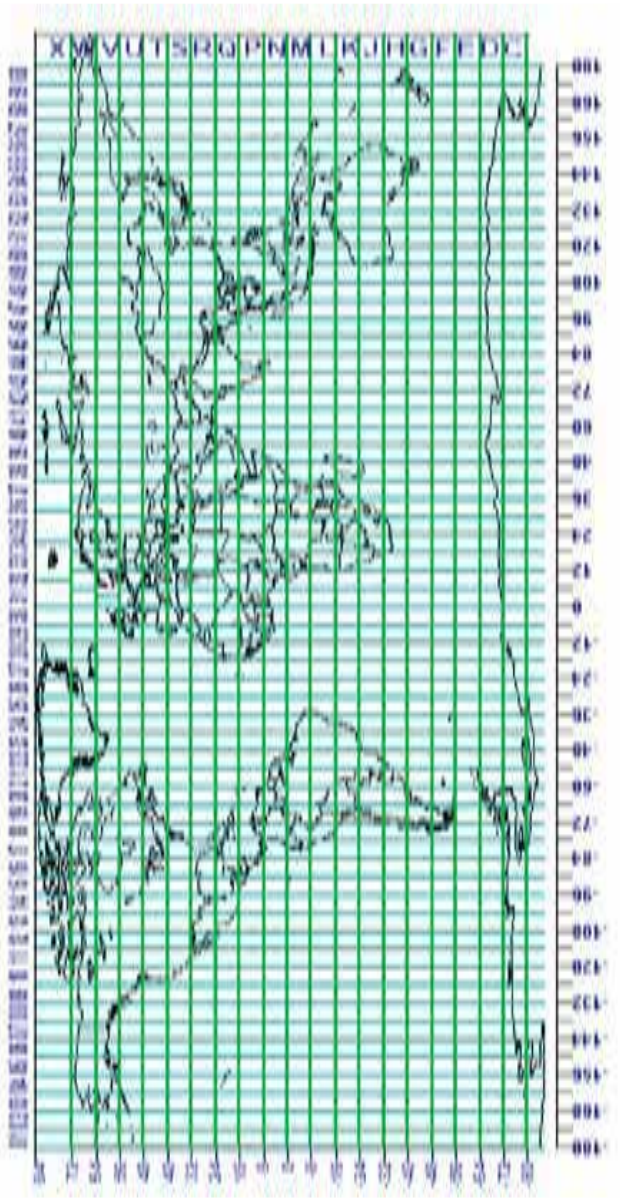
شماره‌گذاری قاچ‌ها نیز از قسمت سمت القدمی نصف‌النهار گرینویچ در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت صورت می‌گیرد ؛ یعنی قاچ محصور بین °۱۸۰ ≤ λ ≤ °۱۷۴ W قاچ شماره‌ی ۱ و قاچ محصور بین °۱۷۴ W و °۱۶۸ W قاچ شماره‌ی ۲ و ... تا این‌که قاچ محصور بین °۶ W و °o قاچ شماره‌ی ۳۰ خواهد بود و قاچ بین °o و °۶ E قاچ ۳۱ و ... .

حال، با این تقسیم‌بندی معلوم می‌شود که کم‌ترین λ در ایران حدوداً °۴۴ در اطراف شهر «ماکو» و بیش‌ترین λ در استان سیستان و بلوچستان حدود °۶۳ است. بر این اساس، می‌توان گفت

۱ــ Transvers Mercator ۲ــ Universal Transvers Mercator

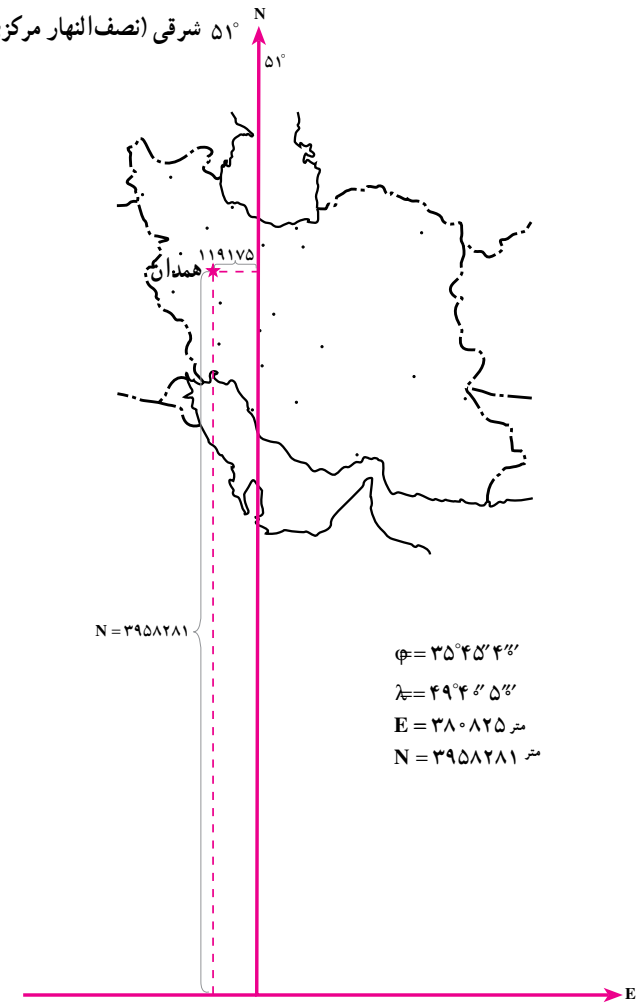
که کشور ایران در داخل قاچ‌های ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ قرار خواهد گرفت.

در این سیستم تصویر، برای هر قاچ یک نصف‌النهار مرکزی در نظر می‌گیرند که در حقیقت نصف‌النهار وسطی هر قاچ خواهد شد ؛ برای مثال، در قاچ شماره‌ی ۳۱ که محصور بین نصف‌النهار ۶°E و °o است نصف‌النهار مرکزی قاچ ۳°E = λ خواهد بود یا در قاچ شماره‌ی ۴۰ که مابین نصف‌النهار ۵۴° = λ و ۶۰° = λ است. ۵۷°E = λ نصف‌النهار مرکزی این قاچ خواهد بود. و این نصف‌النهار مرکزی است که در هر قاچ برای تماس با سطح استوانه، انتخاب می‌گردد.



شکل ۱۱ــ۳ــ سیستم تصویر UTM و شماره‌ی قاچ‌ها

سیستم تصویر UTM [1] بر همین اساس، در سال ۱۹۵۸ میلادی ابداع گردید. در این سیستم دامنه‌ی عمل هر قاچ نسبت به نصف‌النهار مرکزی ۳° به شرق و ۳° به غرب خواهد بود. در سیستم «UTM» محاسبات برای تمامی قاچ‌ها به‌طور مستقل اما کاملاً یکسان خواهد بود. این سیستم در تمامی جهان به یک شکل قابل استفاده است و به همین دلیل به آن «سیستم جهانی[2]» می‌گویند.



شکل۱۲ــ۳ــ موقعیت یک نقطه در استان همدان را نشان می‌دهد.

۱ــ Universal Transverse Mercator ۲ــ Universal

برخی از ویژگی‌های این سیستم بدین قرار است :

۱ــ پهنای هر قاچ °۶ بوده کل کره‌ی زمین به °۶۰ قاچ تقسیم می‌گردد.

۲ــ واحد اندازه‌ها در این سیستم، متر است.

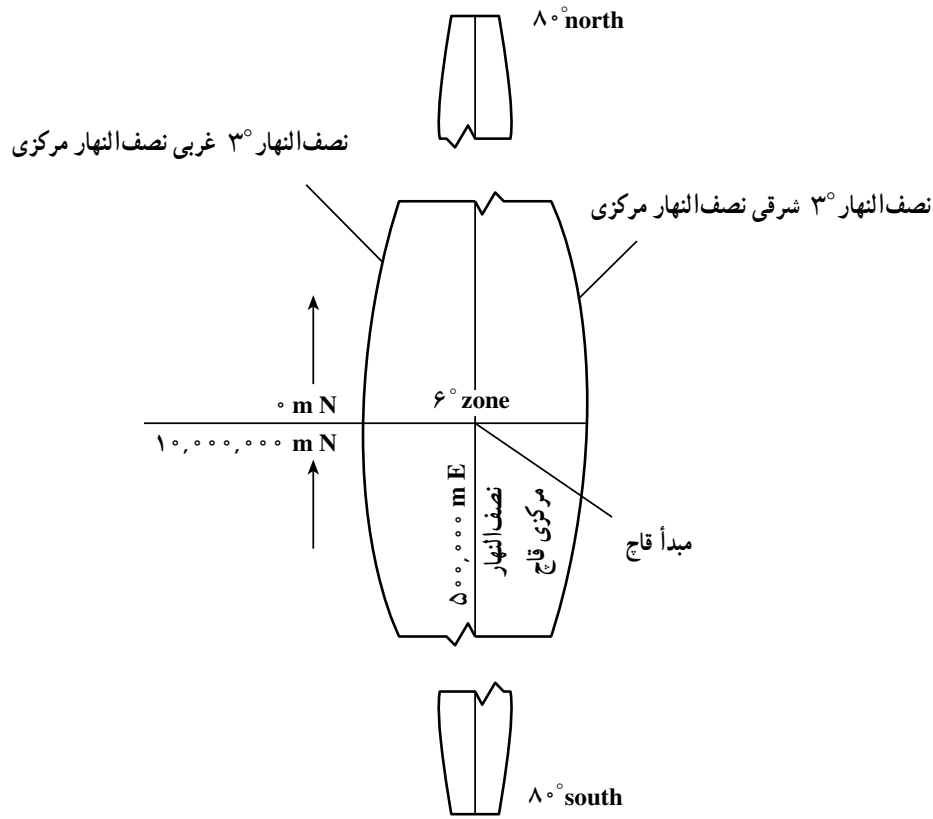
۳ــ محور xها تقاطع سطح استوا با سطح استوانه است.

۴ــ محور yها تصویر نصف‌النهار مرکزی روی سطح استوانه است.

۵ ــ مقدار y برای مبدأ برابر صفر متر برای نیم‌کره‌ی شمالی و برابر ۱۰،۰۰۰،۰۰۰ برای نیم‌کره‌ی جنوبی است (شکل ۱۳ــ۳).

۶ ــ مقدار x برای مبدأ ۵۰۰۰۰۰ متر می‌باشد.

نکته: مختصات در زون‌ها مشابه یکدیگرند و یک مختصات نشان‌دهنده‌ی ۶۰ نقطه (در هر زون یک نقطه) می‌باشد و آن‌ها را می‌توان با شماره زون از یکدیگر تشخیص داد.



شکل ۱۳ــ۳ــ سیستم تصویر UTM را برای یک قاچ نمایش می‌دهد.

خودآزمایی

۱ــ لزوم تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین به روی صفحه را توضیح دهید.

۲ــ دو مشکل اساسی تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین را به روی صفحه توضیح دهید.

۳ــ سیستم تصویر را تعریف کنید.

۴ــ ویژگی‌های یک سیستم تصویر مناسب را توضیح دهید.

۵ ــ انواع سیستم تصویر را از نظر ویژگی نام ببرید.

۶ ــ سیستم تصویر متشابه را به اختصار شرح دهید.

۷ــ سیستم تصویر هم مساحت را به اختصار شرح دهید.

۸ ــ سیستم تصویر هم فاصله را به اختصار شرح دهید.

۹ــ سیستم تصویر آزیموتی را به اختصار شرح دهید.

۱۰ــ انواع سیستم‌های تصویر را از نظر روش نام ببرید.

۱۱ــ انواع سیستم‌های تصویر صفحه‌ای را نام ببرید.

۱۲ــ سیستم تصویر مخروطی را تعریف کنید.

۱۳ــ کاربردهای سیستم تصویر مخروطی و ویژگی آن را توضیح دهید.

۱۴ــ سیستم تصویر مرکاتور را توضیح دهید.

۱۵ــ سیستم تصویر ترانسورس مرکاتور را توضیح دهید.

۱۶ــ سیستم تصویر یونیورسال ترانسورس مرکاتور را توضیح دهید.

۱۷ــ ویژگی‌های سیستم تصویر یونیورسال ترانسورس مرکاتور را توضیح دهید.

۱۸ــ بزرگ‌ترین امتیاز سیستم مرکاتور را بنویسید.

۱۹ــ چرا سیستم تصویر UTM یک سیستم تصویر جهانی است؟

۲۰ــ شکل یک قاچ در سیستم تصویر UTM را رسم کنید و آن را توضیح دهید.

فصل چهارم

تعیین موقعیت زمینی

هدف‌های رفتاری : پس از پایان این فصل فراگیر باید بتواند :

۱ــ تعیین موقعیت نسبی را تعریف کند.

۲ــ انتقال موقعیت ارتفاعی را توضیح دهد.

۳ــ شبکه‌ی ارتفاعی را توضیح دهد.

۴ــ کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی یک را بیان کند.

۵ ــ کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی دو را بیان کند.

۶ ــ کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی سه را بیان کند.

۷ــ اختلاف ارتفاع را تعریف کند.

۸ ــ انواع روش‌های اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع را به اختصار شرح دهد.

۹ــ اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع به روش تاکئومتری را به اختصار با رسم شکل توضیح دهد.

۱۰ــ تعریف یک سیستم مختصات را برای انتقال موقعیت مسطحاتی شرح دهد.

۱۱ــ روش‌های انتقال مختصات نسبی را نام ببرد.

۱۲ــ پیمایش را تعریف کرده انواع آن را نام ببرد.

۱۳ــ روش پیمایش باز را شرح دهد.

۱۴ــ روش پیمایش بسته را با ذکر چند مثال شرح دهد.

۱۵ــ روش مثلث بندی را برای انتقال مختصات شرح دهد.

۱۶ــ روش سه ضلع‌بندی را برای انتقال مختصات شرح دهد.

۱۷ــ روش تقاطع را برای انتقال مختصات شرح دهد.

۱۸ــ روش ترفیع را برای انتقال مختصات شرح دهد.

۱ـ۴ـ تعریف تعیین موقعیت نسبی (Relative Positioning)

تعیین موقعیت نسبی یک نقطه، بدست آوردن موقعیت نقطه‌ی موردنظر نسبت به نقاط زمینی دیگر می‌باشد. به عبارتی دیگر در حقیقت انتقال مختصات از یک نقطه‌ی زمینی به یک نقطه‌ی زمینی دیگر را تعیین موقعیت نسبی می‌گوییم. این انتقال مختصات ممکن است انتقال در یک بعد باشد یعنی انتقال موقعیت ارتفاعی، حالت دوم ممکن است انتقال مختصات دو بعدی یا مختصات مسطحاتی نقاط باشد و حالت سوم انتقال مختصات سه بعدی نقاط یعنی (z و y و x) نقاط می‌باشد. هر کدام از این انتقال مختصات روش‌ها و لوازم و تجهیزات خاصی را می‌طلبد که به‌طور مختصر در بخش‌های مربوطه توضیح داده خواهد شد.

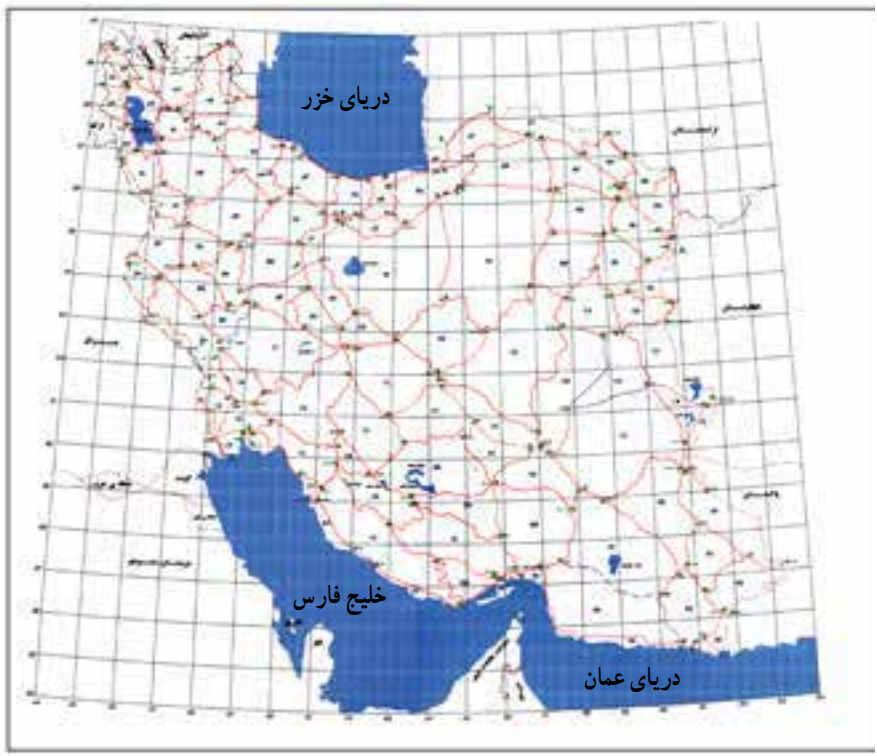
۲ـ۴ـ انتقال موقعیت ارتفاعی (Levelling)

ارتفاع یک نقطه روی سطح زمین فاصله‌ی عمودی آن نقطه از یک سطح تراز قراردادی می‌باشد. سطح تراز یک سطح هم پتانسیلی است که در تمام نقاط آن امتداد ثقل بر آن سطح عمود می‌باشد این سطح تراز می‌تواند یک سطح تراز واقعی مثل سطح متوسط آب‌های آزاد یا ژئوئید یا یک سطح تراز فرضی باشد، که در فصل‌های قبل با آن آشنا شدید.

با توجه به نوع پروژه از سطح مبناهای مختلف یا نقاط ارتفاع‌دار خاص استفاده می‌کنیم اگر هدف از انجام یک پروژه یک کار محلی باشد و ارتباطی به ارتفاعات موجود اطراف پروژه نداشته باشد در این صورت می‌توان از یک سطح مبنای ارتفاعی محلی استفاده کرد. یعنی به یک نقطه ارتفاع خاصی را نسبت دهیم و بقیه‌ی نقاط را در محل پروژه نسبت به آن می‌سنجیم. به‌عنوان نمونه‌ی ساده فرض کنید، بنّایی می‌خواهد پشت بام خانه‌ای را با شیب خاصی بسازد، در این پروژه بنّا هیچ فکری در مورد ارتفاع خیابان اطراف ساختمان یا ارتفاع ساختمان‌های دیگر و غیره ندارد. پس خودش می‌تواند یک مبنای ارتفاعی انتخاب کند. در این انتخاب ارتفاع نقطه‌ی مبنا را طوری در نظر می‌گیرند که حتی‌الامکان ارتفاع منفی نداشته باشد.

در برخی پروژه‌ها نمی‌توان مبنا را محلی در نظر گرفت به‌عنوان نمونه تهیه‌ی نقشه‌ی توپوگرافی برای احداث یک شهرک در منطقه، وضعیت ارتفاعی نقاط باید هماهنگ با مبنای ارتفاعی کشوری باشد. زیرا مثلاً در طراحی این شهرک شما باید وضعیت ارتفاعی جاده‌ای که از کنار این زمین عبور می‌کند، داشته باشید یا شما باید ارتفاع سدی که قرار است آب این شهرک را تأمین کند، داشته باشید

و یا باید وضعیت ارتفاعات مسیر فاضلاب موجود در اطراف شهرک را داشته باشید. پس در کل نیاز است که مبنای ارتفاعات کشوری باشد، شکل ۱ــ۴ وضعیت شبکه، درجه‌ی ۱ ترازیابی کشور را تا بهار سال ۷۹ نشان می‌دهد.



شکل ۱ــ۴

راهنمای نقشه

مسیرهای ترازیابی شده

مسیرهای ساختمان شده

مسیرهای ساختمان نشده

نقطه اتصالی درجه یک

نام لوپ

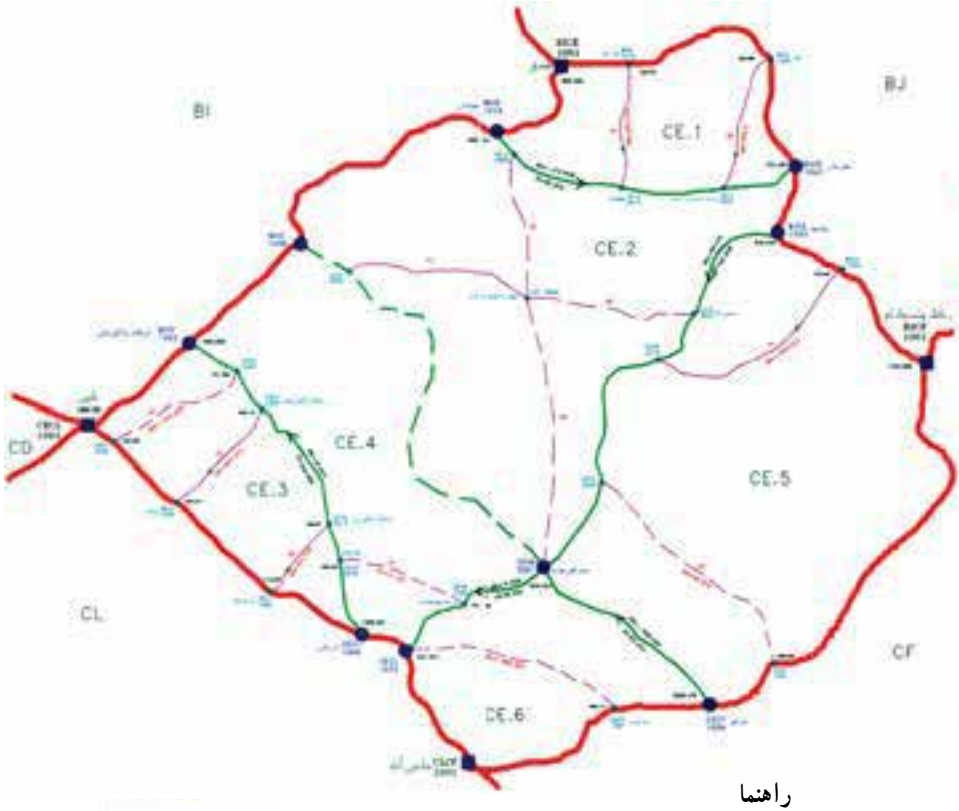
دریاچه دائمی

دریاچه فصلی

مرز

خط ساحل

شکل ۲ــ۴ دو نمونه از یک حلقه‌ی ترازیابی درجه‌ی ۱ را نشان می‌دهد و نیز ترازیابی درجه‌ی ۲ و درجه‌ی۳ را که متکی به نقاط ترازیابی درجه‌ی۱ می‌باشند، نیز نمایش می‌دهد.



راهنما

لوپ درجه‌ی ۱	CE
لوپ درجه‌ی ۲	CE.1
مسیر درجه‌ی ۱	
مسیر درجه‌ی ۲	
مسیر درجه‌ی ۳	
مسیر درجه‌ی ۱ ترازیابی نشده	
مسیر درجه‌ی ۱ ساختمان نشده	
مسیر درجه‌ی ۲ ترازیابی نشده	
مسیر درجه‌ی ۳ ساختمان شده	
مسیر درجه‌ی ۳ آنتنی	

نقاط اتصالی درجه‌ی ۱	
نقاط اتصالی درجه‌ی ۲	
نقاط اتصالی درجه‌ی ۳	
نام خط درجه‌ی ۳	01
مرز	
خط ساحل	
اختلاف ارتفاع	dh=24.551
طول مسیر	D=12.254
ارتفاع	1245.088

شکل ۲ــ۴

شکل ۳ــ۴ نمونه‌ای از نقاط ارتفاعی دقیق کشوری را نشان می‌دهد که با استفاده از آن می‌توان ارتفاع را به نقاط دیگر انتقال داد. در روی نقاط ترازیابی دقیق کشوری کُد نقطه حک شده و می‌توان با ارائه‌ی آن کد به سازمان نقشه‌برداری کشور برگه‌ی شناسایی آن را از سازمان خریداری نمود. شکل ۴ــ۴ نمونه‌ای از یک برگه‌ی شناسایی یک نقطه‌ی ترازیابی دقیق را نشان می‌دهد.

شکل ۳ــ۴ ــ یک نقطه‌ی ترازیابی به نام AQAR1086 در منطقه‌ی امام زاده هاشم را نشان می‌دهد که دستگاه GPS روی آن مستقر شده است.

شناسنامه ایستگاه ترازیابی

LEVELING STATION DESCRIPTION

طول جغرافیائی Longitude λ= 46° 24'.6	شماره نقشه Sheet No. 5266 11	درجه Order یک		نام ایستگاه Station	AEA1008
عرض جغرافیائی Latitude φ= 38° 02'.0	مقیاس نقشه Scale 1:50,000	استان Province آذربایجان شرقی			
مقدار جاذبه Gravity g=	شماره عکس و طرح Project & Photo No.	راه Road تبریز - بستان آباد		نام قدیم ایستگاه Old Name	ـــــــــ
تاریخ اندازه‌گیری جاذبه Date	مقیاس عکس Photo Scale	نزدیکترین قریه Nearest Town		نوع ایستگاه Type of Station	معمولی

تاریخ اندازه‌گیری Obs. Date	تاریخ محاسبه Cal. Date	مبنا Datum	Elevation ارتفاع B.M.	R.M.	ارتفاع ارتومتری Orth. Elevation	ملاحظات Remarks
1367	1370	N.C.C.	1628.166	1628.597		BM → RM
	1377	DNG.1001	1628.4146	1628.8461		G = 75°
						D = 12 m

مشخصات ایستگاه Description

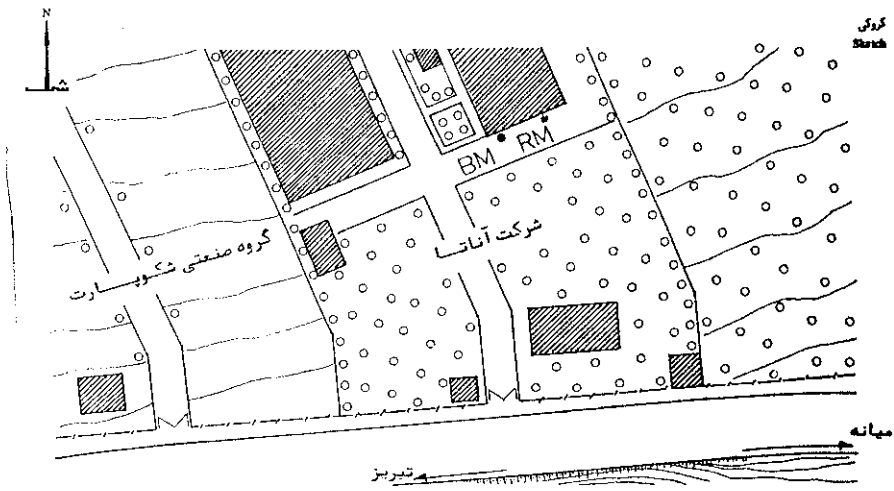
ایستگاه با لاترین نقطه سطح کروی شکل میله فلزی بقطر 2 وارتفاع 25 سانتیمتر میباشد . این میله داخل بتون استوانه‌ای شکل بقطر 40 وارتفاع 70 سانتیمتر کارگذاشته شده‌است . بطوریکه سطح کروی میله باندازه 5 میلیمتر از سطح بتون بالاتر میباشد . نشانه راهنما (R.M.) میله‌ایست مشابه ایستگاه در داخل بتونی بشکل هرم ناقص با سطح فوقانی 25 x 25 وارتفاع 50 سانتیمتر .

موقعیت ایستگاه St. Positioning

BM بفاصله 142.5 متری شمال محور جاده تبریز - میانه و داخل محوطه شرکت آناتا در 5 متری گوشه جنوب غربی ساختمان شکلات سازی و 60 سانتیمتری دیوار قرار دارد . RM نیز در ضلع جنوبی ساختمان شکلات سازی و بفاصله یکمتری گوشه جنوب شرقی ساختمان و 30 سانتیمتری دیوار قرار گرفته‌است . فاصله این دو از ایستگاه AEA1.1007 و AEA1.1009 بترتیب 2.2 و یک کیلومتر میباشد .

راه دسترسی به ایستگاه Address

پس از طی 9.4 کیلومتر از میدان دانشگاه تبریز (بسمت و نه بهمن) در جاده تبریز - میانه بطرف میانه به شرکت آناتا محل ایستگاه خواهیم رسید .



سازمان نقشه برداری کشور N.C.C تهیه کننده Drafted غلامرضا آذری ماه مرداد سال ۱۳۶۶ فرم شماره Form No. 40 1984

شکل ۴ــ۴ــ شناسنامه‌ی یک نقطه‌ی ترازیابی با تمامی مشخصات مورد نیاز

به هر کدام از نقاط شبکه‌های ارتفاعی، در اصطلاح، «بنچ مارک Bench Marks» گویند. پس «بنچ مارک‌ها» نقاطی هستند که ارتفاع آن‌ها به‌طور دقیق معلوم است، اما موقعیت مسطّحاتی آن‌ها به‌طور تقریبی معلوم نیست. شبکه‌های ارتفاعی از نظر دقت به درجات مختلفی تقسیم می‌گردند. هر قدر درجه‌ی شبکه‌ها بالاتر باشد دقت آن‌ها بیش‌تر است و عموماً فاصله‌ی بین بنچ مارک‌ها متناسب با درجه‌ی شبکه‌هاست. البته استانداردهای مختلفی وجود دارد که کشورهای مختلف از آن استفاده می‌کنند. در جدول زیر نمونه‌ای از این استانداردها را مشاهده می‌کنید.

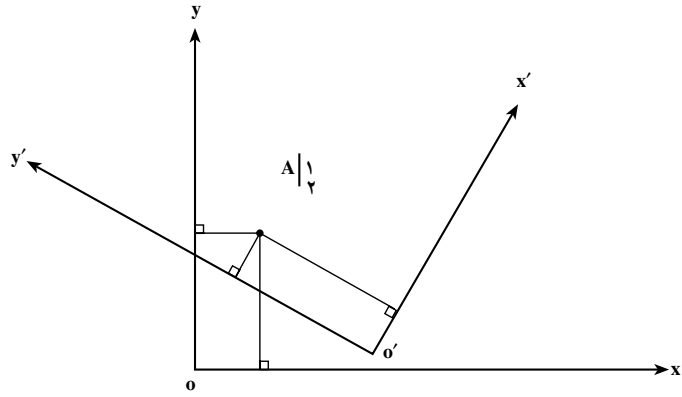
جدول ۵ــ۴ــ طبقه‌بندی شبکه‌های ترازیابی

طبقه‌بندی	درجه‌ی ۱	درجه‌ی ۲	درجه‌ی ۳
اهداف	ــ استخوان بندی کلیه‌ی شبکه‌های کشوری ــ بررسی حرکات پوسته‌های ناحیه‌ای زمین ــ به‌دست‌آوردن مقادیر پتانسیل جاذبه ــ کنترل شبکه‌های بزرگ ترازیابی	ــ استفاده در پروژه‌های بزرگ مهندسی ــ بر روی حرکات پوسته‌های محلی و بررسی نشست آن‌ها ــ مبنا برای شبکه‌ی کنترل در درجات پایین‌تر ــ مبنا برای تهیه‌ی نقشه‌های توپوگرافی	ــ مبنا برای پروژه‌های کوچک مهندسی ــ مبنا برای تهیه‌ی نقشه‌های توپوگرافی در حجم کوچک‌تر ــ مطالعه برای زهکش‌ها و شیب‌های کانال‌ها و زهکش‌ها
فاصله بین نقاط	۱ــ۳km	۱ــ۳km	نباید بیش‌تر از ۳ کیلومتر باشد
طول شبکه‌ها	کیلومتر ۵۰ــ۳۰۰	کیلومتر ۱۰ــ۵۰	هر اندازه که مورد نیاز است
مشاهدات گراویتی	لازم است	لازم نیست	لازم نیست
وسایل لازم	ترازیاب دقیق با میکرومتر و میر انوار	ترازیاب دقیق با میکرومتر و میر انوار و یا ترازیاب اتوماتیک	ترازیاب معمولی به همراه شاخص
ماکزیمم خطا	$3mm\sqrt{K}$	$6mm\sqrt{K}$	$12mm\sqrt{K}$

۳ــ۴ــ انتقال موقعیت مسطحاتی

برای انتقال موقعیت مسطحاتی یعنی y و x ازنقاطی به نقاط دیگر ابتدا نیاز به تعریف یک سیستم مختصات داریم. همان‌طوری‌که قبلاً اشاره شده با داشتن یک نقطه‌ی مختصات‌دار یک سیستم مختصات مشخص نمی‌گردد وقتی به شما گفته می‌شود که مختصات نقطه‌ای مانند A در روی صفحه‌ی کاغذ

دارای مختصات $x = 1\,cm$ و $y = 2\,cm$ است آیا می‌توانید محورهای مختصات را رسم کنید و مبدأ و جهت محورها را مشخص کنید؟



شکل ۶ــ۴

همان‌طوری‌که از شکل بالا متوجه شدید بی‌شمار سیستم مختصات را می‌توان مشخص نمود که نقطه‌ی A دارای مختصات $x = 1\,cm$ و $y = 2\,cm$ باشد پس یک نقطه با مختصات معلوم نمی‌تواند یک سیستم مختصات را مشخص کند.

شما به هیچ‌عنوان نمی‌توانید با داشتن مختصات فقط یک نقطه‌ی معلوم و مشاهدات طول و زاویه به نقاط دیگر مختصات بدهید. برای تعیین موقعیت نسبی حداقل به دو نقطه با مختصات معلوم نیاز داریم.

بنابراین برای انتقال مختصات، حداقل دو مورد مختصات مبنایی نیاز است. در مورد نقاط مسطحاتی مبنایی نیز بحثی که در بخش قبل داشتیم، این سیستم مختصات هم می‌تواند محلی باشد و هم می‌تواند به‌صورت کشوری یا جهانی باشد.

در برخی مواقع که پروژه کشوری باشد و ارتباط با پروژه‌های دیگر اهمیت داشته باشد دراین‌صورت باید از مختصات کشوری استفاده کرد که شکل ۷ــ۴ نمونه‌ای از شبکه‌های مسطحاتی کشوری را نشان می‌دهد و فرد یا سازمان مربوطه می‌تواند به سازمان نقشه‌برداری کشور[1] مراجعه نموده و دو نقطه از نقاط کنترل مسطحاتی را خریداری کند. نمونه‌ای از این نقاط مسطحاتی را در شکل‌های ۸ــ۴ــالف و ۸ــ۴ــب می‌بینید. ضمناً این دو نقطه باید به همدیگر دید داشته باشد که در قسمت ۵ این موضوع را مشخص می‌کند. به توضیحات زیر شکل‌ها توجه نمایید.

۱ــ سازمانی که بخشی از وظایف آن ایجاد نقاط کنترل مسطحاتی و ارتفاع در کشور می‌باشد.

شکل ۷ــ۴ــ شبکه‌ی مسطحاتی درجه ۲ کشور با شماره‌ی مثلث‌های نقاط

توضیحات شکل ۸ــ۴

۱ــ وضعیت ایستگاه را از لحاظ درجه‌ی شبکه ژئودزی کشوری بیان می‌کند که در این نمونه ایستگاه از نوع درجه ۳ می‌باشد.

۲ــ شامل اطلاعات در مورد نام ایستگاه و نوع سیستم تصویر و شماره قاچ و ...

ضمناً در مورد عدد 002-101 نیز باید توضیح داد که 101 شماره‌ی مثلث شبکه‌ی ژئودزی می‌باشد (یکی از مثلث‌هایی که در شکل ۷ــ۴ موجود هستند) و 002 شماره‌ی نقطه‌ای است که در داخل مثلث 101 می‌باشد.

سازمان نقشه‌برداری کشور

N.C.C.

شناسنامه نقاط ژئودزی ماهواره‌ای

Description of G.P.S. Station

شماره ردیف

شماره پروژه یا پیگانی

1

ایستگاه | شماره | مرجع | λ | Ø

3

2

نام ایستگاه آرد تبریزکار — سیستم تصویر UTM — قاچ 38 — Zone — Projection System — Station 101-002

استان آذربایجان شرقی — شهرستان تبریز — نزدیکترین قریه — نزدیکترین شهر تبریز — سایر اطلاعات

Province — Town — Nearest Village — Further Information

شماره عکس ایستگاه — مقیاس عکس — تاریخ عکسبرداری — شماره نقشه

Photo No. — Photo Scale — Date of Photography — Sheet No

3

Ø	38° 06' 39".553576	N	4218837.5021 m	h بیضوی	1390.5327	Datum	تاریخ محاسبه
λ	46° 13' 28".463922	E	607353.9934 m	H ژئوئید		WGS.84	1377
Ø		N		h بیضوی			تاریخ محاسبه
λ		E		H ژئوئید			
Ø		N		h بیضوی			تاریخ محاسبه
λ		E		H ژئوئید			

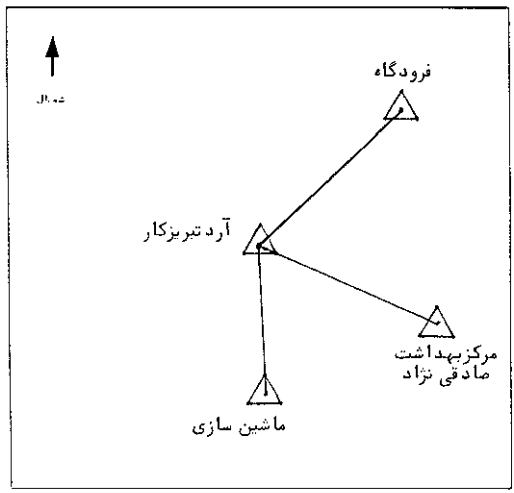
4 - مراحله برای بازسازی اندازه گیری

تاریخ	نام و نام خانوادگی	تفاوت ارتفاع ایستگاه

5

ایستگاههای قراولروی Observed Stations	آزیموت Azimuth	فاصله افقی Hor. Distance
فرودگاه	46°	2.20 Km
مرکزبهداشت	114°	2.10 Km
ماشین سازی	180°	2.40 Km

توضیحات :



شکل ۸ــ۴ــ الف

ایستگاه

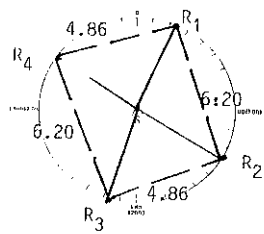
شرح محوطه ایستگاه و فراسنها — ایستگاه میله‌ایست استیل بقطر 20 میلیمتر و بطول 7 سانتیمتر که در وسط بتونی با ابعاد 12 x 40 x 40 سانتیمتر قرارگرفته و برروی میله علامت بعلاوه و برروی بتون حروف NCC ـ 002-101 و GPS-3 حک گردیده است.

ایستگاه دارای چهار علامت راهنما (Reference Mark) می‌باشد که همگی به‌صورت فلش در چهارگوشه ایستگاه که در کنار آنها عبارات RM1 ، RM2 ، RM3 و RM4 به‌رنگ قرمز نوشته شده است.

7

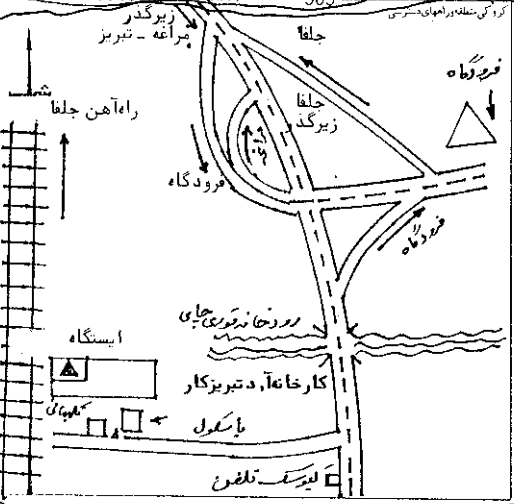
6

کروکی ایستگاه و فراسنها



RM1	3.80	RM1	22°
RM2	4.30	RM2	119°
RM3	3.24	RM3	197°
RM4	3.40	RM4	305°

کروکی منطقه و راههای دسترسی



نحوه دسترسی به ایستگاه (راهها — زمان رسیدن — نحوه حمل وسائل — نزدیکترین محل برای تهیه سوخت و مواد غذائی) جهت دستیابی به ایستگاه از میدان راه‌آهن واقع در غرب شهرستان تبریز بسمت جلفا حرکت کرده پس از طی مسافت 4.6 کیلومتر و عبور از میدان کارگر به یک دوراهی که در سمت چپ حرکت کرده و پس از طی 0.3 کیلومتر در سمت راست قبل از خط راه‌آهن به کارخانه آرد تبریزکار میرسیم ایستگاه بر روی خریشته این کارخانه ساخته شده است.

8

شکل ۸ــ۴ــ ب

سازمان نقشه‌برداری کشور

N.C.C.

شناسنامه نقاط ژئودزی ماهواره‌ای

Description of G.P.S. Station

ایستگاه	شماره			مرجع			
				3			

شماره ردیف

شماره پرونده بایگانی

نام ایستگاه مرکزبهداشت صادقی نژاد سیستم تصویر UTM قاب 38

Station Projection System

101-003

استان آذربایجان شرقی شهرستان تبریز نزدیکترین قریه جمشیدآباد سایر اطلاعات

Province Town Nearest Village Information

شماره عکس ایستگاه مقیاس عکس تاریخ عکسبرداری شماره نقشه

Photo No. Photo Scale Date of Photography

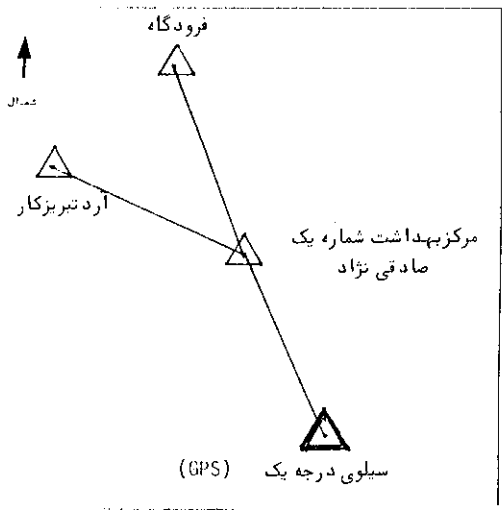
تاریخ محاسبه						
1377	Datume		1383.0460 m	بیضوی h	4217678.6325 m	N	38° 06' 00".934995
	WGS.84			ژئوئید H	609727.6474 m	E	46° 15' 05".274778
تاریخ محاسبه				بیضوی h		N	
				ژئوئید H		E	
تاریخ محاسبه				بیضوی h		N	
				ژئوئید H		E	

۱ ـ مراجعه برای بازسازی اندازه گیری :

تاریخ	نام ونام خانوادگی	تفاوت ارتفاع ایستگاه

ایستگاههای قراردادی Observed Station	آزیموت Azimuth	فاصله افقی Hor. Distance
فرودگاه :	340°	2.55 Kmt
آردتبریزکار	294°	2.10 Kmt
سیلو ایستگاه درجه	156°	3.00 Kmt

۲ ـ توضیحات :



شکل ۹ــ۴

۳ــ شامل مختصات ژئودتیک و UTM نقاط و در مورد ارتفاع بیضوی و ژئوئید، و اطلاعات در مورد سطح مبنای محاسباتی که (Datum) نامیده می‌شود و نیز تاریخ محاسبات که دارای اهمیت خاصی می‌باشد. اطلاعات جدیدی که وارد شبکه‌ها می‌گردد، اطلاعات، دوباره پردازش شده و نتایج بهتری حاصل می‌گردد.

۴ــ برخی ایستگاه‌ها به مرور زمان دچار مشکل شده و احتمالاً خراب یا جابه‌جا می‌گردند و آن‌ها پس از بازسازی دوباره اندازه‌گیری می‌شوند که در این قسمت ذکر می‌گردد. اطلاع داشتن از این موضوع هم اهمیت دارد که افراد استفاده‌کننده بدانند که این نقطه و این مختصات آیا همان نقطه‌ی فرضاً چند سال پیش است (که احتمالاً آن موقع برای اهدافی استفاده شده باشد).

فرضاً از این نقاط ۵ سال پیش برای تهیه نقشه‌ی توپوگرافی استفاده و روی آن طرح گذاشته شده و پس از ۵ سال می‌خواهند طرح فوق را پیاده کنند باید نقشه‌بردار اطلاع داشته باشد که این نقطه همان نقطه‌ی چند سال پیش است یا خیر.

۵ــ در این قسمت ایستگاه‌هایی ذکر می‌گردد که این ایستگاه به آن‌ها دید دارد و ضمناً فاصله‌ی آن‌دو به‌طور تقریبی و آزیموت آن‌ها نیز ذکر می‌گردد. مثلاً ایستگاه آرد تبریز به نقطه‌ی مرکز بهداشت صادقی‌نژاد دید دارد و در امتدادی با آزیموت تقریبی 114° و به فاصله‌ی 2.1 کیلومتری می‌باشد.

۶ــ این قسمت در مورد ساختمان ایستگاه و وضعیت رفرانس‌ها توضیح می‌دهد. رفرانس نقاط از این لحاظ اهمیت دارد که در صورت عدم دسترسی به نقطه‌ی اصلی یا خراب شدن آن (در مورد عدم دسترسی فرض کنید در روی زمین نقطه را احداث نموده‌اند و بعد از مدت‌ها زمین آسفالت شده و نقطه در زیر آن گم شده) می‌توان از نقاط رفرانس برای پیداکردن نقطه‌ی اصلی یا محل آن استفاده کرد. ضمناً مواقعی می‌باشد که نقاط در روی سنگ حک شده است از روی این توضیحات می‌توان پی برد که جهت دست‌یابی به نقطه‌ی فوق دنبال چه قسمتی باید رفت.

۷ــ در مورد وضعیت نقاط رفرانس و فواصل آن‌ها از همدیگر و از نقطه‌ی اصلی اطلاعاتی را به استفاده‌کننده می‌دهد. البته رفرانس ۲ نقطه باشد با اطلاعات فواصل و آزیموت امتدادها برای پیداکردن نقطه‌ی اصلی کافی است ولی سومی و چهارمی و ... برای دقت و کنترل بیش‌تر است.

۸ــ در مورد نحوه‌ی دسترسی به ایستگاه از قبیل راه‌های دسترسی، زمان رسیدن، نحوه‌ی حمل وسایل، نزدیک‌ترین محل برای تهیه‌ی مصالح و آب و مواد غذایی، محل تهیه‌ی کارگر و ... راهنمایی‌هایی را ارائه می‌کند.

۴ــ۴ــ روش‌های انتقال مختصات نسبی

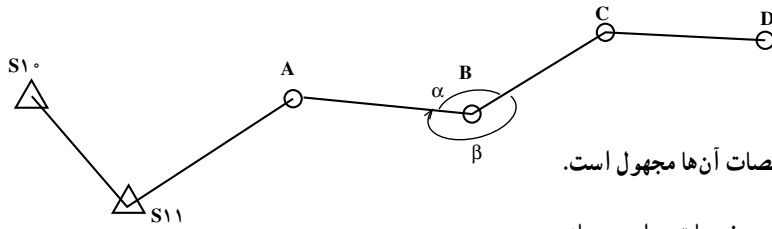
روش‌های زیادی برای انتقال مختصات یا به‌عبارت دیگر تعیین موقعیت نسبی وجود دارد که با تعدادی از آن‌ها در درس‌های نقشه‌برداری II و غیره آشنا شدید و خواهید شد در این بخش عناوین این روش‌ها را به همراه توضیحات مختصر بیان می‌کنیم.

الف) پیمایش (Traverse): انتقال مختصات از نقاط معلوم زمینی به دیگر نقاط ممکن است به روش پیمایش صورت گیرد. پیمایش در حقیقت شامل یک سری امتدادهایی است که نقاط نقشه‌برداری معلوم را به نقاط نقشه‌برداری مجهول و نقاط مجهول را هم به نقاط مجهول دیگر متصل می‌کند. هرکدام از نقاط رئوس این امتدادها را «ایستگاه‌های پیمایش» گویند.

برای انتقال مختصات باید فواصل بین ایستگاه‌های پیمایش و امتداد[1] آن‌ها را مشاهده کنیم.

انواع پیمایش‌ها در نقشه‌برداری

۱ــ پیمایش‌های باز (Open Traverse): پیمایش باز به پیمایشی گفته می‌شود که از نقطه‌ی معلوم شروع ولی به نقطه‌ی معلوم دیگری یا به همان نقاط معلوم قبلی دوباره متصل نگردد.



○ نقاطی که مختصات آن‌ها مجهول است.

△ نقاطی که دارای مختصات معلوم می‌باشند.

شکل ۱۰ــ۴

این پیمایش‌ها به راحتی قابل کنترل نیستند و باید با تکرار مشاهدات و انجام مشاهدات اضافی ازاشتباهات احتمالی جلوگیری کرد. مثلاً قرائت زوایا به‌صورت کوپل و چندین بار یا اندازه‌گیری فواصل به‌صورت دوطرفه و غیره به‌طورکلی در این نوع تعیین موقعیت باید توجه زیادی به مشاهدات نمود که دارای اشتباه و خطای فاحش نباشند. چون در صورت عدم کنترل مشاهدات به هیچ‌عنوان نمی‌توان متوجه خطا و اشتباهات شد. البته قابل ذکر است که همیشه اشتباه در مشاهدات نیست ممکن است اشتباه در محاسبه یا اسم ایستگاه‌ها یا درنظرگرفتن زاویه‌ی خارجی به جای زاویه‌ی داخلی و ... باشد. مثلاً شما به‌عنوان نقشه‌بردار زاویه‌ی ایستگاه B را به‌دست آورده باشید و حتی

۱ــ مشاهده‌ی امتداد معادل مشاهده‌ی زاویه می‌باشد با داشتن دو امتداد می‌توانیم زاویه‌ی بین آن دو امتداد را به‌دست آوریم پس در حقیقت برای زاویه‌ی امتداد مشاهده می‌شود.

چندین کوپل هم قرائت کنید ولی در محاسبات به جای زاویه‌ی «α» زاویه‌ی β را در نظر بگیرید تمام مختصات نقاط بعد از B غلط محاسبه خواهد شد و ما متوجه موضوع نخواهیم شد.

این چنین پیمایش‌هایی بیش‌تر در کارهای زیرزمینی مثل تونل‌ها و معادن استفاده می‌گردد که ما مجبور به داشتن پیمایش‌های باز هستیم. شکل ۱۱ــ۴ نمونه‌ای از این تونل‌ها را نشان می‌دهد که باید به‌روش‌های دیگری این پیمایش‌ها کنترل گردد. مثلاً استفاده از ژیروسکوپ[1] یا وسایل و تجهیزات دیگر، که در دوره‌های بالاتر در درس زیرزمینی با آن‌ها آشنا خواهید شد.

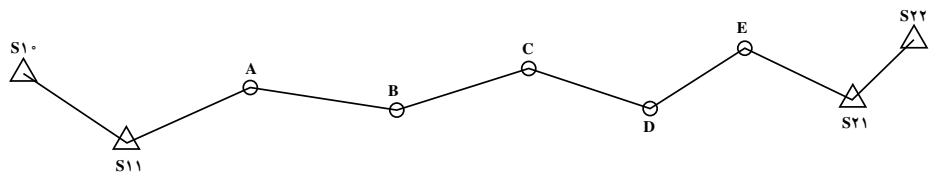
شکل ۱۱ــ۴ــ شکل تونل‌های طرح توسعه‌ی نیروگاه سد گدار مسجد سلیمان می‌باشد که نقشه‌برداری سهم زیادی در هدایت این تونل‌ها و رساندن آن‌ها به همدیگر دارد.

روابط مورد نیاز برای انتقال مختصات بدین روش را نیز در نقشه‌برداری یاد گرفته‌اید و در این قسمت فقط برای حل یک مسئله اکتفا می‌گردد :

شکل ۱۲ــ۴ــ شکل یک ژیروسکوپ که در تونل‌ها و هدایت آن‌ها استفاده می‌شود.

۱ــ ژیروسکوپ وسیله‌ای است که می‌تواند آزیموت هر امتدادی را با دقتی حدود ۱۵″ــ۲۰ به ما بدهد که نمونه‌ای از آن را در شکل ۱۲ــ۴ مشاهده می‌کنید.

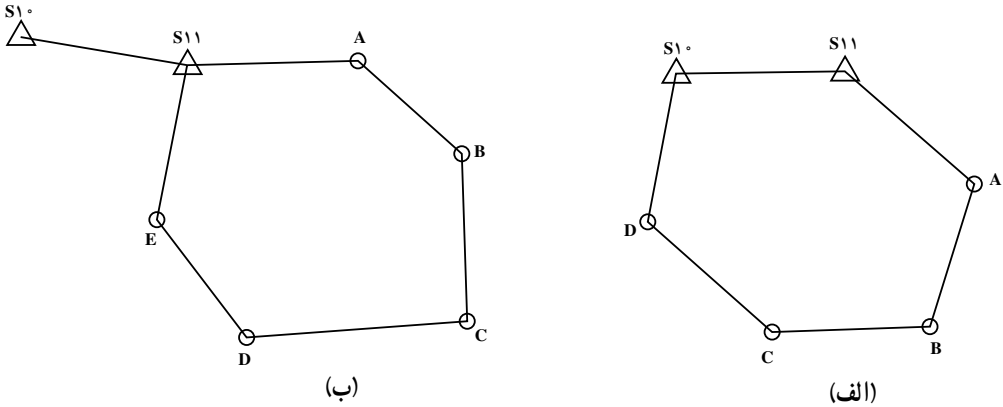
۲ــ پیمایش بسته *(Closed Traverse)*: در این پیمایش‌ها از دو نقطه‌ی معلوم شروع نموده و در انتها به دو نقطه‌ی معلوم دیگر پیمایش را می‌بندیم.
که در این پیمایش نقاط S_{10} و S_{11} و S_{21} و S_{22} نقاط با مختصات معلوم بوده و نقاط A و B و C و D و E نقاط مجهول می‌باشند.



شکل ۱۳ــ۴

این پیمایش که بیش‌تر در پروژه‌های مسیر یا نقشه‌برداری‌هایی که انتقال مختصات به‌صورت طولی مورد نظر است، استفاده می‌گردد. این پیمایش‌ها هم از لحاظ فاصله و هم از لحاظ امتداد قابل کنترل بوده و می‌تواند استحکام و اطمینان خوبی داشته باشد. این پیمایش‌ها بهترین نوع پیمایش می‌باشد که می‌توان متوجه خطا در مشاهدات از نوع اشتباه و سیستماتیک و اتفاقی شد و آن‌ها را در صورت مورد قبول بودن تعدیل نموده و بهترین مقدار مختصات را به‌دست آورد.

۳ــ پیمایش‌های حلقوی بسته *(Closed Loop Traverse)*: شکل زیر نمونه‌هایی از این پیمایش‌ها را نشان می‌دهد.

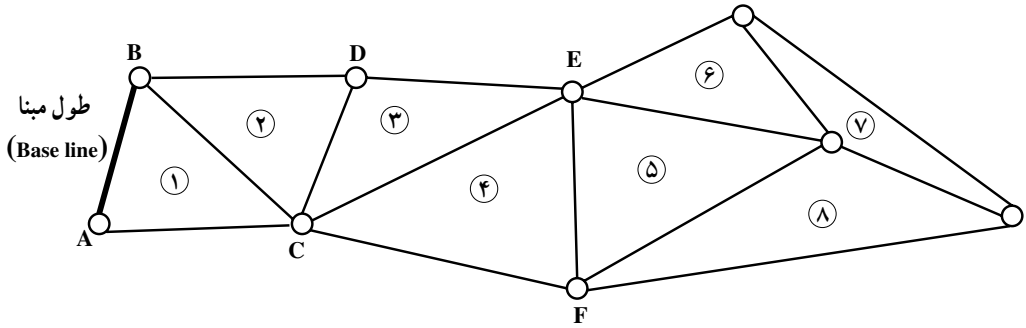


شکل ۱۴ــ۴

پیمایش حلقوی الف استحکام خوبی در مورد خطاهای سیستماتیک زوایا و طول‌ها داشته ولی احتمال دوران پیمایش حول S_{11} را دارد. از لحاظ زوایای داخلی پیمایش قابل کنترل می‌باشد.

پیمایش ب از لحاظ دقت و استحکام خوب بوده و خطاها از هر لحاظ در این پیمایش قابل کنترل می‌باشد و می‌تواند دقیقاً اشتباهات و خطاهای سیستماتیک در طول و زاویه را نیز برای ما مشخص کند.

ب ــ مثلث‌بندی (Triangulation): روش دیگری از انتقال مختصات روش مثلث‌بندی می‌باشد در این روش مشاهدات، زاویه‌ها می‌باشند و فقط یک یا دو طول مبنا[1] با دقت بیش‌تری اندازه‌گیری می‌گردد. شکل زیر نمونه‌ای از این روش را نشان می‌دهد.



شکل ۱۵ــ۴

همان‌طوری که می‌دانید با سه زاویه مثلث قابل حل نمی‌باشد لذا فقط با اندازه‌گیری زوایا ما نمی‌توانیم انتقال مختصات را انجام دهیم ولی با داشتن یک طول مبنا، دیگر مشکل قابل حل می‌باشد. مثلاً در شکل بالا با داشتن طول مبنا و زوایای مثلث شماره‌ی ۱ مثلث قابل حل است، یعنی ضلع BC نیز قابل دسترسی است. با داشتن ضلع BC و زوایای داخلی، مثلث ۲ قابل حل است و ... .

البته وجود تعداد طول مبناهای بیش‌تر دقت و استحکام شبکه را بالا می‌برد.

این پیمایش‌ها بیش‌تر در نقشه‌برداری مناطق وسیع مورد استفاده قرار می‌گیرد.

ج ــ سه ضلع‌بندی (Trilateration): در این روش برای انتقال مختصات از مشاهدات طول استفاده می‌کنیم با وجود دستگاه‌های EDM(Electronic Distance Measur ment) کار سه ضلع‌بندی رواج بیش‌تری یافت زیرا اندازه‌گیری طول‌ها را با دقت و سرعت بیش‌تری می‌توانیم انجام دهیم. در این روش باید طول‌ها نسبت به خطاهای سیستماتیک دستگاه EDM و اثرات

۱ــ Base line

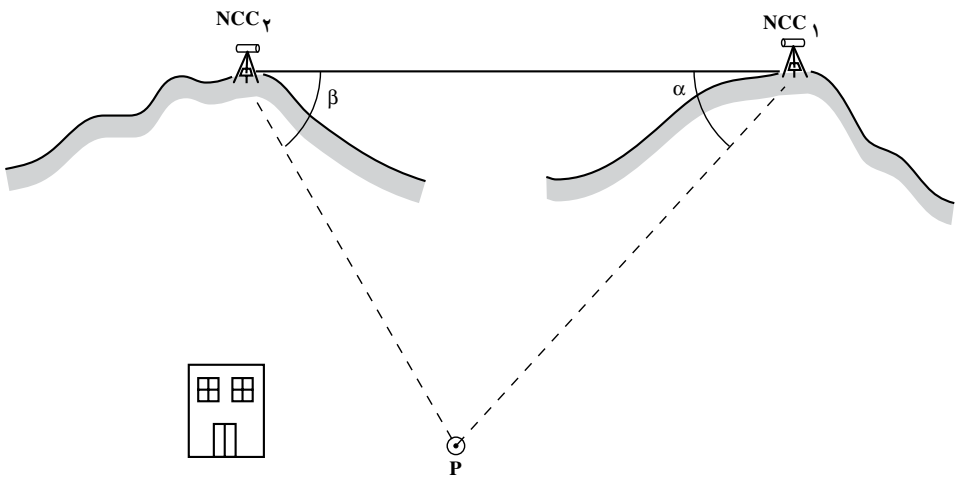
اتمسفریک و ... تصحیح گردند.

البته امروزه برای شبکه‌ی ژئودزی به روش کلاسیک بیش‌تر از ترکیب مثلث‌بندی و سه‌ضلع‌بندی استفاده می‌شود.

د ــ *روش تقاطع (Intersection)*: روش تقاطع برای تعیین موقعیت نسبی، زمانی به‌کار می‌رود که هدف ما تعیین موقعیت یک یا چند نقطه‌ی محدود، در یک منطقه با داشتن ۲ نقطه‌ی مبنایی می‌باشد. با توجه به شکل زیر هدف در این روش دادن مختصات از دو نقطه‌ی مبنایی NCC_1 و NCC_2 به نقطه‌ی P در منطقه‌ی مورد نیاز می‌باشد. روش‌های مختلفی برای این تعیین موقعیت وجود دارد :

۱ــ تقاطع با دو زاویه

۲ــ تقاطع با دو ضلع



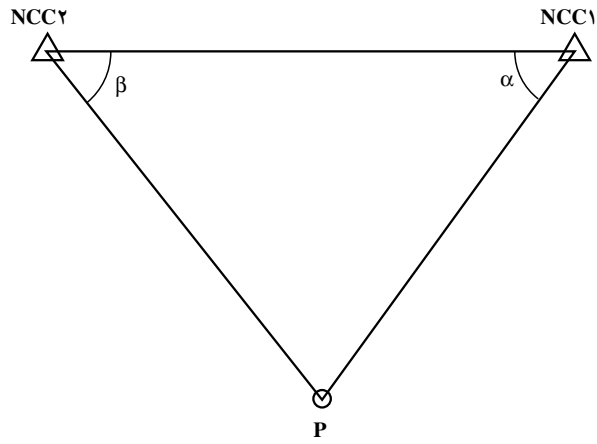
شکل ۱۶ــ۴

به‌عنوان نمونه در تقاطع با دو زاویه ، زاویه‌ی افقی NCC_1 و NCC_2 را به‌طور دقیق قرائت می‌کنیم با داشتن این دو زاویه می‌توان مختصات نقطه‌ی P را به‌دست آورد.

تصویر نقاط فوق در روی صفحه‌ی افق به شکل ۱۷ــ۴ خواهد بود :

برای به‌دست‌آوردن مختصات P به دو روش می‌توانیم عمل کنیم :

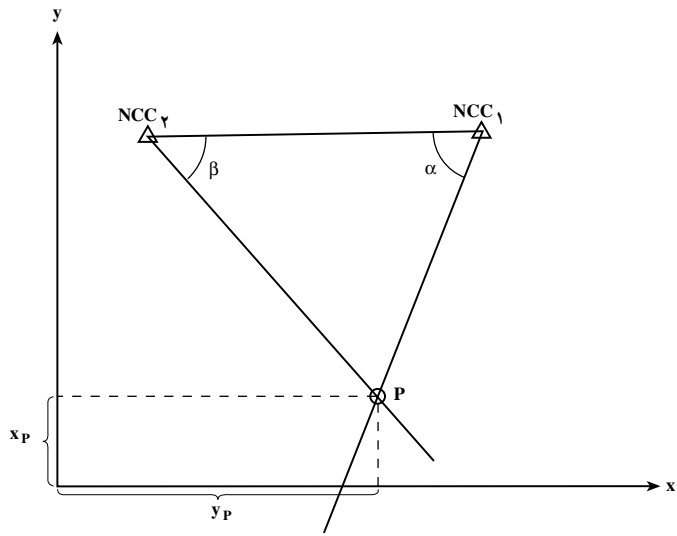
الف ــ روش ترسیمی　　ب ــ روش محاسباتی



شکل ۱۷ــ۴

در اینجا فقط روش ترسیمی بیان می‌گردد و در درس‌های آینده و دوره‌های بالاتر روش محاسباتی را نیز خواهید آموخت.

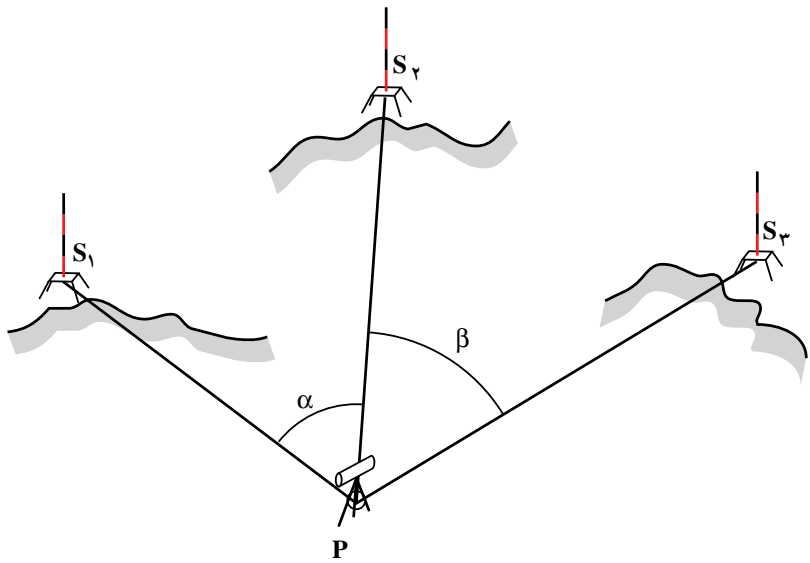
روش ترسیمی بدین صورت است که در یک سیستم مختصات نقاط NCC_1 و NCC_2 را با توجه به مختصات معلوم آن‌ها مشخص می‌کنیم و سپس از نقطه‌ی NCC_1 زاویه‌ی α را نسبت به امتداد $NCC_1 _ NCC_2$ جدا می‌کنیم و سپس از نقطه‌ی NCC_2 هم نسبت به امتداد $NCC_2 _ NCC_1$ زاویه‌ی β را جدا می‌کنیم. این دو امتداد همدیگر را در یک نقطه قطع می‌کنند. آن موقعیت نقطه‌ی P می‌باشد.



شکل ۱۸ــ۴

قبلاً اعلام می‌شد که روش ترسیمی تا قبل از وجود تکنولوژی روش دقیقی نبود و بستگی به مقیاس ترسیم ما دارد ولی امروزه با وجود کامپیوتر و نرم‌افزارهای مختلف ترسیمی مثل Autocad با دقت بالایی با توجه به اندازه‌گیری‌ها می‌توان مختصات آن را به‌دست آورد.

هـ ــ ترفیع (Resection): در این روش روی نقطه‌ی مجهول مستقر شده و به سه نقاط با مختصات معلوم نشانه‌روی کرده و دو زاویه‌ی α و β را قرائت می‌کنیم (شکل ۱۹ــ۴).

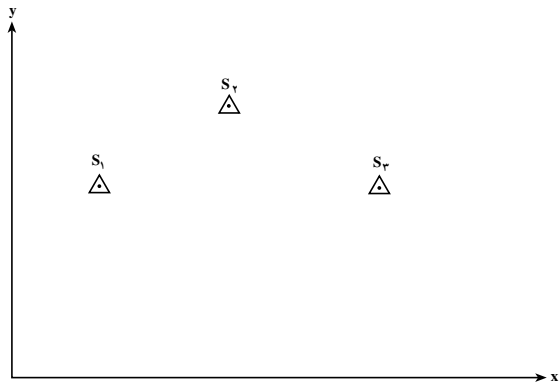


شکل ۱۹ــ۴

این روش بیش‌تر زمانی به‌کار می‌رود که امکان استقرار دوربین در نقاط با مختصات معلوم نباشد یا به هر دلیلی نخواهیم دوربین را در روی نقاط با مختصات معلوم مستقر کنیم. به‌عنوان نمونه در برخی پروژه‌های زیرزمینی تعدادی از نقاط پیمایش را در روی دیواره یا سقف تونل می‌گیرند و لذا مکان استقرار در روی آن نقاط نیست. در این چنین مواردی در نقطه‌ی مورد نظر مانند P مستقر شده و زاویه را نسبت به نقاط معلوم قرائت می‌کنیم.

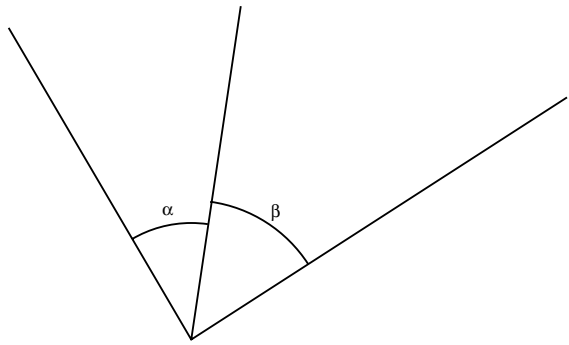
برای به‌دست آوردن مختصات نقطه‌ی P با داشتن زاویه‌ی α و β نیز در اینجا فقط روش ترسیمی را بیان می‌کنیم :

روش ترسیمی تقریبی: سه نقطه‌ی S_1 وS_2 و S_3 را روی یک سیستم مختصات با توجه به مختصات رسم می‌کنیم (شکل ۲۰ــ۴).



شکل ۲۰ــ۴

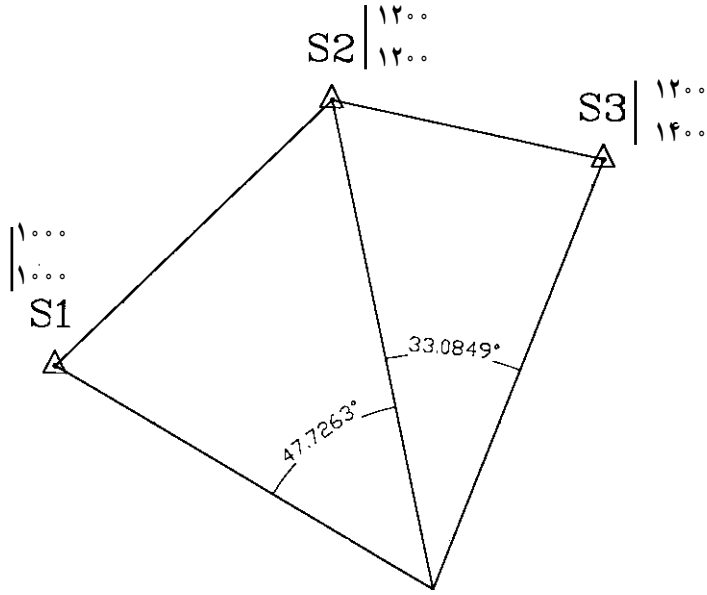
سپس در روی یک صفحه کاغذ دیگر از یک نقطه‌ی دلخواه با نقاله سه امتداد با زوایای α و β را ترسیم می‌کنیم.



شکل ۲۱ــ۴

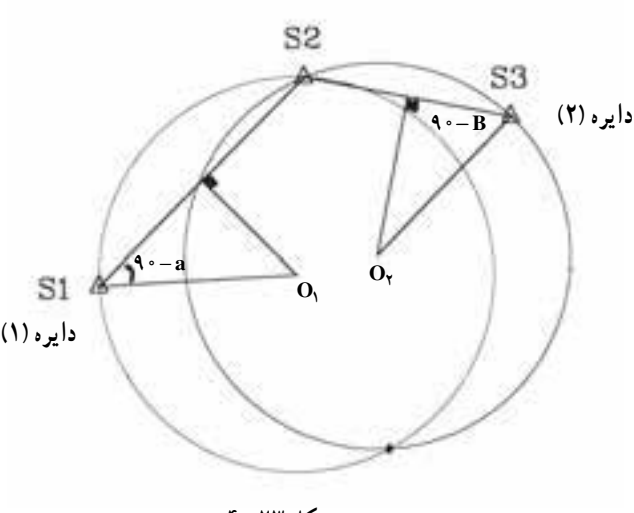
این صفحه‌ی کاغذ را برداشته و روی شکل ۲۰ــ۴ می‌لغزانیم تا امتدادها از نقاط S_1 وS_2 و S_3 عبور کنند سپس نقطه‌ی P را روی شکل ۲۰ــ۴ علامت‌گذاری نموده و مختصات آن را استخراج می‌کنیم.

مثال: با توجه به اطلاعات روی شکل مختصات P را به‌دست آورید.



شکل ۲۲ــ۴

روش ترسیمی دقیق: برای به‌دست‌آوردن مختصات P عمودمنصف هرکدام از امتدادهای $S_1 S_2$ و $S_2 S_3$ را رسم می‌کنیم. عمودمنصف مکان هندسی مرکز دوایری است که از دو سر یک امتداد می‌گذرد.



شکل ۲۳ــ۴

اما ما دنبال دایره‌ای هستیم که از هر نقطه‌ی آن به دوسر امتداد $S_1 S_2$ وصل کنیم زاویه‌ی α را تشکیل دهد برای این هدف باید از S_1 امتدادی را با زاویه‌ی $\alpha - ۹۰$ و از S_3 نیز $\beta - ۹۰$ را جدا کنیم تا عمودمنصف‌ها را در O_1 و O_2 قطع کند به مرکز O_1 به شعاع O_1S_1 دایره‌ی (۱) را می‌زنیم که مکان هندسی نقاطی است که اگر به S_1 و S_2 وصل شود تشکیل زاویه‌ی α را خواهد داد و به همین ترتیب دایره‌ی (۲) مکان هندسی نقاطی است که اگر به S_2 و S_3 وصل شوند تشکیل زاویه‌ی β را خواهند داد پس تقاطع آن‌ها موقعیت نقطه‌ی P خواهد بود.

شما همین کار را در نرم‌افزارهای ترسیمی عمل کنید به مختصات $\begin{vmatrix} ۱۷۰۰ \\ ۶۰۰ \end{vmatrix}$ خواهید رسید.

خودآزمایی

۱ــ تعیین موقعیت نسبی را تعریف کنید.
۲ــ انتقال موقعیت ارتفاعی را توضیح دهید.
۳ــ شبکه‌ی ارتفاعی را توضیح دهید.
۴ــ کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی یک را بیان کنید.
۵ــ کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی دو را بیان کنید.
۶ــ کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی سه را بیان کنید.
۷ــ انواع روش‌های اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع را به‌اختصار شرح دهید.
۸ــ نحوه‌ی تعریف یک سیستم مختصات را برای انتقال موقعیت مسطحاتی شرح دهید.
۹ــ روش‌های انتقال مختصات نسبی را نام ببرید.
۱۰ــ پیمایش را تعریف کرده، انواع آن‌را نام ببرید.
۱۱ــ روش پیمایش باز را شرح دهید.
۱۲ــ روش پیمایش بسته را شرح دهید.
۱۳ــ روش مثلث‌بندی را برای انتقال مختصات شرح دهید.
۱۴ــ روش سه ضلع بندی را برای انتقال مختصات شرح دهید.
۱۵ــ روش تقاطع را برای انتقال مختصات شرح دهید.
۱۶ــ روش ترفیع را برای انتقال مختصات شرح دهید.
۱۷ــ نقاط رفرانس را شرح دهید.

آیا می‌دانید؟

دکتر سید محمود حسابی

در سال ۱۲۸۱ (هـ.ش) در تهران زاده شدند. در هفت سالگی تحصیلات ابتدایی خود را آغاز کردند و همزمان، توسط مادر فداکار خود، تحت آموزش تعلیمات مذهبی و ادبیات فارسی قرار گرفتند. استاد، قرآن کریم را حفظ و به آن اعتقادی ژرف داشتند. دیوان حافظ را نیز از برداشته و به بوستان و گلستان سعدی، شاهنامه فردوسی، مثنوی مولوی، اشراف داشتند. در سن هفده سالگی لیسانس ادبیات، در سن نوزده سالگی، لیسانس بیولوژی و پس از آن مدرک مهندسی راه و ساختمان را اخذ نمودند. در آن زمان با نقشه کشی و راهسازی، به امرار معاش خانواده کمک می کردند. استاد هم چنین در رشته های پزشکی، ریاضیات و ستاره شناسی به تحصیلات آکادمیک پرداختند. شرکت راهسازی فرانسوی که استاد در آن مشغول به کار بودند، به پاس قدردانی از زحماتشان، ایشان رابرای ادامه ی تحصیل به کشور فرانسه اعزام کرد و بدین ترتیب در سال ۱۹۲۴ (م) به مدرسه عالی برق پاریس وارد و در سال ۱۹۲۵ (م) فارغ التحصیل شدند. همزمان با تحصیل در رشته ی معدن، در راه‌آهن برقی فرانسه مشغول به کار گردیدند و پس از پایان تحصیل در این رشته کار خود رادر معادن آهن شمال فرانسه و معادن زغال سنگ ایالت «سار» آغاز کردند. سپس به دلیل وجود روحیه ی علمی، به تحصیل و تحقیق، در دانشگاه سوربن، در رشته ی فیزیک پرداختند و در سال ۱۹۲۷ (م) در سن بیست و پنج سالگی دانشنامه دکترای فیزیک خود را، باارائه رساله ای تحت عنوان «حساسیت سلول های فتوالکتریک»، با درجه ی عالی دریافت کردند. ایشان در چند رشته ورزشی موفقیت هایی کسب نمودند که از آن میان می توان به دیپلم نجات غریق در رشته ی شنا اشاره نمود. پروفسور حسابی به دلیل عشق به میهن و با وجود امکان ادامه ی تحقیقات در خارج از کشور به ایران بازگشت و با ایمان و تعهد، به خدمتی خستگی ناپذیر پرداخت تاجوانان ایرانی رابا علوم نوین آشنا سازد. پایه گذاری علوم نوین و تأسیس دارالمعلمین و دانشسرای عالی، دانشکده های فنی و علوم دانشگاه تهران،

نگارش ده‌ها کتاب و جزوه و راه‌اندازی و پایه گذاری فیزیک و مهندسی نوین، ایشان را به نام پدر علم فیزیک و مهندسی نوین ایران در کشور معروف کرد. حدود هفتاد سال خدمت علمی ایشان در گسترش علوم روز و واژه گزینی علمی در برابر هجوم لغات خارجی و نیز پایه گذاری مراکز آموزشی، پژوهشی، تخصصی، علمی و ...، دو نمونه از اقدامات ارزشمند استاد در رابطه با نقشه برداری عبارتند از:

ـ اولین نقشه برداری فنی و تخصصی کشور (راه بندرلنگه به بوشهر)

ـ اولین راهسازی مدرن وعلمی ایران (راه تهران به شمشک)

نقل از: http://www.hessaby.com