

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

# روش‌های تعیین موقعیت

رشته نقشه برداری

زمینه صنعت

شاخه آموزش فنی و حرفه‌ای

شماره درس ۲۷۸۰

میرقاسم پور، میراحمد	۵۲۶
روش‌های تعیین موقعیت/مؤلفان: میراحمد میرقاسم پور، ایرج جزیرئیان. - تهران:	۱۶۴
شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران، ۱۳۹۴.	م ۱۷۷
۱۵۶ص. : مصور. - (آموزش فنی و حرفه‌ای: شماره درس ۲۷۸۰)	۱۳۹۴
متون درسی رشته نقشه برداری، زمینه صنعت.	
برنامه‌ریزی و نظارت، بررسی و تصویب محتوا: کمیسیون برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های	
درسی رشته نقشه برداری دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کاردانش وزارت آموزش	
و پرورش.	
۱. نقشه برداری - موقعیت جغرافیایی. الف. ایران. وزارت آموزش و پرورش. کمیسیون	
برنامه‌ریزی و تألیف کتاب‌های درسی رشته نقشه برداری. ب. عنوان. ج. فروست.	

همکاران محترم و دانش‌آموزان عزیز :

پیشنهادات و نظرات خود را درباره محتوای این کتاب به نشانی  
تهران - صندوق پستی شماره ۴۸۷۴/۱۵ دفتر تألیف کتاب‌های درسی  
فنی و حرفه‌ای و کار دانش، ارسال فرمایند.

info@tvoccd.sch.ir

پیام‌نگار (ایمیل)

www.tvoccd.sch.ir

وب‌گاه (وب‌سایت)

## وزارت آموزش و پرورش سازمان پژوهش و برنامه‌ریزی آموزشی

برنامه‌ریزی محتوا و نظارت بر تألیف : دفتر تألیف کتاب‌های درسی فنی و حرفه‌ای و کار دانش

نام کتاب : روش‌های تعیین موقعیت - ۴۹۶/۴

مؤلفان : میراحمد میرقاسم پور، ایرج جزیرنیان

اعضای کمیسیون تخصصی : محمد سعادت سرشت، سیدمحمد رضارجایی الموسوی، محمد سلیم آبادی، مسلم لطفعلیان،

عبداله همتی، ابوالقاسم رافع، امیرحسین متینی و مالک مختاری

آماده‌سازی و نظارت بر چاپ و توزیع : اداره کل نظارت بر نشر و توزیع مواد آموزشی

تهران : خیابان ایرانشهر شمالی - ساختمان شماره ۴ آموزش و پرورش (شهید موسوی)

تلفن : ۸۸۸۳۱۱۶۱-۹، دورنگار : ۸۸۳۰۹۲۶۶، کدپستی : ۱۵۸۴۷۴۷۳۵۹.

وب‌سایت : [www.chap.sch.ir](http://www.chap.sch.ir)

رسام : مریم دهقان‌زاده

صفحه‌آرا : راحله زادفتح‌اله

طراح جلد : مریم کیوان

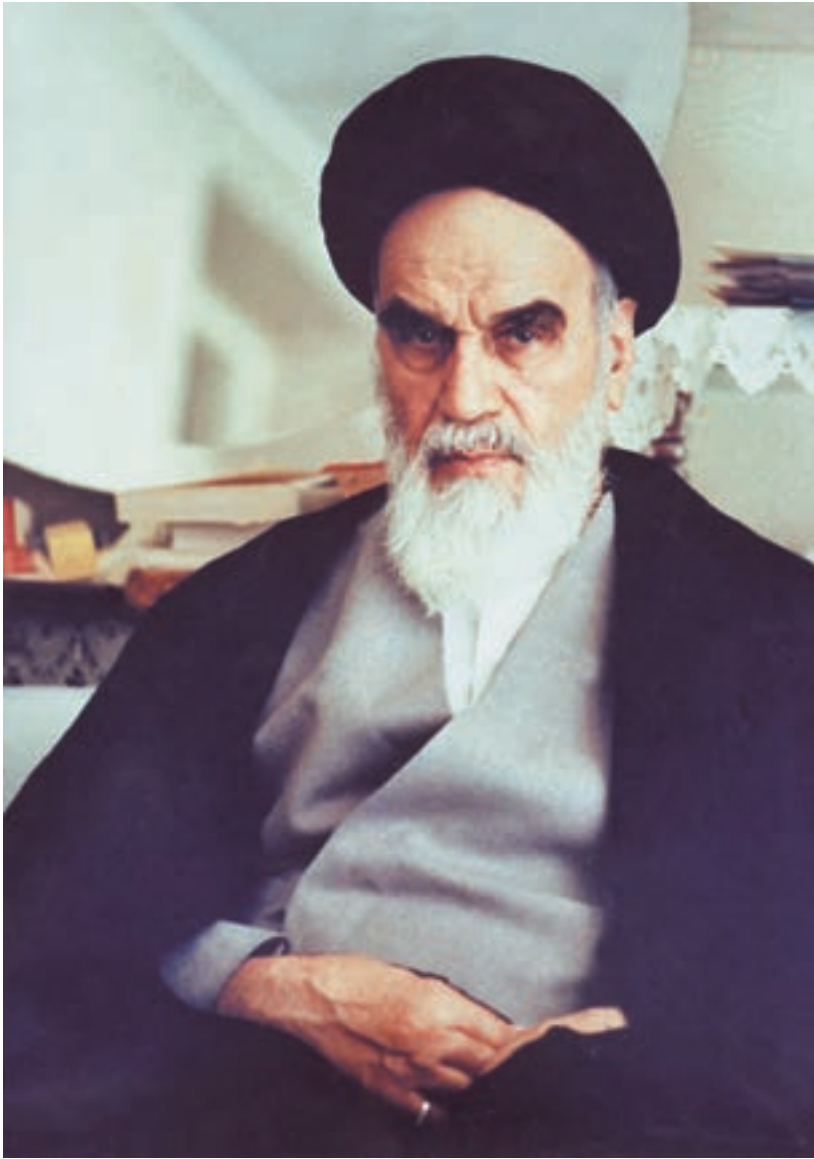
ناشر : شرکت چاپ و نشر کتاب‌های درسی ایران : تهران - کیلومتر ۱۷ جاده مخصوص کرج - خیابان ۶۱ (داروپخش)

تلفن : ۴۴۹۸۵۱۶۱-۵، دورنگار : ۴۴۹۸۵۱۶۰، صندوق پستی : ۳۷۵۱۵-۱۳۹

چاپخانه : فارسی

سال انتشار و نوبت چاپ : چاپ یازدهم ۱۳۹۴

حق چاپ محفوظ است.



شما عزیزان کوشش کنید که از این وابستگی بیرون آید و احتیاجات کشور خودتان را برآورده سازید، از نیروی انسانی ایمانی خودتان غافل نباشید و از اتکای به اجانب پرهیزید.

امام خمینی «قدس سرّه الشریف»

## فهرست

- فصل اوّل : آشنایی با تعیین موقعیت و کاربردهای آن
- ۱-۱- تعریف تعیین موقعیت (positioning) ۱
- ۱-۲- کاربردهای تعیین موقعیت ۷
- فصل دوم : سطوح مبنا و سیستم های مختصات در نقشه برداری
- ۲-۱- سطوح مبنا (Reference surface) ۲۱
- ۲-۲- سیستم های مختصات (Coordinate system) ۲۹
- فصل سوم : سیستم های تصویر در نقشه برداری (Projection systems in surveying) ۴۶
- ۳-۱- سیستم های تصویر و انواع آن ۴۷
- ۳-۲- سیستم تصویر صفحه ای ۵۰
- ۳-۳- سیستم تصویر مخروطی (Conical projection) ۵۱
- ۳-۴- سیستم های تصویر استوانه ای یا مرکاتور (Mercator projection) ۵۲
- فصل چهارم : تعیین موقعیت زمینی
- ۴-۱- تعریف تعیین موقعیت نسبی (Relative positioning) ۶۰
- ۴-۲- انتقال موقعیت ارتفاعی (Levelling) ۶۰
- ۴-۳- انتقال موقعیت مسطحاتی ۶۵
- ۴-۴- روش های انتقال مختصات نسبی ۷۲
- الف - پیمایش (Traverse) ۷۲
- ب - مثلث بندی (Triangulation) ۷۵

۷۵	ج - سه ضلع بندی (Trilateratio)
۷۶	د - تقاطع (Intersection)
۷۸	هـ - ترفیع (Resection)
۸۵	<b>فصل پنجم : نقشه و تعیین موقعیت بر روی آن (Map and Positioning)</b>
۸۶	۱-۵ - اطلاعات نقشه
۸۹	۲-۵ - تعداد اطلاعات حاشیه نقشه
۱۰۲	۳-۵ - تعیین موقعیت بر روی نقشه
۱۰۳	۴-۵ - تعیین موقعیت با استفاده از مختصات جغرافیایی (طول و عرض ژئودتیک)
۱۰۵	۵-۵ - مشخص کردن یک نقطه معلوم با مختصات جغرافیایی بر روی نقشه
۱۰۵	۶-۵ - تعیین موقعیت با استفاده از مختصات UTM
۱۰۷	۷-۵ - مشخص کردن یک نقطه معلوم با مختصات UTM بر روی نقشه
۱۱۴	<b>فصل ششم : تعیین موقعیت نجومی (۱) (Astronomical Positioning)</b>
۱۱۵	۱-۶ - نقش زمان در تعیین موقعیت و انواع آن
۱۱۶	۲-۶ - قوانین کپلر
۱۲۲	۳-۶ - انواع زمان
۱۳۱	<b>فصل هفتم : تعیین موقعیت نجومی (۲)</b>
۱۳۲	۱-۷ - تعیین موقعیت با استفاده از وضعیت ستارگان
۱۴۰	۲-۷ - تعیین عرض نجومی تقریبی یک نقطه به روش های ساده
۱۴۳	۳-۷ - تعیین $\Delta$ طول نجومی تقریبی یک محل
۱۴۵	۴-۷ - تعیین آزیموت نجومی تقریبی یک امتداد
۱۴۹	ضمیمه ۱ : مشخصات سیارات منظومه شمسی
۱۵۰	ضمیمه ۲ : اطلاعات کلی درباره خورشید، زمین و ماه
۱۵۱	ضمیمه ۳ : سال شمار زندگی ابوریحان بیرونی دانشمند ایرانی مسلمان
۱۵۳	ضمیمه ۴ : معرفی بعضی از سایت های مهم نقشه برداری در ایران
۱۵۶	منابع

## مقدمه

همان گونه که در درس های پیشین یاد گرفتیم «علم نقشه برداری (SURVEYING) علمی است که یکی از اهداف آن تعیین موقعیت نسبی نقاط مختلف نسبت به یک سیستم مختصات مشخص می باشد». با داشتن مختصات نقاط، بسیاری از کارها امکان پذیر بوده از طریق آن می توان نیازهای مورد نظر را برآورده ساخت که در این جا به نمونه هایی از آن اشاره می کنیم :

– تعیین ابعاد هر قطعه زمین با استفاده از مختصات نقاط رئوس آن.  
– تعیین زاویه بین امتدادها با داشتن مختصات نقاط دو سر امتدادها.  
– تعیین مساحت هر قطعه زمین با داشتن مختصات رئوس آن.  
– محاسبه شیب جاده یا کانال و نظیر آن با داشتن مختصات نقاط مختلف بر روی هر یک از آن ها.  
– پیاده کردن طرح بر روی زمین، با داشتن مختصات طرح و مختصات تقاطعی در روی سطح زمین (نقاط مبنایی).

– مشخص کردن محدوده املاک مختلف (حل و فصل اختلافات بین صاحبان املاک با داشتن مختصات نقاط محدوده املاک).

– حل اختلاف بین کشورها و مشخص کردن مرز بین کشورها با داشتن مختصات نقاط واقع بر روی مرز نسبت به یک سیستم مختصات جهانی.

– هدایت حفاری تونل ها از چندین جهت و رساندن آن ها به یک دیگر با داشتن مختصات دقیق در دو طرف تونل و استفاده از آن ها.

– محاسبه دقیق حجم عملیات خاکی در اجرای پروژه های مختلف، با داشتن مختصات نقاط مختلف از منطقه با تراکم خوب.

– محاسبه حجم آب پشت سدها و سازه های آبی دیگر با داشتن مختصات نقاط کف دریاچه ها و سطح آن.

– هدایت هواپیما و کشتی ها و زیر دریایی ها و دیگر وسایل نقلیه با داشتن موقعیت لحظه به لحظه آن.

– پیش بینی محل وقوع زلزله و حرکات مختلف پوسته زمین با داشتن مختصات برخی نقاط در زمان های مختلف.

– پرتاب موشک های دوربرد و هدف قرار دادن دقیق اهداف نظامی با داشتن مختصات هدف و مختصات نقطه پرتاب.

– قرار دادن ماهواره های مخابراتی در مدار کره زمین برای اهداف ارتباطی.

– بررسی وضعیت حرکت سیستم های جوی.

- بررسی جابه‌جایی سازه بزرگ عمرانی، مانند ساختمان‌های بزرگ، سدها و نظایر آن.
  - ارسال سفینه‌های فضایی به کرات دیگر.
  - بررسی وضعیت خورشید و اجرام سماوی دیگر.
  - بررسی هدایت آب از نقاطی به نقاط دیگر.
- و هزاران نیاز روزمره انسان با استفاده از مختصات و تعیین موقعیت قابل رفع می‌باشد.

## هدف کلی

آشنایی با روش‌های تعیین موقعیت در نقشه برداری



### آشنایی با تعیین موقعیت و کاربردهای آن

- هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل فراگیر باید بتواند:
- ۱- تعیین موقعیت را با چند مثال توضیح دهید.
  - ۲- تعیین موقعیت را به صورت ریاضی با ذکر یک مثال بیان کند.
  - ۳- روند فعالیت‌هایی را که در نقشه‌برداری منجر به تعیین موقعیت می‌شود، توضیح دهد. (مراحل تعیین موقعیت را در نقشه‌برداری بیان کند).
  - ۴- تعیین موقعیت نقاط ثابت را با ذکر چند مثال توضیح دهد.
  - ۵- تعیین موقعیت نقاط متحرک را با ذکر چند مثال توضیح دهد.
  - ۶- کاربردهای تعیین موقعیت را با ذکر چند مثال توضیح دهد.

#### ۱-۱- تعریف تعیین موقعیت (Positioning)

تعیین موقعیت کاری است که اغلب هر روز با آن مواجه هستیم. انسان از دیرباز، قبل از آن که نوشتن و خواندن را فراگیرد، به صورت ابتدایی با تعیین موقعیت آشنا بوده است؛ برای نمونه:

– کشاورزی که پیرامون زمین خود را با سنگ‌چینی مشخص می‌کند در واقع تعیین موقعیت می‌کند.

– اگر شما نشانی محل سکونت خود را در اختیار دوستان قرار دهید کار تعیین موقعیت انجام داده‌اید، و آن را با جملاتی بیان کرده‌اید.

– تابلویی را در داخل اتاق خودتان می‌خواهید نصب کنید. تصمیم شما درباره‌ی این که تابلو در کدام سمت اتاق یا دیوار نصب شود، در واقع فکری است درباره‌ی تعیین موقعیت. چنان چه تابلو را نصب کردید شما آن موقعیت را به نمایش گذاشته‌اید.

– دندان پزشکی از دهان بیماری قالب می گیرد تا وضعیت دندان های موجود را مشخص کند.  
او با این عمل، کار تعیین موقعیت انجام می دهد.

– خلبانی که هواپیما را هدایت می کند تا بر روی باند فرودگاه فرود آید او نیز کار تعیین موقعیت انجام می دهد.

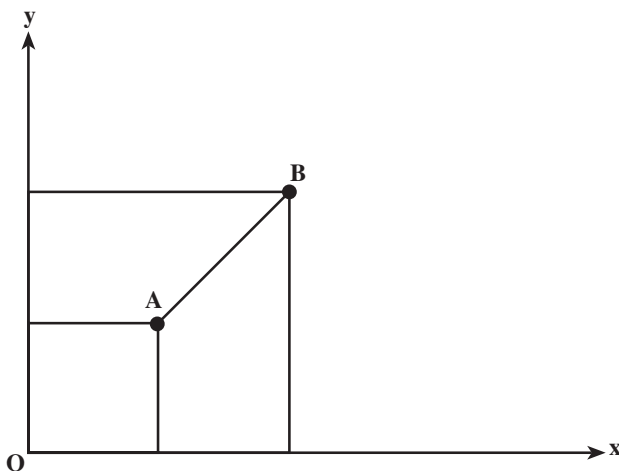
بنابراین، همه ی این کارهای روزانه با تعیین موقعیت امکان پذیر است و هر اندازه این تعیین موقعیت ها را دقیق انجام دهیم به اهدافمان بهتر دست می یابیم.

در ریاضیات، با نسبت دادن یک یا چند عدد به هر موقعیتی، بیان موقعیت ها به گونه ای آسان صورت می گیرد؛ برای نمونه، به جای بیان جملات طولانی برای یک موقعیت می توانیم با نسبت دادن سه عدد آن را مشخص کنیم این اعداد را در اصطلاح «مختصات» (Coordinate) گویند.

بنابراین، تعیین موقعیت، نسبت دادن مختصات به نقاط مورد نظر است، اما هنوز این تعریف جامع نیست با یک مثال، موضوع را روشن تر بیان می کنیم، نقطه ی A بر روی یک صفحه دارای مختصات (۱cm, ۱cm) است و نقطه ی B نیز مختصات آن برابر (۲cm, ۲cm) است. آیا می توان وضعیت این دو نقطه را نسبت به هم روی یک صفحه ی کاغذ مشخص نمود؟ آیا می توانید فاصله ی بین این دو نقطه را بیان نمایید؟ گاهی ممکن است کسی وضعیت دو نقطه را این گونه بیان کند:

و فاصله ی بین دو نقطه

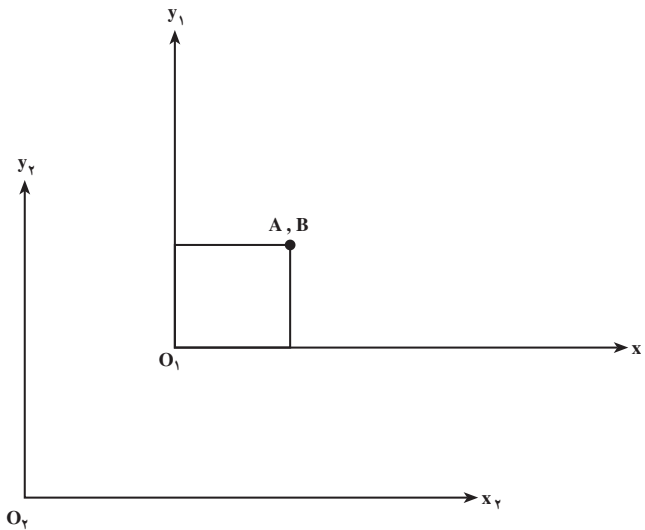
$$AB = \sqrt{1^2 + 1^2} = \sqrt{2} = 1/43 \text{cm}$$



شکل ۱-۱

گاهی نیز ممکن است شخص دیگری وضعیت نقاط را به این صورت رسم نماید و فاصله‌ی بین دو نقطه را صفر بیان کند.

این پاسخ نیز درست است، زیرا نقطه‌ی A دارای مختصات (1cm, 1cm) در سیستم مختصات  $x_1, y_1$  بوده نقطه‌ی B هم دارای مختصات (2cm, 2cm) نسبت به سیستم مختصات  $x_2, y_2$  است؛ بر این اساس، این اعداد، هنگامی نشانگر تعیین موقعیت هستند که قبل از آن سیستم مختصات مناسب تعریف شده باشد.

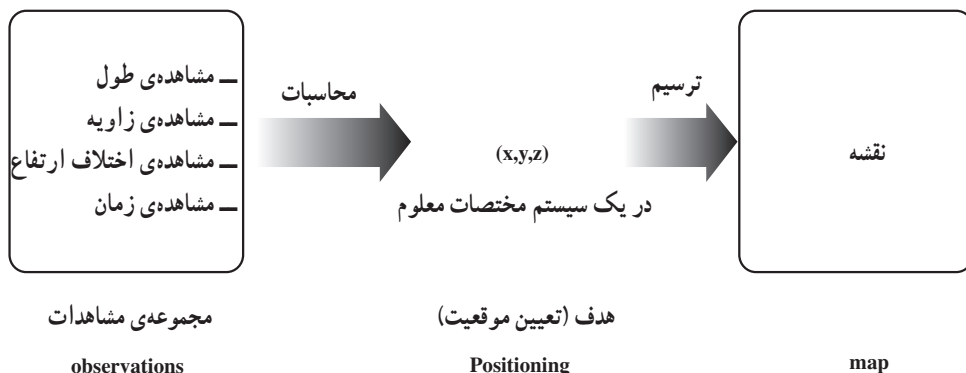


شکل ۲-۱

حال، با توجه به مطالب بیان شده می‌توان تعیین موقعیت را همان‌گونه که در درس مبانی هم خوانده‌اید تعریف نمود: «مکان‌یابی نقاط مورد نظر در یک سیستم مختصات از قبل تعریف شده». اما این مختصات را چگونه باید به دست آورد؟ این پرسشی اساسی است که برای نقشه‌بردار - که هدف او تعیین موقعیت است - باید به آن پاسخ داده شود. این مختصات  $(x, y)$  برای یک نقطه، به طور مستقیم در دسترس نیست. شما نمی‌توانید با متر یا وسایل دیگر نقشه‌برداری برای نمونه مختصات  $(X, Y)$  گوشه‌ی زمینی را به طور مستقیم به دست آورید. در نقشه‌برداری برای رسیدن به این مختصات نقاط از مجموعه‌ی مشاهدات استفاده می‌کنیم.

مجموعه‌ی مشاهدات در نقشه‌برداری شامل اندازه‌گیری فاصله، اندازه‌گیری زاویه و اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع است. در برخی از کارهای نقشه‌برداری - علاوه بر اندازه‌گیری‌های یاد شده -

مشاهده‌ی «زمان» نیز حائز اهمیت است که در فصل هشتم از آن سخن به میان خواهد آمد. به طور کلی نکات یاد شده اطلاعاتی است که با وسایل نقشه برداری فراهم می‌آید. پس از آن باید آن‌ها را در مدل‌های ریاضی<sup>۱</sup> مناسب قرار دهیم تا به هدفمان، یعنی تعیین موقعیت دست یابیم وقتی به  $(x, y)$  رسیدیم در حقیقت به هدف رسیده‌ایم. اما در برخی مواقع ممکن است که تعداد نقاط تعیین موقعیت شده زیاد باشد که این اعداد و ارقام تعیین موقعیت را به صورت شماتیک می‌توان نشان داد. البته این نمایش یا تهیه نقشه هدف نیست بلکه به خاطر راحتی استفاده‌کننده می‌باشد درست مثل این است که یک آمارگر وقتی تعداد زیادی نمونه جمع‌آوری می‌کند نتایج این جمع‌آوری اطلاعات را به صورت نمودار مشخص کند.



شکل ۱-۳

با توجه به شکل ۱-۳ مراحل تعیین موقعیت و نمایش آن را می‌توان به شرح زیر بیان نمود:

- I) انجام مشاهدات لازم یا جمع‌آوری اطلاعات.
- II) انتخاب سطح مبنا و سیستم مختصات خاص برای تعیین موقعیت
- III) انتخاب مدل‌های ریاضی خاص که در روی سطح مبنای انتخاب شده‌ی بالا معتبر می‌باشد و انجام محاسبات لازم و رسیدن به مختصات
- IV) انتخاب روش‌های مناسب برای نمایش اطلاعات و نمایش موقعیت‌ها به صورت شماتیک

تعیین موقعیت منحصر به موارد مذکور نیست. ملاصدرا، فیلسوف بزرگ ایرانی، ثابت کرد که زمان بعد چهارم نقاط مادی است. بنابراین هر نقطه‌ی مادی دارای چهار بُعد  $x$  و  $y$  و  $z$  و  $t$  است و

۱- مدل ریاضی: روابط ریاضی است که وضعیت مجموعه‌ای از نقاط را بر روی سطوح خاص بیان می‌کند.

به طور کلی مختصات هر نقطه به صورت  $(x, y, z, t)$  نشان داده می شود به عبارت دیگر، تعیین موقعیت در این حالت چهار بُعدی است. در حال حاضر از بحث در مورد بُعد چهارم (زمان) خودداری می شود، ولی در سال های بعد آن را بیش تر خواهید شناخت.

بر حسب وضعیت نقاط تعیین موقعیت به دو دسته تقسیم می شود:

۱- تعیین موقعیت نقاط ثابت (Static Positioning): این تعیین موقعیت مربوط به نقاطی است که ثابت بوده و نسبت به زمان، تغییرات خیلی ناچیز خواهد داشت. مثل نقاط واقع بر بدنه ی یک سد یا نقاط کنترل نقشه برداری و ژئودزی یا نقاط مربوط به بررسی جابه جایی پوسته ی زمین و غیره. این ها همه نقاطی است که با گذشت زمان خیلی ناچیز و در حد دهم یا صدم میلی متر جابه جایی پیدا می کند. شکل های ۱-۴، ۱-۵ و ۱-۶ نمونه ای از این نقاط را نشان می دهد.



شکل ۱-۵



شکل ۱-۴



شکل ۱-۶

۲- تعیین موقعیت نقاط متحرک (ناوبری) (Kinematic Positioning): در برخی مواقع ما نیاز به تعیین موقعیت اجسام در حال حرکت داریم. تعیین موقعیت چنین نقاطی را تعیین موقعیت متحرک می‌گویند.

نمونه‌هایی از این نوع تعیین موقعیت به شرح زیر است:

- تعیین موقعیت هواپیمایی در حال پرواز و مشخص کردن موقعیت آن در روی نقشه‌های مربوطه و نیز مشخص کردن موقعیت هواپیما نسبت به موقعیت فرودگاه به صورت لحظه به لحظه.  
- تعیین موقعیت کشتی در حال حرکت به صورت لحظه به لحظه و مشخص کردن جهت و سرعت حرکت آن، برای هدایت آن.

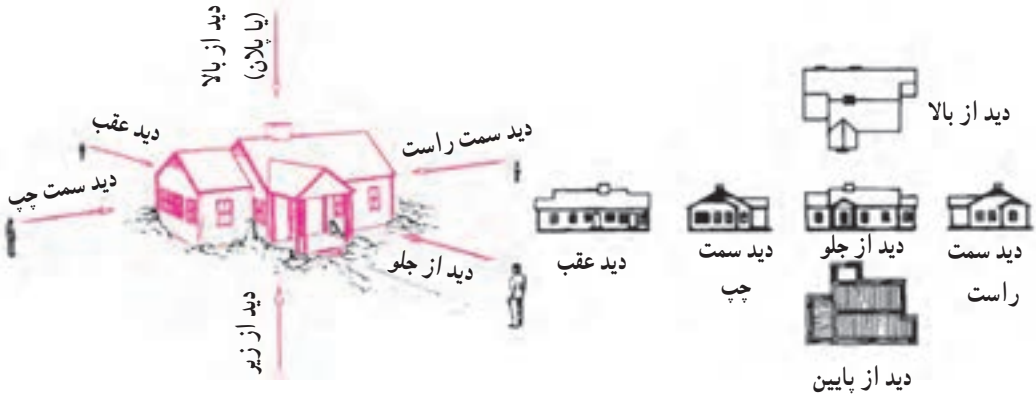
- مشخص کردن موقعیت ماشین‌های اورژانس و غیره به منظور استفاده‌ی بهینه از آن‌ها و برآورد زمان رسیدن آن‌ها به محل حادثه و غیره. و هزاران مثال دیگر از این قبیل که انسان به تعیین موقعیت نقاط در حال حرکت نیاز دارد که به روش‌های خاص نقشه برداری باید تعیین موقعیت گردند.  
شکل ۱-۷ تعیین موقعیت مسیر بهینه برای ماشین‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۱-۷

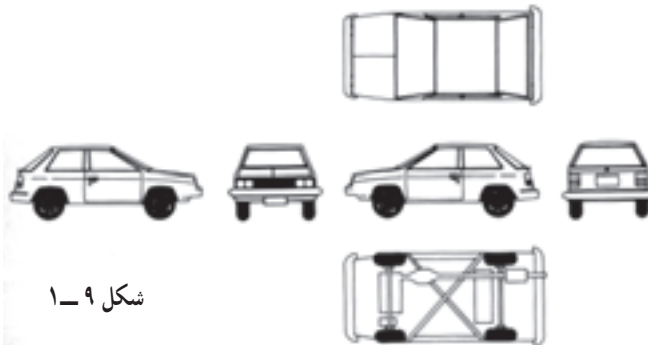
## ۲-۱- کاربردهای تعیین موقعیت

برای شناخت دقیق موقعیت، وضعیت، اندازه، شکل و تغییر شکل هر جسم لازم است موقعیت نقاط مختلف آن را تعیین نماییم. در ترسیم فنی یعنی روشی که از سالیان دور مورد استفاده قرار می‌گرفته ترسیم دستی‌نماهایی از جهات مختلف بدین منظور کاربرد داشته است. برای رسم نماهای مختلف، شعاع‌های دید ناظر عمود بر وجوه جسم بر آن می‌تابد، به این ترتیب که برای ترسیم نماهای بالا و پایین امتداد شعاع‌های دید ناظر به‌طور قائم از بالا و پایین عمود بر سطح می‌باشد. برای شناخت بیش‌تر اجسام به خصوص آن‌ها که دارای پیچیدگی‌هایی در حجم هستند تعداد بیش‌تری نما می‌توان ترسیم نمود و در هر صورت کلیه ابعاد اجسام مورد نظر باید اندازه‌گیری شوند.

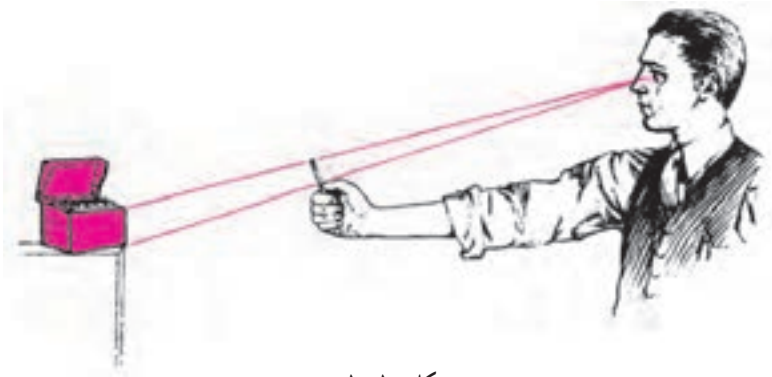


شکل ۸-۱

وقتی جسمی کوچک و ساده است با وسایل معمولی اندازه‌گیری (نظیر متر و پرگار و در موارد دقیق کولیس و ریزسنج) می‌توان ابعاد جسم را اندازه‌گیری نمود. اما برای اجسام بزرگ و پیچیده مانند اتومبیل و یا کشتی و هواپیما به خصوص آن‌ها که وجوه مسطح ندارند، اندازه‌گیری با وسایل معمولی بسیار وقت‌گیر و غیر دقیق و در مواردی غیرممکن است.



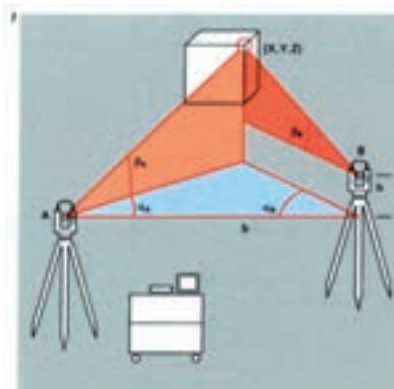
می‌توان با ایجاد مثلث‌های متشابه در فضا و تخمین فاصله‌ها و ترسیم کروکی نیز نماها را ترسیم نمود این روش نیز دقت بالایی ندارد و انجام آن بسیار وقت گیر است.



شکل ۱۰-۱

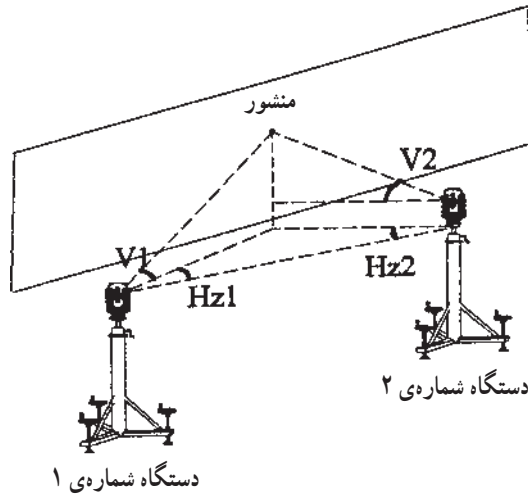
دستگاه‌های جدید نقشه برداری براحتی قادرند نقاط مختلف واقع بر اجسام مذکور را تعیین موقعیت نمایند. بدین منظور معمولاً از یک یا دو دستگاه که در نقاط مشخص مستقر می‌شوند استفاده می‌کنند (این دستگاه‌ها را در آینده خواهید شناخت) به این ترتیب که با مشخص ساختن نقاط مورد نظر روی اجسام فواصل آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کنیم (در مواردی زوایای امتدادها نیز اندازه‌گیری می‌شود). با این اندازه‌گیری به وسیله‌ی روابط ریاضی نقاط روی جسم تعیین موقعیت می‌شوند.

برای مشخص نمودن نقاط در روی اجسام از منشورهای بسیار کوچک که قابلیت نصب در هر نقطه و تغییر مکان را دارند استفاده می‌کنند (اخیراً دستگاه‌هایی تولید شده‌اند که بدون استفاده از منشور نیز می‌توانند اندازه‌گیری لازم را انجام دهند).



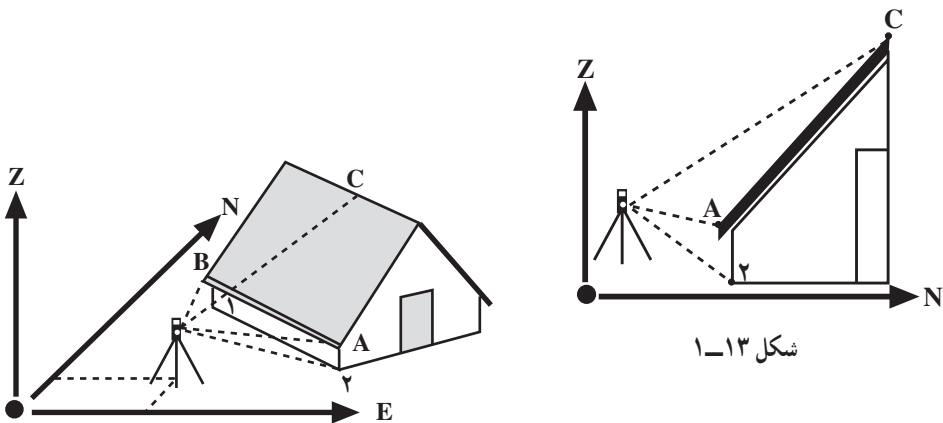
شکل ۱۱-۱





شکل ۱-۱۲

به منظور استفاده‌ی کامل از سیستم پیشرفته، لازم است وضعیت بدنه‌ی سوژه‌ی موردنظر برای رایانه مشخص گردد. با توجه به ثبت سریع اطلاعات عددی از جانب این وسیله مناسب‌ترین راه ارائه‌ی اطلاعات ورودی تهیه‌ی لیست مختصات سه بُعدی از رویه‌ی سوژه‌ی مورد نظر است که البته چنین امکانی را روش‌ها و تجهیزات نقشه‌برداری فراهم کرده است. نحوه‌ی عمل در نقشه‌برداری به این صورت است که با استقرار دستگاه‌هایی در نقاط مشخص، فاصله و زاویه‌ی نقاط مختلف روی بدنه‌ی جسم اندازه‌گیری می‌شود پس از انجام عملیات محاسبه، مختصات این نقاط مشخص می‌گردد. به این ترتیب نقاط در نظر گرفته شده تعیین موقعیت می‌گردند.



شکل ۱-۱۳

شکل ۱-۱۴

لازم به توضیح است که سوژه‌ی مورد نظر در روش فوق هر جسمی می‌تواند باشد. در تصاویر زیر (۱-۱۵ تا ۱-۱۹) نمونه‌های دیگری از اجسام دیده می‌شوند که با دستگاه‌های نقشه‌برداری مشغول تعیین موقعیت نقاط مختلف آن‌ها هستند.



شکل ۱-۱۶



شکل ۱-۱۵

جهت آشنایی بیش‌تر به ذکر مواردی از کاربردهای این روش پرداخته می‌شود.  
**الف -** طراح یک قطعه یا سوژه، پرسپکتیو و نماهای تقریبی آن را بر روی یک صفحه رسم می‌کند و سپس برای ترسیم دقیق آن را به نقشه‌کش‌ها می‌سپارد. اما تهیه‌ی نماها از قطعه‌ی ساخته شده به سادگی امکان‌پذیر نیست، چون اندازه‌گیری ابعاد گاه به سختی امکان‌پذیر است و هرچه جسم بزرگ‌تر و پیچیده‌تر باشد، این کار مشکل‌تر می‌شود.



شکل ۱-۱۸



شکل ۱-۱۷



شکل ۱۹-۱

در نقشه برداری، با نصب منشورهای (Prism) بسیار کوچک در بدنه‌ی جسم عمل اندازه‌گیری با دستگاه انجام می‌شود. نمونه‌ای از این منشورها را در این جا می‌بینید.



شکل ۲۰-۱

ب- به‌طور کلی در شاخه‌های مختلف مهندسی، طراحی و تولید (یا ساخت) دو بخش اساسی اند که هر کدام به‌نحوی با موضوع تعیین موقعیت در ارتباط هستند. در این خصوص به‌موارد زیر توجه نمایید:

- طراح در طرح یک جسم در واقع مجموعه‌ای از نقاط را تعیین موقعیت می‌کند.  
 - هنگام طراحی یک جسم، نمونه‌های قبلی آن (اگر وجود داشته یا دارد) مورد مطالعه و بررسی دقیق قرار می‌گیرد. البته این کار وقتی امکان‌پذیر است که نقاط مختلف نمونه‌ها قبلاً تعیین موقعیت شده باشند کارخانه‌های سازنده‌ی اتومبیل، هواپیما، موشک و کشتی و دست‌اندرکاران دیگر صنایع سنگین، طراحان سازه‌های دقیق و سنگین مانند سیلوها و سکوهای پرتاب موشک با چنین مسائلی درگیر هستند.



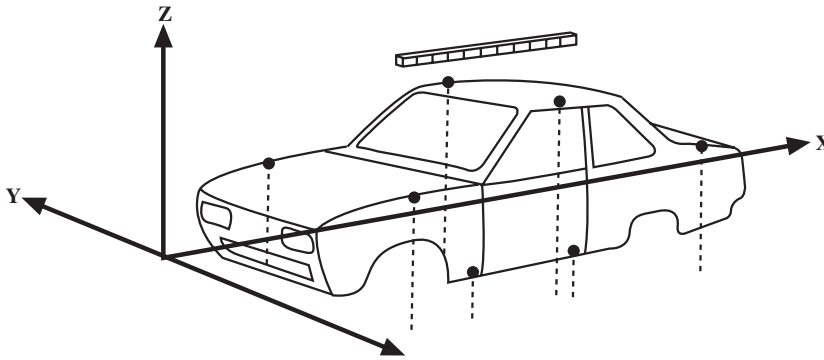
شکل ۲۲-۱



شکل ۲۱-۱

پ - چنانچه یک جسم پس از طراحی در ارتباط با جسم دیگر قرار گیرد، نحوه‌ی این ارتباط باید تعیین موقعیت گردد.

ت - گاهی طراح به‌طور کامل جسمی را طراحی نمی‌کند، بلکه تغییراتی را در آن پیش‌بینی می‌نماید. در این صورت طرح تغییرات باید متکی به تعیین موقعیت نقاط مختلف آن جسم باشد.

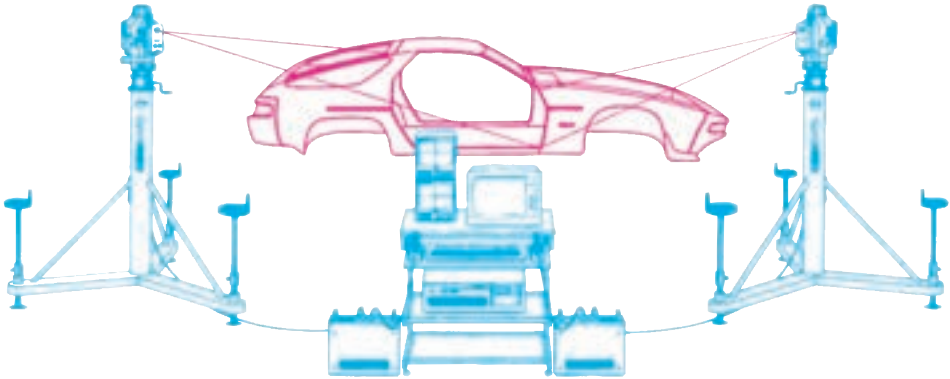


شکل ۲۳-۱

ث - عوامل تولیدکننده (یا سازنده) با توجه به طرح داده شده و به‌طور مرحله‌ای، نقاط تعیین موقعیت شده جسم را در وضعیت پیش‌بینی شده قرار می‌دهند.

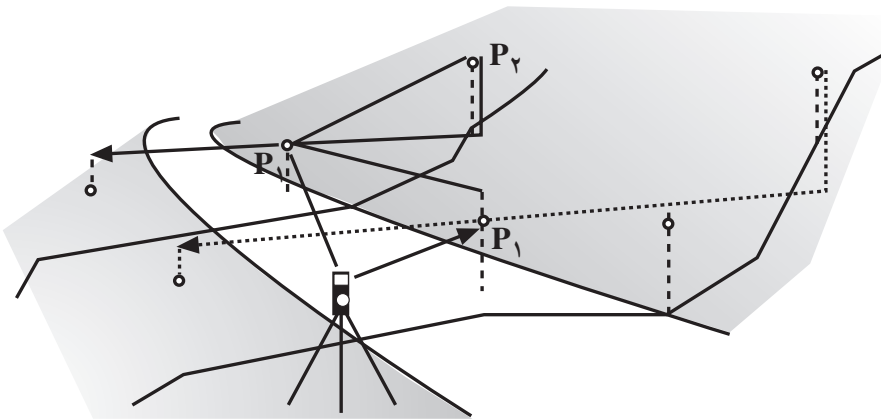
ج - نظارت بر امر تولید یک جسم در مراحل مختلف بر مبنای اطلاعات در خصوص تعیین موقعیت نقاط مختلف آن صورت می‌گیرد.

چ - کنترل کیفیت پس از تولید نیز مبتنی بر مقایسه‌ی ابعاد قطعات در طرح داده شده، قبل از ساخت و ابعاد همین قطعات پس از ساخت است.



شکل ۱-۲۴

ح- در شاخه‌ی مهندسی عمران سوژه‌ی مورد نظر قطعه‌ی نسبتاً بزرگی از زمین است که در آن باید طراحی و اجرای یک پروژه‌ی ساختمانی صورت گیرد؛ به همین جهت با نقاشی و حتی عکاسی نمی‌توان آن را به‌طور دقیق تعیین موقعیت نمود.



شکل ۱-۲۵

خ- از کاربردهای مهم دیگر تعیین موقعیت در معماری تهیه‌ی نقشه از آثار هنری و ابنیه تاریخی است که در حال حاضر به همراه اندازه‌گیری‌ها، از سوژه‌ی مورد نظر عکس نیز تهیه می‌شود. در این خصوص تصاویر بخشی از عمارت بیستون را که نقاط انتخاب شده جهت تعیین موقعیت بر روی آن مشخص است، در این جا می‌بینید (شکل‌های ۱-۲۶ و ۱-۲۷).



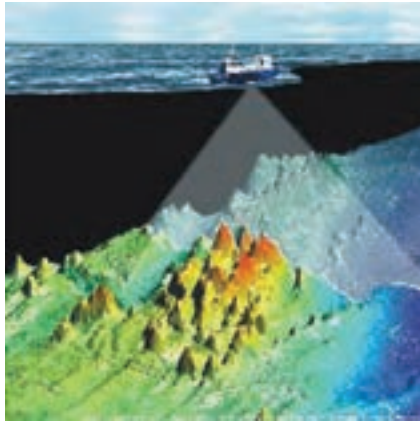
شکل ۱-۲۶



شکل ۱-۲۷

د- نقشه برداری آبی (Hydrographic): روش تعیین موقعیت نقاط در زیر آب‌ها و استخراج توپوگرافی بستر دریاها می‌باشد. در این نوع نقشه برداری ارتفاع (Z) از طریق عمق یاب‌های صوتی (Echosounder) تعیین می‌گردد. از نقشه برداری آبی یا آبنگاری معمولاً برای تهیه چارت‌های دریایی استفاده می‌شود که در امور ساحلی و کشتیرانی کاربرد ملی فراوانی دارد (شکل ۱-۲۸).





شکل ۲۸-۱- تعیین موقعیت نقاط کف دریا

ذ - نقشه برداری شهری (city surveying): تعیین موقعیت نقشه‌هایی که از مناطق شهری با عوارض مختلف از قبیل خیابان‌ها، پیاده‌روها، معابر، فضای سبز، ساختمان‌ها و پل‌ها و ... که کلیه‌ی عوارض به‌طور روشن و دقیق نشان داده می‌شود نقشه برداری شهری نام دارد.

از کاربردهای نقشه برداری شهری :

- تخصیص نقاط کنترل ترافیکی با توجه به عواملی نظیر نقاط اصلی ارتباطی (شهر) میزان رفت و آمد و ... .

- محاسبه‌ی کوتاه‌ترین راه با توجه به پارامترهای از قبیل یک طرفه بودن بعضی خیابان‌ها.

- ایجاد شبکه‌های مرتبط مناسب برای مدل‌های حمل و نقل (شکل ۲۹-۱).



شکل ۲۹-۱

## خودآزمایی

- ۱- تعیین موقعیت را با ذکر چند مثال توضیح دهید.
- ۲- مراحل تعیین موقعیت در نقشه برداری را توضیح دهید.
- ۳- انواع تعیین موقعیت را نام ببرید.
- ۴- چند کاربرد تعیین موقعیت را تشریح نمایید.
- ۵- برحسب وضعیت نقاط تعیین موقعیت به دو دسته تقسیم می‌شوند آن‌ها را نام ببرید و با یک مثال توضیح دهید.
- ۶- شکل ۱-۳۰ مسیر حرکت کاروان امام رضا علیه السلام را نشان می‌دهد. با بررسی شکل توضیح دهید که چگونه می‌توان از تعیین موقعیت نقاط برای ترسیم یک نقشه استفاده نمود.



شکل ۱-۳۰



### سطوح مبنا و سیستم‌های مختصات در نقشه‌برداری

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

۱- نحوه‌ی اندازه‌گیری شعاع زمین به وسیله‌ی اراتوستن را با رسم شکل توضیح

دهد.

۲- نحوه‌ی اندازه‌گیری شعاع کره‌ی زمین به وسیله‌ی «پوسیدوینوس» را شرح

دهد.

۳- سطح طبیعی زمین به عنوان یک سطح مبنا را توضیح دهد.

۴- سطح ژئوئید را به عنوان یک سطح مبنا توضیح دهد.

۵- سطوح تراز را تعریف کند.

۶- بیضوی به عنوان یک سطح مبنا را توضیح دهد.

۷- پارامترهای یک بیضوی را با رسم شکل توضیح دهد.

۸- بیضوی جهانی را توضیح دهد.

۹- سیستم مختصات را تعریف کند.

۱۰- انواع سیستم مختصات در هندسه را توضیح دهد.

۱۱- سیستم مختصات متعامد و قطبی را با رسم شکل توضیح دهد.

۱۲- سه دسته کلی تعیین موقعیت را نام ببرد و توضیح دهد.

۱۳- ارتفاع ارتومتریک و ژئودتیک را با رسم شکل توضیح دهد.

۱۴- انتقال بین سیستم‌های مختصات را توضیح دهد.

۱۵- انتقال سیستم مختصات متعامد دو بعدی را با رسم شکل توضیح دهد.

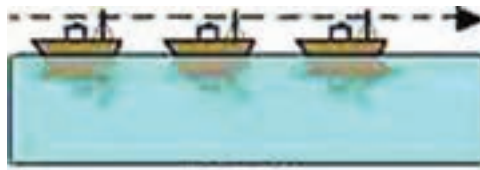
۱۶- طول و عرض ژئودتیک را با رسم شکل توضیح دهد.

۱۷- تعیین موقعیت مسطحاتی و ارتفاعی را توضیح دهد.

۱۸- رابطه انتقال بین دو سیستم مختصات متعامد را شرح دهد.

## مقدمه

بشر ابتدا زمین را یک سطح کاملاً مسطح می‌پنداشت؛ این گونه که با طول و عرض بسیار زیادی از دو طرف کشیده شده است و انسان هر چه قدر بر روی آن راه برود به مکان مشخصی باز نخواهد گشت (شکل ۱-۲). اما این تصورات ابتدایی کم‌کم با توجه به تعلیمات ادیان آسمانی از جمله اشارات صریح قرآن به دو مغرب و دو مشرق که دلیل بر رد نظریه‌ی مسطح بودن زمین داشت، هم‌چنین براساس نظرات گالیله و دانشمندان دیگر انسان بی‌به نامسطح بودن زمین برد (شکل ۲-۲).



زمین مسطح

شکل ۱-۲



زمین کروی

شکل ۲-۲

درباره‌ی تاریخچه‌ی بی‌بردن انسان به شکل واقعی زمین می‌توان گفت که برای اولین بار حدود ۶۰۰ سال قبل از میلاد «پارمینوس»، شاگرد فیثاغورث<sup>۱</sup>، نظریه‌ی مسطح بودن زمین را رد کرد و اعلام نمود که زمین شکل کروی دارد. حدود ۳۰۰ سال قبل از میلاد «ارسطرخس» دریافت که زمین گرد محور خود می‌چرخد و در مدت یک سال یک مرتبه دور خورشید گردش می‌کند.

«اراتستن»<sup>۲</sup> در سال ۲۳۰ قبل از میلاد ابعاد زمین را بر پایه‌ی محاسبات هندسی اندازه‌گیری کرد. او مشاهده نمود که در ظهر نخستین روز آغاز تابستان (که خورشید بر فراز مدار رأس السرطان واقع می‌شود)<sup>۳</sup> نور خورشید مستقیماً به ته چاهی می‌تابد که به‌طور عمود در شهر «سینه» (اسوان<sup>۴</sup> کنونی) حفر گردیده بود. بدین ترتیب، معلوم شد که این شهر در معرض تابش قائم نور خورشید واقع

۱- Pythagore

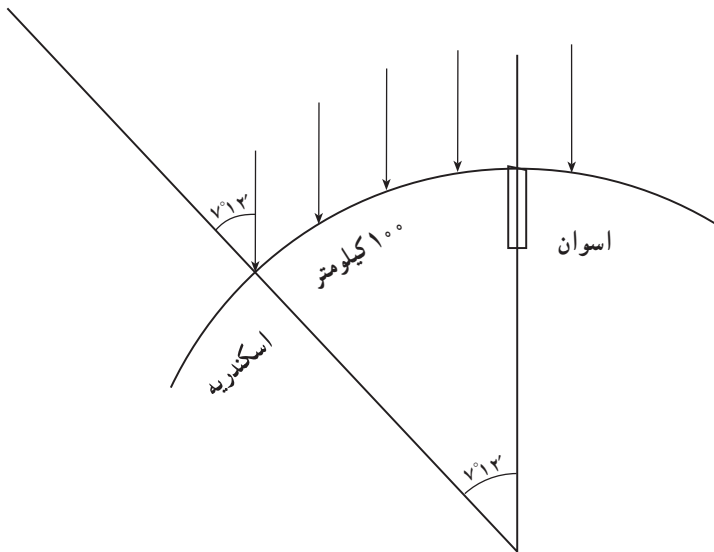
۲- Eratosthene

۴- Assuan

۳- مدار ۲۳/۵ درجه را مدار رأس السرطان نامند.

شده است؛ در حالی که امتداد تابش نور خورشید در ظهر همان روز در شهر «اسکندریه» اندکی متمایل بوده و دارای زاویه‌ی حدود  $\frac{1}{5}^{\circ}$  دایره، یعنی  $۷/۲$  درجه است.

بر این اساس، فاصله‌ی «اسکندریه» تا «اسوان»  $۱/۵^{\circ}$  محیط کره‌ی زمین خواهد بود؛ یعنی، محیط کره، عددی برابر  $۴۰۰۰۰$  کیلومتر است. با توجه به دانش امروز، محاسبات کنونی نیز به عدد  $۴۰۰۰۸$  کیلومتر در امتداد نصف النهار محاسبه گردیده که این امر نشانگر اهمیت و ارزش محاسبات در روزگاران پیشین است (شکل ۲-۳).



شکل ۲-۳

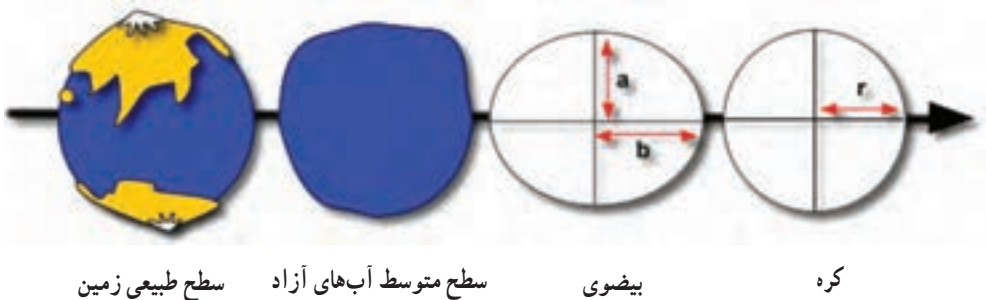
دومین اندازه‌گیری شعاع کره‌ی زمین را یونانی دیگری به نام «پوسیدونیوس»<sup>۱</sup> در سال  $۶۰^{\circ}$  قبل از میلاد انجام داد. «پوسیدونیوس» مشاهده کرد پاره‌ای از ستارگانی که در افق شهر اسکندریه دیده می‌شوند در افق «رودس»<sup>۲</sup> از نظر ناپدید می‌گردند. این موضوع وی را بر آن داشت که زاویه‌ی ارتفاعی همان ستارگان را در رودس مقایسه کند. او پس از این عمل مشاهده کرد که اختلاف حاصل از این آزمایش، زاویه‌ای است که اندازه‌ی آن معادل  $۱/۴۸$  پیرامون دایره است. با در نظر گرفتن فاصله‌ی اسکندریه و رودس به اندازه‌ی  $۸۰^{\circ}$  کیلومتر، محیط کره‌ی زمین  $۳۸۴۰۰$  کیلومتر محاسبه گردید.

۱- Posidonios

۲- Rhodus

سرانجام، در قرن ۱۸ «اسحق نیوتن» براساس نظریه‌ی خود در مورد یک توده‌ی سیال درحال دوران اعلام نمود که نواحی استوایی کره‌ی زمین اندکی برآمده و دو قطب اندکی فرورفتگی دارند. براساس نظریه‌ی نیوتن که بیان نمود، زمین از یک توده‌ی سیال یک‌نواخت تشکیل شده است، این توده سیال در اثر چرخش حول یک محور باید به شکل یک بیضوی دوار کامل درآید؛ در حالی که شکل واقعی زمین به علت وجود قاره‌ها و اقیانوس‌ها و ... به طور کامل به شکل بیضوی دوار هندسی نیست. عملیات ژئوفیزیک در سال‌های اخیر و پرتاب ماهواره‌های فضایی علاوه بر تأیید نکات یادشده روشن ساخت که برآمدگی نواحی استوایی دقیقاً مشابه نبوده و زمین تقریباً گلابی شکل است. بدین ترتیب، قسمت‌های شمالی استوای زمین کمی فرو رفته و برعکس قسمت‌های جنوبی آن به همان میزان تقریباً برآمدگی دارند.

اما این شکل‌ها آن چنان به کره نزدیک هستند که اغلب می‌توان زمین را کره فرض نمود. در اثبات این ادعا می‌توان گفت که اگر زمین را با همان شکل واقعی آن کوچک نماییم تا قطر آن حدود ۱/۵ متر گردد چشم ما هیچ‌گاه قادر به تشخیص اختلاف قطر استوایی و قطر قطبی نخواهد بود. شکل زیر وضعیت واقعی زمین را نسبت به یک کره و یک بیضوی و نسبت به سطح متوسط آب‌های آزاد نشان می‌دهد.



شکل ۴-۲

با توجه به مطالب ذکر شده در برداشت‌های معمولی نقشه‌برداری که در وسعت‌های خیلی کوچک انجام می‌گیرد زمین را مسطح فرض می‌کنیم، اما در وسعت‌های زیاد دیگر این فرض صحیح نیست و حتی نمی‌توان آن را کاملاً کروی هم فرض نمود. بهترین شکل، شکلی است که از سطح متوسط آب‌های اقیانوس‌ها به دست می‌آید و از زیر خشکی‌ها ادامه پیدا می‌کند (ژئوئید). ولی این سطح به واسطه‌ی اثر برآمدگی و فرورفتگی سطح زمین و توزیع ناهمگن جرم یک سطح هندسی نیست

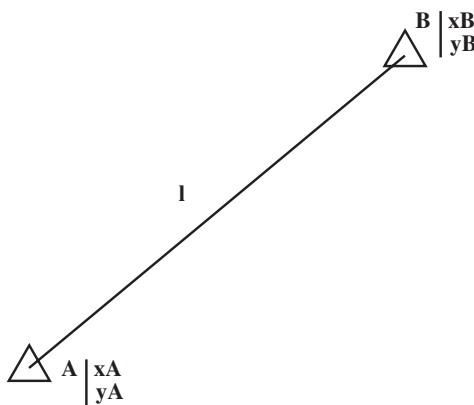
نمی‌توان شکل عوارض و نقاط را به سادگی بر یک صفحه تصویر نمود. در صورتی که برای تهیه‌ی نقشه چنین عملی ضروری است.

بهترین شکل ریاضی با توجه به وضعیت‌های بررسی شده‌ی بیضوی، دورانی است که حول قطر کوتاهش دوران می‌کند. در این جا به تفصیل آن را شرح خواهیم داد.

## ۱-۲- سطح مبنا (Reference Surface)

اغلب در کارهای روزمره با سطح فیزیکی زمین (terrain) سروکار داریم. در نقشه‌برداری نیز همه‌ی اندازه‌گیری‌ها و مشاهدات بر روی همین سطح است. نقاطی که در نقشه‌برداری در نظر می‌گیرید، مانند نقاط محدودده‌ی زمین، نقاط امتداد یک مسیر راه، راه‌آهن یا تونل، نقاط مبنایی برای کارهای نقشه‌برداری، جملگی بر روی سطحی به نام «سطح فیزیکی زمین» واقع هستند، اما همان‌گونه که گفته شد در نقشه‌برداری بر اساس پاره‌ای مشاهدات و سپس محاسبات، باید به هدفمان یعنی تعیین موقعیت برسیم. برای محاسبات به فرمول‌های خاصی نیاز داریم؛ به دیگر سخن، نیاز به مدل‌های ریاضی داریم. تعریف مدل ریاضی هم بدون بحث درباره‌ی یک سطح مبنایی معنی است؛ برای مثال، مختصات دو نقطه‌ی A و B را در اختیار داریم:  $A(x_A, y_A)$  و  $B(x_B, y_B)$ . می‌خواهیم فاصله‌ی بین دو نقطه‌ی A، B را محاسبه کنیم:

$$l = \sqrt{(x_B - x_A)^2 + (y_B - y_A)^2} \quad \text{رابطه‌ی (۲-۱)}$$



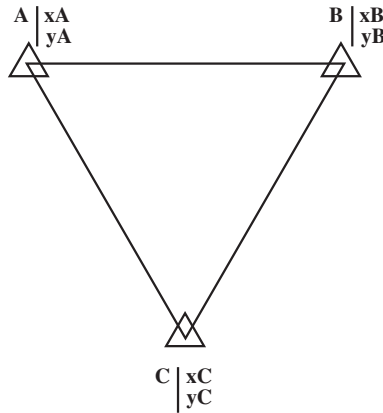
شکل ۲-۵

این یک مدل ریاضی است و فقط بر روی صفحه صادق است.

مثالی دیگر: مختصات سه نقطه از رأس یک مثلثی معلوم است :  
 داریم :

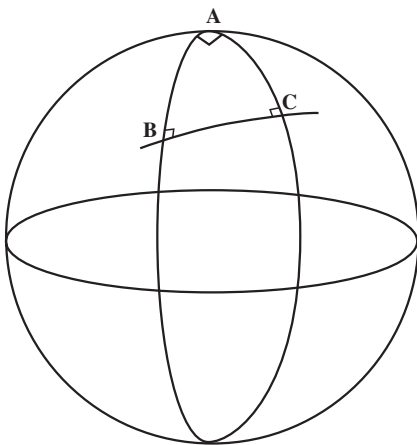
$$\hat{A} + \hat{B} + \hat{C} = 180^\circ$$

رابطه‌ی (۲-۲)



شکل ۲-۶

این هم یک مدل ریاضی است که برای نقاط روی یک صفحه صادق است. آیا می‌دانید مثلثی وجود دارد که مجموع زوایای آن بیش‌تر از  $180^\circ$  و حتی ممکن است  $270^\circ$  و بیش‌تر هم باشد. به شکل ۲-۷ توجه کنید. مثلث ABC مثلثی است که مجموع زوایای آن



شکل ۲-۷

$270^\circ$  است؛ از این‌رو بحث محاسبات ایجاب می‌کند که از یک یا چند مدل ریاضی استفاده کنیم. مدل ریاضی نیز به تعریف یک سطح مبنای ریاضی (datum) نیاز دارد؛ برای مثال، صفحه‌ی افقی گذرنده از یک نقطه، یک (datum) است. کره یا بیضوی یا سطوح فرموله شده‌ی هر یک می‌تواند نشان‌دهنده‌ی یک (datum) باشد. هر یک از این سطوح مبنا می‌توانند از مدل‌های ریاضی خاص برخوردار باشند. همان‌گونه که مشاهده کردید مجموع زوایای داخلی یک مثلث برابر  $180^\circ$  (رابطه‌ی ۲-۲)، فقط بر روی صفحه صادق

است و می‌توان از آن استفاده نمود؛ در حالی که بر روی کره یا سطوح مبنای ریاضی دیگر، این معادله صادق نیست.

حال، سه نوع سطح را که در ژئودزی استفاده می‌شود بررسی می‌کنیم:

### ۱-۲- سطح طبیعی زمین (Natural Ground Surface): این سطح یک سطح

ریاضی مشخص نیست؛ از این رو، نمی‌توان آن را یک سطح مبنا برای محاسبات و استفاده از مدل‌های ریاضی به‌شمار آورد؛ هرچند که مشاهدات و اندازه‌گیری‌های اولیه‌ی ما همگی بر روی این سطح صورت گیرد. البته سطح فیزیکی زمین یا قسمت‌های خاصی از آن را می‌توان با بیان ریاضی و هندسی مشخص نمود، اما این بیان ریاضی بسیار پیچیده بوده محاسبات و روابط ریاضی روی آن نیز خیلی مشکل خواهد بود.

بنابراین، در مورد سطح زمین هم این امکان وجود دارد، اما به تعداد نقاط خیلی زیاد و بیان هندسی خیلی پیچیده‌ای نیاز است. امروزه و با وجود دستگاه‌های پیشرفته و تعیین موقعیت نقاط مختلف سطح زمین به‌طور مترامک، سریع، راحت و دقیق این امکان وجود دارد که یک مدل رقومی برای زمین پیدا نمود. آن مدل را در اصطلاح نقشه‌برداری (digital terrain model) یا مدل رقومی زمین گویند که روزبه‌روز می‌توان آن مدل را با اطلاعات جدید بهبود بخشید.

### ۲-۱-۲ ژئوئید (Geoid): با توجه به این که حدود ۷۵٪ سطح کل کره‌ی زمین آب است،

اگر سطحی تقریباً منطبق بر این سطح متوسط آب‌های آزاد باشد در این صورت، به‌طور تقریبی می‌توان با این سطح ۷۵٪ شکل زمین را تقریب زد.

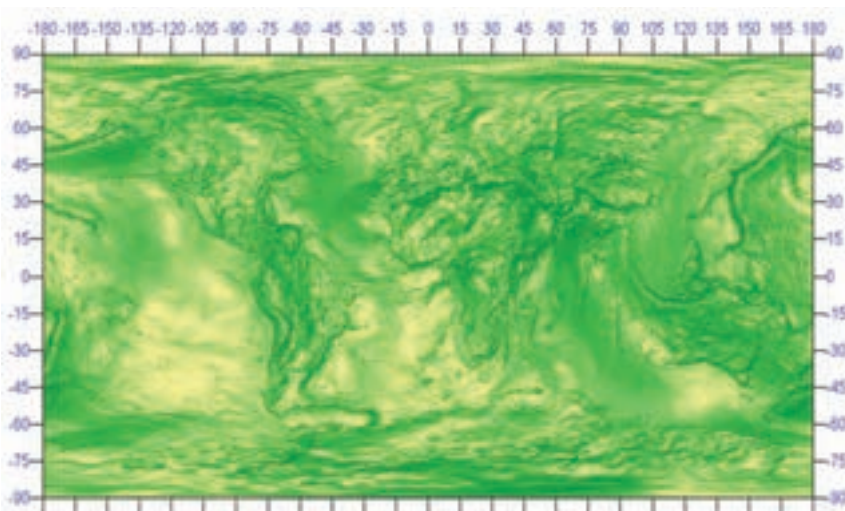
همان‌گونه که می‌دانیم برای مشاهدات نقشه‌برداری با تودولیت و دستگاه‌های دیگر نقشه‌برداری باید این دستگاه‌ها تراز گردند؛ یعنی، محور قائم دستگاه پس از تراز کردن دستگاه، منطبق بر امتداد نیروی ثقل در آن نقطه می‌شود. با توجه به این مطلب، اندازه‌گیری در هر نقطه، در سطحی صورت می‌گیرد که امتداد ثقل را به‌طور عمود قطع کند.

تعریف ژئوئید: ژئوئید یکی از سطوح هم‌پتانسیلی<sup>۱</sup> است که به بهترین وجهی بر سطح متوسط آب‌های آزاد منطبق است. البته باید به دو مطلب «سطح متوسط» و «آب‌های آزاد» توجه شود. سطح متوسط آب‌های آزاد - با توجه به این که سطح آب تحت تأثیر مسائل مختلفی، به ویژه جزر و مد است - باید هماهنگ با دوره‌های جزر و مد باشد (حدود ۱۹ سال)؛ همچنین باید سطح آب‌های آزاد را در نظر گرفت؛ برای مثال، سطح دریاچه‌ی ارومیه در شمار سطح آب‌های آزاد نمی‌باشد و قسمتی از سطح

۱- سطح هم‌پتانسیل سطحی است که در تمامی نقاط واقع بر آن به امتداد ثقل عمود باشد.

ژئوئید نیست، حتی ممکن است بالاتر از سطح ژئوئید یا پایین تر از آن باشد. ژئوئید به صورت یک سطح هم پتانسیل، تمامی خواص سطوح هم پتانسیل را داراست؛ هم چنین سطح بسته و پیوسته‌ای است که در زیر قاره‌ها نیز از اعماقی متناسب با ارتفاع از سطح دریاهای آزاد عبور می‌کند.

نکته‌ی حائز اهمیت این است که ژئوئید یک سطح ریاضی نیست؛ یعنی نمی‌توان با یک فرمول صریح معادله‌ی آن را نوشت، بلکه ژئوئید یک سطح فیزیکی است که براساس مشاهدات، آن را تا تقریب چند ۱۰ متر توسط یک بیضوی دورانی می‌توان تقریب زد. البته برای ژئوئید مدل‌های تقریبی فراهم آمده که دارای دقت مناسبی نیست؛ مانند مدل جهانی و مدل سازمان نقشه برداری کشور، اما می‌توان با کسب اطلاعات بیش‌تر مدل‌های بهتر و با دقت بالاتری در مناطق مختلف به دست آورد. شکل زیر وضعیت ژئوئید را به صورت سایه و روشن نمایش می‌دهد.

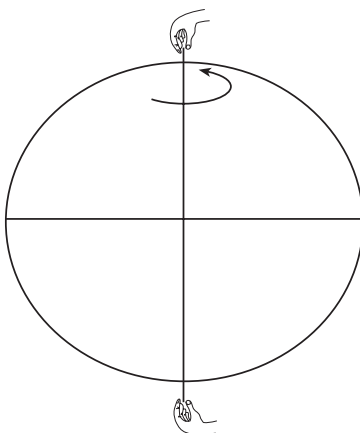


شکل ۸-۲- نور از آزیموت  $315^\circ$  و ارتفاع  $8^\circ$  تابیده شده است.

۳-۱-۲- بیضوی (Ellipsoid): همان گونه که در بخش قبل بیان شد ژئوئید همانند سطح طبیعی زمین که شکل زمین را تقریباً نشان می‌دهد یک شکل ریاضی نیست؛ یعنی یک فرمول صریح ریاضی ندارد؛ از این رو، به شکل ریاضی نیاز داریم که شکل زمین را نسبتاً به خوبی نشان دهد. بنابراین، به دنبال شکل ریاضی هستیم که به بهترین وجهی شکل زمین، مرکز آن و دوران آن و میدان ثقل آن را توصیف کند. تا براساس آن یک سیستم مختصاتی تعریف شود و نقاط روی سطح زمین در آن سیستم مختصات تعیین موقعیت گردند.



از مشاهدات به دست آمده به وسیله‌ی ماهواره‌ها، بهترین شکل ریاضی در ابتدا یک کره به مرکز جرم زمین و به شعاع متوسط کره‌ی زمین بوده است، اما با توجه به برآمدگی کره‌ی زمین در استوا و فشردگی آن در دو قطب، در ژئودزی شکل ریاضی دیگری بعد از سال ۱۷۰۰ میلادی پیشنهاد شد که بهتر از کره‌ی زمین را تقریب یزند که آن همانا بیضوی دورانی بود، از دوران یک بیضی حول قطر کوتاه‌اش ایجاد می‌گردد.



شکل ۹-۲

## آیا می‌دانید؟

در کتاب قانون مسعودی نوشته ابوریحان بیرونی نوشته است: «در سرزمین هند، کوهی را مشرف بر صحرای همواری یافتیم که همواری آن همسان همواری سطح دریا بود. بر قله‌ی آن محل برخورد ظاهری آسمان با زمین، یعنی دایره‌ی افق را اندازه گرفتیم که از خط مشرق و مغرب به اندازه‌ی اندکی کم‌تر از ثلث و ربع درجه، انحطاط داشت و من آن را ۳۴ دقیقه محسوب داشتیم. سپس ارتفاع کوه را از طریق رصد کردن قله‌ی آن از دو نقطه الحجر این قله، که بر یک امتداد بودند، اندازه گرفتیم که مساوی ششصد و پنجاه و دو ذراع در آمد... و چون حساب کردم، تقریباً ۵/۱ میل درآمد و از این جا به درستی اندازه‌گیری منجمان مأمون اطمینان یافتیم.» او در پایان کتاب اسطرلاب، روش ریاضی به دست آوردن شعاع، محیط، مساحت و حجم کره‌ی زمین را شرح داده است.

این شکل تا به امروز در نقشه برداری و ژئودزی به کار گرفته شده و سیستم مختصاتی هم براساس این شکل تعریف گردیده، هم چنین تعیین موقعیت نیز با توجه به آن صورت می گیرد. (شرح این مطلب در فصل های بعد خواهد آمد.)

ابعاد و مشخصات این بیضوی دورانی اهمیت زیادی در ژئودزی دارد. هرگاه ابعاد به گونه ای مناسب انتخاب نگردد خطای زیادی در تعیین موقعیت نقاط پدید خواهد آمد. به طور کلی هر بیضوی دورانی از نظر ابعاد، با دو پارامتر مشخص می گردد:

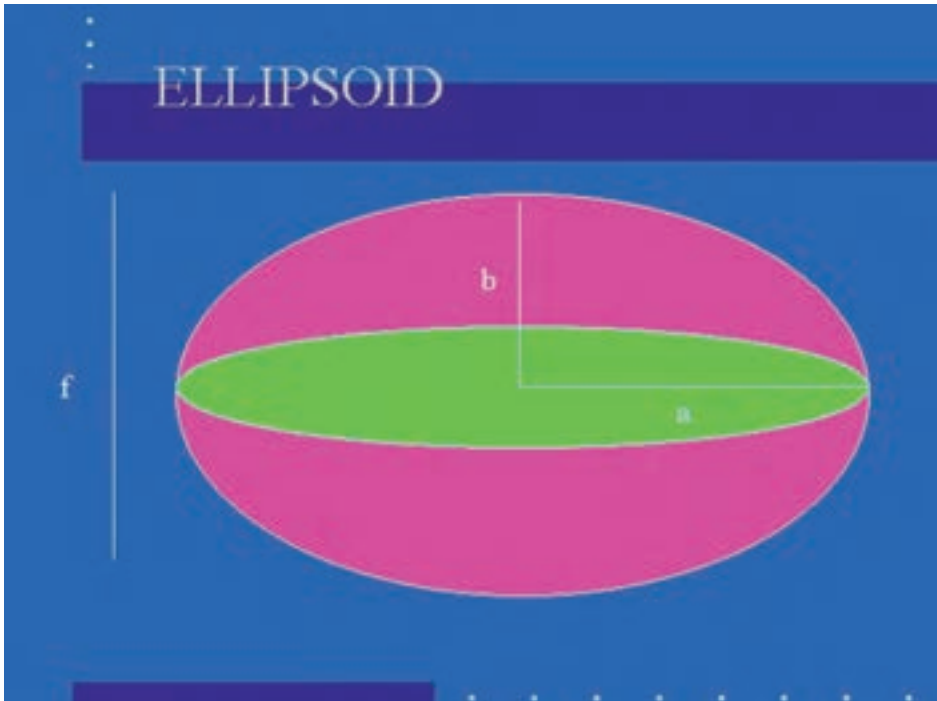
۱- نصف قطر بلند بیضوی (شعاع استوایی)  $a$

۲- فشردگی بیضوی (flattening)  $f$  (رابطه ی بین شعاع استوایی و قطبی بیضوی)

$$f = (a - b) / a$$

پرشش: فشردگی شکل  $1-2$  را به طور تقریبی به دست آورده و با فشردگی زمین (حدود  $\frac{1}{300}$ )

مقایسه نمایید.



البته لازم به ذکر است که این شکل برای درک بهتر بیضی بودن زمین شکل آن غیر واقعی کشیده شده است.

شکل ۱-۲

دیگر پارامترها، مانند نصف قطر کوتاه بیضوی «b» خارج از مرکزیت بیضوی  $e^2$  از پارامترهای قبلی قابل محاسبه است.

خارج از مرکزیت بیضوی که با  $e$  نشان می‌دهند توان دوم آن برابر است با:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2}$$

در شکل ۱۱-۲، بیضوی‌های دورانی مختلف را می‌بینید که دارای مشخصات مختلفی هستند. در ایران، پیش از این، از بیضوی جهانی «هایفورد» استفاده می‌شد، اما امروزه با وجود GPS و استفاده از آن، بیضوی جهانی WGS84 را به کار می‌بریم. شکل ۱۲-۲ بیضوی WGS84 با پارامترهای آن را نمایش می‌دهد.

## Selected Reference Ellipsoids

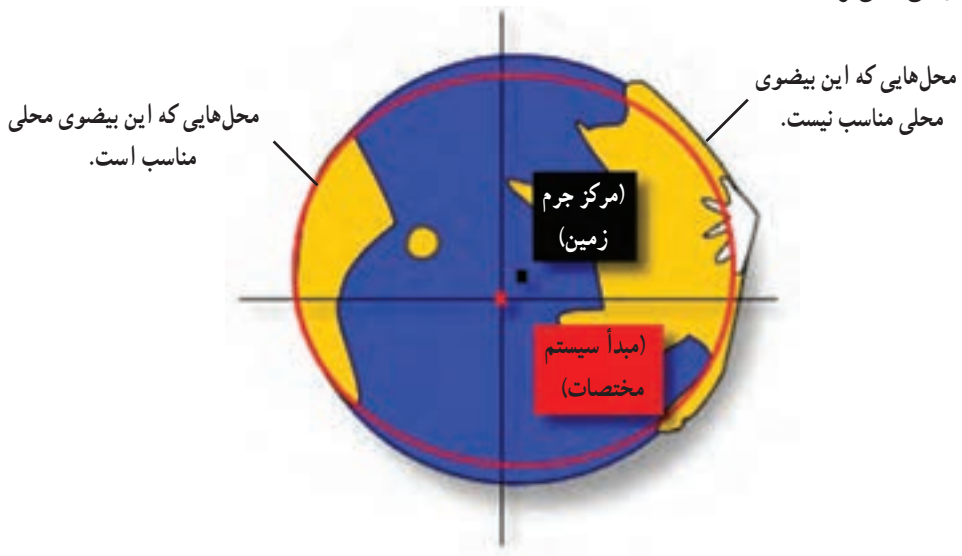
Ellipse (بیضوی)	Semi- Major Axis (m) ( قطر بلند زمین )	1/Flattening (فشردگی)
Airy 1830	6377563.396	299.3249646
Bessel 1841	6377397.155	299.1528128
Clarke 1866	6378206.4	294.9786982
Clarke 1880	6378249.145	293.465
Everest 1830	6377276.345	300.8017
Fischer 1960 (Mercury)	6378166.0	298.3
Fischer 1968	6378150.0	298.3
G R S 1967	6378160.0	298.247167427
G R S 1975	6378140.0	298.257
G R S 1980	6378137.0	298.257222101
Hough 1956	6378270.0	297.0
International (هایفورد)	6378388.0	297.0
Krassovsky 1940	6378245.0	298.3
South American 1969	6378160.0	298.25
WGS 60	6378165.0	298.3
WGS 66	6378145.0	298.25
WGS 72	6378135.0	298.26
WGS 84	6378137.0	298.257223563

شکل ۱۱-۲



شکل ۱۲-۲

برخی از این بیضوی‌ها به گونه‌ای محلی هستند (شکل ۱۳-۲) که برای محل‌ها و کشورهای خاصی تعریف شده‌اند و انطباق خوبی در آن محل دارند و محل‌های دیگر جدایی بیضوی از سطح زمین بیش‌تر شده است.



شکل ۱۳-۲

برخی از بیضوی‌ها هم جهانی هستند؛ یعنی پارامترهای آن طوری انتخاب شده‌اند که به‌طور متوسط بر کل جهان منطبق هستند (شکل ۲-۱۴).



مبدأ سیستم منطبق بر مرکز جرم زمین است.

شکل ۲-۱۴

برای تعیین موقعیت‌های جهانی در یک سیستم مختصات مشخص به چنین بیضوی‌هایی نیاز داریم؛ برای مثال، در تعیین موقعیت (GPS (Global Positioning System از بیضوی جهانی «WGS84» استفاده می‌کنیم که شرح آن در فصل هشتم خواهد آمد.

بیضوی‌های سه‌محوری<sup>۱</sup> بهتر از بیضوی‌های دو‌محوری یا دورانی<sup>۲</sup>، بر شکل زمین منطبق هستند، اما بیضوی‌های سه‌محوری بسیار پیچیده بوده محاسبات روی آن بسیار مشکل است؛ از این‌رو، در ژئودزی از بیضوی‌های دو‌محوری استفاده می‌شود.

## ۲-۲- سیستم‌های مختصات (Coordinate System)

همان‌طور که در مقدمه کتاب ذکر شد تعریف تعیین موقعیت عبارت بود از «مکان یابی نقاط موردنظر در یک سیستم مختصات از قبل تعریف شده». در این بخش ابتدا مروری کلی بر سیستم‌های

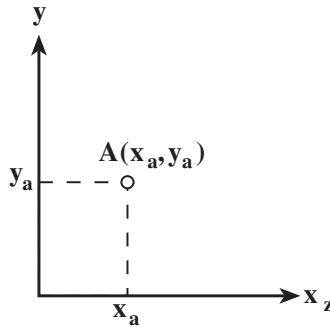
۱- Triaxial ellipsoid

۲- Biaxial ellipsoid

مختصات (Coordinate system) در هندسه خواهیم کرد. سپس با سیستم‌های مختصات در نقشه برداری که تعریف آن‌ها بر اساس سطوح مبنا تشریح شده در بخش قبل است آشنایی بیش‌تری پیدا خواهیم نمود.

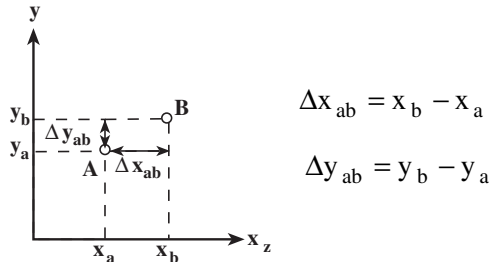
۱-۲-۲- سیستم‌های مختصات در هندسه: در هندسه نقشه برداری معمولاً دو نوع سیستم مختصات مورد استفاده قرار می‌گیرد: سیستم مختصات کارتزین (Cartesian) یا متعامد و سیستم مختصات قطبی (polar). بسته به این که تعیین موقعیت در فضای دو بعدی یا سه بعدی باشد می‌توان هر دو سیستم مختصات کارتزین و قطبی را به صورت دو بعدی یا سه بعدی تعریف نمود.

۱- سیستم مختصات متعامد: برای تعیین موقعیت دو بعدی نقطه‌ی A واقع شده روی یک صفحه مسطح می‌توان موقعیت آن را نسبت به یک سیستم مختصات متعامد دو بعدی مطابق شکل ۱۵-۲ تعیین نمود. در این شکل دو محور عمود بر هم  $x$  و  $y$  که در نقطه‌ی مبدأ همدیگر را قطع می‌کنند مشاهده می‌شود که در آن، موقعیت نقطه با دو مختصه  $(x, y)$  نشان داده می‌شود.



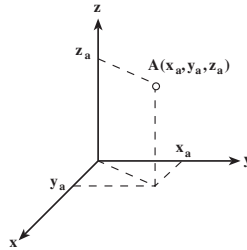
شکل ۱۵-۲

برای تعیین موقعیت نسبی دو نقطه‌ی A و B (یعنی موقعیت نقطه‌ی B نسبت به نقطه‌ی A) باید مطابق شکل ۱۶-۲ اختلاف مختصات دو نقطه را محاسبه نمود.



شکل ۱۶-۲

مطالب فوق را نیز می‌توان برای حالت سه بعدی تعمیم داد. به بیان دیگر برای تعیین موقعیت سه بعدی نقطه‌ی A مستقر در یک فضای سه بعدی، بایستی مختصات آن را در یک سیستم مختصات متعامد سه بعدی به دست آورد که از سه محور عمود بر هم و متقاطع در نقطه‌ی مبدأ تشکیل شده است. در این حالت مطابق شکل ۲-۱۷ مختصات سه بعدی نقطه به صورت  $(x, y, z)$  نشان داده می‌شود.



شکل ۲-۱۷

همچنین مشابه حالت دو بعدی، موقعیت نسبی سه بعدی دو نقطه‌ی A و B برابر اختلاف مختصات سه بعدی دو نقطه خواهد بود.

$$\Delta x_{ab} = x_b - x_a$$

$$\Delta y_{ab} = y_b - y_a$$

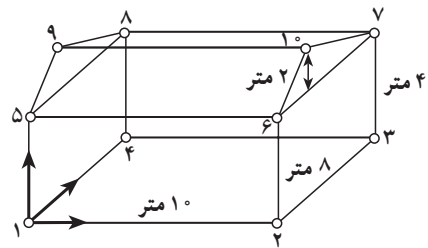
$$\Delta z_{ab} = z_b - z_a$$

تمرین: در شکل ۲-۱۸ مختصات سه بعدی نقاط ۱ تا ۱۰ را نسبت به سیستم مختصات متعامد سه بعدی نشان داده شده تعیین نمایید.

مختصات نسبی نقطه‌ی ۷ نسبت به نقطه‌ی ۴ چقدر است؟ مختصات نسبی نقطه‌ی ۵ نسبت به

نقطه‌ی ۱۰ چقدر است؟

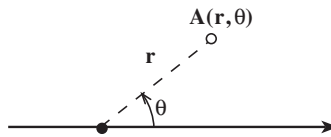
شماره نقطه	x	y	z
۱			
۲			
۳			
۴			
۵			
۶			
۷			
۸			
۹			
۱۰			



شکل ۲-۱۸

۲- سیستم مختصات قطبی: در هندسه برای تعیین موقعیت علاوه بر سیستم مختصات متعامد از سیستم مختصات قطبی نیز استفاده می کنند. سیستم مختصات قطبی سازگاری زیادی با روش انجام مشاهدات در نقشه برداری دارد. به طور کلی تعیین موقعیت در سیستم مختصات قطبی بر مبنای تعیین فاصله و زوایا نسبت به یک نقطه، خط و سطح مرجع انجام می گیرد. برای روشن شدن موضوع ابتدا سیستم مختصات قطبی دو بعدی و سپس سیستم مختصات قطبی سه بعدی که به سیستم مختصات کروی (Spherical coordinate system) نیز معروف است تشریح می شود.

سیستم مختصات قطبی دو بعدی از یک محور و یک مبدأ روی آن تشکیل شده است. مطابق شکل ۱۹-۲ موقعیت دو بعدی نقطه ی A واقع در یک صفحه مسطح نسبت به سیستم مختصات قطبی دو بعدی به صورت دو تایی  $(r, \theta)$  نشان داده می شود. در این حالت  $r$  برابر فاصله ی نقطه ی A از مبدأ و  $\theta$  برابر زاویه ی شعاع نقطه با محور مرجع می باشد.



شکل ۱۹-۲

در صورتی که محور x و مبدأ روی آن همان محور و مبدأ سیستم مختصات قطبی دو بعدی باشد، آنگاه رابطه بین مختصات متعامد دو بعدی  $(x, y)$  و مختصات قطبی دو بعدی  $(r, \theta)$  یک نقطه به صورت زیر می باشد:

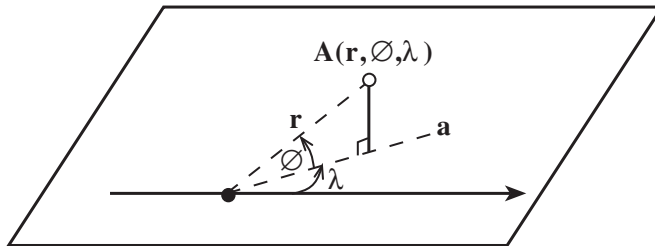
$$\begin{cases} x = r \cdot \cos \theta \\ y = r \cdot \sin \theta \end{cases} \quad \begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2} \\ \theta = \text{Arc tan } y / x \end{cases}$$

تمرین: مختصات متعامد دو بعدی نقطه ی A را در صورتی که مختصات قطبی آن برابر  $(r, \theta) = (1 \text{ m}, 30^\circ)$  باشد را محاسبه نمایید.

در حالت تعیین موقعیت سه بعدی نسبت به سیستم مختصات کروی (سیستم مختصات قطبی سه بعدی) از یک صفحه مرجع، یک محور روی آن و یک نقطه مبدأ روی محور تشکیل شده است. مطابق شکل ۲۰-۲ مختصات کروی نقطه ی A واقع شده در فضای سه بعدی برابر  $(r, \phi, \lambda)$  می باشد



که در آن فاصله‌ی نقطه تا مبدأ،  $\phi$  زاویه‌ی شعاع نقطه با خط  $a$  و  $\lambda$  زاویه‌ی خط  $a$  با محور مرجع می‌باشد. در این تعریف خط  $a$  همان تصویر قائم شعاع نقطه با صفحه‌ی مرجع است.



شکل ۲۰-۲

نکته: اگر نقطه‌ی  $A$  در روی صفحه‌ی مرجع قرار بگیرد زاویه‌ی  $\phi$  برابر صفر شده و  $(r, \lambda)$  همان مختصات قطبی دو بعدی نقطه در صفحه‌ی مرجع خواهند بود. در صورتی که فرض شود صفحه‌ی  $xy$  صفحه‌ی مرجع، محور  $x$  محور مرجع و مبدأ هر دو سیستم مختصات یکسان باشد، آن‌گاه رابطه‌ی بین مختصات کروی  $(r, \phi, \lambda)$  و مختصات متعامد سه بعدی  $(x, y, z)$  به صورت زیر است:

$$\begin{cases} x = r \cdot \cos \phi \cdot \cos \lambda \\ y = r \cdot \cos \phi \cdot \sin \lambda \\ z = r \cdot \sin \phi \end{cases} \begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \phi = \text{Arctan } z / \sqrt{x^2 + y^2} \\ \lambda = \text{Arctan } y / x \end{cases}$$

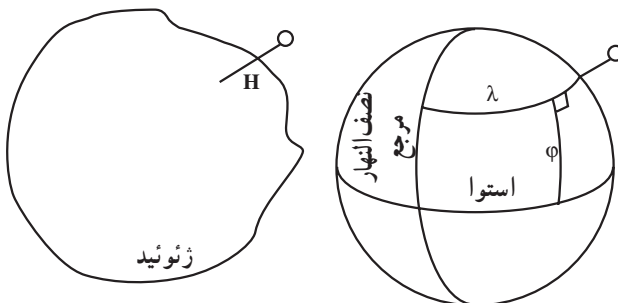
تمرین: مختصات کروی نقطه‌ی  $A$  به صورت  $(r, \phi, \lambda) = (1 \text{ m}, 30^\circ, 60^\circ)$  است. ابتدا مختصات متعامد سه بعدی نقطه‌ی  $A$  را محاسبه کنید. سپس نقطه‌ی  $A$  را بر مبنای آن در سیستم مختصات متعامد سه بعدی ترسیم نمایید. اکنون مختصات کروی را روی این شکل نشان دهید.

۲-۲-۲ سیستم‌های مختصات در نقشه‌برداری: قبل از تشریح سیستم‌های مختصات در نقشه‌برداری، یک دسته‌بندی از روش‌های تعیین موقعیت در نقشه‌برداری ارائه می‌دهیم. تعیین موقعیت در نقشه‌برداری را می‌توان به سه دسته کلی تعیین موقعیت مسطحاتی، تعیین موقعیت ارتفاعی و تعیین موقعیت سه بعدی تقسیم نمود.

## ۱- تعیین موقعیت مسطحاتی و ارتفاعی: در تعیین موقعیت مسطحاتی، موقعیت مسطحاتی

عوارض روی سطح زمین نسبت به یک سیستم مختصات مسطحاتی تعیین می‌شود. همان طور که در ابتدای فصل گفته شد، در صورتی که ابعاد منطقه کوچک باشد می‌توان سطح زمین را یک صفحه مسطح در نظر گرفت. با این پیش فرض، می‌توان سیستم مختصات متعامد یا قطبی دو بعدی را در روی آن تعریف نمود و مختصات متعامد یا قطبی دو بعدی نقاط را نسبت به آن به دست آورد. اما اگر منطقه وسیع باشد به علت کرویّت زمین، باید سطح زمین را به صورت کره فرض نمود و موقعیت مسطحاتی نقاط را روی سطح این کره به دست آورد. در این حالت سطح مبنای مسطحاتی، سطح کره می‌باشد. در حالت دقیق‌تر به جای کره از بیضوی مینا برای سطح مبنای مسطحاتی استفاده می‌شود. مختصات مسطحاتی روی کره یا بیضوی، به مختصات جغرافیایی  $(\phi, \lambda)$  معروف است که در آن مطابق شکل ۲۱-۲ عرض جغرافیایی (Latitude) و  $\lambda$  طول جغرافیایی (Longitude) می‌باشد. طول جغرافیایی برابر زاویه نصف النهار نقطه از نصف النهار مرجع گرینویچ بوده و عددی بین  $[0^\circ - 180^\circ]$  درجه در نیمکره‌ی شرقی و  $[0^\circ - 180^\circ]$  درجه در نیمکره‌ی غربی است. همچنین عرض جغرافیایی برابر زاویه‌ی شعاع نقطه در راستای قائم (شاغولی) با سطح استوا بوده و عددی بین  $[0^\circ - 90^\circ]$  درجه در نیمکره‌ی شمالی و  $[0^\circ - 90^\circ]$  درجه در نیمکره‌ی جنوبی است.

در تعیین موقعیت ارتفاعی، موقعیت ارتفاعی عوارض روی سطح زمین در راستای قائم (شاغولی) نسبت به یک سطح مبنای ارتفاعی به دست می‌آید. در این جا نیز به واسطه کرویّت زمین نمی‌توان سطح مبنای ارتفاعی را یک صفحه مسطح در نظر گرفت. در عوض سطح مبنای ارتفاعی، منطبق بر متوسط سطح آب‌های آزاد یا ژئوئید در نظر گرفته می‌شود. در این حالت به فاصله ارتفاعی نقطه از ژئوئید، ارتفاع ارتومتریک نقطه می‌گویند. به این ترتیب مطابق شکل ۲۱-۲ برای تعیین موقعیت مسطحاتی از بیضوی مینا به عنوان سطح مبنای مسطحاتی و برای تعیین موقعیت ارتفاعی از ژئوئید به عنوان سطح مبنای ارتفاعی استفاده می‌شود.



سطح مبنای مسطحاتی و ارتفاعی

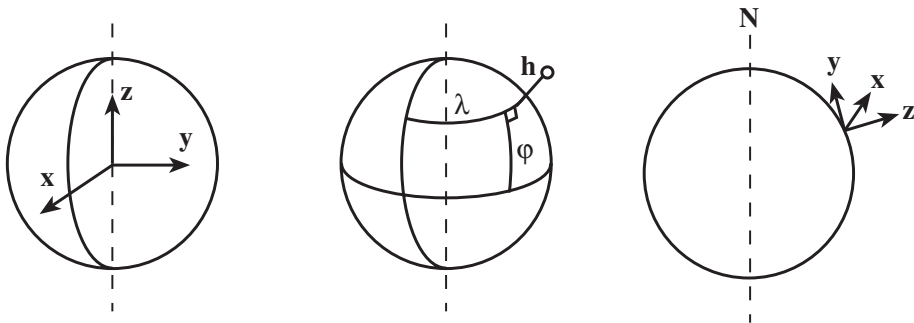
## آیا می‌دانید؟

بیرونی در به دست آوردن طول و عرض جغرافیایی شهرها کوشش‌های فراوانی کرده و در کتاب قانون مسعودی، طول و عرض جغرافیایی بیش از ۶۰۰ نقطه‌ی جغرافیایی را نوشته است.

### مقایسه‌ی اندازه‌گیری‌های بیرونی از طول و عرض جغرافیایی شهرها با اندازه‌گیری‌های امروزی

نام شهر	اندازه‌گیری بیرونی		اندازه‌گیری امروزی	
	عرض		عرض	
	طول نسبت به تعداد دقیقه	درجه	طول نسبت به تعداد دقیقه	درجه
ری	۳۴	۳۵	۵	۸
بغداد	۲۵	۳۳	۰	۰
بلخ	۴۰	۳۶	۰	۲۱
دمشق	۳۰	۳۳	۰	-۱۰
غزنین	۳۵	۳۳	۲۲	۲۴
نیشابور	۱۰	۳۶	۰	۱۵
مکه	۴۰	۲۱	۰	-۳
شیراز	۳۶	۲۹	۳۲	۸

۲- تعیین موقعیت سه بعدی: از آن‌جا که عوارض موردنظر در فضای سه بعدی واقع شده‌اند، معمولاً در نقشه‌برداری از تعیین موقعیت سه بعدی و ضرورتاً از سیستم‌های مختصات سه بعدی استفاده می‌نمایند. در نقشه‌برداری عموماً با سه گروه کلی سیستم مختصات سه بعدی سروکار داریم (شکل ۲-۲): سیستم مختصات محلی (local coordinate system)، سیستم مختصات ژئودتیک (geodetic coordinate system) و سیستم مختصات زمین مرکز (geocentric coordinate system).



سیستم های مختصات محلی، ژئودتیک و زمین مرکز

شکل ۲-۲۲

سیستم مختصات محلی همان سیستم مختصاتی است که معمولاً نقشه برداران آن را به صورت موضعی در روی سطح زمین تعریف می کنند. مبدأ آن روی نقطه ای مشخص در روی سطح زمین، محور  $y$  در راستای شمال  $N$ ، محور  $z$  در راستای قائم به بالا (زنیط) و محور  $x$  عمود بر صفحه  $yz$  و دست راستی تعریف می شود. همان طور که در شکل ۲-۲۲ دیده می شود با دور شدن از مبدأ کرویّت زمین باعث ایجاد خطا در مختصات  $xyz$  سیستم مختصات محلی می شود.

در سیستم مختصات ژئودتیک سطح مبنای مسطحاتی و ارتفاعی، یک بیضوی مبناست. این بیضوی معمولاً WGS84 سیستم ژئودتیک جهانی (World Geodetic System 1984) انتخاب می گردد. تعیین موقعیت در این سیستم مختصات مشابه سیستم مختصات کروی می باشد با این تفاوت که به جای اندازه گیری فاصله از مبدأ، فاصله از سطح بیضوی اندازه گیری می شود. مختصات مسطحاتی در این سیستم همان طول و عرض ژئودتیک یا جغرافیایی  $(\lambda, \phi)$  می باشد. مختصه ارتفاعی  $h$  نیز ارتفاع نقطه از سطح بیضوی مبناست که به آن ارتفاع ژئودتیک هم می گویند. کاربرد اصلی این سیستم مختصات تعیین موقعیت جهانی عوارض در سطح زمین می باشد. لازم به ذکر است که مختصات حاصل از GPS همان طول، عرض و ارتفاع ژئودتیک می باشد.

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 نقشه بردار نمی باشد. مبدأ سیستم مختصات زمین مرکز همان طور که از نام آن پیداست بر مرکز کره زمین واقع است. مطابق شکل ۲-۲۲ امتداد محور  $z$  منطبق بر محور

۱- تعریف دقیق طول و عرض ژئودتیک با طول و عرض جغرافیایی متفاوت است اما در این جا به خاطر سادگی ارائه مطلب آن ها را یکسان در نظر گرفته ایم.

دورانی زمین، امتداد محور x در روی استوانه و منطبق بر صفحه نصف النهار مرجع گرینویچ و محور y نیز در استوا و عمود بر دو محور دیگر و به صورت دست راستی می باشد. کاربرد اصلی این سیستم مختصات در تعیین موقعیت ماهواره ها و اجرام سماوی نسبت به زمین می باشد.

## مطالعه آزاد

از آن جا که هر دو سیستم مختصات ژئودتیک و زمین مرکز، جهانی هستند، معمولاً نیاز به تبدیل بین مختصات این دو سیستم پیدا می شود. این تبدیل به صورت زیر است:

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

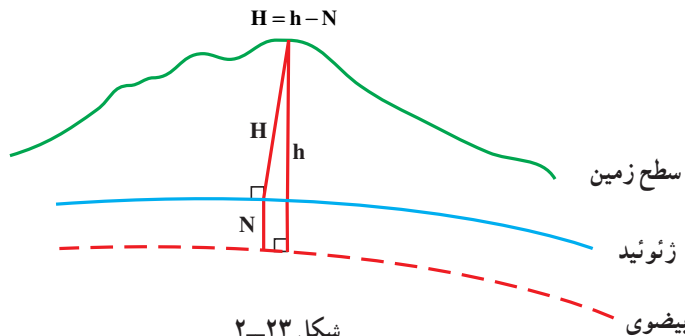
$$y = (N + h) \cos \varphi \sin \lambda$$

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

که در آن  $(\varphi, \lambda, h)$  مختصات ژئودتیک،  $(xyz)$  مختصات زمین مرکز،  $e$  خروج از مرکز بیضوی مبنا و  $N$  شعاع انحنای حداکثر بیضوی در نقطه ی مورد نظر می باشد که به صورت زیر به دست می آید:

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

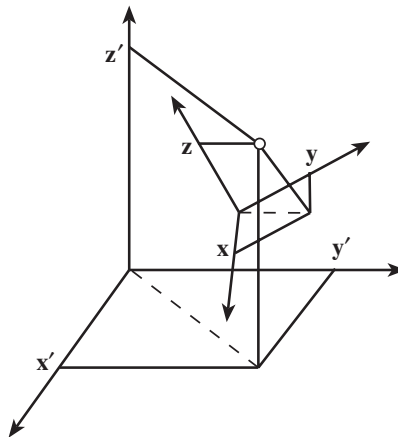
۳- ارتفاع ارتومتریک و ژئودتیک: همان طور که در بالا ذکر شد سطح مبنای ارتفاعی سطح هم پتانسیل ژئوئید می باشد که تعریفی فیزیکی دارد. در صورتی که  $N$  جدایی ژئوئید برابر فاصله بین سطح ژئوئید از بیضوی مبنا باشد می توان از رابطه ی زیر ارتفاع ارتومتریک (ارتفاع از ژئوئید)  $H$  نقطه را از ارتفاع ژئودتیک  $h$  آن با تقریب خوبی محاسبه نمود (شکل ۲-۲۳).



شکل ۲-۲۳

جدایی ژئوئید یا ارتفاع ژئوئید  $N$  را می توان از طریق مدل های ژئوئید که با دقت های مختلفی از چند متر تا چند سانتی متر به صورت جهانی، منطقه ای، ملی و حتی محلی از طریق مشاهدات ثقل سنجی محاسبه می شود به دست آورد. ارتفاع ژئودتیک  $h$  نیز از طریق مشاهدات GPS قابل دستیابی است. این در حالی است که مشاهدات ترازبایی زمینی در صورت در دسترس بودن ارتفاع یک نقطه از سطح متوسط آب های آزاد، در عمل ارتفاع ارتومتریک را به دست می دهند. به طور کلی به جای انجام ترازبایی زمینی به خصوص در مناطق کوهستانی که با هزینه و دشواری های زیادی مواجه است، می توان به شرط در دسترس بودن یک مدل ژئوئید نسبتاً دقیق از مشاهدات ارتفاعی GPS استفاده نمود. به این روش اصطلاحاً ترازبایی ماهواره ای هم می گویند.

**۲-۲-۳- انتقال بین سیستم های مختصات:** از آن جا که سیستم های مختصات متعدد با اهداف مختلفی در نقشه برداری مورد استفاده قرار می گیرند، انتقال بین سیستم های مختصات (coordinate system transformation) امری اجتناب ناپذیر است. برای روشن شدن موضوع فرض کنید مختصات نقطه ای در یک سیستم مختصات معلوم است و می خواهیم مختصات همان نقطه را در سیستم مختصات دیگری به دست آوریم. شکل ۲-۲۴ موقعیت سه بعدی یک نقطه را در دو سیستم مختصات متعامد سه بعدی نشان می دهد. مطابق این شکل، موقعیت  $(x, y, z)$  مشخص است و ما می خواهیم موقعیت  $(x', y', z')$  را به دست آوریم. برای این منظور بایستی ابتدا ارتباط بین دو سیستم مختصات از لحاظ میزان جابه جایی دو مبدأ و میزان دوران محورهای آن ها نسبت به هم را پیدا نمود. سپس با معرفی موقعیت نقطه در سیستم مختصات اول، موقعیت همان نقطه را در سیستم مختصات دوم به دست آورد.

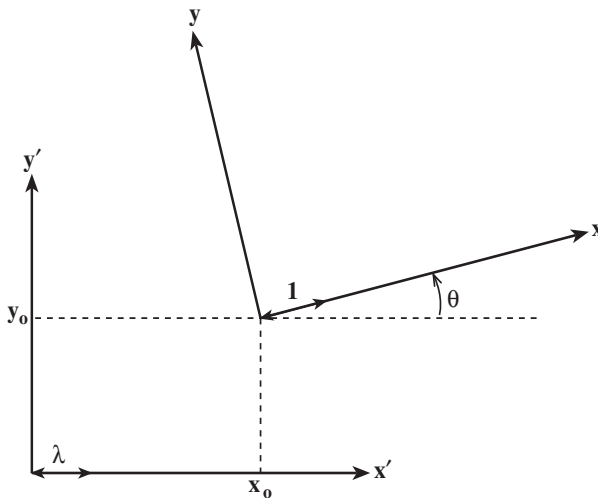


شکل ۲-۲۴

سیستم مختصات یک نقشه موجود را نیز می‌توان تغییر داد. 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.

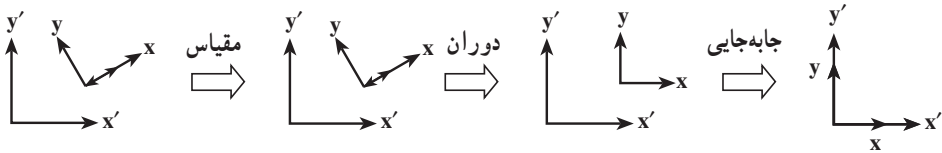
در ادامه ابتدا انتقال بین دو سیستم مختصات متعامد دو بعدی تشریح شده و سپس کاربردهای معمول انتقال سیستم مختصات در نقشه برداری مورد بحث قرار می‌گیرد. انتقال بین سیستم‌های مختصات دیگر مانند انتقال بین دو سیستم مختصات متعامد سه بعدی نمایش یافته در شکل ۲-۲۴ را در مقاطع تحصیلی بالاتر خواهید آموخت.

۱- 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  $(x', y')$  به دست آوریم. برای این منظور باید سیستم مختصات  $(x, y)$  را به سیستم مختصات  $(x', y')$  انتقال دهیم. در حالت انتقال دو بعدی مطابق شکل ۲-۲۵ چهار پارامتر انتقال باید تعیین شود: دو پارامتر  $(x_0, y_0)$  جابه‌جایی بین مبدأ دو سیستم مختصات، یک پارامتر  $\theta$  دوران بین محورهای دو سیستم مختصات و یک پارامتر  $\lambda$  مقیاس که برابر نسبت طول بردار واحد در دو سیستم مختصات است.



شکل ۲-۲۵

با معلوم بودن چهار پارامتر انتقال فوق، می توان مطابق شکل ۲۶-۲ 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  $\lambda$  با مقیاس سیستم مختصات  $(x',y')$  یکسان می شود. سپس سیستم مختصات تغییر مقیاس یافته  $(x,y)$  به اندازه ی زاویه ی  $\theta$  دوران می یابد. در انتها مرکز سیستم مختصات دوران یافته  $(x,y)$  به میزان  $(x_0,y_0)$  جابه جا شده تا به طور کامل بر سیستم مختصات  $(x',y')$  انطباق یابد.



شکل ۲۶-۲

از نقطه نظر ریاضی رابطه انتقال بین دو سیستم مختصات متعامد دو بعدی به صورت زیر تعریف می شود :

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

در این رابطه  $(x,y)$  مختصات اولیه،  $(x'y')$  مختصات انتقال یافته و  $a, b, c, d$  پارامترهای انتقال می باشند. معمولاً این رابطه را انتقال متشابه دو بعدی (۲D conformal Transformation) می نامند زیرا در این انتقال اگر چه موقعیت وضعیت و ابعاد عوارض تغییر می کند اما تشابه عوارض حفظ می شود.

### مطالعه آزاد

انتقال متشابه دو بعدی را می توان به صورت رابطه ریاضی زیر نوشت که در آن  $R$  ماتریس دوران دو بعدی است :

$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \end{bmatrix} = \lambda \cdot R_{\theta} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_0 \\ y_0 \end{bmatrix}$$

↙
↘
↘

مقیاس                  دوران                  جابه جایی



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

$$x' = \lambda \cos \theta \cdot x + \lambda \sin \theta \cdot y + x_0$$

$$y' = -\lambda \sin \theta \cdot x + \lambda \cos \theta \cdot y + y_0$$

در این رابطه اگر چهار پارامتر  $abcd$  را جایگزین چهار پارامتر  $x_0 y_0$  کنیم آن‌گاه رابطه نسبتاً ساده زیر برای انتقال مختصات به دست می‌آید.

$$a = \lambda \cos \theta$$

$$b = \lambda \sin \theta \quad x' = ax + by + c$$

$$c = x_0 \quad \Rightarrow \quad y' = -bx + ay + d$$

$$d = y_0$$

**مثال:** مختصات نقطه‌ای در سیستم مختصات  $(x, y) = (6, 4)$  متر است. در صورتی که سیستم مختصات ابتدا به اندازه‌ی  $3^\circ$  درجه در جهت عقربه‌های ساعت دوران نماید و سپس به اندازه‌ی  $(2, 3)$  متر جابه‌جا شود، مختصات جدید نقطه را محاسبه نمایید.

**راه‌حل:** چون مقیاس تغییری ننموده است  $\lambda = 1$  است. هم‌چنین  $3^\circ = \theta$ ،  $x_0 = 2$  و  $y_0 = 3$  است.

$$a = \lambda \cos \theta = \cos 3^\circ = 0.95$$

$$b = \lambda \sin \theta = \sin 3^\circ = 0.05 \quad \Rightarrow \quad \begin{aligned} x' &= ax + by + c = 0.95x + 0.05y + 2 \\ y' &= -bx + ay + d = -0.05x + 0.95y + 3 \end{aligned}$$

$$c = x_0 = 2 \quad d = y_0 = 3$$

$$x = 6 \quad \Rightarrow \quad x' = 0.95x + 0.05y + 2 = 0.95 \cdot 6 + 0.05 \cdot 4 + 2 = 8.48$$

$$y = 4 \quad y' = -0.05x + 0.95y + 3 = -0.05 \cdot 6 + 0.95 \cdot 4 + 3 = -0.22$$

بنابراین مختصات جدید نقطه  $(x', y') = (8.48, -0.22)$  می‌باشد.

در صورتی که 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 به دست 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 منظور از  $\Delta$  اختلاف بین مختصات دو نقطه برای هر سیستم مختصات می‌باشد:

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

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

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

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

تمرین: مختصات نقاط A و B قبل و بعد از انتقال سیستم مختصات داده شده است.  
الف - پارامترهای انتقال سیستم مختصات را محاسبه کنید.  
ب - مختصات نقطه‌ی C بعد از انتقال سیستم مختصات چه قدر است؟

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

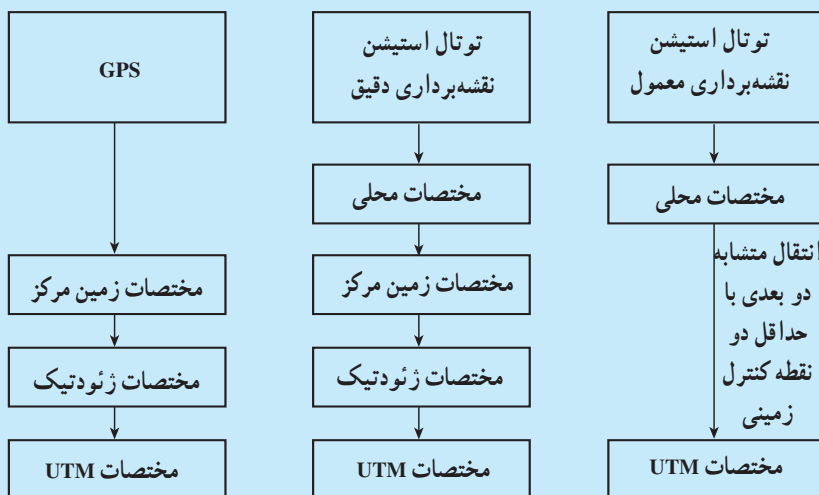
## مطالعه آزاد

### کاربردهای انتقال سیستم مختصات

برای تعیین موقعیت نقاط در نقشه برداری زمینی معمولاً از GPS یا توتال استیشن استفاده می‌کنند. GPS موقعیت نقاط را در سیستم مختصات زمین مرکز اندازه گیری می‌کند در حالی که توتال استیشن موقعیت نقاط را در سیستم مختصات محلی اندازه گیری می‌نماید. از سوی دیگر نقشه برداران معمولاً نقشه‌ها را در سیستم تصویر UTM تهیه و ترسیم می‌کنند. از این رو 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 ۲۷-۲). 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 ۲۷-۲). این فرایند تبدیل مختصات در پروژه‌های نقشه‌برداری دقیق باید رعایت شود. البته در پروژه‌های معمول نقشه‌برداری زمینی چون ابعاد منطقه به حدی 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 ۲۷-۲). 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 مینا از سازمان نقشه‌برداری کشور خریداری کرد.



شکل ۲۷-۲

تمرین: در یک عملیات نقشه برداری معمول، ابتدا مختصات UTM نقاط مبنای A و B توسط GPS اندازه گیری 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 - صفر شده و مختصات محلی نقاط مطابق جدول زیر اندازه گیری 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 به دست آید. یا این که در نقشه برداری اگر ارتفاع توتال استیشن یا رفلکتور درست معرفی نشود باید ارتفاع به دست آمده برای همه نقاط را به میزان یکسانی افزایش یا کاهش داد تا ارتفاع صحیح نقاط به دست آید.

## خودآزمایی

- ۱- نحوه‌ی اندازه‌گیری شعاع زمین به وسیله‌ی اراتوستن را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۲- نحوه‌ی اندازه‌گیری شعاع کره‌ی زمین به وسیله‌ی «پوسیدونیوس» را شرح دهید.
- ۳- سطح طبیعی زمین را به عنوان یک سطح مبنا توضیح دهید.
- ۴- سطح ژئوئید را به عنوان یک سطح مبنا توضیح دهید.
- ۵- سطوح تراز را تعریف کنید.
- ۶- نحوه‌ی تعیین ژئوئید را توضیح دهید.
- ۷- بیضوی به عنوان یک سطح مبنا را توضیح دهید.
- ۸- پارامترهای یک بیضوی را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۹- بیضوی جهانی را توضیح دهید.
- ۱۰- انواع ارتفاع‌ها را که در ژئودزی با آن‌ها سروکار داریم، نام ببرید.
- ۱۱- ارتفاع ارتومتریک یک نقطه را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۱۲- ارتفاع ژئودتیک یک نقطه را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۱۳- ارتفاع ژئوئید را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۱۴- انواع سیستم مختصات در هندسه را نام ببرید و هر کدام را توضیح دهید.
- ۱۵- انواع تعیین موقعیت در نقشه‌برداری را نام ببرید.
- ۱۶- تعیین موقعیت مسطحاتی و ارتفاعی را توضیح دهید.
- ۱۷- انواع تعیین موقعیت سه بعدی را نام ببرید.
- ۱۸- ارتفاع ارتومتریک و ژئودتیک و ژئوئید را تعریف کنید.
- ۱۹- لزوم انتقال بین سیستم‌های مختصات را بنویسید.
- ۲۰- با رسم یک شکل انتقال سیستم مختصات متعامد دو بعدی را توضیح دهید.

## سیستم‌های تصویر در نقشه‌برداری (Projection Systems in Surveying)

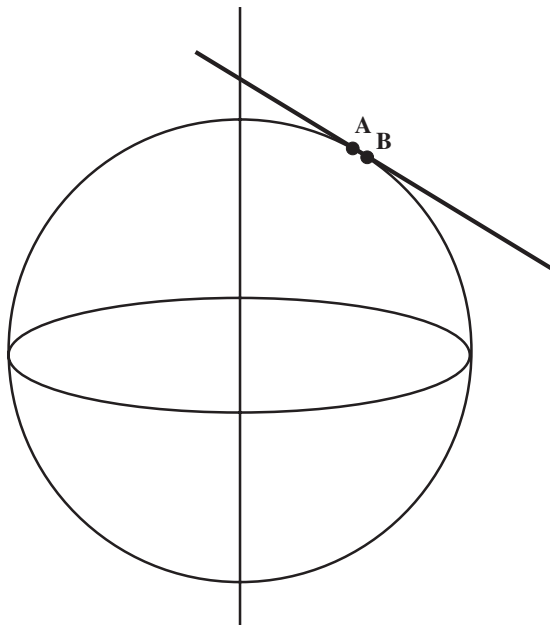
هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل فراگیر باید بتواند:

- ۱- لزوم تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین به روی صفحه را توضیح دهد.
- ۲- دو مشکل اساسی تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین به روی صفحه را توضیح دهد.
- ۳- سیستم تصویر را تعریف کند.
- ۴- ویژگی‌های یک سیستم تصویر مناسب را توضیح دهد.
- ۵- ویژگی انواع سیستم تصویر را نام ببرد.
- ۶- سیستم تصویر متشابه را به اختصار شرح دهد.
- ۷- سیستم تصویر هم مساحت را به اختصار شرح دهد.
- ۸- سیستم تصویر هم فاصله را به اختصار شرح دهد.
- ۹- سیستم تصویر آزیموتی را به اختصار شرح دهد.
- ۱۰- انواع سیستم‌های تصویر را از نظر روش نام ببرد.
- ۱۱- سیستم تصویر مخروطی را تعریف کند.
- ۱۲- کاربردهای سیستم تصویر مخروطی و ویژگی آن را توضیح دهد.
- ۱۳- سیستم تصویر مرکاتور را توضیح دهد.
- ۱۴- سیستم تصویر ترانسورس مرکاتور را تعریف کند.
- ۱۵- سیستم تصویر یونیورسال ترانسورس مرکاتور را توضیح دهد.
- ۱۶- ویژگی‌های سیستم تصویر یونیورسال ترانسورس مرکاتور را توضیح دهد.

### ۳-۱- سیستم‌های تصویر و انواع آن

#### ۳-۱-۱- 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  $6400$  کیلومتر فرض کنیم دو نقطه‌ی A و B به فاصله‌ی تقریبی  $200$  m 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 در نظر 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  $\frac{1}{100000}$  نشان دهیم در آن صورت به کره‌ای به شعاع  $64$  m نیاز است. یا برای داشتن موقعیت‌ها با مقیاس  $\frac{1}{100000}$  کره‌ای به شعاع  $6400$  m نیاز است که چنین نمایشی برای موقعیت‌ها مناسب نیست. پس به تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین بر روی صفحه نیاز است.

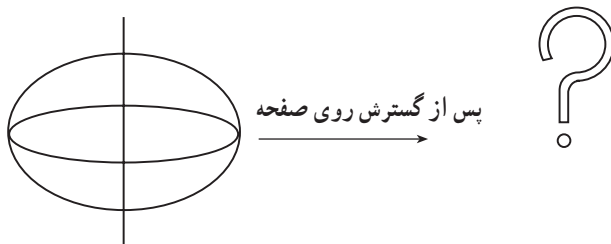
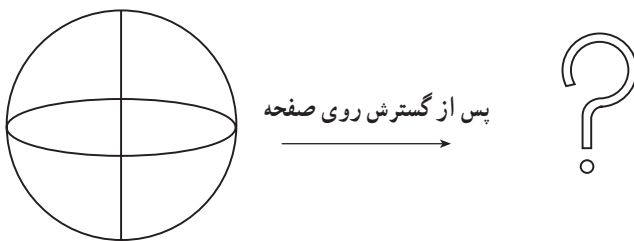
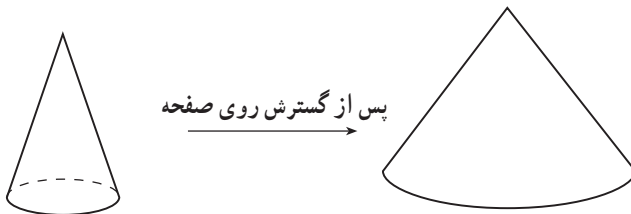
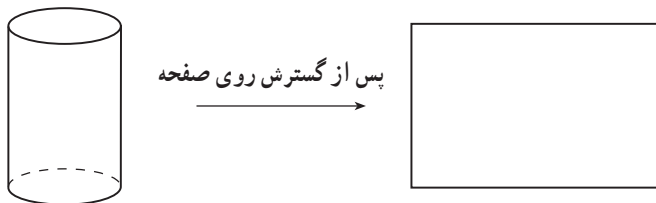


شکل ۳-۱

### ۲-۱-۳- دو مشکل عمده‌ی تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین بر روی صفحه

۱- موقعیت‌ها بر روی کره‌ی زمین سه بعد 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.

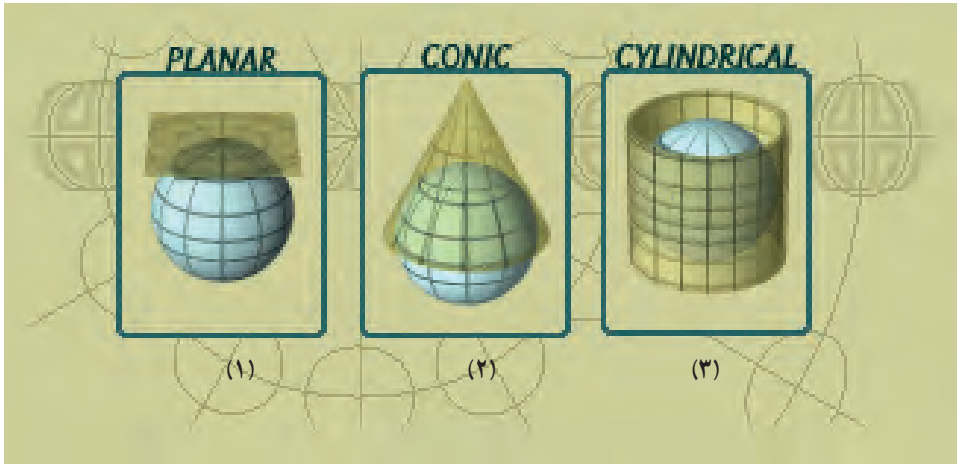
۲- شکل هندسی کره یا بیضوی هیچ‌گاه روی یک صفحه باز نمی‌شوند توجه کنید اشکال هندسی مانند مخروط و استوانه، خلاف کره و بیضوی، قابل باز شدن روی صفحه هستند.



شکل ۲-۳- 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.



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

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

۳-۱-۳- 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:

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

۲- تمامی زوایا بین امتدادها و آزیموت امتدادها بر روی نقشه برابر زاویه و آزیموت امتدادها

در روی زمین باشد.

۳- تمامی دوائر عظیمه بر روی کره به صورت خط‌های مستقیم بر روی نقشه باشد.

۴- 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:

#### ۴-۱-۳- انواع سیستم تصویر از نظر ویژگی

۱- سیستم تصویر متشابه<sup>۱</sup>: در این نوع سیستم تصویر زوایا ثابت می ماند و در حقیقت در مساحت های کوچک تر حتی شکل محدوده ها نیز حفظ می گردد، اما در مساحت های بزرگ تر به دلیل تغییر در مقیاس شکل نیز متفاوت می شود.

۲- سیستم تصویر هم مساحت<sup>۲</sup>: در این نوع سیستم تصویر مساحت محدوده های مختلف بر روی سطح زمین به یک نسبتی کوچک می گردد و روی نقشه نشان داده می شود. در این سیستم ممکن است طول ها و زوایا تغییر کند، اما مساحت ها ثابت بماند.

۳- سیستم تصویر هم فاصله<sup>۳</sup>: در این سیستم تصویر فاصله ی تمامی نقاط از یک نقطه ی مرکزی بر روی نقشه به یک نسبت مشخصی نسبت به فواصل روی سطح زمین کوچک شده است.

۴- سیستم تصویر آزیموتی<sup>۴</sup>: در این نوع سیستم تصویر جهت، آزیموت امتدادها ثابت

می ماند :

#### ۵-۱-۳- انواع سیستم های تصویر از نظر روش: به طور کلی در تمامی سیستم های

تصویر در پی به دست آوردن  $x$  و  $y$  از  $\varphi$  و  $\lambda$  هستیم که معمولاً به سه روش انجام می گیرد :

۱- سیستم تصویر صفحه ای

۲- سیستم تصویر مخروطی

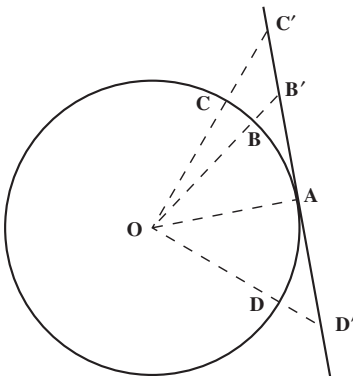
۳- سیستم تصویر استوانه ای

#### ۲-۳- سیستم تصویر صفحه ای

ساده ترین سیستم تصویر هندسی تصویر کره روی یک صفحه ی مماس بر کره در یک نقطه ی

خاص مانند A است که البته می توان آن را به سه صورت تصویر نمود. در شکل های ۴-۳ تا ۶-۳

نحوه ی تصویر کردن را مشاهده می کنید.



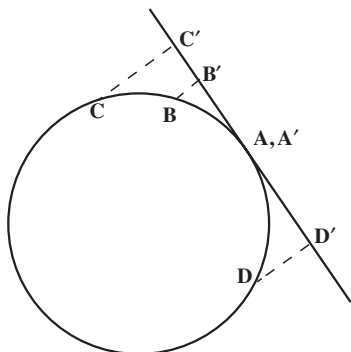
شکل ۴-۳

۱- Conformal projection

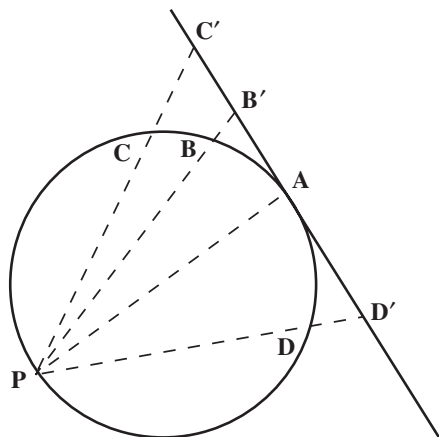
۲- Equal - area projection

۳- Equidistant projection

۴- Azimuthal projection



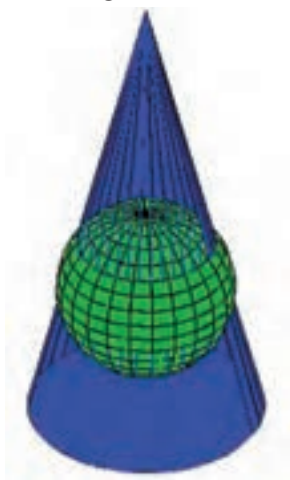
شکل ۳-۶



شکل ۳-۵

### ۳-۳ - 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 ۳-۷)، به گونه‌ای که محور مخروط در امتداد محور زمین قرار دارد. این سیستم که بیش‌تر به «لامبرت» معروف است برای مناطق شرقی - غربی یا حول مداری و عرض‌های جغرافیایی میانی بسیار مناسب است. مطابق شکل ۳-۸ ممکن است به جای یک مدار برای تماس، دو مدار استاندارد انتخاب شود؛ به طوری که مخروط در این دو مدار کره را قطع می‌کنند. بدین وسیله



شکل ۳-۸ - سیستم تصویر مخروطی با مخروط متقاطع با کره را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۷ - سیستم تصویر مخروطی با مخروط مماس بر کره را نشان می‌دهد.

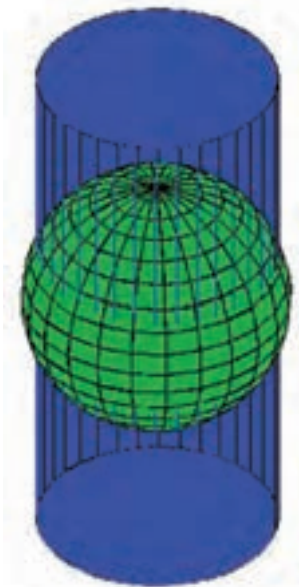
حوزه‌ی دقت و دامنه‌ی گسترش منطقه‌ی مفید سیستم را زیاد می‌کنند. سیستم مخروطی کاربردهای زیادی دارد، اما مانند سیستم تصویرهای قبلی برای عرض جغرافی‌های بالا مناسب بوده و برای ترسیم نقشه‌های جهانی مناسب نیستند.

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

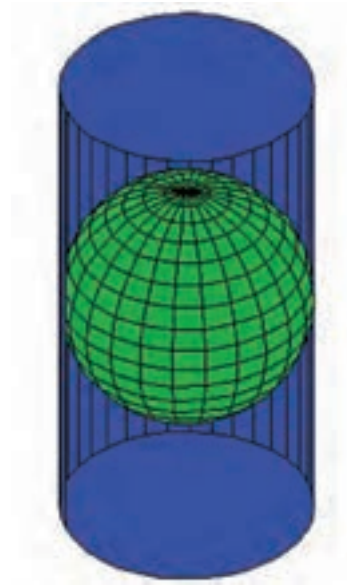
برای تهیه‌ی نقشه‌ی کشورهای نظیر فرانسه و ایالات متحده‌ی آمریکا، از سیستم تصویر لامبرت استفاده گردیده هم‌چنین برای قسمت‌های جنوبی ایران و نیز مناطق مرزی ایران و عراق، این سیستم به کار گرفته شده است.

#### ۳-۴- سیستم‌های تصویر استوانه‌ای یا مرکاتور (Mercator Projection)

۳-۴-۱- 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 ۳-۹-الف). البته در برخی مواقع نیز این استوانه متقاطع با کره بوده است (شکل ۳-۹-ب).



شکل ۳-۹-ب - سیستم تصویر استوانه‌ای با استوانه‌ی متقاطع بر کره را نشان می‌دهد.

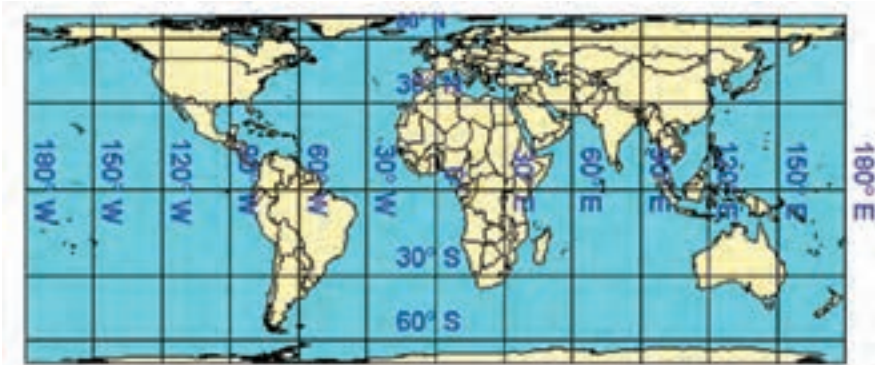


شکل ۳-۹-الف - سیستم تصویر استوانه‌ای با استوانه‌ی مماس بر کره را نشان می‌دهد.

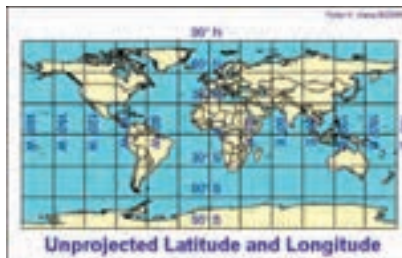
بانی این سیستم تصویر (Gerard Mercator) ریاضیدان و کارتوگراف بزرگ «جهان» است که در قرن شانزدهم و بین سال‌های ۱۵۱۲ تا ۱۵۹۴ می‌زیسته است.

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 به وجود 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 ۱-۳ 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 ۱-۳-الف - تصویر بخشی از کره‌ی زمین را روی صفحه توسط سیستم تصویر استوانه‌ای نشان می‌دهد.



شکل ۱-۳-ب - 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 بنیان‌گذاران دانش مساحی (نقشه‌کشی) و از پیشگامان جغرافیایی ریاضی می‌دانند.

۲-۴-۳ — ترانسورس مرکاتور (TM)<sup>۱</sup>: در این سیستم تصویر به‌جای تماس استوانه با استوا، استوانه بر نصف‌النهارات مماس می‌گردد.

۳-۴-۳ — یونیورسال ترانسورس مرکاتور (UTM)<sup>۲</sup>: در این سیستم بیضوی زمین به ۶° قاج (Zone) به مبدأ نصف‌النهار گرینویچ (مطابق شکل ۱۱-۳) تقسیم می‌گردد. بدین ترتیب، ۳° قاج در شرق نصف‌النهار گرینویچ و ۳° قاج در غرب گرینویچ است.

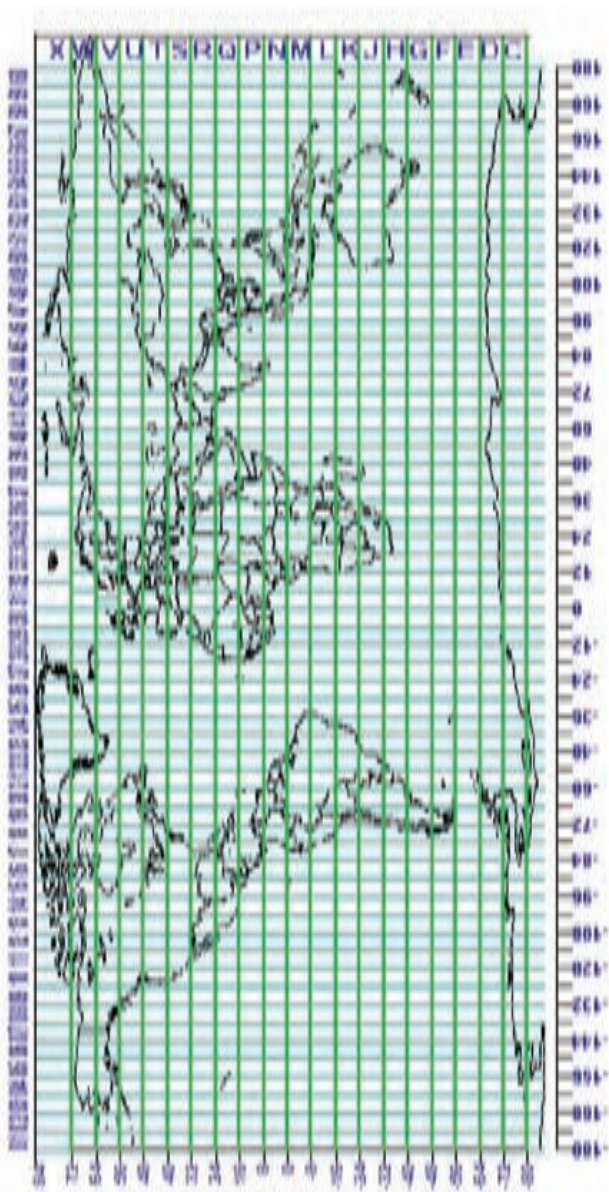
شماره‌گذاری قاج‌ها نیز از قسمت سمت‌القدمی نصف‌النهار گرینویچ در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت صورت می‌گیرد؛ یعنی قاج محصور بین ۱۸° و ۱۷۴° W  $\approx$  قاج شماره‌ی ۱ و قاج محصور بین ۱۷۴° W و ۱۶۸° W قاج شماره‌ی ۲ و ... تا این‌که قاج محصور بین ۶° W و ۰° قاج شماره‌ی ۳۰ خواهد بود و قاج بین ۰° و ۶° E قاج ۳۱ و ... .

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

۱- Transvers Mercator

۲- Universal Transvers Mercator

که کشور ایران در داخل قایح‌های ۳۸ و ۳۹ و ۴۰ و ۴۱ قرار خواهد گرفت. در این سیستم تصویر، برای هر قایح یک نصف‌النهار مرکزی در نظر می‌گیرند که در حقیقت نصف‌النهار وسطی هر قایح خواهد شد؛ برای مثال، در قایح شماره‌ی ۳۱ که محصور بین نصف‌النهار  $0^{\circ}$  و  $6^{\circ}$ E است نصف‌النهار مرکزی قایح  $3^{\circ}$ E خواهد بود یا در قایح شماره‌ی ۴۰ که مابین نصف‌النهار  $54^{\circ}$  و  $60^{\circ}$  است.  $57^{\circ}$ E نصف‌النهار مرکزی این قایح خواهد بود. و این نصف‌النهار مرکزی است که در هر قایح برای تماس با سطح استوانه، انتخاب می‌گردد.

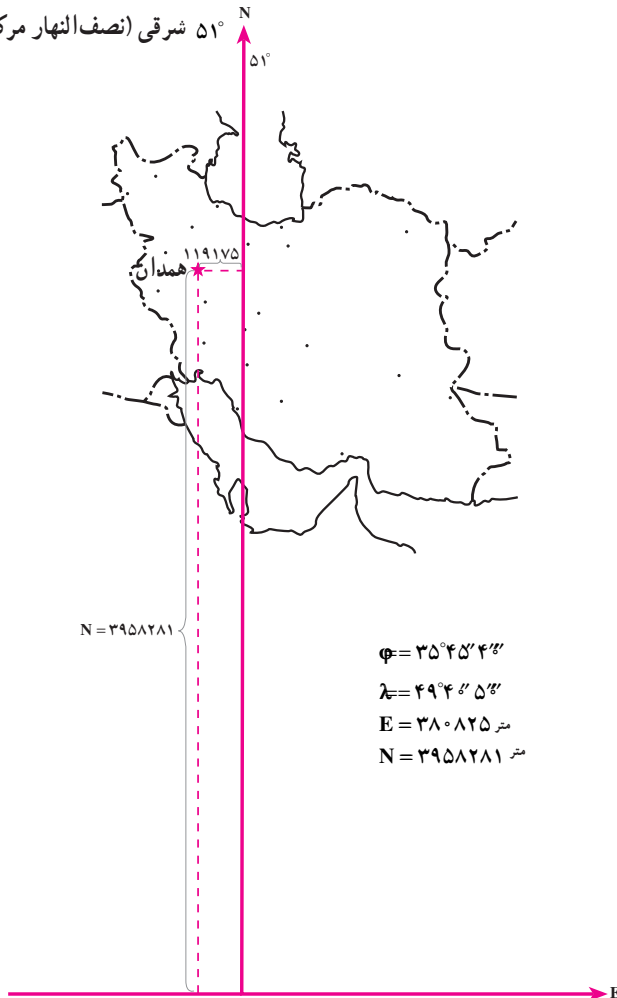


شکل ۱۱-۳- سیستم تصویر UTM و شماره‌ی قایح‌ها



سیستم تصویر UTM<sup>۱</sup> بر همین اساس، در سال ۱۹۵۸ میلادی ابداع گردید. در این سیستم دامنه‌ی عمل هر قاج نسبت به نصف النهار مرکزی ۳° به شرق و ۳° به غرب خواهد بود. در سیستم «UTM» محاسبات برای تمامی قاج‌ها 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»<sup>۲</sup> می‌گویند.

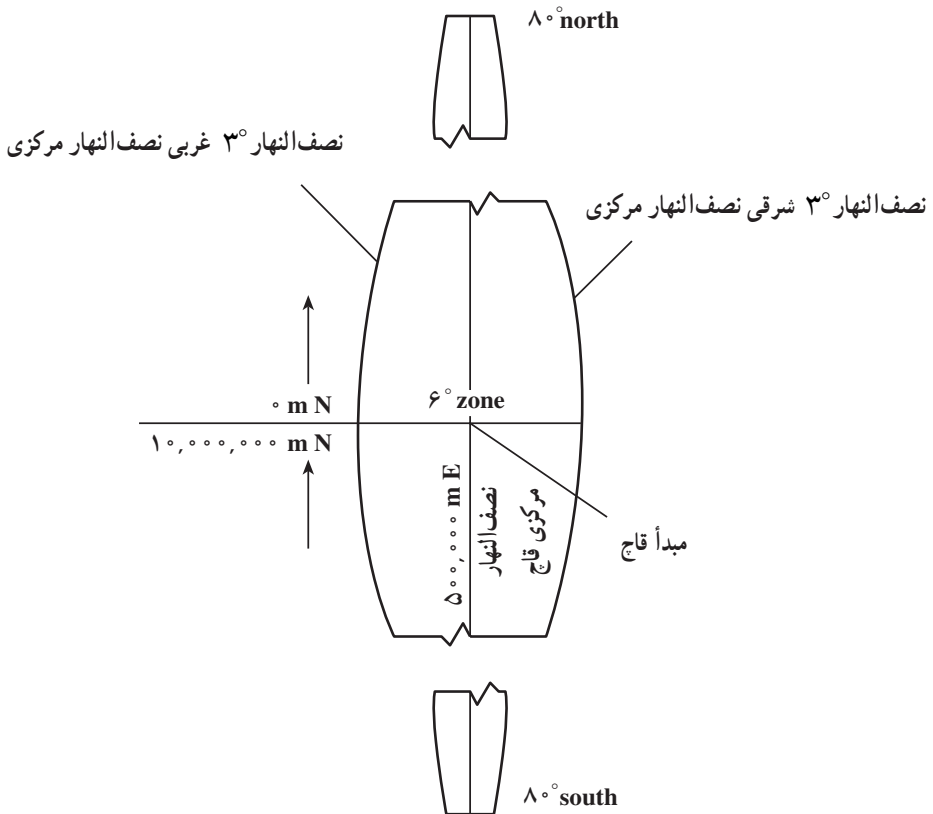
۵۱° شرقی (نصف النهار مرکزی قاج ۳۹)



شکل ۱۲-۳. موقعیت یک نقطه در استان همدان را نشان می‌دهد.



- برخی از ویژگی های این سیستم بدین قرار است :
- ۱- پهناى هر قاچ  $6^\circ$  بوده کل کره ی زمین به  $6^\circ$  قاچ تقسیم می گردد.
  - ۲- واحد اندازه ها در این سیستم، متر است.
  - ۳- محور xها تقاطع سطح استوا با سطح استوانه است.
  - ۴- محور yها تصویر نصف النهار مرکزی روی سطح استوانه است.
  - ۵- مقدار y برای مبدأ برابر صفر متر برای نیم کره ی شمالی و برابر  $10,000,000$  برای نیم کره ی جنوبی است (شکل ۱۳-۳).
  - ۶- مقدار x برای مبدأ  $5000000$  متر می باشد.
- نکته: مختصات در زون ها مشابه یکدیگرند و یک مختصات نشان دهنده ی  $6^\circ$  نقطه (در هر زون یک نقطه) می باشد و آن ها را می توان با شماره زون از یکدیگر تشخیص داد.



شکل ۱۳-۳- سیستم تصویر UTM را برای یک قاچ نمایش می دهد.

## خودآزمایی

- ۱- لزوم تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین به روی صفحه را توضیح دهید.
- ۲- دو مشکل اساسی تصویر موقعیت‌های روی کره‌ی زمین را به روی صفحه توضیح دهید.
- ۳- سیستم تصویر را تعریف کنید.
- ۴- ویژگی‌های یک سیستم تصویر مناسب را توضیح دهید.
- ۵- انواع سیستم تصویر را از نظر ویژگی نام ببرید.
- ۶- سیستم تصویر مشابه را به اختصار شرح دهید.
- ۷- سیستم تصویر هم مساحت را به اختصار شرح دهید.
- ۸- سیستم تصویر هم فاصله را به اختصار شرح دهید.
- ۹- سیستم تصویر آزیموتی را به اختصار شرح دهید.
- ۱۰- انواع سیستم‌های تصویر را از نظر روش نام ببرید.
- ۱۱- انواع سیستم‌های تصویر صفحه‌ای را نام ببرید.
- ۱۲- سیستم تصویر مخروطی را تعریف کنید.
- ۱۳- کاربردهای سیستم تصویر مخروطی و ویژگی آن را توضیح دهید.
- ۱۴- سیستم تصویر مرکاتور را توضیح دهید.
- ۱۵- سیستم تصویر ترانسورس مرکاتور را توضیح دهید.
- ۱۶- سیستم تصویر یونیورسال ترانسورس مرکاتور را توضیح دهید.
- ۱۷- ویژگی‌های سیستم تصویر یونیورسال ترانسورس مرکاتور را توضیح دهید.
- ۱۸- بزرگ‌ترین امتیاز سیستم مرکاتور را بنویسید.
- ۱۹- چرا سیستم تصویر UTM یک سیستم تصویر جهانی است؟
- ۲۰- شکل یک قاچ در سیستم تصویر UTM را رسم کنید و آن را توضیح دهید.

### تعیین موقعیت زمینی

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

- ۱- تعیین موقعیت نسبی را تعریف کند.
  - ۲- انتقال موقعیت ارتفاعی را توضیح دهد.
  - ۳- شبکه‌ی ارتفاعی را توضیح دهد.
  - ۴- کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی یک را بیان کند.
  - ۵- کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی دو را بیان کند.
  - ۶- کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی سه را بیان کند.
  - ۷- اختلاف ارتفاع را تعریف کند.
  - ۸- انواع روش‌های اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع را به اختصار شرح دهد.
  - ۹- اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع به روش تاکئومتری را به اختصار با رسم شکل توضیح دهد.
- ۱۰- تعریف یک سیستم مختصات را برای انتقال موقعیت مسطحانی شرح دهد.
  - ۱۱- روش‌های انتقال مختصات نسبی را نام ببرد.
  - ۱۲- پیمایش را تعریف کرده انواع آن را نام ببرد.
  - ۱۳- روش پیمایش باز را شرح دهد.
  - ۱۴- روش پیمایش بسته را با ذکر چند مثال شرح دهد.
  - ۱۵- روش مثلث بندی را برای انتقال مختصات شرح دهد.
  - ۱۶- روش سه ضلع بندی را برای انتقال مختصات شرح دهد.
  - ۱۷- روش تقاطع را برای انتقال مختصات شرح دهد.
  - ۱۸- روش ترفیع را برای انتقال مختصات شرح دهد.

## ۴-۱- تعریف تعیین موقعیت نسبی (Relative Positioning)

تعیین موقعیت نسبی یک نقطه، بدست آوردن موقعیت نقطه‌ی مورد نظر 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.

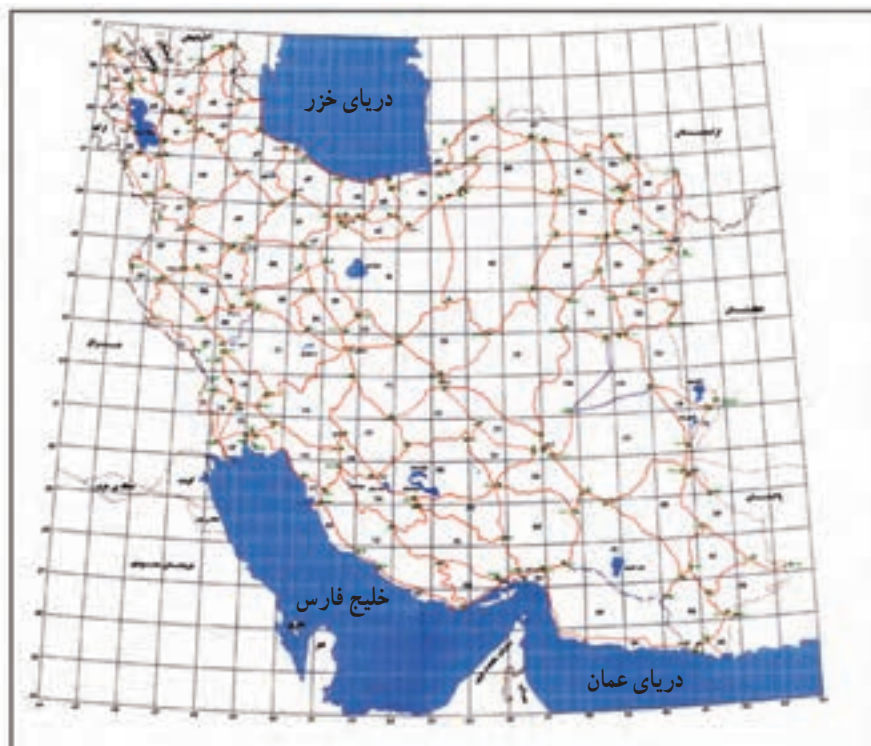
## ۴-۲- انتقال موقعیت ارتفاعی (Levelling)

ارتفاع یک نقطه روی سطح زمین فاصله‌ی عمودی آن نقطه از یک سطح تراز قراردادی می‌باشد. سطح تراز یک سطح هم‌پتانسیلی 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، بنایی می‌خواهد پشت بام خانه‌ای را با شیب خاصی بسازد، در این پروژه بنا 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

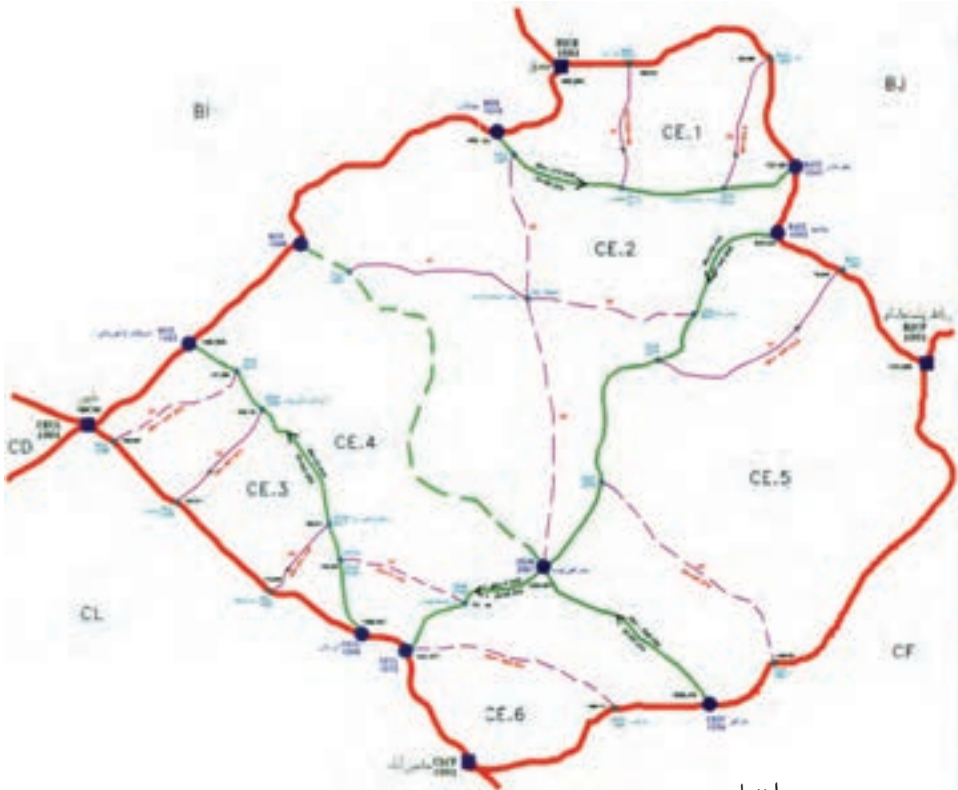
و یا باید وضعیت ارتفاعات مسیر فاضلاب موجود در اطراف شهرک را داشته باشید. پس در کل نیاز است که مبنای ارتفاعات کشوری باشد، شکل ۴-۱ وضعیت شبکه، درجه ی ۱ ترازیبی کشور را تا بهار سال ۷۹ نشان می دهد.



شکل ۴-۱

- راهتمای نقشه
- مسیره‌های ترازیبی شده
  - - - مسیره‌های ساختمان شده
  - مسیره‌های ساختمان نشده
  - نقطه اتصالی درجه یک
  - نام لوب
  - ▨ دریاچه دائمی
  - ▨ دریاچه فصلی
  - مرز
  - خط ساحل

شکل ۲-۴ دو نمونه از یک حلقه‌ی ترازیبی درجه‌ی ۱ را نشان می‌دهد و نیز ترازیبی درجه‌ی ۲ و درجه‌ی ۳ را که متکی به نقاط ترازیبی درجه‌ی ۱ می‌باشند، نیز نمایش می‌دهد.



راهنما

	نقاط اتصالی درجه‌ی ۱	CE	لوپ درجه‌ی ۱
	نقاط اتصالی درجه‌ی ۲	CE.1	لوپ درجه‌ی ۲
	نقاط اتصالی درجه‌ی ۳		مسیر درجه‌ی ۱
	نام خط درجه‌ی ۳		مسیر درجه‌ی ۲
	مرز		مسیر درجه‌ی ۳
	خط ساحل		مسیر درجه‌ی ۱ ترازیبی نشده
	اختلاف ارتفاع		مسیر درجه‌ی ۱ ساختمان نشده
	طول مسیر		مسیر درجه‌ی ۲ ترازیبی نشده
	ارتفاع		مسیر درجه‌ی ۳ ساختمان نشده
			مسیر درجه‌ی ۳ آنتنی

شکل ۲-۴

شکل ۳-۴ 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 ترازیبی 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 ۴-۴ نمونه‌ای از یک برگه‌ی شناسایی یک نقطه‌ی ترازیبی دقیق را نشان می‌دهد.



شکل ۳-۴ - یک نقطه‌ی ترازیبی به نام AQAR1086 در منطقه‌ی امام زاده هاشم را نشان می‌دهد که دستگاه GPS روی آن مستقر شده است.

### شناسنامه ایستگاه تراز یابی

#### LEVELING STATION DESCRIPTION

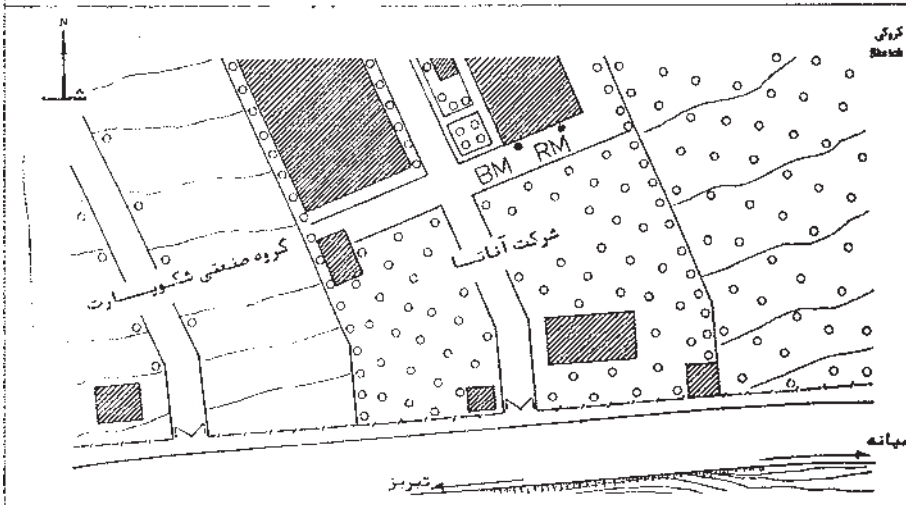
طول جغرافیایی Longitude	24° 06' 46"	شماره نقشه Sheet No.	5266 11	پلاک Order	AEAI 1008	نام ایستگاه Station
عرض جغرافیایی Latitude	38° 02' 02"	مقیاس نقشه Scale	1:50,000	ایستگاه Benchmark		
شیب جاده Gradient		شماره نقشه و طرح Project & Photo No.		راه تبریز - بستان آباد Road		نام قدیم ایستگاه Old Name
تاریخ اندازه گیری جاده Date		نقشاس مکتوب Photo Scale		نزدیکترین شهر Nearest Town	معمولی	نوع ایستگاه Type of Station

تاریخ اندازه گیری (Obs. Date)	تاریخ محاسبه (Calc. Date)	نقطه Datum	ارتفاع Elevation		ارتفاع ارتوتتری Orth. Elevation	ملاحظات Remarks
			B.M.	B.M.		
1367	1370	N.C.C.	1628.166	1628.597		BM → RM
	1377	DNG. 1001	1628.4146	1628.8461		G = 75°
						D = 12 m

**توضیحات ایستگاه**  
 Description  
 ایستگاه بالاترین نقطه سطح کروی شکل میلیه فلزی بقطر 2.5 و ارتفاع 25 سانتیمتر میباشد. در این میلیه داخل بتون استوانه‌ای شکل بقطر 40 و ارتفاع 711 سانتیمتر کار گذاشته شده است. بطوریکه سطح کروی میلیه باندازه 5 میلیمتر از سطح بتون بالاتر میباشد. نشانه و اهدام (R.M.) میلیه ایستگاه در داخل بتون به شکل هرم ناقص با سطح فوقانی 25 x 25 و ارتفاع 50 سانتیمتر است.

**موقعیت ایستگاه**  
 Positioning  
 BM بمقامه 2 و 142 متری شمال محور جاده تبریز - میانه و داخل محوطه شرکت آناست در 5 متری گوشه جنوب غربی ساختمان شکلات سازی و 60 سانتیمتری دیوار قرار دارد. RM نیز در سطح جنوبی ساختمان شکلات سازی و بمقامه یک متری گوشه جنوب شرقی ساختمان و 13 سانتیمتری دیوار قرار گرفته است. فاصله این دو ایستگاه 1007 و AEAI 1009 به ترتیب 2.2 و یک کیلومتر میباشد.

**آدرس ایستگاه**  
 Address  
 پس از طی 9.4 کیلومتر از میدان دانشگاه تبریز (بیست و نه بهمن) در جاده تبریز - میانه بطرف میانه به شرکت آناست محل ایستگاه خواهیم رسید.



Form No. 10 1982 تیرماه ۱۳۶۶ نقشه‌نگار: م.م.آذری ماه مرداد ۱۳۶۶ N.C.C نقشه‌نگار: م.م.آذری

شکل ۴-۴ - شناسنامه‌ی یک نقطه‌ی تراز یابی 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 مسطحاتی 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.

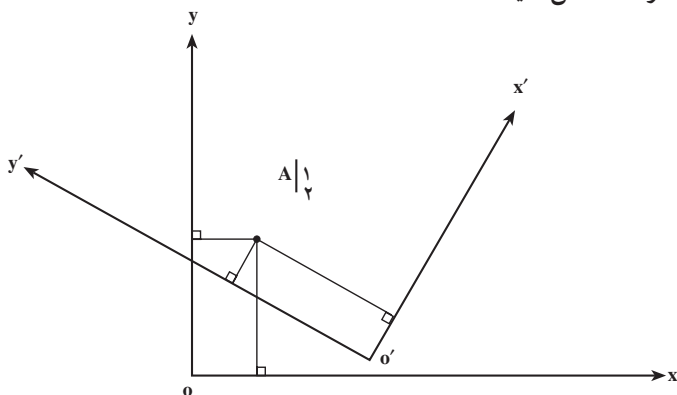
جدول ۵-۴- طبقه‌بندی شبکه‌های ترازیبی

طبقه‌بندی	درجه‌ی ۱	درجه‌ی ۲	درجه‌ی ۳
اهداف	استخوان بندی کلیه‌ی شبکه‌های کشوری	استفاده در پروژه‌های بزرگ مهندسی	مبنا برای پروژه‌های کوچک مهندسی
	بررسی حرکات پوسته‌های ناحیه‌ای زمین	بر روی حرکات پوسته‌های محلی و بررسی نشست آن‌ها	مبنا برای تهیه‌ی نقشه‌های توپوگرافی در حجم کوچک‌تر
	به‌دست‌آوردن مقادیر پتانسیل جاذبه	مبنا برای شبکه‌ی کنترل در درجات پایین‌تر	مطالعه برای زهکش‌ها و شیب‌های کانال‌ها و زهکش‌ها
	کنترل شبکه‌های بزرگ ترازیبی	مبنا برای تهیه‌ی نقشه‌های توپوگرافی	
فاصله بین نقاط	۱-۳km	۱-۳km	نباید بیش‌تر از ۳ کیلومتر باشد
طول شبکه‌ها	کیلومتر ۵۰-۳۰	کیلومتر ۱۰-۵	هر اندازه که مورد نیاز است
مشاهدات گراویتی	لازم است	لازم نیست	لازم نیست
وسایل لازم	ترازیاب دقیق با میکرومتر و میرانوار	ترازیاب دقیق با میکرومتر و میرانوار و یا ترازیاب اتوماتیک	ترازیاب معمولی به همراه شاخص
ماکزیم خطا	$3mm\sqrt{K}$	$6mm\sqrt{K}$	$12mm\sqrt{K}$

### ۳-۴- انتقال موقعیت مسطحاتی

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

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



شکل ۶-۴

همان‌طوری که از شکل بالا متوجه شدید بی‌شمار سیستم مختصات را می‌توان مشخص نمود که نقطه‌ی A دارای مختصات  $x = 1\text{ cm}$  و  $y = 2\text{ cm}$  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 به صورت کشوری یا جهانی باشد.

در برخی مواقع که پروژه کشوری باشد و ارتباط با پروژه‌های دیگر اهمیت داشته باشد در این صورت باید از مختصات کشوری استفاده کرد که شکل ۷-۴ نمونه‌ای از شبکه‌های مسطحاتی کشوری را نشان می‌دهد و فرد یا سازمان مربوطه می‌تواند به سازمان نقشه‌برداری کشور<sup>۱</sup> مراجعه نموده و دو نقطه از نقاط کنترل مسطحاتی را خریداری کند. نمونه‌ای از این نقاط مسطحاتی را در شکل‌های ۸-۴، ۸-۵ و ۸-۶ 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.

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



- مناطق اندازه‌گیری شده
- مناطق اندازه‌گیری نشده
- ◆ مناطق ساختمان نشده

شکل ۷-۴- شبکه‌ی مسطحاتی درجه ۲ کشور با شماره‌ی مثلث‌های نقاط

#### توضیحات شکل ۸-۴

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

۲- شامل اطلاعات در مورد نام ایستگاه و نوع سیستم تصویر و شماره قاپ و ...  
 ضمناً در مورد عدد 101-002 نیز باید توضیح داد که 101 شماره‌ی مثلث شبکه‌ی ژئودزی می‌باشد (یکی از مثلث‌هایی که در شکل ۷-۴ موجود هستند) و 002 شماره‌ی نقطه‌ای است که در داخل مثلث 101 می‌باشد.

سازمان نقشه‌برداری کشور

N. C. C.

فهرست نام نقاط و روش‌های ماهواره‌ای

Description of G.P.S. Station

1

شماره	شماره	شماره	شماره	شماره	شماره	شماره	شماره	شماره	شماره
			3						

شماره ردیف

شماره پرونده ملیکاسی

2

نام ایستگاه: آرد تبریزکار

Station: 101-002

Projection: UTM

Zone: 38

Further Information: نام اطلاعات

Geomet. Yellings: نام اطلاعات

Level: نام اطلاعات

Province: آذربایجان شرقی

Photo No.: شماره نقشه ایستگاه

Date of Photography: تاریخ ماهواره‌ای

Photo Scale: مقیاس نقشه

3

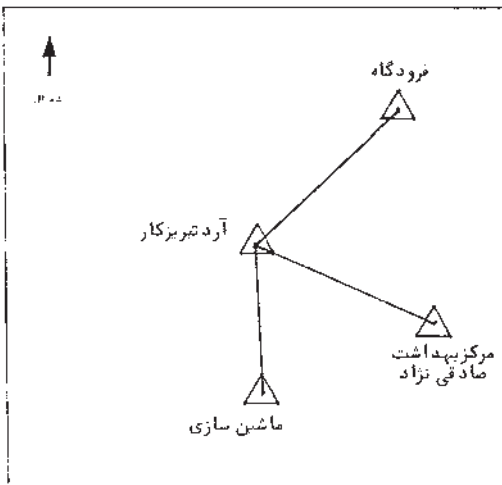
φ	38° 06' 39".553576	N	4218837.5021	m	مختصات	1390.5327	Datum	WGS.84	تاریخ مختصات
λ	46° 13' 28".463922	E	607353.9934	m	مختصات				1377
φ		N			مختصات				تاریخ مختصات
λ		E			مختصات				
φ		N			مختصات				تاریخ مختصات
λ		E			مختصات				

4

1 - برنامه برای بررسی اندازه گیری

تاریخ	نام و نام خانوادگی	تاریخ ارتقا ایستگاه

نام ایستگاه	تاریخ	نام ایستگاه	تاریخ
فرودگاه	46°	2.20 Km	
مرکز بهداشت است	114°	2.10 Km	
ماشین سازی	180°	2.40 Km	



توضیحات:

---



---



---



---



---



---



---



---

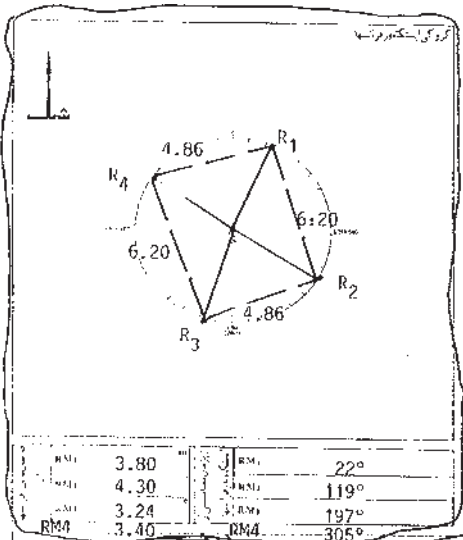


---

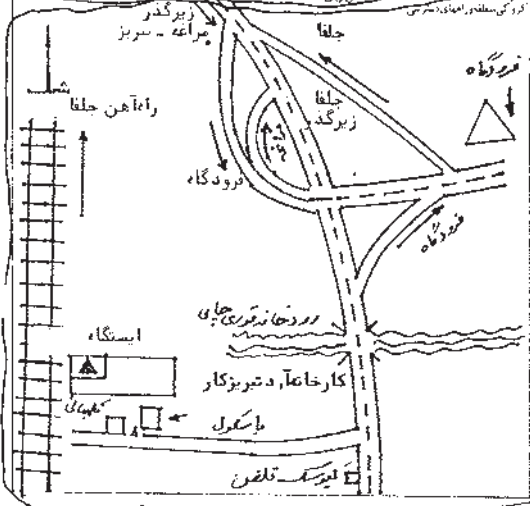


---

شکل ۸-۴- الف



۱- شرح و محاسبه اینکار: اینکار در یک ایستگاه میله ایست. امتیاز بقطر 20 میلیمتر و بطول 7 سانتیمتر که در وسط بتونی با ابعاد 40 x 40 x 12 سانتیمتر قرار گرفته و بر روی میله علامت به علاوه و بر روی بتون حروف NCC ، 101-002 و GPS-3 و چک گردیده است. اینگاه دارای چهار علامت راهنما (Reference Mark) می باشد که همگی به صورت فلش در چهار گوشه ایستگاه که در کنار آنها عبارات RM1 ، RM2 ، RM3 ، RM4 به رنگ قرمز نوشته شده است.



۲- شرح و محاسبه اینکار: اینکار در یک ایستگاه میله ایست. امتیاز بقطر 20 میلیمتر و بطول 7 سانتیمتر که در وسط بتونی با ابعاد 40 x 40 x 12 سانتیمتر قرار گرفته و بر روی میله علامت به علاوه و بر روی بتون حروف NCC ، 101-002 و GPS-3 و چک گردیده است. اینگاه دارای چهار علامت راهنما (Reference Mark) می باشد که همگی به صورت فلش در چهار گوشه ایستگاه که در کنار آنها عبارات RM1 ، RM2 ، RM3 ، RM4 به رنگ قرمز نوشته شده است.

شکل ۸-۴-ب

سازمان نقشه برداری کشور

N.E.P.

شماره دفتر

شناسنامه نقاط ژئودزی ماهواره ای

شماره پروژه	3
-------------	---

ایستگاه

شماره پرونده بایگاری

Description of G.P.S. Station

38

درج

UTM  
Penjplian System

سیستم مختصات

نام ایستگاه مرکز بهداشت صادق نژاد

Station 101-003

مابوابلاعات  
Administrative

نوع زمین دوره جمشید آباد  
General Utiling

From

شهرستان تبریز  
Province

Province

مکان آذربایجان شرقی

شماره نقشه

Date of Photography

سازم عکسبرداری

Photo Scale

مقیاس عکس

Photo No.

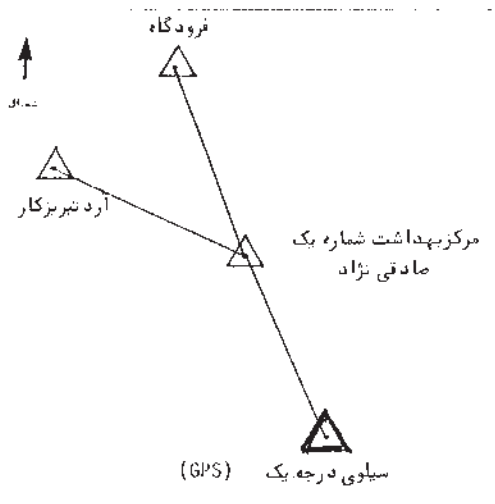
شماره عکس ایستگاه

38° 06' 00".934995	N	4217678.6325 <sup>m</sup>	مختصات طول	1383.0460 <sup>m</sup>	Datum	شماره مختصات طول
46° 15' 05".274778	E	609727.6474 <sup>m</sup>	مختصات عرض		WGS_84	1377
	N		مختصات طول			
	E		مختصات عرض			
	N		مختصات طول			
	E		مختصات عرض			

۱ - مراجعه برای بازاری اندازه گیری :

ایستگاههای فرودگاهی Aerodrom Station	آزیموت Azimuth	فاصله افقی Horizontal Distance	تفاوت ارتفاع ایستگاهها	نام و نام خانوادگی	تاریخ
فرودگاه	340°	2.55 KmL			
آرد تبریزکار	294°	2.10 KmL			
سیلو ایستگاه درجه	156°	3.00 KmL			

۲ - توضیحات :



شکل ۹-۴

۳- 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.

۴- 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.

۵- 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  $114^\circ$  و به فاصله‌ی 2.1 کیلومتری می‌باشد.

۶- 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 پیدا کردن نقطه‌ی اصلی یا محل آن استفاده کرد. ضمناً مواقعی می‌باشد که نقاط در روی سنگ حک شده است از روی این توضیحات می‌توان بی‌برد که جهت دست‌یابی به نقطه‌ی فوق دنبال چه قسمتی باید رفت.

۷- 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 پیدا کردن نقطه‌ی اصلی کافی است ولی سومی و چهارمی و ... برای دقت و کنترل بیش‌تر است.

۸- 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.

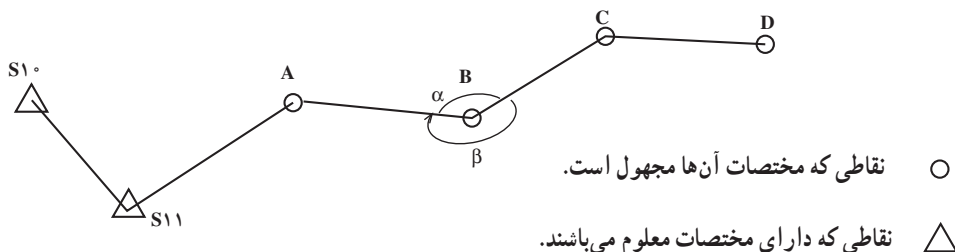
## ۴-۴- روش‌های انتقال مختصات نسبی

روش‌های زیادی برای انتقال مختصات یا به عبارت 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 عنوان 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 دیگر متصل می‌کند. هرکدام از نقاط رئوس این امتدادها را «ایستگاه‌های پیمایش» گویند. برای انتقال مختصات باید فواصل بین ایستگاه‌های پیمایش و امتداد آن‌ها را مشاهده کنیم.

### انواع پیمایش‌ها در نقشه‌برداری

**۱- 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.



شکل ۴-۱

این پیمایش‌ها به راحتی قابل کنترل نیستند و باید با تکرار مشاهدات و انجام مشاهدات اضافی از اشتباهات احتمالی جلوگیری کرد. مثلاً قرائت زوایا به صورت کوپل و چندین بار یا اندازه‌گیری فواصل به صورت دوطرفه و غیره به‌طور کلی 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 در نظر گرفتن زاویه‌ی خارجی به جای زاویه‌ی داخلی و ... باشد. مثلاً شما به‌عنوان نقشه‌بردار زاویه‌ی ایستگاه B را به‌دست آورده باشید و حتی

۱- 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 کویل هم قرائت کنید ولی در محاسبات به جای زاویه ی « $\alpha$ » زاویه ی  $\beta$  را در نظر بگیرید تمام مختصات نقاط بعد از B غلط محاسبه خواهد شد و ما متوجه موضوع نخواهیم شد.

این چنین پیمایش هایی بیش تر در کارهای زیرزمینی مثل تونل ها و معادن استفاده می گردد که ما مجبور به داشتن پیمایش های باز هستیم. شکل ۱۱-۴ نمونه ای از این تونل ها را نشان می دهد که باید به روش های دیگری این پیمایش ها کنترل گردد. مثلاً استفاده از ژيروسکوپ<sup>۱</sup> یا وسایل و تجهیزات دیگر، که در دوره های بالاتر در درس زیرزمینی با آن ها آشنا خواهید شد.

طرح توسعه نیروگاه سد مسجد سلیمان



شکل ۱۱-۴- شکل تونل های طرح توسعه ی نیروگاه سد گدار مسجد سلیمان می باشد که نقشه برداری سهم زیادی در هدایت این تونل ها و رساندن آن ها به همدیگر دارد.

روابط مورد نیاز برای انتقال مختصات بدین روش را نیز در نقشه برداری یاد گرفته اید و در این

قسمت فقط برای حل یک مسئله اکتفا می گردد :

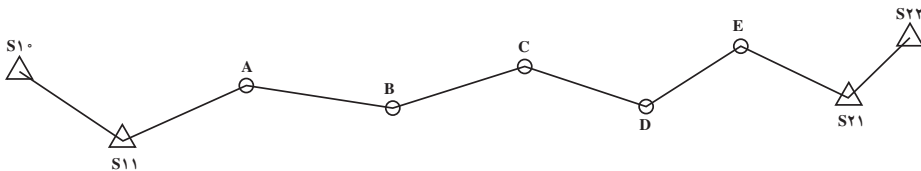


شکل ۱۲-۴- شکل یک ژيروسکوپ که در تونل ها و هدایت آن ها استفاده می شود.

۱- ژيروسکوپ وسیله ای است که می تواند آزیموت هر امتدادی را با دقتی حدود  $15^{\circ}$  -  $20^{\circ}$  به ما بدهد که نمونه ای از آن

را در شکل ۱۲-۴ مشاهده می کنید.

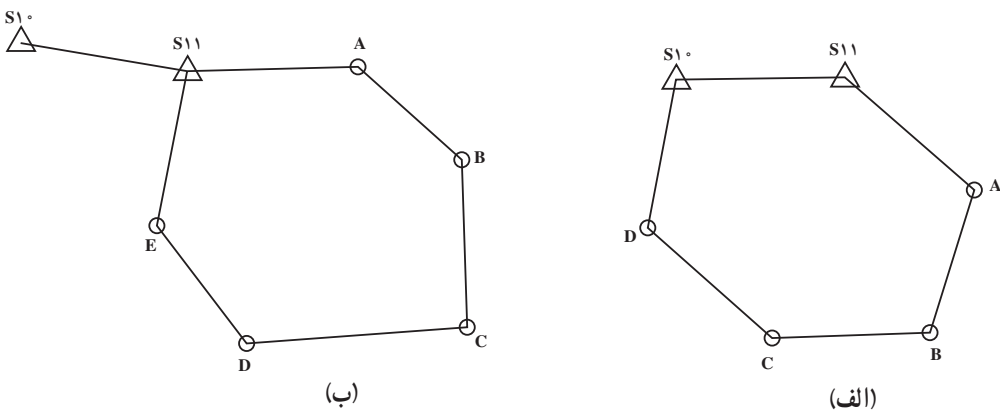
۲- پیمایش بسته (Closed Traverse): در این پیمایش‌ها از دو نقطه‌ی معلوم شروع نموده و در انتها به دو نقطه‌ی معلوم دیگر پیمایش را می‌بندیم. که در این پیمایش نقاط  $S_{10}$  و  $S_{11}$  و  $S_{21}$  و  $S_{22}$  با مختصات معلوم بوده و نقاط A و B و C و D و E نقاط مجهول می‌باشند.



شکل ۴-۱۳

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.

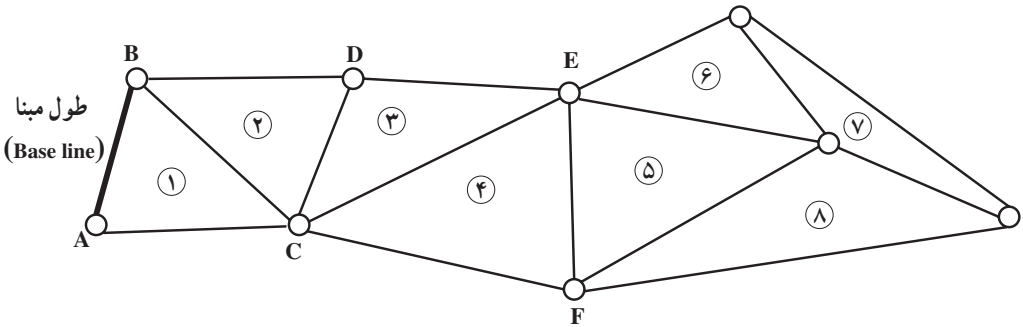
۳- پیمایش‌های حلقوی بسته (Closed Loop Traverse): شکل زیر نمونه‌هایی از این پیمایش‌ها را نشان می‌دهد.



شکل ۴-۱۴

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

ب- مثلث بندی (*Triangulation*): روش دیگری از انتقال مختصات روش مثلث بندی می باشد در این روش مشاهدات، زاویه ها می باشند و فقط یک یا دو طول مبنای با دقت بیش تری اندازه گیری می گردد. شکل زیر نمونه ای از این روش را نشان می دهد.



شکل ۱۵-۴

همان طوری که می دانید با سه زاویه مثلث قابل حل نمی باشد لذا فقط با اندازه گیری زوایا یا ما نمی توانیم انتقال مختصات را انجام دهیم ولی با داشتن یک طول مبنا، دیگر مشکل قابل حل می باشد. مثلاً در شکل بالا با داشتن طول مبنا و زوایای مثلث شماره ی 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 بیش تر دقت و استحکام شبکه را بالا می برد.

این پیمایش ها بیش تر در نقشه برداری مناطق وسیع مورد استفاده قرار می گیرد.

ج- سه ضلع بندی (*Trilateration*): در این روش برای انتقال مختصات از مشاهدات

طول استفاده می کنیم با وجود دستگاه های EDM (Electronic Distance Measurement) کار سه ضلع بندی رواج بیش تری یافت زیرا اندازه گیری طولها را با دقت و سرعت بیش تری می توانیم انجام دهیم. در این روش باید طولها نسبت به خطاهای سیستماتیک دستگاه EDM و اثرات

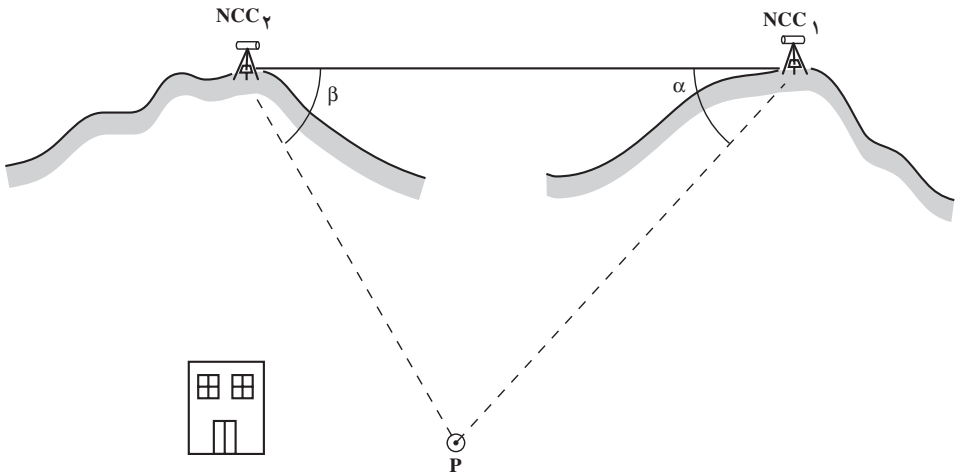
اتمسفریک و ... تصحیح گردند.

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

د - روش تقاطع (*Intersection*): روش تقاطع برای تعیین موقعیت نسبی، زمانی به کار 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:

۱- تقاطع با دو زاویه

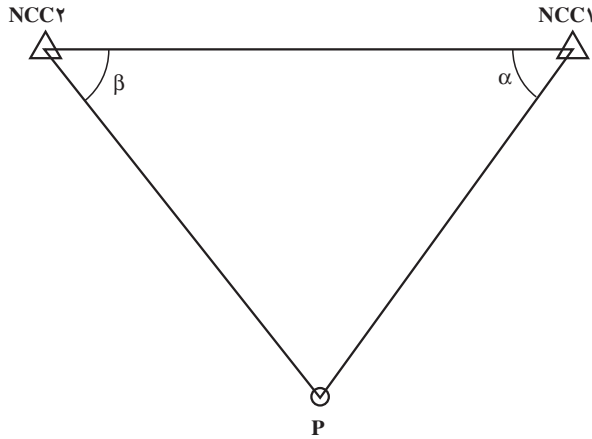
۲- تقاطع با دو ضلع



شکل ۱۶-۴

به عنوان 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 ۱۷-۴ خواهد بود: برای به‌دست‌آوردن مختصات  $P$  به دو روش می‌توانیم عمل کنیم:

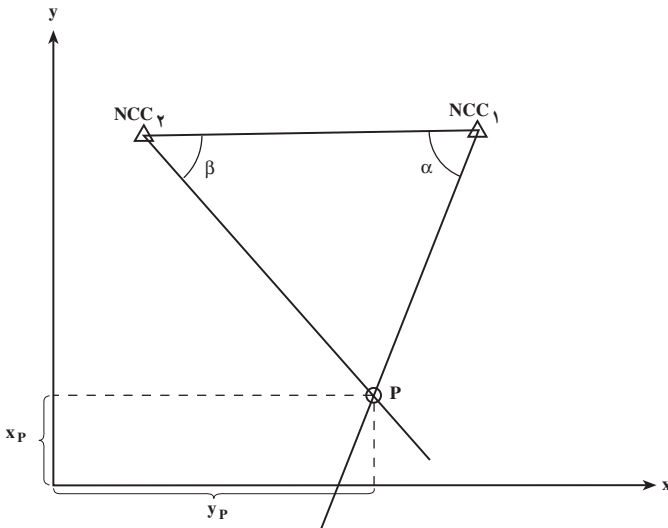
الف - روش ترسیمی                      ب - روش محاسباتی



شکل ۴-۱۷

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

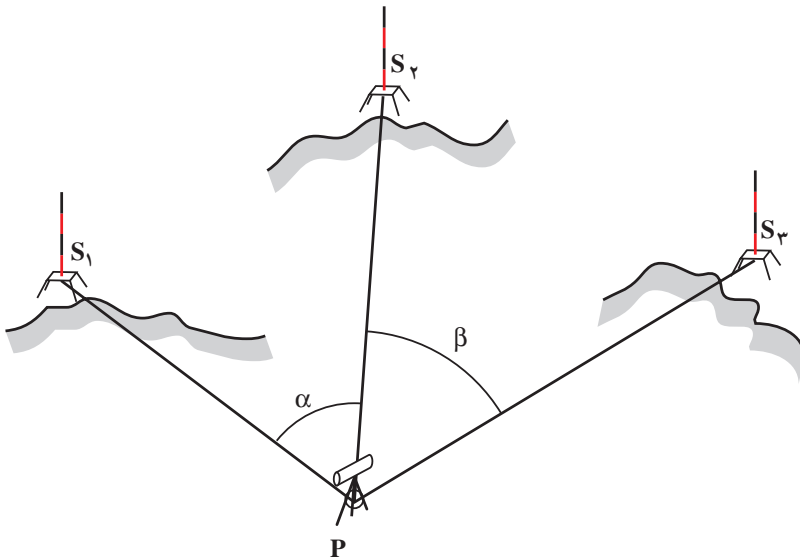
روش ترسیمی بدین صورت است که در یک سیستم مختصات نقاط  $NCC_1$  و  $NCC_2$  را با توجه به مختصات معلوم آن‌ها مشخص می‌کنیم و سپس از نقطه‌ی  $NCC_1$  زاویه‌ی  $\alpha$  را نسبت به امتداد  $NCC_1-NCC_2$  جدا می‌کنیم و سپس از نقطه‌ی  $NCC_2$  هم نسبت به امتداد  $NCC_2-NCC_1$  زاویه‌ی  $\beta$  را جدا می‌کنیم.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



شکل ۴-۱۸

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 — ترفیع (*Resection*): در این روش روی نقطه‌ی مجهول مستقر شده و به سه نقاط با مختصات معلوم نشانه‌رووی کرده و دو زاویه‌ی  $\alpha$  و  $\beta$  را قرائت می‌کنیم (شکل ۴-۱۹).



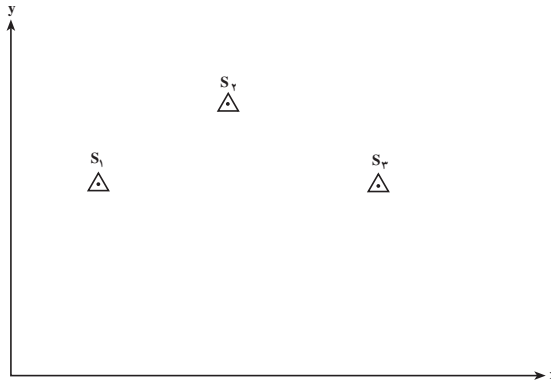
شکل ۴-۱۹

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  $\alpha$  و  $\beta$  نیز در اینجا فقط روش

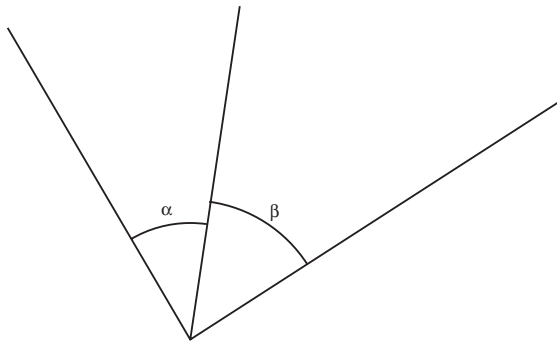
ترسیمی را بیان می‌کنیم :

روش ترسیمی تقریبی: سه نقطه ی  $S_1$  و  $S_2$  و  $S_3$  را روی یک سیستم مختصات با توجه به مختصات رسم می کنیم (شکل ۴-۲۰).



شکل ۴-۲۰

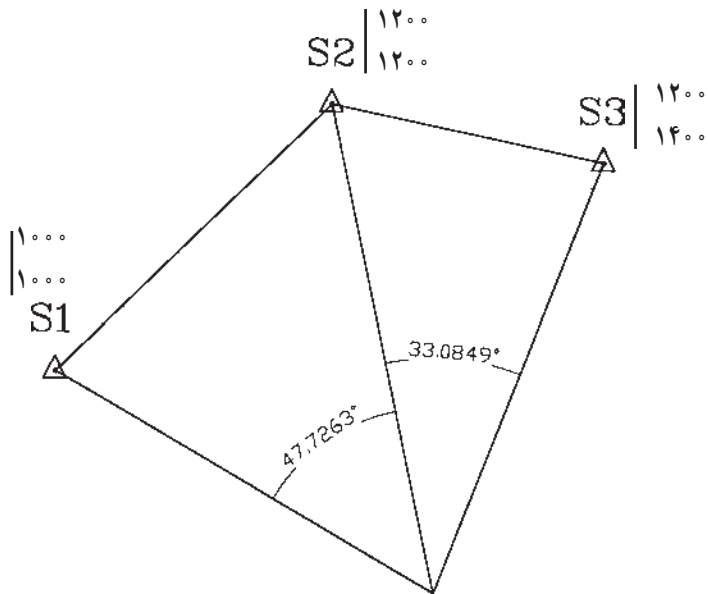
سپس در روی یک صفحه کاغذ دیگر از یک نقطه ی دلخواه با نقاله سه امتداد با زوایای  $\alpha$  و  $\beta$  را ترسیم می کنیم.



شکل ۴-۲۱

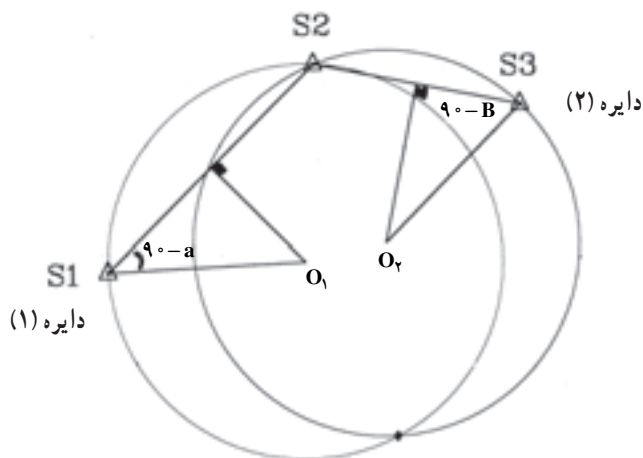
این صفحه ی کاغذ را برداشته و روی شکل ۴-۲۰ می لغزانیم تا امتدادها از نقاط  $S_1$  و  $S_2$  و  $S_3$  عبور کنند سپس نقطه ی P را روی شکل ۴-۲۰ علامت گذاری نموده و مختصات آن را استخراج می کنیم.

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



شکل ۴-۲۲

روش ترسیمی دقیق: برای به دست آوردن مختصات P عمود منصف هر کدام از امتدادهای  $S_1 S_2$  و  $S_2 S_3$  را رسم می کنیم. عمود منصف مکان هندسی مرکز دایره ای است که از دو سر یک امتداد می گذرد.



شکل ۴-۲۳



اما ما دنبال دایره‌ای هستیم که از هر نقطه‌ی آن به دوسر امتداد  $S_1 S_2$  وصل کنیم زاویه‌ی  $\alpha$  را تشکیل دهد برای این هدف باید از  $S_1$  امتدادی را با زاویه‌ی  $\alpha - 90^\circ$  و از  $S_3$  نیز  $90^\circ - \beta$  را جدا کنیم تا عمود منصف‌ها را در  $O_1$  و  $O_2$  قطع کند به مرکز  $O_1$  به شعاع  $O_1 S_1$  دایره‌ی (۱) را می‌زنیم که مکان هندسی نقاطی است که اگر به  $S_1$  و  $S_2$  وصل شود تشکیل زاویه‌ی  $\alpha$  را خواهد داد و به همین ترتیب دایره‌ی (۲) مکان هندسی نقاطی است که اگر به  $S_3$  و  $S_4$  وصل شوند تشکیل زاویه‌ی  $\beta$  را خواهند داد پس تقاطع آن‌ها موقعیت نقطه‌ی P خواهد بود.

شما همین کار را در نرم‌افزارهای ترسیمی عمل کنید به مختصات  $\begin{matrix} 170^\circ \\ 60^\circ \end{matrix}$  خواهید رسید.

## خودآزمایی

- ۱- تعیین موقعیت نسبی را تعریف کنید.
- ۲- انتقال موقعیت ارتفاعی را توضیح دهید.
- ۳- شبکه‌ی ارتفاعی را توضیح دهید.
- ۴- کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی یک را بیان کنید.
- ۵- کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی دو را بیان کنید.
- ۶- کاربردهای شبکه‌ی ارتفاعی درجه‌ی سه را بیان کنید.
- ۷- انواع روش‌های اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع را به اختصار شرح دهید.
- ۸- نحوه‌ی تعریف یک سیستم مختصات را برای انتقال موقعیت مسطحاتی

شرح دهید.

- ۹- روش‌های انتقال مختصات نسبی را نام ببرید.
- ۱۰- پیمایش را تعریف کرده، انواع آن را نام ببرید.
- ۱۱- روش پیمایش باز را شرح دهید.
- ۱۲- روش پیمایش بسته را شرح دهید.
- ۱۳- روش مثلث‌بندی را برای انتقال مختصات شرح دهید.
- ۱۴- روش سه ضلع بندی را برای انتقال مختصات شرح دهید.
- ۱۵- روش تقاطع را برای انتقال مختصات شرح دهید.
- ۱۶- روش ترفیع را برای انتقال مختصات شرح دهید.
- ۱۷- نقاط رفرانس را شرح دهید.

## آیا می‌دانید؟

### دکتر سید محمود حسابی

در سال ۱۳۸۱ (ه.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، اشraf 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 می‌کردند. استاد هم چنین در رشته‌های پزشکی، ریاضیات و ستاره‌شناسی به تحصیلات آکادمیک پرداختند. شرکت راهسازی فرانسوی که استاد در آن مشغول به کار بودند، به پاس قدردانی از زحماتشان، ایشان را برای ادامه‌ی تحصیل به کشور فرانسه اعزام کرد و بدین ترتیب در سال ۱۹۲۴ (م) به مدرسه عالی برق پاریس وارد و در سال ۱۹۲۵ (م) فارغ‌التحصیل شدند. همزمان با تحصیل در رشته‌ی معدن، در راه‌آهن برقی فرانسه مشغول به کار گردیدند و پس از پایان تحصیل در این رشته کار خود را در معدن آهن شمال فرانسه و معادن زغال سنگ ایالت «سار» آغاز کردند. سپس به دلیل وجود روحیه‌ی علمی، به تحصیل و تحقیق، در دانشگاه سوربن، در رشته‌ی فیزیک پرداختند و در سال ۱۹۲۷ (م) در سن بیست و پنج سالگی دانشنامه دکترای فیزیک خود را، با ارائه رساله‌ای تحت عنوان «حساسیت سلول‌های فتوالکتریک»، با درجه‌ی عالی دریافت کردند. ایشان در چند رشته ورزشی موفقیت‌هایی کسب نمودند که از آن میان می‌توان به دیپلم نجات غریق در رشته‌ی شنا اشاره نمود. پروفیسور حسابی به دلیل عشق به میهن و با وجود امکان ادامه‌ی تحقیقات در خارج از کشور به ایران بازگشت و با ایمان و تعهد، به خدمتی خستگی‌ناپذیر پرداخت تاجوانان ایرانی را با علوم نوین آشنا سازد. پایه‌گذاری علوم نوین و تأسیس دارالمعلمین و دانشسرای عالی، دانشکده‌های فنی و علوم دانشگاه تهران،

نگارش ده‌ها کتاب و جزوه و راه‌اندازی و پایه‌گذاری 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 واژه‌گزینی علمی در برابر هجوم لغات خارجی و نیز پایه‌گذاری مراکز آموزشی، پژوهشی، تخصصی، علمی و ...، دو نمونه از اقدامات ارزشمند استاد در رابطه با نقشه‌برداری عبارتند از:

- اولین نقشه‌برداری فنی و تخصصی کشور (راه بندرلنگه به بوشهر)

- اولین راهسازی مدرن و علمی ایران (راه تهران به شمشک)

نقل از: <http://www.hessaby.com>

### نقشه و تعیین موقعیت بر روی آن

#### (Map and Positioning)

- هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل فراگیر باید بتواند:
- ۱- با اطلاعات نقشه آشنا شود و مشخصات آن را توضیح دهد.
  - ۲- اسم و عنوان نقشه را تعریف کند.
  - ۳- مقیاس نقشه را شرح دهد.
  - ۴- سیستم تصویر و شبکه‌ی نقشه را توضیح دهد.
  - ۵- با ارتفاعات در نقشه و نمایش آن‌ها آشنا شود.
  - ۶- راهنمای اتصال نقشه را توضیح دهد.
  - ۷- با مختصات جغرافیایی آشنا شود.
  - ۸- مختصات جغرافیایی یک نقطه‌ی معلوم داده شده را بر روی نقشه پیدا کند.
  - ۹- با شبکه‌ی قائم‌الزاویه در سیستم UTM آشنا شود.
  - ۱۰- موقعیت یک نقطه‌ی معلوم در شبکه‌ی قائم‌الزاویه UTM را بر روی نقشه به دست آورد.

#### مقدمه

اگر به اطرافتان نگاه کنید، انواع مختلفی از نقشه را خواهید دید. نقشه‌ها تقریباً همه چیز را نشان می‌دهند. از تعداد خانه‌ها در یک شهر گرفته تا شهرها در یک کشور و یا محل عملیات جنگی، تعداد انسان‌های مستقر در یک محل و یا وضعیت آب و هوا، به دلیل تغییرات سریع روی زمین مرتباً نقشه‌های جدید با اطلاعات روز ترسیم می‌شوند. بیشتر نقشه‌هایی که ما استفاده می‌کنیم از خشکی‌ها و دریا‌های کره‌ی زمین می‌باشند. نقشه می‌تواند به ما در پیدا کردن یک محل کمک کند. در این فصل

با انواع نقشه و مشخصات حاشیه‌ای آن آشنا می‌شویم و سپس نحوه‌ی انجام تعیین موقعیت بر روی نقشه را فرامی‌گیریم.

## ۱-۵- اطلاعات نقشه

نقشه‌ای که به صورت نهایی عرضه می‌گردد از دو قسمت تشکیل یافته است :

۱- اطلاعات مصور که در واقع، محتوای اصلی نقشه است.

۲- اطلاعاتی که برای راهنمایی استفاده‌کننده، در حاشیه‌ی نقشه قرار داده می‌شود.

حاشیه‌ی نقشه عموماً اطلاعات مهمی را دربر دارد که از روی آن می‌توان به کیفیت و دقت نقشه پی برد. هدف از گنجاندن اطلاعات در حاشیه‌ی نقشه، دو چیز است: اول این که به وسیله‌ی آن می‌توان به محل و موضوع نقشه، علائم و... پی برد و دیگر این که وجود چنین اطلاعاتی مبین نظم و ترتیب و سازمان دادن گرافیکی یک نقشه است. با اضافه کردن اطلاعات حاشیه، نقشه گویاتر و کامل‌تر می‌شود. شکل ظاهری و نحوه‌ی پراکندگی اطلاعات حاشیه، بر روی سیمای ظاهری و کلی نقشه اثر می‌گذارد. اگرچه طراحی علائم موجود در نقشه از جمله مباحثی است که احتیاج به دقت زیادی دارد، نمایش اطلاعاتی که جنبه کمکی و راهنمایی دارد و در داخل قطع نقشه و یا به عبارت دیگر در اطراف زمینه‌ی اصلی نقشه گنجانده می‌شود، قابل تعمق و بررسی است و در حقیقت، قسمتی از طراحی کلی نقشه را تشکیل می‌دهد. مشکلات طراحی حاشیه‌ی نقشه برای نقشه‌های تک‌برگی و پوششی در مقایسه با نقشه‌ی موجود در کتاب یا اطلس‌ها به مراتب مشکل‌تر است. معمولاً، در کلیه‌ی نقشه‌ها زمینه‌ی اصلی نقشه در داخل کادری قرار می‌گیرد که این خطوط اطلاعات اصلی نقشه را از اطلاعات حواشی جدا می‌نماید. موارد استثنایی هم وجود دارد؛ مثلاً، در بعضی مواقع، اطلاعات جغرافیایی نقشه خطوط کادر را قطع می‌نمایند. در نقشه‌های توپوگرافی، چارت‌ها و حتی نقشه‌های موضوعی، خود کادر نقشه، حاوی نکاتی است که مربوط به اطلاعات اصلی نقشه می‌گردد. قاعدتاً نقشه‌ها در داخل دو کادر قرار می‌گیرند؛ یکی کادر اصلی یا داخل نقشه که بسیار ظریف است و درجات شبکه در روی آن تقسیم‌بندی می‌شود و خطوط معرف شبکه‌ی جغرافیایی به فاصله‌ی ۱/۵ تا ۲ سانتی‌متر از آن ترسیم می‌گردد، دیگری کادر جانبی که ضخیم است و کلیه‌ی اطلاعات مربوط به حاشیه‌ی نقشه در داخل آن قرار می‌گیرد (شکل ۱-۵). فضایی که بین این دو خط وجود دارد به ارقام مربوط به شبکه‌ها و اطلاعات اضافی که به شناسایی جزئیات موجود در نقشه کمک می‌نماید، اختصاص دارد. این اطلاعات، ممکن است شامل مواردی نظیر جهت راه‌ها و انواع آن، اسامی‌ای

که بتوان در داخل نقشه گنجانند و در نقشه‌های کوچک مقیاس کدهای اختصاصی برای تعیین موقعیت مکان‌ها باشد. موقعیت و رابطه‌ی این اطلاعات باید طوری طراحی شود که نشان‌دهنده‌ی قسمتی از اطلاعات اصلی نقشه باشد و روی آن تأکید اضافی صورت نگیرد. در بعضی از نقشه‌های یک‌برگی ممکن است اطلاعات اصلی نقشه کاملاً کادر اصلی را قطع ننماید، در این صورت، می‌توان اطلاعات حاشیه‌ی نقشه را در داخل همان کادر جای داد. در نقشه‌های پوششی و سایر نقشه‌ها موقعی که اطلاعات اصلی، کلیه‌ی قسمت‌های کادر را اشغال می‌نماید، باید اطلاعات حاشیه‌ی نقشه در خارج آن قرار گیرد، به طوری که قطع کل نقشه، یعنی زمینه‌ی اصلی و حاشیه به اندازه‌ای باشد که اجازه‌ی چاپ آن را بدهند.



شکل ۵-۱

تعداد و کیفیت اطلاعات حاشیه بستگی به نوع نقشه دارد و هر قدر عوارض و اطلاعات در نقشه زیادتر باشد، به همان اندازه ممکن است توضیحات حواشی بیشتر گردد. موقعیت و مکان اطلاعات حاشیه بستگی به قطع و فضای اضافی نقشه دارد. به منظور فهم بهتر مطالب موجود در نقشه، به خصوص نقشه‌هایی که به وسیله‌ی کشورهای مختلف تهیه می‌شود، توافق‌های بین‌المللی در مورد محتوای اطلاعات حاشیه‌ای انجام گرفته است. اطلاعاتی که می‌تواند در حاشیه‌ی نقشه گنجانده شود به صورت کتابچه‌هایی طبقه‌بندی شده است که بنا به فضای موجود در حاشیه، هدف و مقیاس نقشه، درج می‌گردد. با این حال، تعیین فرم و الگوی خاصی برای اطلاعات حاشیه‌ی نقشه هنوز هم جنبه‌ی اختیاری دارد و کار توگراف طبق میل و سلیقه‌ی خود و با در نظر گرفتن اصول کلی، اطلاعات حاشیه را طراحی می‌نماید.

شکل ۲-۵ امکان قرار دادن اطلاعات حاشیه را در موقعیت‌های مختلف نشان می‌دهد.



شکل ۲-۵- امکان قرار گرفتن اطلاعات در حاشیه‌ی نقشه



## ۲-۵- تعداد اطلاعات حاشیه‌ی نقشه

تعداد اطلاعاتی که باید در حاشیه‌ی یک نقشه جای داد تا باعث گویا شدن آن گردد، بستگی به نوع نقشه دارد. به‌طور کلی، موارد زیر از جمله اطلاعاتی است که در بیش‌تر نقشه‌های توپوگرافی یافت می‌شود:

۱- اسم و عنوان نقشه

۲- شماره‌ی سری

۳- شماره‌ی برگه

۴- تجدید چاپ

۵- مقیاس

۶- علایم

۷- ارتفاعات

۸- سیستم تصویر و شبکه

۹- شمال‌ها

۱۰- راهنمای اتصال نقشه

۱۱- توضیحات مربوط به مرزها

۱۲- نام مؤسسه‌ی تولید و چاپ نقشه

۱۳- نحوه‌ی تهیه‌ی نقشه

به‌طوری که اشاره شد، حذف بعضی از این اطلاعات در رابطه با موضوع نقشه و کاربرد آن صورت می‌گیرد. مثلاً، نقشه‌هایی که برای چاپ در کتاب در نظر گرفته می‌شود، عموماً ساده‌اند و احتیاج به اطلاعات حاشیه‌ای زیادی ندارد. برعکس، نقشه‌های تک‌برگی موضوعی و یا نقشه‌های توپوگرافی دارای اطلاعات حاشیه‌ای کاملی می‌باشند.

۲-۵- اسم و عنوان نقشه: هر نوع نقشه، اعم از توپوگرافی یا غیرتوپوگرافی، بزرگ مقیاس یا کوچک مقیاس، آماری یا موضوعی، حتماً باید دارای عنوان باشد. اسم نقشه، مبین معانی مختلفی است.

عنوان نقشه معمولاً معرف موقعیت منطقه و یا موضوع نقشه است که می‌توان اهمیت آن را به برحسب‌های روی دارو تشبیه نمود. تعیین فرم و الگوی خاص برای عنوان نقشه کار بسیار مشکلی است و بستگی به موضوع و هدف نقشه دارد. مثلاً، برای نقشه‌ای که تراکم جمعیت مناطق مزروعی

ایران در هر کیلومتر مربع برای سال ۱۳۶۰ را نشان می‌دهد، می‌توان عناوین زیر را در موقعیت‌های مختلف در نظر گرفت.

الف - اگر نقشه بخواهد در کتابی چاپ شود که هدف آن، مقایسه‌ی جمعیت کشورهای مختلف باشد و نقشه‌های دیگری هم درباره‌ی این موضوع، مربوط به سایر کشورها در کتاب آورده شده باشد، انتخاب کلمه‌ی «ایران» برای عنوان نقشه کافی خواهد بود.

ب - اگر نقشه برای مطالعات مربوط به موقعیت تغذیه در آسیا مورد استفاده قرار بگیرد و بخواهیم آن را به‌عنوان مدرک و سندی در رساله‌ای مصرف نماییم، عنوان زیر مناسب خواهد بود.

## ایران

### جمعیت مناطق مزروعی در کیلومتر مربع

ج - چنان‌چه نقشه در نشریه‌ای که اختصاص به رشد جمعیت ایران دارد چاپ گردد، عنوان زیر را می‌توان انتخاب نمود:

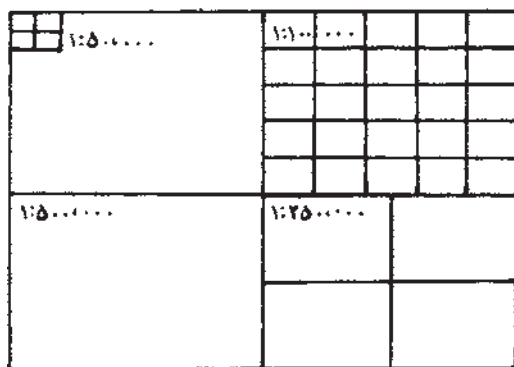
### جمعیت مناطق مزروعی در کیلومتر مربع

سال ۱۳۶۰

که در این حالت، منطقه‌ی مورد مطالعه از قبل شناخته شده است و فقط باید در آن، روی تاریخ، آمار، یعنی، سال ۱۳۶۰، تأکید نمود و در عنوان گنجانند. البته، همین عنوان می‌تواند شکل‌های دیگری هم داشته باشد که به تناسب موقعیت و هدف نقشه طراحی می‌گردد. به غیر از کلمات مربوط به اسم نقشه، شکل، اندازه و میل حروف هم باید مورد توجه قرار گیرد و متناسب با اندازه، اهمیت و هدف نقشه انتخاب گردد. در مورد نام‌گذاری نقشه، عموماً استفاده‌کننده علاقه‌مند است که نقشه بر مبنای عارضه‌ی مهم موجود در منطقه نام‌گذاری شود. به‌طوری که اشاره شد، عنوان نقشه معمولاً نوع نقشه و منطقه‌ی مورد نظر را بیان می‌دارد، مثل «نقشه‌ی زمین‌شناسی ایران»، «نقشه‌ی جهان‌نما» و «پلان تهران». در نقشه‌های توپوگرافی پوششی کشور که متعلق به مناطق مختلف خواهد بود به غیر از شماره‌ی سری که مشخص‌کننده‌ی نوع نقشه است، از اسم منطقه به‌جای عنوان نقشه استفاده می‌شود. برای مثال، در نقشه‌های توپوگرافی ۱:۲۵۰۰۰۰ پوششی ایران، نقشه‌ها برحسب نام منطقه، نظیر

«یزد»، «سراوان»، «کبودرآهنگ» و... عنوان بندی شده‌اند. واضح است که اندازه‌ی عنوان نقشه باید درشت، مشخص و خوانا باشد تا بیننده بتواند به راحتی آن را بخواند. معمولاً، عنوان نقشه در قسمت شمالی نقشه و در وسط یا در قسمت راست نوشته می‌شود و به منظور تسهیل در پیدا نمودن نقشه‌ی مورد نظر در قفسه‌های بایگانی، اسم نقشه در پایین نقشه به اندازه‌ی کوچک تر تکرار می‌گردد. چنانچه نقشه‌های پوششی با مقیاس‌های مختلف به وسیله‌ی یک سازمان تهیه گردد، معمولاً کلیه‌ی نقشه‌ها از یک سیستم مبنایی پیروی می‌نمایند و تقسیم بندی طوری صورت می‌گیرد که مطابق شکل ۳-۲ می‌توان برکه‌های بزرگ مقیاس را از روی نقشه‌های کوچک مقیاس مشخص نمود.

۲-۲-۵- شماره‌ی سری و شماره‌ی برگه و شماره‌ی تجدید چاپ: چنانچه نقشه پوششی باشد، باید حتماً شماره‌ی سری داشته باشد. نحوه‌ی انتخاب اعداد و حروف مربوط به سری نقشه متفاوت است و در رابطه با مقیاس، تعداد نقشه و موقعیت محل تعیین می‌شود. معمولاً مؤسسات بزرگ دستورالعمل‌هایی در این زمینه دارند؛ مثلاً، نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ پوششی ایران دارای شماره‌ی سری K۵۵۱ می‌باشد.

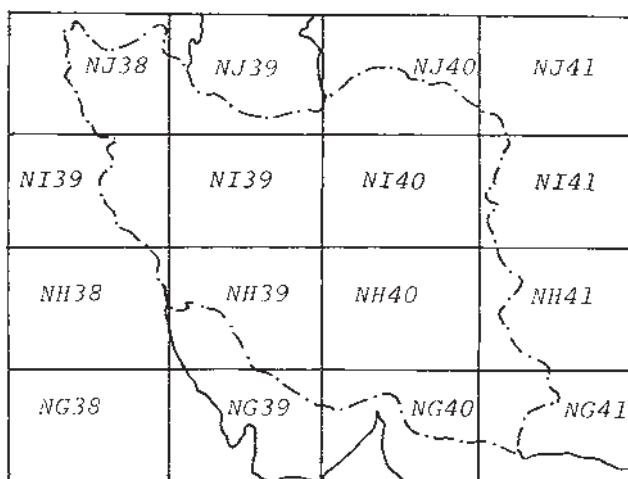


شکل ۳-۵- قطع نقشه و رابطه‌ی آن با مقیاس نقشه

هر برگ نقشه که جزو یک سری نقشه‌های پوششی انتشار می‌یابد، باید دارای شماره‌ای باشد که به وسیله‌ی آن بتوان موقعیت نقشه یا به عبارت دیگر، موقعیت منطقه‌ی مورد نظر را نسبت به سایر مناطق مشخص نمود. مثلاً، شماره‌ی برگه‌های نقشه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰۰ جهانی که قسمتی از ایران را می‌پوشاند، به شرح زیر است:

در نقشه‌های یک میلیونم، کره‌ی زمین به دو نیمکره‌ی شمالی و جنوبی و هر نیمکره از استوا به طرف قطب به وسیله‌ی مدارات به مناطق به عرض ۴ درجه تقسیم گردیده است. تقسیمات مزبور تا

مدار ۸۸ درجه‌ی شمالی و جنوبی ادامه پیدا می‌کند. به این ترتیب، هر نیمکره شامل ۲۲ منطقه می‌گردد. این مناطق را از استوا تا مدار ۸۸ درجه با حروف A تا V نمایش می‌دهند و حرف Z مربوط به منطقه‌ی قطبی است. کلیه‌ی مناطق مربوط به نیمکره‌ی شمالی با حرف N و مناطق نیمکره‌ی جنوبی با حرف S نشان داده می‌شود. بنابراین، منطقه‌ای در نیمکره‌ی شمالی که محدود به مدارات ۲۴ و ۲۸ درجه است با NG مشخص خواهد شد. ایران که بین مدارات ۲۴ تا ۴۰ درجه‌ی شمالی واقع شده است، حروف NG، NH، NI و NJ را شامل می‌شود (شکل ۴-۵).

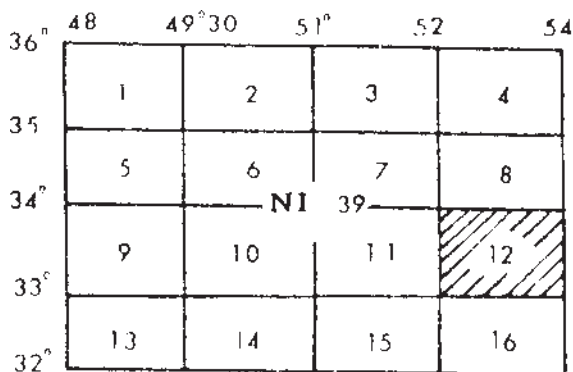


شکل ۴-۵. شماره‌گذاری برگه‌های ۱:۱۰۰۰۰۰۰ بوششی جهانی از ایران

هم‌چنین، کره‌ی زمین به وسیله‌ی نصف‌النهاراتی که فاصله‌ی آن‌ها از هم ۶ درجه است به ۶۰ منطقه (ZONE) تقسیم می‌شود. این مناطق، از ۱ تا ۶۰ شماره‌بندی می‌شود و جهت این شمارش از نصف‌النهار ۱۸۰ درجه (نصف‌النهار مقابل گرینویچ) به طرف مشرق است. با این ترتیب، شماره‌ی ۱ مربوط به منطقه‌ی واقع بین نصف‌النهارات ۱۸۰ درجه و ۱۷۴ درجه‌ی غربی است و بقیه‌ی شماره‌ها در جهت غرب اضافه می‌گردد؛ یعنی، منطقه‌ی شماره‌ی ۶۰ محدود به نصف‌النهارات ۱۷۴ درجه‌ی شرقی و ۱۸۰ درجه است. کشور ایران که بین نصف‌النهارات ۴۲ تا ۶۶ درجه‌ی شرقی قرار گرفته شماره‌های ۳۸ تا ۴۱ را کسب می‌نماید. بدین ترتیب، هر برگ نقشه، با دو حرف لاتین که نماینده‌ی مختصات محل از نظر عرض جغرافیایی و یک عدد که معرف منطقه از نظر نصف‌النهار است، مشخص می‌شود. مثلاً، شماره‌ی نقشه یک میلیونیم مربوط به تهران NI39 است (شکل ۴-۵).

همین تقسیم‌بندی در مورد نقشه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ بوششی ایران به کار رفته است؛ یعنی، هر

برگ نقشه یک میلیونیم مطابق شکل ۵-۵ به ۱۶ برگ به مقیاس ۱:۲۵۰۰۰۰ تقسیم گردیده و از ۱ تا ۱۶ شماره گذاری می‌شوند و در نتیجه، برای شماره گذاری هر برگ نقشه یکی از اعداد ۱ تا ۱۶ را به شماره‌ی نقشه یک میلیونیم اضافه می‌نماییم. مثلاً، منطقه‌ای که در شکل ۵-۵ مشخص شده است، دارای شماره‌ی NI39-12 است.



شکل ۵-۵- شماره گذاری برگه‌های ۱:۲۵۰۰۰۰ ایران

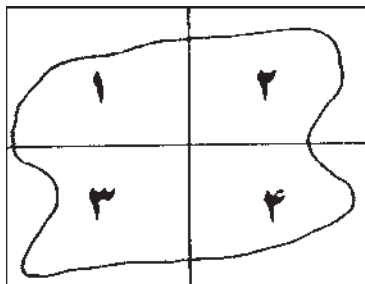
غالباً تجدید چاپ را با رقم مشخص می‌نمایند؛ مثلاً، چاپ اول یا چاپ دوم و... خود چاپ اولیه‌ی نقشه هم با حروف مشخص می‌گردد. باید توجه داشت که تجدید چاپ به آن معنی نیست که محتوای نقشه و احیاناً نوع نقشه تغییر یافته است، بلکه منظور از آن، فقط چاپ دوباره‌ی آن است. برای این که استفاده کننده به راحتی بتواند نقشه را بایگانی کند و مورد مصرف قرار دهد، معمولاً سه رقم مربوط به شماره‌ی سری، شماره‌ی نقشه و شماره‌ی چاپ در داخل یک کادر آورده می‌شود. نحوه‌ی قرار گرفتن این سه عدد بستگی به فضای حاشیه‌ی نقشه دارد که دو نمونه از آن در این جا نشان داده می‌شود:

مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰		مقیاس ۱:۲۵۰,۰۰۰	
ایران	تهران	ایران	شیراز
K 551	سری	K 551	سری
NI 39-3	برگ	NH 39-12	برگ
چاپ دوم سازمان جغرافیایی کشور		چاپ دوم سازمان جغرافیایی کشور	

شکل ۵-۷

شکل ۵-۶

در مورد نقشه‌های غیرپوششی، شماره‌گذاری نقشه به مراتب ساده‌تر است؛ مثلاً، اگر منطقه‌ای در چهار برگ نشان داده شود، مطابق شکل ۸-۵ به راحتی می‌توان آن‌ها را شماره‌گذاری کرد.

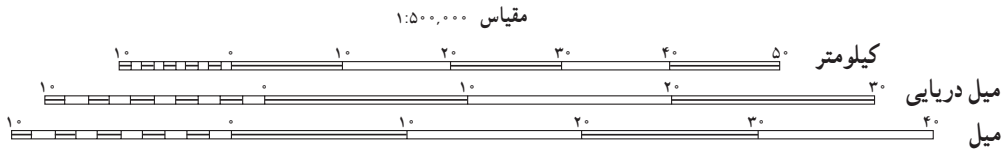


شکل ۸-۵ شماره‌گذاری برگه‌های غیرپوششی

**۳-۲-۵- مقیاس (Scale):** مقیاس نقشه در رابطه با نوع نقشه از اهمیت خاصی برخوردار است. در نقشه‌هایی که در آن‌ها هدف نشان دادن راه‌ها یا خطوط راه‌آهن، راه‌های هوایی یا به‌طور کلی فواصل است، نمایش مقیاس از جمله عواملی است که استفاده‌کننده به آن نیازمند است. در چنین مواردی، مقیاس باید در جای مناسبی از نقشه گنجانده شود و طوری ترسیم گردد که استفاده‌کننده بتواند به راحتی آن را به کار گیرد. روش‌های نمایش مقیاس در نقشه‌ها متفاوت است. در تعدادی از نقشه‌ها، مخصوصاً نقشه‌های بزرگ مقیاس، نوشتن مقیاس کسری یا عددی مفید خواهد بود. چنانچه نقشه از طریق عکاسی کوچک گردد و به فرم نهایی ارائه شود، باید توجه داشت که مقیاس عددی یا کسری قید شده روی نقشه، مقیاس نهایی (کوچک شده) باشد، نه مقیاسی که ترسیم نقشه با آن شروع شده است. برای مثال، وقتی که نقشه‌ای با مقیاس  $1:50000$  ترسیم گردیده و سپس به وسیله‌ی عکاسی تبدیل به مقیاس  $1:100000$  شده، قبل از عمل عکاسی باید به جای عدد  $1:50000$  عدد  $1:100000$  را روی نقشه نوشت تا مقیاس روی نقشه‌ی نهایی نمایانگر مقیاس واقعی نقشه باشد. یکی از روش‌های متداول نمایش مقیاس، کشیدن مقیاس ترسیمی است که برای نقشه‌های کوچک مقیاس بسیار مفید خواهد بود؛ زیرا در این گونه نقشه‌ها، مقیاس عددی دارای مفهوم دقیقی نیست و نمی‌توان به‌طور دقیق به اندازه‌های واقعی رسید. گذشته از آن، مقیاس عددی ممکن است عدد روندی نباشد.

از محسنات مقیاس ترسیمی این است که وقتی نقشه به‌طریق عکاسی کوچک می‌گردد، هیچ اثری روی مقیاس ترسیمی نمی‌گذارد. مقیاس ترسیمی معمولاً برحسب سیستم متریک تقسیم‌بندی

می‌شود. در مواردی که نقشه شامل اطلاعات مربوط به سیستم‌های غیرمتریک باشد، مثل عوارض هیدروگرافی، مقیاس ترسیمی برحسب مایل و یا واحدهای دیگر نیز ممکن است درجه‌بندی شود. در بیش‌تر نقشه‌ها همراه با مقیاس عددی، مقیاس ترسیمی هم رسم می‌گردد. محل و موقعیت مقیاس ترسیمی بستگی به قطع نقشه و فضای حاشیه‌ی نقشه دارد که معمولاً در قسمت پایین حاشیه‌ی نقشه ترسیم می‌شود. نمونه‌ای از مقیاس عددی، ترسیمی برای نقشه  $\frac{1}{500,000}$  در شکل ۹-۵ نشان داده شده است.



شکل ۹-۵

۴-۲-۵- علایم در لژاند (Legend): یکی از قسمت‌های مهم اطلاعات حاشیه را علایم لژاند تشکیل می‌دهد. در نقشه‌خوانی و درک علایم موجود در نقشه، ممکن است لژاند بیش از سایر اطلاعات حاشیه‌ای مورد استفاده قرار گیرد. یک نقشه ممکن است شامل عوارض و اطلاعات گوناگونی باشد که هر کدام به وسیله‌ی علامتی نمایش داده می‌شود. برای شناختن و درک این گونه علایم لازم است که بیننده به لژاند مراجعه نموده و آن علامت خاص را شناسایی نماید. درحقیقت، لژاند یک نوع کلید برای درک علایم قراردادی موجود در نقشه محسوب می‌شود. اطلاعات مربوط به لژاند ممکن است در یک ستون یا بخش‌های مختلف حاشیه‌ی نقشه آورده شود. قاعدتاً این نوع اطلاعات طبقه‌بندی می‌شود. مثلاً، علایم مربوط به عوارض مسطحاتی نظیر شهرها و آبادی‌ها، انواع جاده‌ها، رودها، دریاچه‌ها، جنگل‌ها و مزارع از اطلاعات مربوط به ارتفاعات مثل فواصل منحنی، میزان و دقت آن‌ها، نقاط ارتفاعی، رنگ‌های پله‌ای و... تفکیک می‌گردد. با تغییر محل، اندازه و ارزش لژاند، می‌توان روی آن تأکید نمود. شکل ۲-۵ نمونه‌هایی از محل و اندازه‌ی لژاند را نمایش می‌دهد. مکان و جای لژاند در حاشیه و هم‌چنین اندازه‌ی هر کدام از علایم باید طوری انتخاب شود که بیننده بتواند به راحتی از آن استفاده نماید. در قدیم، لژاند به‌طور خاصی آراسته می‌شد، به طوری که در مقایسه با اطلاعات اصلی نقشه مهم جلوه می‌نمود؛ ولی، امروزه به‌محتوای لژاند بیش از زیبایی ظاهری آن توجه می‌گردد و سعی می‌شود تا آن جایی که ممکن است، لژاند ساده و در عین حال از نقطه نظر گرافیکی با اطلاعات نقشه هماهنگی داشته باشد. علایم قراردادی باید با رنگ و اندازه‌ی

اصلی‌شان به‌طور توضیحی در حاشیه‌ی نقشه ترسیم گردند. گرچه گنجاندن کلیه‌ی علائم موجود در نقشه، در حاشیه لازم است، ولیکن در مواردی می‌توان بعضی از علائم را که کاملاً گویا و واضح‌اند در صورت نبودن جا از حاشیه‌ی نقشه، حذف نمود. در نقشه‌های پوششی، عموماً لژاند برای کلیه‌ی برگ‌ها یکسان است و غالباً علاماتی که در تمام نقشه‌ها وجود دارد، در لژاند گنجانده و در کلیه‌ی نقشه‌ها تکرار می‌شود. چنان‌چه در بعضی از نقشه‌ها علامت تازه‌ای به‌کار می‌رود، باید آن علامت را در لژاند برگه‌ی مزبور اضافه نمود.

نمونه‌ای از علائم در لژاند در نقشه‌های  $\frac{1}{50000}$  در زیر دیده می‌شوند (شکل ۱۰-۵).





..... مرز استانی	.....
..... معدن - مخزن آب - غار - پل	..... ) ( - x o x
..... آسپاب - خرابه - محل چادر - کلبه روستایی	..... o x a [ ] o
..... امامزاده - مقبره - مسجد	..... } } }
..... چشمه - چاه - آب انبار	..... . . .
..... کویر - مسیل	.....
..... قنات : دائمی - فصلی	..... - - - - -
..... دریاچه فصلی	.....
..... اراضی مورد طغیان آب - بانلاق یا مرداب	.....
..... خاکریز - تپه خاکی	.....
..... سطوح یا رویه های دگرگون شده	.....
..... تپه شنی - شترزار	.....
..... نقطه نجومی - نقطه مسطحاتی	..... Δ o

### ارتفاعات زمین

پلنترین ارتفاع شناخته شده روی این نقشه برابر با **3270** متر در  $53^{\circ}$  شمالی و  $20^{\circ}$  شرقی است و دقت آن در حدود 250 متر است

..... 238 965

### روئینها

..... جنگل و بیشه	.....
..... باغ میوه - بوته زار	.....
..... زمینهای زراعتی - شالیزار	.....
<b>آب نگاری (هیدروگرافی)</b>	
..... صخره : ناپیدا پیدا	.....
..... کشتی مفروق : ناپیدا پیدا	
..... صخره زیر آب - حدخطر	
..... رسوبات ساحلی	
..... چراغ دریایی - منحنی های نقاط هم ژرف	

فرودگاهها و بنادر (نظامی یا غیر نظامی)	
شماره 4483	حدود فرودگاه با پاند پرواز معلوم
	حدود معلوم با پاند پرواز نامعلوم
	حدود نامعلوم با پاند پرواز معلوم
	حدود نامعلوم با پاند پرواز نامعلوم
	بنادرگاه و پایگاه فریایی
	لنگرگاه اضطراری
	فرودگاه هلیکوپتر
تسهیلات و موانع قابل دید	
338 (79)	منابع
338	ارتفاع نوك مانع از سطح دریا
(79)	ارتفاع نوك مانع از سطح زمین
	گروه موانع
	موانع راداری
خط انتقال نیرو فشار قوی	
توجه	
التهراف مغناطیسی این نقشه در سال ۲۰۰۰ عبارت است از ۳۳° ۱' (۲۸ میلیم) شرقی است	
در این منطقه از ارتفاع ۴۱ متر به بالا از سطح زمین مانعی وجود ندارد	
عرض هر راه یک راهه بطور متوسط ۲/۵ متر (۸ فوت) است	

شکل ۱۰-۵

۵-۲-۵- ارتفاعات: از جمله اطلاعاتی که در بیش تر نقشه‌ها یافت می‌شود، وضع ناهمواری منطقه است. معمولاً، ارتفاعات یا به وسیله‌ی منحنی میزان و یا به صورت رنگ‌های پله‌ای و یا ترکیبی از این دو نمایش داده می‌شود. مبنای اندازه‌گیری ارتفاعات باید در حاشیه‌ی نقشه تشریح شود. مثلاً، اگر سیستم اندازه‌گیری متریک است باید قید گردد «ارتفاعات برحسب متر». در مورد منحنی میزان، معمولاً دو منحنی میزان اصلی نمونه در لژاند ترسیم می‌گردد و بین این دو، چهار منحنی فرعی با ارقام مربوط قید می‌شود که از روی آن‌ها می‌توان به مقدار فواصل منحنی‌ها دست یافت. چنانچه در قسمت‌هایی از نقشه منحنی‌های واسطه وجود داشته باشد، توضیحات مربوط به آن هم در حاشیه‌ی

نقشه آورده می‌شود. چنانچه ارتفاعات به وسیله‌ی پله‌های رنگی یا رنگ‌های هیپسومتریک نمایش داده شده باشند، ترسیم کلیه‌ی پله‌های رنگی به منظور راهنما و کلید در حاشیه‌ی نقشه ضروری است. اعداد مربوط به هر پله‌ی رنگ از جمله‌ی مواردی است که حتماً باید در کنار رنگ‌ها نوشته شود؛ زیرا در بیش‌تر اوقات، فواصل ارتفاعی رنگ‌ها برابر نیست و ممکن است استفاده‌کننده‌ی از نقشه را گمراه نماید. در شکل ۱۱-۵ نمونه‌ای از وضعیت ارتفاعات در یک نقشه‌ی  $\frac{1}{500000}$  و مبنای ارتفاعی آن دیده می‌شود:



ارتفاعات بر حسب متر، فواصل منحنی‌های تراز: ۲۰۰ متر با فرعی ۱۰۰ متری، مبنای مسطحات: اروپایی (بتسدام)، مبنای ارتفاعات: سطح متوسط آب خلیج فارس (فاو)، سیستم تصویر U.T.M. خطوطی که دارای شماره‌ی نقشه می‌باشند معرف شبکه بندی ۱۰ کیلومتری سیستم تصویر (U.T.M) منطقه‌ی ۳۹ شبه کره‌ی بین‌المللی است.

شکل ۱۱-۵

۶-۲-۵- توضیحات مربوط به مرزها: مشکلات سیاسی و نظامی که معمولاً در مورد مرزهای بین کشورهای همسایه وجود دارد و حتی پاره‌ای از اوقات منجر به اختلافات و برخوردهایی شده است، باعث می‌شود که نتوان حد و مرزهای بین‌المللی را به‌طور قطعی مشخص نمود. گذشته از آن، غالباً مقیاس نقشه‌ها در مقایسه با اهمیت مرزها آن‌قدر کوچک است که نمایش صحیح و واقعی

سرحداث را مشکل می‌نماید. مثلاً، اگر خط وسط رودخانه‌ای به عرض ۲ متر مرز بین دو کشور باشد، نمایش دقیق و واقعی چنین خطی در نقشه‌های توپوگرافی پوششی که معمولاً مقیاس‌شان بزرگ‌تر از ۱:۱۰۰۰۰ نیست، کاری غیرممکن است. به همین جهت، برای رفع هرگونه مسئولیت از سازمان تهیه‌کننده‌ی نقشه و هم چنین عدم پیش‌آمدهای احتمالی در مورد مرزها، توضیحاتی در مورد عدم مسئولیت مرزها در حاشیه‌ی نقشه آورده می‌شود. به‌طور مثال، نوشته می‌شود: «مرزهای بین‌المللی در این نقشه سندیت ندارد».

**۷-۲-۵- نام مؤسسه‌ی تولید و چاپ نقشه:** معمولاً نقشه‌ای قابل اعتماد است که به‌وسیله‌ی یک سازمان یا مؤسسه‌ی رسمی مطمئن انتشار یابد. به همین جهت، یکی از اولین عواملی که باعث ارزیابی محتویات و دقت یک نقشه می‌شود، نام سازمان تولیدکننده‌ی نقشه است. نوشتن اسم سازمان تهیه‌کننده‌ی نقشه از جمله اطلاعات مهمی است که باید در حاشیه‌ی نقشه قید گردد. غالباً سازمان‌های بزرگ تهیه‌ی نقشه، دارای تسهیلات چاپ می‌باشند. چنان‌چه نقشه در مؤسسه‌ی دیگری چاپ گردد، اسم چاپخانه‌ی موردنظر هم در حاشیه‌ی نقشه نوشته می‌شود.

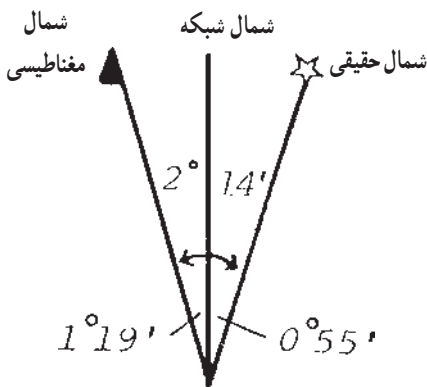
**۸-۲-۵- نحوه‌ی تهیه‌ی نقشه:** یکی از اطلاعات مهم موجود در حاشیه‌ی نقشه، طریقه‌ی تهیه‌ی نقشه می‌باشد. یک نقشه ممکن است از طریق نقشه‌برداری زمینی، فتوگرامتری و یا از منابع دیگر به‌صورت نقشه‌ی مشتقه به‌وجود آمده باشد. اطلاعات مربوط به نحوه‌ی نقشه‌برداری و تاریخ آن حتماً باید در حاشیه‌ی نقشه نوشته شود. در مورد نقشه‌هایی که تجدیدنظر و تجدیدچاپ می‌گردند، تاریخ بازنگری نقشه عموماً ذکر می‌گردد.

**۹-۲-۵- سایر اطلاعات:** به غیر از موارد ذکر شده، متناسب با نوع نقشه، ممکن است اطلاعات دیگری هم در حاشیه‌ی نقشه آورده شود. بعضی از این اطلاعات ممکن است در رابطه با نوع نقشه ضروری باشد و تعدادی از آن‌ها جنبه‌ی اختیاری داشته باشد، به‌طور مثال، در بعضی از نقشه‌های زمین‌شناسی که دوره‌های زمین‌شناسی را با علامت اختصاری نشان می‌دهند، ستونی به‌نام اختصارات در حاشیه‌ی نقشه به‌وجود می‌آید که اصطلاحات فنی و کلمات اختصاری مربوط به آن را تشریح می‌نماید.

**۱۰-۲-۵- سیستم تصویر، شبکه و شمال‌ها:** سیستم تصویر به‌کار رفته در نقشه بسیار حائز اهمیت می‌باشد، به‌طور کلی اسم سیستم تصویر در حاشیه‌ی نقشه ذکر می‌گردد. اعداد مربوط به مدارات و نصف‌النهارات از جمله‌ی اطلاعاتی است که حتماً باید در نقشه قید گردد. چنان‌چه نقشه دارای شبکه‌ی قائم‌الزاویه باشد، باید ارقام مربوط به خطوط شبکه نوشته شود و مبنا و مأخذ آن ذکر

گردد. اگر شبکه‌ی ملی یا قائم‌الزاویه باشد و با سیستم تصویر دارای ارتباط باشد، توضیحات مربوط به خطوط شبکه، سیستم تصویر، بیضوی مبنا و مختصات مبنا‌ی اختیاری معمولاً با رنگ‌های متناسب و مربوطه در زیر نقشه قید می‌گردد (شکل ۵-۱۱).

اطلاعات مربوط به شمال‌های حقیقی، شبکه و مغناطیسی، معمولاً در حاشیه‌ی نقشه‌های توپوگرافی آورده می‌شود. این اطلاعات، شامل تقارب و انحراف شمال‌ها نسبت به هم و میزان تغییرات سالیانه‌ی آن‌هاست. وقتی که به دلایلی جهت محور Y شبکه در جهت شمال جغرافیایی نباشد، ترسیم جهت شمال در حاشیه‌ی نقشه الزامی است. شکل ۵-۱۳ نحوه‌ی نشان دادن شمال‌ها را در نقشه نشان می‌دهد.



رشت	آمل	گرگان
همدان	تهران	سمنان
کردستان	اصفهان	دشت کویر

تغییرات سالانه‌ی شمال مغناطیسی  $3/5^\circ$  غربی  
شکل ۵-۱۳- انواع شمال‌ها

شکل ۵-۱۲- راهنمای اتصال نقشه‌ها

۱۱-۲-۵- راهنمای اتصال نقشه‌ها: در نقشه‌های پوششی که منطقه به وسیله‌ی تعدادی از نقشه پوشانده می‌شود، برای این که بتوان موقعیت یک برگ نقشه را نسبت به برگ‌های مجاور نشان داد، کادری متشکل از چند مربع مستطیل مرتبط به هم ترسیم و شماره و نام نقشه‌های مجاور در آن‌ها نوشته می‌شود و نقشه‌ی اصلی روی آن به‌طور مشخص به وسیله‌ی هاشور و یا ترام و یا به وسیله‌ی رنگ، علامت زده می‌شود. شکل ۵-۱۲ نمونه‌ای از دیاگرام مربوط به راهنمای اتصال نقشه‌ها را نشان می‌دهد. در بعضی از نقشه‌های پوششی به منظور نمایش موقعیت یک برگ نقشه در واحد کل کشور، معمولاً نقشه‌ی بسیار کوچک مقیاس تمام کشور به ابعاد چند سانتی‌متر در حاشیه‌ی نقشه ترسیم می‌گردد و بر روی آن قطع نقشه‌های پوششی تقسیم‌بندی می‌شود و موقعیت برگه‌ی موردنظر روی آن به‌طور مشخص نشان داده می‌شود (شکل ۵-۱۴).

راهنمای نقشه های مجاور

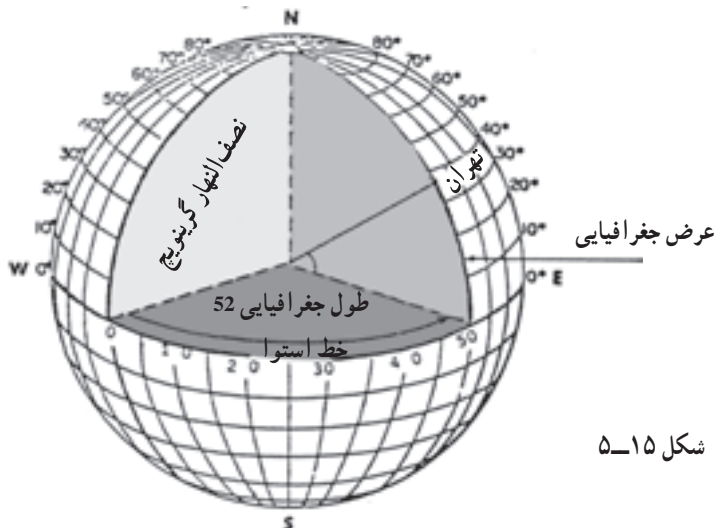


شکل ۱۴-۵- راهنمای اتصال نقشه

۳-۵- تعیین موقعیت بر روی نقشه

همان طور که در فصل های قبل آموخته اید برای نشان دادن موقعیت یک نقطه در روی زمین از مختصات آن نقطه استفاده می شود و در ژئودزی این مختصات یا برحسب زاویه است که به آن طول و عرض جغرافیایی یا ژئودتیک می گوئیم یا برحسب متر است مانند آنچه که در سیستم تصویر UTM آمده است.

عرض ژئودتیک کمانی است روی نصف النهار بین نقطه و خط استوا و طول ژئودتیک کمانی است روی استوا بین نصف النهار نقطه و نصف النهار گرینویچ (شکل ۱۵-۵).



شکل ۱۵-۵

۴-۵- تعیین موقعیت با استفاده از مختصات جغرافیایی (طول و عرض ژئودتیک) در روی نقشه‌ها شبکه‌های چهارضلعی دیده می‌شود که از برخورد نصف‌النهارات و مدارات به وجود می‌آیند و در بالا و پایین نقشه طول جغرافیایی هر نصف‌النهار در سمت چپ و راست نقشه عرض جغرافیایی هر مدار ترسیم شده و نوشته می‌شود. در نقشه‌های  $\frac{1}{500000}$  فاصله‌ی خطوط شبکه از یکدیگر ۵' و در نقشه‌های  $\frac{1}{5000000}$  این فاصله ۱۵' می‌باشد.

برای تعیین موقعیت روی این نقشه‌ها به صورت ساده می‌توان از نقطه‌ی موردنظر روی نقشه خطوطی به موازات نصف‌النهارات و مدارات ترسیم کرد تا خطوط افقی و عمودی حاشیه‌ی نقشه را قطع نماید سپس با استفاده از مختصات نوشته شده در حاشیه‌ی نقشه مختصات نقطه‌ی موردنظر را بیابیم.

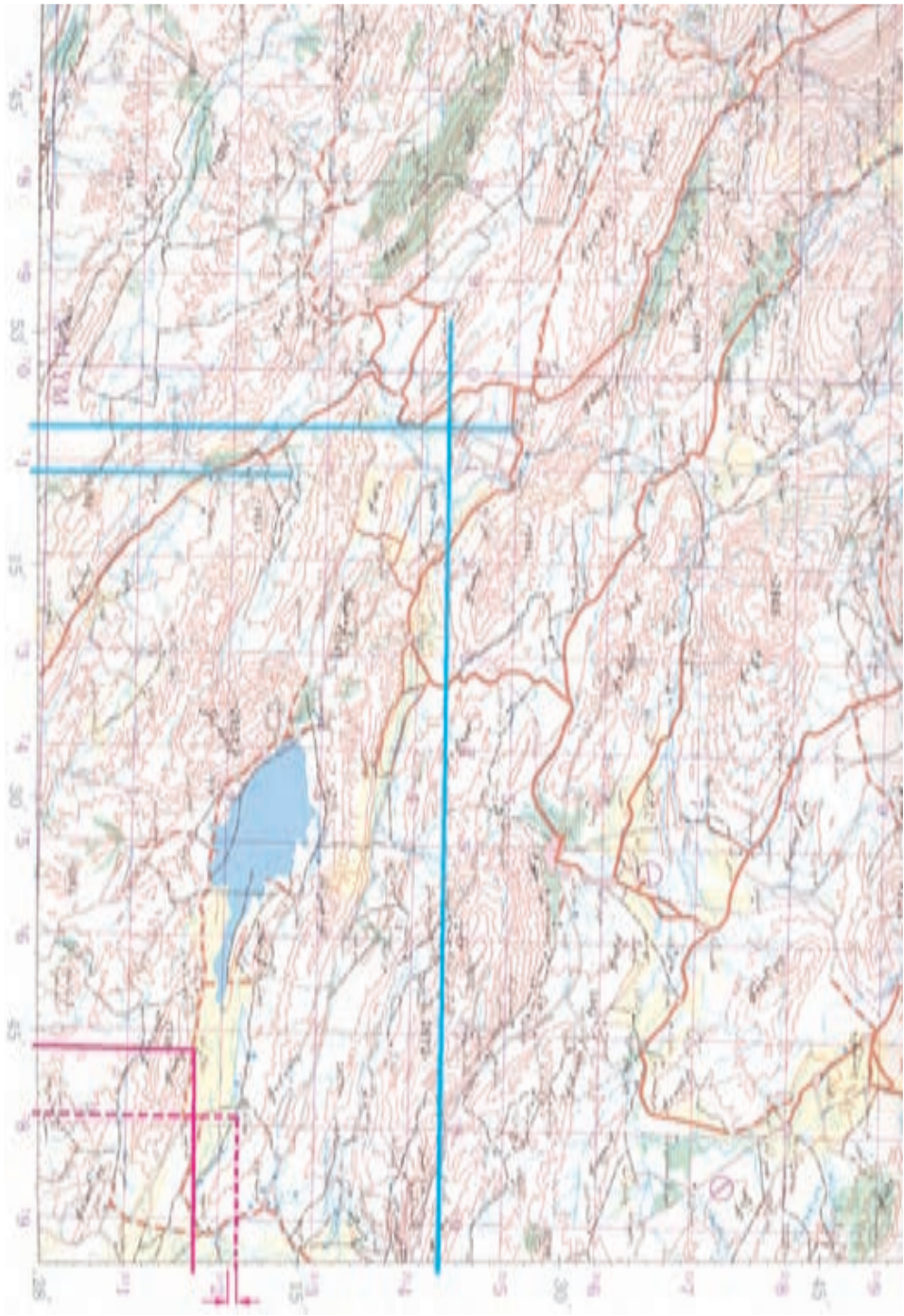
مثال: در شکل ۱۶-۵ چنانچه بخواهیم مختصات جغرافیایی جدول آمار را بیابیم به شرح زیر عمل می‌کنیم:

الف - از نقطه‌ی دهکده‌ی جلال‌آباد خطی به موازات نصف‌النهار ترسیم کرده تا خط افقی کادر نقشه را قطع کند (شکل ۱۸-۵) سپس با توجه به مختصات درج شده روی این خط طول جغرافیایی محل مشخص می‌شود با توجه به درجه‌بندی با اندازه‌گیری‌های روی این خط مقدار دقیق به دست می‌آید. با توجه به نقشه مقدار ( $\lambda$ ) طول جغرافیایی محل مزبور  $53^{\circ}49'$  می‌باشد.

ب - از نقطه‌ی جلال‌آباد خطی به موازات مدارات رسم کرده تا کادر عمودی نقشه را قطع کند. مانند مرحله‌ی قبل عرض جغرافیایی نیز مشخص می‌شود. با توجه به نقشه مقدار  $\varphi$  عرض جغرافیایی محل مزبور  $28^{\circ}09'$  می‌شود.

ج - در صورتی که نقطه‌ی موردنظر طوری قرار گیرد که موقعیت آن بر روی اعداد صحیح قرار نگیرد باید مابین موقعیت‌های صحیح واسطه‌یابی گردد. برای مثال موقعیت جغرافیایی عطاآباد عرض جغرافیایی  $28^{\circ}11', 30''$  و  $\lambda$  طول جغرافیایی آن  $53^{\circ}49', 20''$  می‌شود.





شکل ۱۶-۵



## ۵-۵- مشخص کردن یک نقطه‌ی معلوم با مختصات جغرافیایی بر روی نقشه

اگر بخواهیم نقطه‌ای با مختصات  $28^{\circ}, 23'$  و  $53^{\circ}, 6'$  را روی نقشه مشخص کنیم ابتدا بر روی محور طول جغرافیایی ( $\lambda$ ) طول  $53^{\circ}, 6'$  را مشخص کرده و از آن‌جا به موازات نصف النهارات خطی ترسیم می‌کنیم سپس روی محور عرض جغرافیایی ( $\varphi$ ) نقطه‌ی  $28^{\circ}, 23'$  را مشخص کرده و از آن‌جا خطی به موازات مدارات ترسیم می‌کنیم محل تقاطع در خط ترسیم شده موقعیت مورد نظر می‌باشد که با توجه به نقشه نقطه‌ای در شهرک فتح‌آباد خواهد بود.

## ۵-۶- تعیین موقعیت با استفاده از مختصات UTM

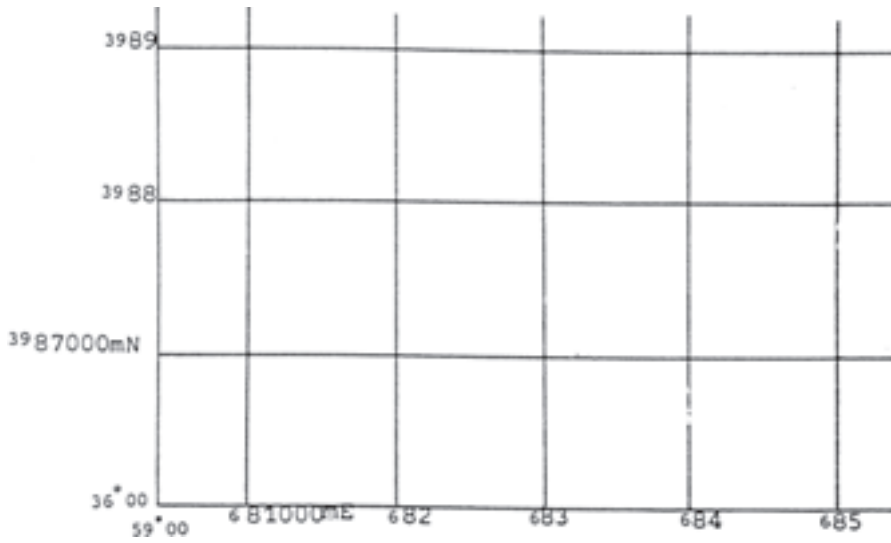
در فصل سوم آموختیم در سیستم تصویر UTM زمین به  $6^{\circ}$  قاچ تقسیم می‌شود مختصات نقاط در هر  $6^{\circ}$  قاچ کاملاً شبیه یکدیگر است و فقط شماره zone است که آن‌ها را از یکدیگر تفکیک می‌نماید. در این سیستم واحد مختصات برحسب متر است. در این سیستم هر zone را نیز با مربع‌های صد هزار متری شبکه‌بندی نموده‌اند و هر مربع از این شبکه با یک نام مشخص می‌شود. در نقشه‌ها با توجه به مقیاس نقشه شبکه‌ی یکصد هزار متری به شبکه‌های کوچکتری نیز تقسیم می‌گردد مثلاً در نقشه‌های  $1:500000$  و  $1:250000$  اضلاع ده هزار متری و در نقشه‌های  $1:50000$  و  $1:25000$  شبکه‌ی یک هزار متری می‌گردد.

در روی نقشه‌های UTM مختصات خطوط شبکه را در حاشیه‌ی نقشه مشاهده می‌نمایند  $510000$  m. E. یعنی دارای طول (x)  $510000$  متر شرقی و  $3100000$  m. N. یعنی دارای عرض (y)  $3100000$  متر شمالی.

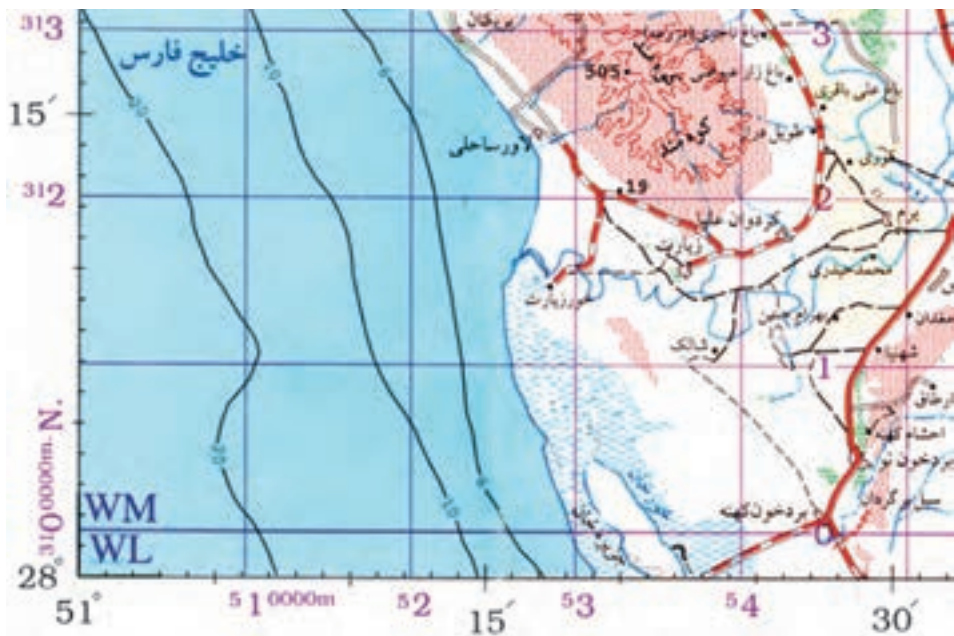
برای تعیین موقعیت نقاط روی نقشه از نقطه‌ی مورد نظر خطوطی به موازات خطوط شبکه ترسیم نموده تا خطوط حاشیه‌ی نقشه را قطع نماید سپس با استفاده از اطلاعات حاشیه مختصات UTM نقاط به دست می‌آید.

مثال: در شکل ۵-۱۶ چنان‌چه بخواهیم روی نقشه  $1:500000$  موقعیت جغرافیایی نقطه‌ای را با مختصات UTM به دست آوریم می‌توان مانند مثال قبل در بخش ۵-۱۷ از خط‌کش‌های اشلی سه پهلو استفاده نمود.

برای مثال می‌خواهیم موقعیت جغرافیایی قائم‌الزاویه‌ی ده‌گده‌ی جلال‌آباد را به دست آوریم برای این منظور به ترتیب زیر عمل می‌کنیم.



شکل ۱۷-۵- شبکه بندی یک هزار متری در نقشه های با مقیاس  $\frac{1}{50000}$



شکل ۱۸-۵- شبکه بندی ده هزار متری در نقشه های با مقیاس  $\frac{1}{500000}$

الف - از نقطه‌ی دهکده‌ی جلال‌آباد خطی به موازات محور  $y$  ترسیم کرده تا خط افقی کادر نقشه را قطع کند سپس با توجه به مختصات درج شده روی این خط با توجه به تقسیم‌بندی قائم‌الزاویه با اندازه‌گیری روی این خط مقدار دقیق به دست می‌آید با توجه به نقشه مقدار  $x$  در سیستم UTM محل مزبور برای  $m = 772000$  می‌باشد.

ب - از نقطه‌ی جلال‌آباد خطی به موازات محور  $x$  ها رسم کرده تا کادر عمومی نقشه را قطع کند مانند مرحله‌ی قبل مختصات  $y$  (UTM) نیز مشخص می‌شود با توجه به نقشه مقدار  $y$  در سیستم UTM محل مزبور برابر  $m = 3117500$   $y =$

ج - در صورتی که نقطه‌ی مورد نظر طوری قرار گیرد که موقعیت آن بر روی اعداد صحیح قرار نگیرد باید مابین موقعیت‌های صحیح واسطه‌یابی گردد برای مثال موقعیت نقطه‌ی عطا‌آباد برابر  $m = 779000$   $x =$  و  $m = 3122000$   $y =$  می‌شود.

#### ۷-۵- مشخص کردن یک نقطه‌ی معلوم با مختصات UTM بر روی نقشه

اگر بخواهیم نقطه‌ای با مختصات  $m = 711250$   $x =$  و  $m = 3143250$   $y =$  را روی نقشه مشخص کنیم ابتدا بر روی محور  $x$  مقداری  $711250$  را مشخص کرده و از آن‌جا به موازات محور  $y$  ها خطی ترسیم می‌کنیم. سپس روی محور  $y$  نقطه با مختصات  $3143250$  را مشخص کرده و از آن‌جا خطی به موازات محور  $x$  ها ترسیم می‌کنیم محل تلاقی در خط ترسیم شده موقعیت نقطه‌ی مورد نظر می‌باشد که با توجه به نقشه‌ی شکل ۱۶-۵ نقطه‌ای در شهرک فتح‌آباد خواهد بود.

## خودآزمایی

- ۱- اطلاعات نقشه و مشخصات آن را توضیح دهید.
- ۲- مقیاس نقشه را شرح دهید.
- ۳- سیستم تصویر و شبکه‌ی نقشه را تعریف کنید.
- ۴- ارتفاعات در نقشه به چه صورت نمایش داده می‌شود؟
- ۵- تعدادی نقشه که در هنرستان (بر دیوارهای کلاس‌ها یا راهروها نصب شده و یا در کتابخانه، یا...) موجود است را مورد بررسی قرار داده موارد زیر را از روی آن نقشه‌ها استخراج و در یک گزارش ارائه نمایید.
  - اسم و عنوان نقشه
  - شماره‌ی سری
  - شماره‌ی برگه
  - تاریخ چاپ یا تجدیدچاپ
  - مقیاس
  - علائم
  - سیستم تصویر و شبکه
  - شمال‌ها
  - راهنمای اتصال نقشه
  - نام مؤسسه‌ی تولید و چاپ نقشه
  - نحوه‌ی تهیه‌ی نقشه
- ۶- در روی نقشه هر درجه، دقیقه و ثانیه روی نصف‌النهار برابر چه فاصله‌هایی هستند؟
- ۷- در شکل ۱۶-۵ مختصات طول و عرض جغرافیایی جهرم را به دست آورید.
- ۸- در شکل ۱۶-۵ نقطه‌ی با مختصات  $28^{\circ}, 30', 30''$  و  $4^{\circ}$  و  $\lambda = 53^{\circ}, 36', 40''$  چه محلی می‌باشد؟
- ۹- در شکل ۱۶-۵ مختصات UTM خارقان را به دست آورید.
- ۱۰- در شکل ۱۶-۵ نقطه‌ای با مختصات UTM،  $N = 31806000$  و  $E = 7401000$  چه محلی می‌باشد؟

## تعیین جهت قبله به صورت تقریبی

قبله همان امتداد بین محل نمازگزار و کعبه می باشد از این رو برای پیدا کردن جهت قبله بایستی خط واصل بین محل نمازگزار تا کعبه را ترسیم نموده و آزیموت آن را نسبت به یک امتداد مرجع مانند شمال به دست آورد از آن جا که زمین مسطح نبوده و شکلی نزدیک به کره دارد هم جهت امتداد شمال و هم راستای امتداد تا کعبه برای محل های مختلف نمازگزار تغییر می کند.

در این نوشته روشی ساده و سریع برای تعیین قبله ارائه می شود. این روش با فرض این که زمین به شکل کره می باشد، امتداد قبله را با دقتی در حد چند درجه نشان می دهد. در صورتی که نیاز به تعیین امتداد قبله با دقت بالا داشته باشیم باید از مدل بیضوی برای زمین استفاده نموده و آزیموت قبله را با مدل های ریاضی پیچیده که در علم ژئودزی مطرح است محاسبه نمود.

تعیین قبله در روش پیشنهادی در دو مرحله صورت می گیرد :

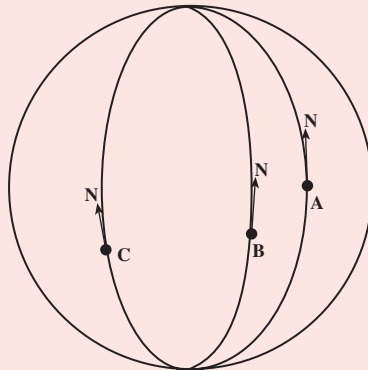
۱- تعیین امتداد شمال در محل

۲- تعیین امتداد قبله نسبت به امتداد شمال

**الف - تعیین امتداد شمال در محل:** امتداد شمال در هر نقطه در واقع

راستای نصف النهار گذرنده از آن نقطه به سمت قطب شمال (شمال جغرافیایی) می باشد. طبق شکل ۱۹-۵ امتداد شمال نقطه با تغییر محل تغییر می کند و در واقع نمی توان این

قطب شمال



شکل ۱۹-۵

قطب جنوب

امتدادها را موازی در نظر گرفت.

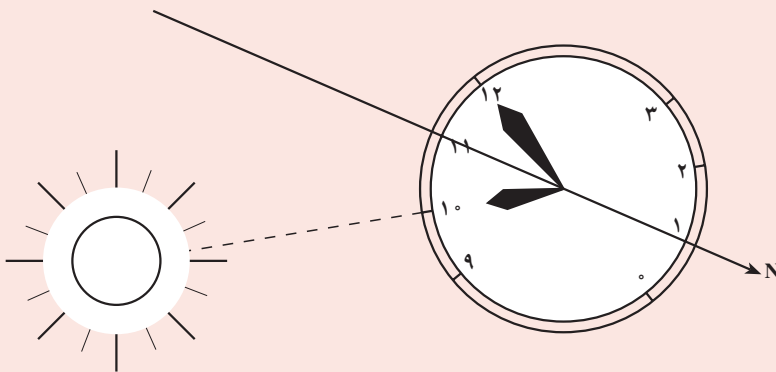
در این جا برای تعیین تقریبی امتداد شمال از یک ساعت مچی عقربه‌دار و محل خورشید در آسمان استفاده می‌کنیم.

برای این کار فقط به عقربه‌ی ساعت‌شمار نیاز داریم و کاری به عقربه‌ی دقیقه‌شمار نداریم. روش کار به این شرح است:

۱- ساعت را از میج دست باز کرده و در کف دست خود می‌گذاریم تا حرکت دادن آن آسان باشد.

۲- عقربه‌ی ساعت‌شمار را در جهت خورشید قرار می‌دهیم؛ یعنی، ساعت را که به‌طور افقی در کف دستمان گذاشته‌ایم آن قدر می‌چرخانیم تا نوک عقربه‌ی ساعت‌شمار به سمت خورشید قرار بگیرد، در شکل  $20-5$  همان گونه که مشاهده می‌کنید در ساعت  $10^{\circ}$  صبح مشغول یافتن شمال جغرافیایی هستیم. ساعت را چرخانده‌ایم تا عقربه‌ی ساعت‌شمار در جهت خورشید قرار گرفته است.

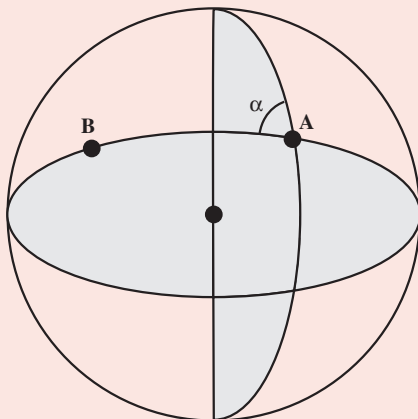
۳- زاویه‌ای را که عقربه‌ی ساعت‌شمار با عدد دوازده پدید آورده نصف می‌کنیم.



شکل  $20-5$

در این حالت، امتداد نیم‌ساز این زاویه، در واقع همان شمال جغرافیایی محل است. به این ترتیب، در هر ساعتی از روز «نیم‌ساز زاویه‌ی بین عقربه‌ی ساعت‌شمار و ساعت دوازده»، امتداد شمال را نشان می‌دهد؛ به شرطی که عقربه‌ی ساعت‌شمار در جهت خورشید باشد.

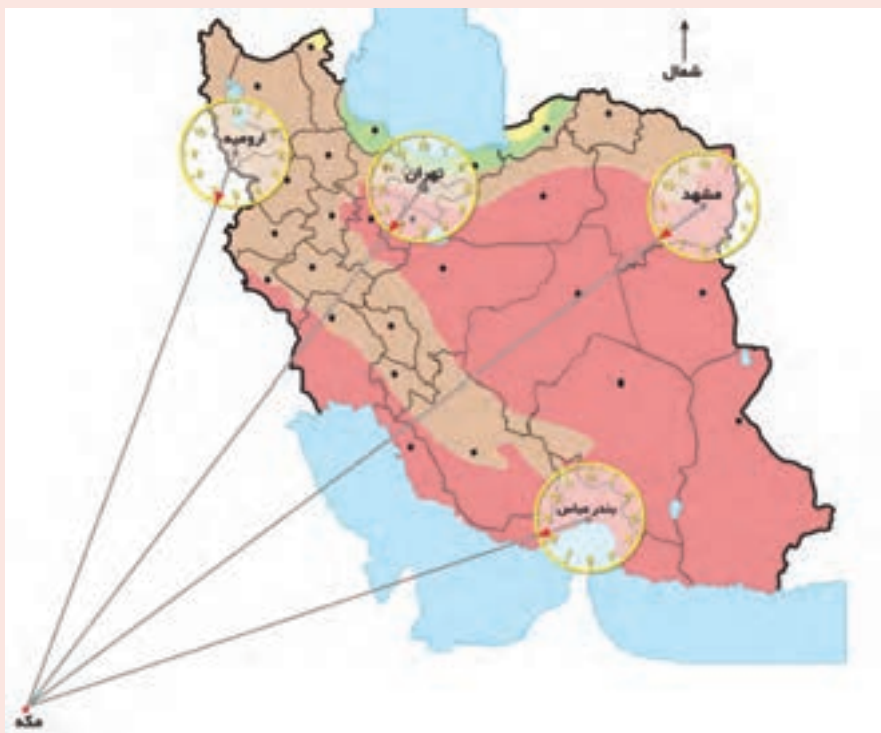
**ب - تعیین امتداد قبله نسبت به امتداد شمال:** منظور از تعیین امتداد قبله نسبت به امتداد شمال همان تعیین امتداد از محل نمازگزار تا کعبه می‌باشد. مطابق شکل ۲۱-۵ برای تعیین امتداد  $\alpha$  از نقطه‌ی A به B صفحه‌ی گذرنده از سه نقطه A و B و مرکز کره را با صفحه‌ی نصف‌النهار گذرنده از نقطه‌ی A قطع داده و زاویه‌ی بین دو صفحه را محاسبه می‌کنیم.



شکل ۲۱-۵- نحوه‌ی محاسبه‌ی آزیموت  $\alpha$  بین نقاط A و B روی کره

اگر این زاویه را از درجه تبدیل به واحد ساعت عقربه‌ای کنیم یعنی  $360^\circ$  درجه را ۱۲ ساعت در نظر بگیریم آن گاه برای استان‌های مختلف در ایران با توجه به قرارگیری محل کعبه در راستای جنوب غربی کشور، مقادیر زاویه‌ی  $\alpha$  در واحد ساعت مطابق شکل ۲۲-۵ به دست می‌آید.

برای تعیین امتداد قبله کافی است که عدد شکل ۲۲-۵ را به عدد ساعت از مرحله‌ی قبل اضافه کرد.



شکل ۲۲-۵

## مطالعه آزاد

### کار عملی

عنوان: یافتن قبله در یک محل

هدف: ایجاد مهارت و توان تعیین قبله در یک منطقه در روز وقتی که فقط

ساعت مچی در دسترس باشد.

وسایل مورد نیاز: یک ساعت مچی عقربه‌دار (غیر کامپیوتری)

دانش و مهارت مورد نیاز: دانستن این که نیم‌ساز زاویه‌ی بین عقربه‌ی

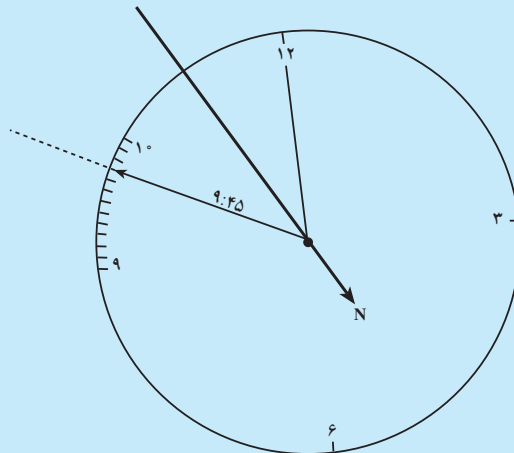
ساعت‌شمار و ساعت دوازده جهت شمال جغرافیایی را نشان می‌دهد. در صورتی که

عقربه ساعت‌شمار در جهت خورشید باشد و در اختیار داشتن نقشه شکل ۲۳-۵.



## روش کار

- ۱- عقربه‌ی ساعت‌شمار را در جهت خورشید بگیرید.
  - ۲- زاویه‌ی بین عقربه‌ی ساعت‌شمار و ساعت دوازده را نصف کنید تا به جهت شمال بی‌برید.
  - ۳- برای انجام دقیق‌تر این کار می‌توانید بر روی تخته سه‌پایه، دایره‌ای بزرگ ترسیم کنید و هر ساعت آن را به ۱۲ قسمت تقسیم کنید، یعنی برای عقربه‌ی ساعت‌شمار، هر قسمت از محیط این دایره برابر با ۵ دقیقه است.
  - ۴- مثلاً در ساعت ۹ و ۴۵ دقیقه محل عقربه‌ی ساعت‌شمار در این ساعت، روی تخته سه‌پایه، به صورت شکل ۲۳-۵ خواهد بود.
  - ۵- امتداد نیم‌ساز این زاویه در جهت مخالف خورشید، امتداد شمال جغرافیایی محل موردنظر را نشان می‌دهد.
  - ۶- با توجه به محلی که در آن قرار داریم مقدار مربوطه در شکل ۲۲-۵ را به ساعت حاصل اضافه کرد. تا امتداد قبله به دست آید.
- در این جا چون محل نمازگزار در تهران بوده، ساعت  $3^{\circ} 7'$  را به عدد  $9:45$  اضافه کرده تا ساعت  $15:17$  به دست آید که همان  $15:5$  است. عدد عقربه در راستای  $15:5$  امتداد قبله را نشان می‌دهد.
- نیمساز بین ساعت  $9:45$  و ساعت ۱۲



شکل ۲۳-۵

### تعیین موقعیت نجومی (۱) (Astronomical Positioning)



هدف‌های رفتاری: پس از پایان این فصل فراگیر باید

تواند:

- ۱- نقش زمان در تعیین موقعیت و لزوم اندازه‌گیری آن را توضیح دهد.
- ۲- انواع زمان را که در نقشه‌برداری اندازه‌گیری به کار گرفته می‌شوند، نام ببرد.
- ۳- قانون اول کپلر را بیان کند.
- ۴- مقدار ثابت حرکت زمین به دور خورشید را با رسم شکل محاسبه کند.

۵- طول نصف قطر بلند و کوتاه بیضی مسیر حرکت زمین به دور خورشید را محاسبه کند.

۶- مقدار خارج از مرکزیت بیضی مسیر حرکت زمین به دور خورشید را محاسبه کند.

۷- قانون دوم کپلر را با رسم شکل توضیح دهد.

۸- قانون سوم کپلر را با نوشتن رابطه‌ی مربوطه توضیح دهد.

۹- حرکت زمین به دور خودش (حرکت دورانی) را توضیح دهد.

۱۰- حرکت زمین به دور خورشید (حرکت انتقالی) را توضیح دهد.

۱۱- زمان متوسط خورشیدی را توضیح دهد.

۱۲- رابطه‌ی بین زمان جهانی و زمان خورشیدی یک محل را با ذکر مثال

توضیح دهد.

۱۳- زمان استاندارد کشورها را با رسم شکل توضیح دهد.

۱۴- زمان استاندارد ایران را توضیح دهد.

۱۵- زمان نجومی را تعریف کند.

۱۶- روز نجومی را تعریف کند.

۱۷- زمان اتمی را تعریف کند.

## ۱-۶ نقش زمان در تعیین موقعیت و انواع آن

در نقشه برداری تعداد بسیاری کمیت‌های فیزیکی و هندسی وجود دارد که نسبت به زمان تقریباً ثابت بوده آن‌ها را اندازه‌گیری می‌کنیم. زوایای افقی و قرائت امتداد بین نقاط زمینی یکی از اندازه‌گیری‌هایی است که با تئودولیت‌های مختلف اندازه‌گیری می‌شود. اندازه‌گیری دیگر، فاصله‌ی فضایی بین دو نقطه‌ی زمینی است که با وسایل مختلف مانند متر و دستگاه‌های طول‌یاب الکترونیکی صورت می‌گیرد.

نوع سوم اندازه‌گیری، اندازه‌گیری اختلاف ارتفاع و زوایای قائم بین نقاط زمینی است. برخی مشاهدات در نقشه‌برداری نیز نسبت به زمان در حال تغییر هستند؛ مانند فاصله‌ی نقاط زمینی تا ماهواره، فاصله‌ی نقاط زمینی تا ماه، زاویه‌ی قائم و زاویه‌ی افق بین نقاط زمینی و ستارگان، هم چنین جاذبه و تغییرات آن<sup>۱</sup>. همه‌ی این مشاهدات اخیر وابسته به زمان بوده و بنابراین، در تعیین موقعیت با استفاده از این مشاهدات حتماً باید زمان اندازه‌گیری گردد.

برای اندازه‌گیری‌هایی با دقت خیلی زیاد در پریودهای زمانی مختلف، حتی اگر مشاهدات نخست را دوباره اندازه‌گیری کنیم متوجه می‌شویم آن‌ها نیز نسبت به زمان در حال تغییر هستند؛ یعنی وقتی مختصات یک نقطه در زمین، مشخص می‌گردد (x و y و z) این مختصات برای همیشه گویای موقعیت نقطه‌ی مذکور نیست و به یقین نسبت به زمان تغییر می‌کند؛ بر این اساس، ضروری است که زمان نیز به عنوان پارامتر چهارم تعیین موقعیت، در نظر گرفته شود (t و z و y و x).

اما به‌راستی «زمان» چیست؟ البته هر روز با زمان سروکار داریم ولی شاید نتوانیم تعریف دقیقی از آن به‌دست دهیم. ما می‌توانیم سپری شدن زمان را حس کنیم و آن را اندازه بگیریم. اما چگونه می‌توان آن را تعریف نمود؟ در حقیقت فاصله‌ی زمانی یک پدیده‌ی پریودیک است که ما اندازه‌گیری می‌کنیم. وسایل اندازه‌گیری زمان عبارت‌اند از: ساعت، کرنومتر، کرنوگراف و مانند آن.

واحدهای اندازه‌گیری زمان، «ساعت» با علامت «h» (Hour) و «دقیقه» با علامت «m» (Minutes) و «ثانیه» با علامت «s» (Second) است.

<sup>۱</sup> - gravity and gravity differences

بنابراین :

$$1^{(h)} = 6^{\circ}m$$

$$1^{(m)} = 6^{\circ}s$$

زمان‌هایی که در نقشه برداری اندازه‌گیری و به کار گرفته می‌شوند عبارت‌اند از :

۱- زمان خورشیدی<sup>۱</sup>

۲- زمان استاندارد<sup>۲</sup>

۳- زمان نجومی<sup>۳</sup>

۴- زمان اتمی<sup>۴</sup>

برای درک زمان‌ها لازم است قبلاً حرکات سیارات به دور خورشید مورد بررسی قرار گیرد.

از آن‌جا که حرکات سیارات از قوانین کپلر تبعیت می‌کند بنابراین در این‌جا قوانین کپلر را مورد بحث قرار می‌دهیم.

## ۲-۶- قوانین کپلر

دانشمند آلمانی به نام «کپلر»<sup>۵</sup> در سال‌های ۱۵۷۱ تا ۱۶۳۰ میلادی سه قانون اساسی درباره‌ی

سیارات بیان کرد که امروزه حتی در پرتاب ماهواره‌ها و غیره از آن قوانین استفاده می‌کنند.



شکل ۱-۶

۱- Solar time

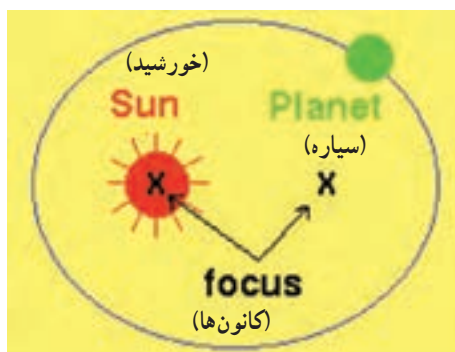
۲- Sidereal time

۵- Johannes Kepler

۲- Zane Time

۴- Atomic time

قانون اول کپلر: مدار حرکت تمامی سیارات دایره نیست، بلکه بیضی است که خورشید در یکی از کانون‌های آن واقع است.



شکل ۲-۶- مدار حرکت سیارات به دور خورشید

### آیا می‌دانید؟



یادآوری: خواص بیضی :

۱- در هر بیضی دو نقطه به عنوان کانون وجود دارد و بیضی مکان هندسی نقاطی است که مجموع فواصل آن نقاط از کانون‌ها مقداری ثابت است.

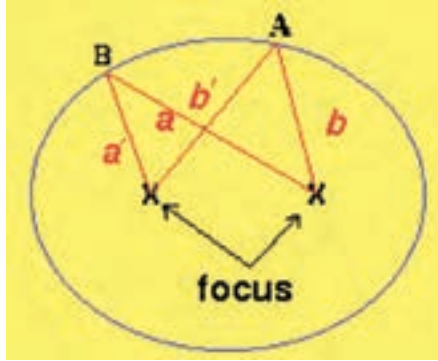
$$\text{ثابت} = a + b = a' + b'$$

۲- مقدار خارج از مرکزیت یکی دیگر از مشخصه‌های بیضی است که براساس رابطه‌ی زیر

محاسبه می‌شود :

خارج از مرکزیت  $e =$  نصف قطر کوتاه بیضی  $b =$

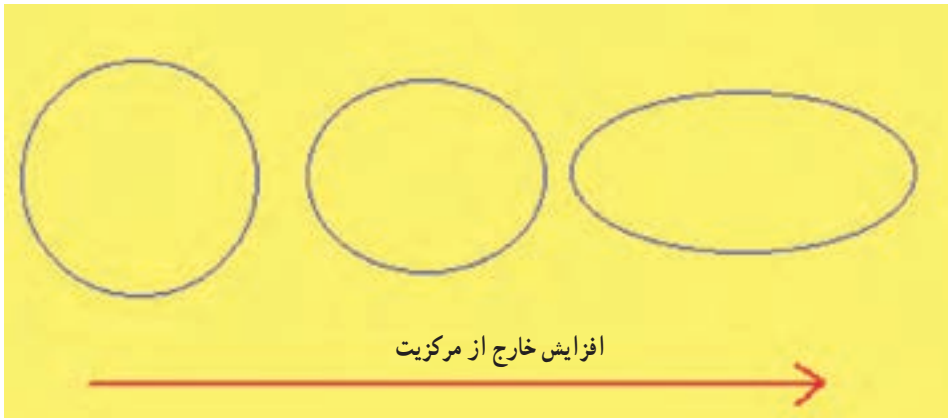
$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \quad a = \text{نصف قطر بلند بیضی}$$



شکل ۳-۶ - بیضی و خاصیت آن

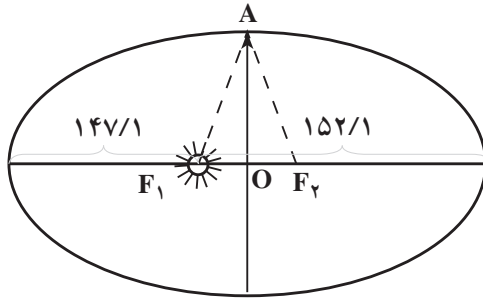
در شکل ۴-۶، از چپ به راست بیضی‌ها با خارج مرکزیت‌های متفاوت، نشان داده شده

است.



شکل ۴-۶ - خارج از مرکزیت

براساس قانون اول کپلر، خورشید در مرکز مدار حرکت سیارات واقع نیست و این مشخص است که به‌طور پیوسته فاصله‌ی سیارات تا خورشید در حال تغییر است؛ برای نمونه، فاصله‌ی زمین تا خورشید مقدار ثابتی نبوده و زمانی دارای کم‌ترین مقدار (۱/۱۴۷ میلیون کیلومتر) و زمانی دارای بیش‌ترین مقدار (۱/۱۵۲ میلیون کیلومتر) است. (به ضمیمه‌ی ۱ توجه کنید.)



شکل ۵-۶

مثال: با توجه به اعداد یادشده به این سوالات پاسخ دهید:

الف - مقدار ثابت مدار حرکت زمین به دور خورشید را محاسبه کنید.

$$\text{میلیون کیلومتر } ۲/۲۹۹ = ۱۴۷/۱ + ۱۵۲/۱ = \text{مقدار ثابت}$$

ب - طول نصف قطر بلند و کوتاه بیضی مسیر حرکت زمین به دور خورشید را محاسبه کنید.

$$\text{میلیون کیلومتر فاصله‌ی بین دو کانون بیضی } ۵ = ۱۵۲/۱ - ۱۴۷/۱$$

$$\text{میلیون کیلومتر فاصله‌ی هر کانون از مرکز بیضی } ۲/۵ = ۵ \div ۲$$

$$\text{میلیون کیلومتر نصف قطر بزرگ تر } ۱۴۹/۶ = ۱۴۷/۱ + ۲/۵ = a$$

و اما برای محاسبه‌ی قطر کوتاه بیضی فرض می‌کنیم زمین در نقطه‌ی A باشد در آن صورت، مجموع فاصله‌ی A از کانون‌ها برابر مقدار ثابت است:

$$\text{میلیون کیلومتر } ۲/۲۹۹ = AF_1 + AF_2 \text{ و } AF_1 = AF_2$$

$$\text{میلیون کیلومتر } ۱۴۹/۶ = AF_1 = AF_2$$

$$\text{میلیون کیلومتر } ۱۴۹/۵۷۹ \cong b = \sqrt{۱۴۹/۶^2 - ۲/۵^2}$$

پس

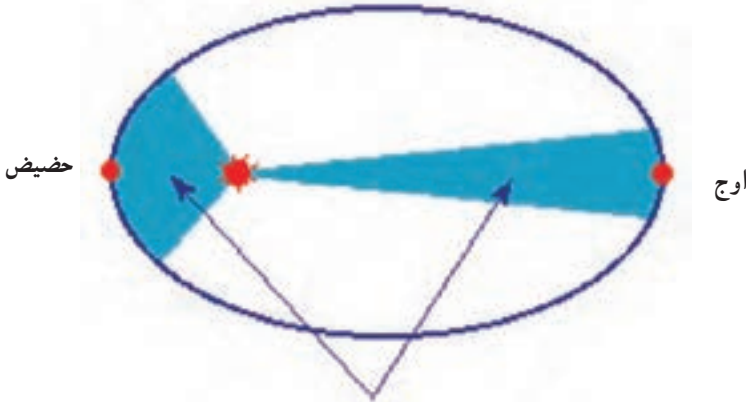
ج - مقدار خارج از مرکزیت بیضی مسیر حرکت زمین به دور خورشید را محاسبه کنید:

$$e^2 = \frac{a^2 - b^2}{a^2} \Rightarrow e^2 = \frac{(۱۴۹/۶)^2 - (۱۴۹/۵۷۹)^2}{(۱۴۹/۶)^2} = ۲/۷۹ \times ۱۰^{-۴}$$

$$e = ۰/۰۱۶۷ \text{ خارج مرکزیت}$$

قانون دوم کپلر: سیارات در مسیر حرکت خود به دور خورشید مساحت‌های مساوی را در

زمان‌های مساوی جاروب می‌کنند.



شکل ۶-۶ — قانون دوم کپلر را نشان می‌دهد. نقطه‌ی حضيض نزدیک‌ترین وضعیت زمین نسبت به خورشید در حرکت سالیانه و نقطه‌ی اوج دورترین وضعیت زمین نسبت به خورشید است.

این موضوع لازمه‌اش این است که سرعت حرکت سیارات در قسمتی که نسبت به خورشید دورتر است کندتر و در قسمت‌هایی که به خورشید نزدیک‌تر است تندتر باشد. آیا می‌توانید این موضوع را براساس قانون جاذبه‌ی نیوتن و نیروی گریز از مرکز تشریح کنید؟  
**قانون سوم کپلر:** نسبت توان دوم پریود<sup>۱</sup> حرکت سیارات برای دو سیاره متفاوت برابر نسبت توان سوم قطر اطول بیضی مسیر حرکتشان است.

$$T_1 = \text{پریود حرکت سیاره‌ی شماره‌ی ۱}$$

$$T_2 = \text{پریود حرکت سیاره‌ی شماره‌ی ۲}$$

$$a_1 = \text{نصف قطر اطول مسیر حرکت سیاره‌ی ۱}$$

$$a_2 = \text{نصف قطر اطول مسیر حرکت سیاره‌ی ۲}$$

$$\frac{T_1^2}{a_1^3} = \frac{T_2^2}{a_2^3} = \text{مقدار ثابت} \quad \Rightarrow \quad \frac{T_1^2}{T_2^2} = \frac{a_1^3}{a_2^3}$$

طبق قانون سوم کپلر است که برای مثال عطارد نزدیک‌ترین سیاره به خورشید دارای پریود ۸۸ روز بوده پلوتون دورترین سیاره دارای پریود حرکت ۲۴۸ سال است (مراجعه شود به ضمیمه‌ی ۱).

۱- پریود حرکت هر سیاره مدت زمانی است که آن سیاره در مسیر حرکت خود به دور خورشید یک دور کامل می‌زند؛ برای مثال، پریود حرکت سیاره‌ی زمین تقریباً ۳۶۵/۲۵ روز است.



آیا می دانید که اگر فردی پنجاه ساله در زمین، برای مثال در سیاره‌ی عطارد زندگی می کرد سنی برابر  $۲۰۷/۶^۰$  سال داشت و اگر در سیاره‌ی پلوتون زندگی می کرد سن او  $۲/۴$  ماه می شد.

مثال: با فرض این که پیوند حرکت عطارد ۸۸ روز و پیوند حرکت زمین  $۳۶۵/۲۵$  روز و نصف قطر بلند مسیر حرکت زمین به دور خورشید  $۱۴۹/۶$  میلیون کیلومتر باشد، نصف قطر بلند مسیر حرکت عطارد را محاسبه کنید.

$$\frac{T^2 \text{ زمین}}{a^3 \text{ زمین}} = \frac{T^2 \text{ عطارد}}{a^3 \text{ عطارد}} = \text{مقدار ثابت} = \frac{۳۶۵/۲۵^2}{۱۴۹/۶^3} = \frac{۸۸^2}{a^3}$$

میلیون کیلومتر  $۵۷/۹۲ = \text{عطارد } a$

## آیا می دانید؟



**خیام در اواسط عمر به اصفهان رفت و مدت ۱۸ سال در آن جا اقامت گزید و با حمایت ملک شاه سلجوقی و وزیرش نظام الملک، به همراه جمعی از دانشمندان و ریاضیدانان معروف زمانه خود، در رصدخانه ای که به دستور ملکشاه تأسیس شده بود، به انجام تحقیقات نجومی پرداخت. حاصل این تحقیقات اصلاح تقویم رایج در آن زمان و تنظیم تقویم جلالی (لقب سلطان ملکشاه**

**سلجوقی) بود. در تقویم جلالی، سال شمسی تقریباً برابر با ۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه و ۴۵ ثانیه است. سال دوازده ماه دارد ۶ ماه نخست هر ماه ۳۱ روز و ۵ ماه بعد هر ماه ۳۰ روز و ماه آخر ۲۹ روز است هر چهار سال، یک سال را کبیسه می خوانند که ماه آخر آن ۳۰ روز است و آن سال ۳۶۶ روز است، در تقویم جلالی هر پنج هزار سال یک روز اختلاف زمان وجود دارد در صورتی که در تقویم گریگوری هر ده هزار سال سه روز اشتباه دارد.**

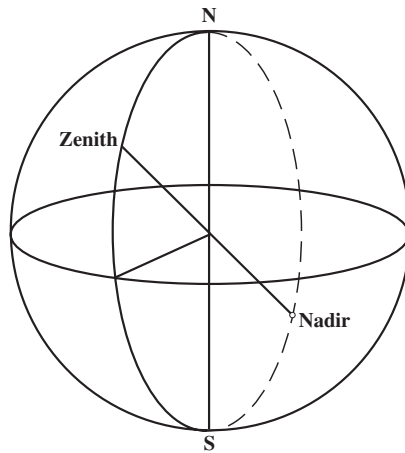
### ۳-۶- انواع زمان

۳-۶-۱- زمان خورشیدی: برای درک زمان خورشیدی لازم است که حرکات زمین را بشناسیم. کره‌ی زمین به طور کلی دارای دو حرکت اصلی در فضا است:

۱- حرکت دورانی      ۲- حرکت انتقالی

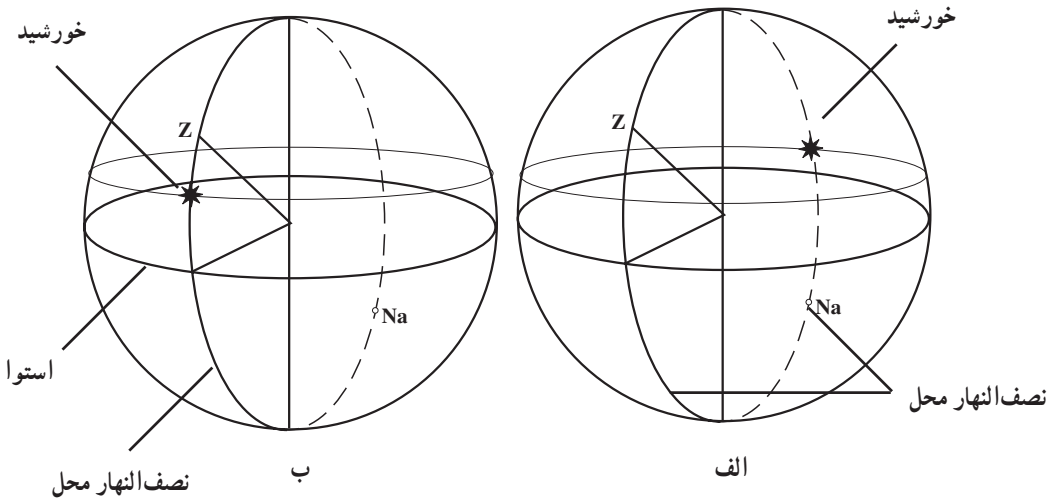
۱- حرکت دورانی: زمین حول یک محور دورانی که از قطب شمال و جنوب کره‌ی زمین عبور می‌کند - در خلاف حرکت عقربه‌های ساعت با سرعتی برابر  $10^{-5} \times 7/29$  رادیان بر ثانیه - در حال دوران است. این حرکت موجب پیدایش شب و روز در کره‌ی زمین می‌شود. به این حرکت در اصطلاح «حرکت روزانه» نیز گفته می‌شود.

۲- حرکت انتقالی: زمین غیر از حرکت دورانی به دور خورشید نیز می‌چرخد. این حرکت نیز سبب پیدایش سال می‌شود و به آن «حرکت سالانه» نیز می‌گویند.



شکل ۶-۷

زمان خورشیدی یک محل مدت زمانی است که خورشید از نصف النهار آن محل عبور کرده باشد. البته باید توجه نمود که خورشید دو بار از نصف النهار یک محل عبور می‌کند (شکل ۶-۸). به طور کلی صفحه‌ی نصف النهار هر محلی با محور دورانی به دو قسمت تقسیم می‌گردد که عبارت‌اند از: «نیمه‌ی سمت الرأسی» (قسمتی که شامل N و S است) و دیگری «نیمه‌ی سمت القدمی» (شامل Na و S و N) (شکل ۶-۷).



شکل ۸-۶

شروع زمان نجومی از لحظه‌ای است که خورشید از نیمه‌ی سمت‌القدمی نصف‌النهار محل عبور می‌کند. در شکل ۸-۶ الف ساعت صفر خورشیدی و در شکل ۸-۶ ب ساعت ۱۲ خورشیدی نشان داده شده است.

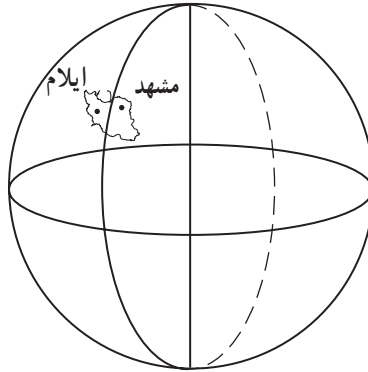
فاصله‌ی زمانی بین دو عبور متوالی خورشید از نیمه‌ی سمت‌القدمی نصف‌النهار محل را «روز خورشیدی» گویند. زمان خورشیدی را به‌طور خلاصه برای هر محل با «L.M.T» مشخص می‌کنند.

همان‌گونه که از تعریف زمان خورشیدی محل مشخص گردید هر محلی دارای یک زمان خورشیدی است؛ برای مثال، اگر زمان خورشیدی در محل ما  $11^h$  باشد (یعنی  $11^h$  است که خورشید از نیمه‌ی سمت‌القدمی نصف‌النهار محل ما عبور کرده) در آن صورت در یک محل دیگر در همان لحظه، زمان خورشیدی عدد دیگری خواهد بود.

پرسش: وقتی زمان خورشیدی در نقطه‌ای از تهران ۱۴ باشد در شهرستان مشهد زمان خورشیدی جلوتر از ۱۴ است یا عقب‌تر از آن؟ در شهر ایلام چطور؟

با توجه به این پرسش، محل مورد نظر اگر در شرق محل ما باشد زمان خورشیدی آن جلوتر از زمان خورشیدی محل ما در یک لحظه است و اگر در غرب محل ما باشد زمان خورشیدی آن عقب‌تر از زمان خورشیدی محل ما است. به شکل ۹-۶ توجه کنید. وقتی خورشید ۱۴ ساعت است که از

نیمه‌ی سمت‌القدمی نصف‌النهار تهران عبور کرده در آن صورت، قبل از آن از نصف‌النهار مشهد عبور کرده بوده، یعنی زمان خورشیدی در آن لحظه، برای مثال در مشهد ۱۴/۵ بوده در حالی که در آن لحظه‌ای که خورشید از نصف‌النهار تهران می‌گذشته هنوز از نصف‌النهار ایلام نگذشته بوده است؛ بر این اساس، در همان لحظه که در محلی از تهران زمان خورشیدی ۱۴ بوده این زمان در ایلام ۱۳/۵ بوده است.



شکل ۹-۶

حال اگر به زمان خورشیدی گرینویچ توجه کنیم، ایران در شرق گرینویچ واقع است (مانند وضعیت مشهد نسبت به تهران)؛ بنابراین، زمان خورشیدی محل ما (ایران) جلوتر از زمان خورشیدی گرینویچ خواهد بود. زمان خورشیدی گرینویچ را با «G.M.T» نشان می‌دهند و البته آن را به صورت یک زمان جهانی پذیرفته‌اند و به همین دلیل آن را با U.T<sup>۱</sup> نیز مشخص می‌کنند.

با توجه به این موضوع که یک دوران کامل زمین یعنی دوران  $360^\circ$  معادل یک روز یعنی ۲۴ ساعت می‌باشد هر ساعت معادل  $\frac{360^\circ}{24}$ ، یعنی  $15^\circ$  می‌باشد. رابطه‌ی بین زمان جهانی و زمان خورشیدی یک محل با توجه به تعاریف قبلی به این صورت خواهد بود:

$$LMT = UT + \lambda/15$$

مثال: زمان خورشیدی را برای محلی که طول نجومی آن  $51^\circ$  شرقی، در لحظه‌ای که زمان جهانی  $10^\circ$  ساعت است محاسبه کنید.

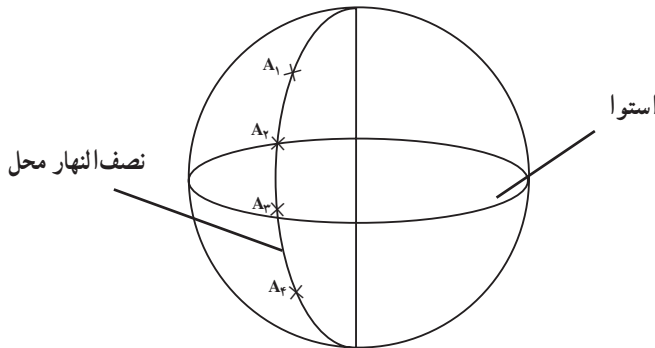
۱- Greenwich Mean Time

۲- Universal Time

$$LMT = 1^{\circ}h + \frac{51}{15} = 13^{\circ}h 24^m$$

مفهوم این مطلب آن است که هرگاه خورشید  $1^{\circ}$  ساعت از نصف النهار گرینویچ گذشته باشد در همان لحظه  $13$  ساعت و  $24$  دقیقه بوده که از نصف النهار محلی با  $51^{\circ}$  عبور کرده بوده است. پرسش: در چه جهتی باید جابه‌جا شویم تا زمان خورشیدی تغییر نکند؟ در چه جهتی بیش‌ترین تغییرات زمان خورشیدی رخ می‌دهد؟

اگر بر روی یک نصف النهار حرکت کنیم زمان خورشیدی برای تمام نقاط آن نصف النهار یکسان بوده همه‌ی آن نقاط در یک لحظه دارای یک زمان خورشیدی خواهند بود. برای تمام مناطق  $A_1, A_2, A_3, A_4$  و ... زمان خورشیدی یکسان است. پس اگر شما در جهت شمال و جنوب محل خودتان جابه‌جا شوید تغییری در زمان خورشیدی محلی احساس نخواهید کرد.

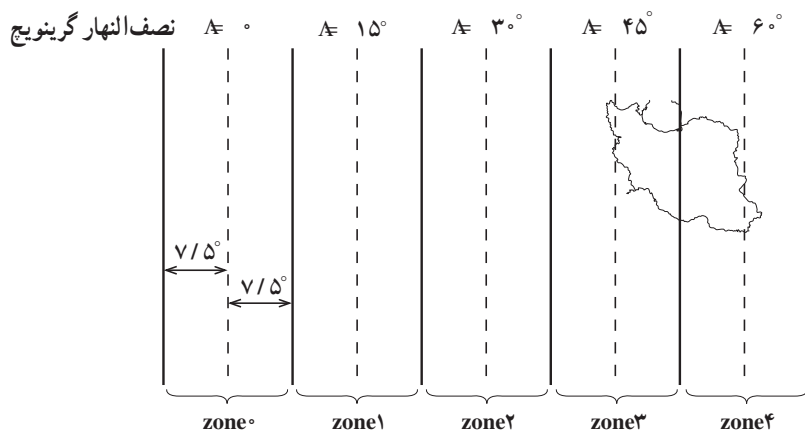


شکل ۱۰-۶

حال اگر در جهت عمود بر نصف النهار جابه‌جا شویم بیش‌ترین تغییر در زمان خورشیدی پدید می‌آید. حال، سؤال این است چرا رادیو یا تلویزیون کشور ما یک ساعت مشخصی را برای تمام نقاط ایران اعلام می‌کند و همه‌ی افراد ساعت‌ها را براساس آن تنظیم می‌کنند؟

۲-۳-۶- زمان استاندارد: با در نظر گرفتن تعاریف یاد شده برای زمان خورشیدی نتیجه می‌گیریم که حتی چند قدمی محل سکونت ما نیز - غیر از محل‌هایی که روی نصف النهار محل سکونت ما هستند - دارای زمان خورشیدی متفاوت از زمان خورشیدی محل سکونت ما هستند. پس این زمانی که سراسر کشور با آن کار می‌کنند L.M.T نیست، بلکه زمان استاندارد است که آن را با Z.T<sup>۱</sup> نشان می‌دهند.

برای زمان استاندارد، کره‌ی زمین را به قاج‌های  $15^\circ$  تقسیم می‌کنند. نحوه‌ی تقسیم‌بندی هم بدین صورت است که نصف‌النهار گرینویچ را در نظر گرفته  $7/5^\circ$  سمت چپ و  $7/5^\circ$  سمت راست آن در اصطلاح zone 0 نام دارد. کلیه‌ی کشورهایی که در داخل این قاج قرار می‌گیرند، زمان استاندارد آن‌ها را نسبت به نصف‌النهار گرینویچ ( $0^\circ$ ) تنظیم می‌کنند. زمان در برخی کشورها مانند زمان جهانی است؛ یعنی با زمان گرینویچ یکسان هستند و کشورهایی نیز هستند که با زمان جهانی یک ساعت اختلاف زمانی دارند و ... کشور ایران هم یک حالت خاصی دارد. نصف کشور ما داخل قاج شماره‌ی ۳ قرار دارد؛ یعنی این قسمت از کشورمان ۳ ساعت جلوتر از زمان جهانی است. درحالی‌که نصف دیگر کشورمان در قاج شماره‌ی ۴ واقع است؛ یعنی ۴ ساعت اختلاف زمانی با گرینویچ دارد (شکل ۱۱-۶). برای این که دو ساعت متفاوت در کشورمان نباشد به‌طور قراردادی اختلاف زمانی  $3/5$  ساعت را برای کشورمان در نظر گرفتند؛ از این رو، کشور ما اختلاف زمانی  $3/5$  ساعت با زمان جهانی دارد.



شکل ۱۱-۶

مثال: در ایران، رادیو ساعت ۱۴ را اعلام می‌کند؛ حال در همان لحظه در گرینویچ ساعت

$$\begin{aligned}
 U.T &= Zt - 3/5^h && \text{چند است؟} \\
 &= 14 - 3/5 && \text{زمان جهانی} \\
 &= 10/5 \text{ ساعت}
 \end{aligned}$$

در شکل ۱۲-۶ وضعیت زمان استاندارد را در کشورهای مختلف، هم چنین محدودی قاجها را به طور کامل مشاهده می کنید.



شکل ۱۲-۶- زمان مناطق مختلف جهان را وقتی که زمان جهانی ۱۱ ساعت بوده نشان می دهد.

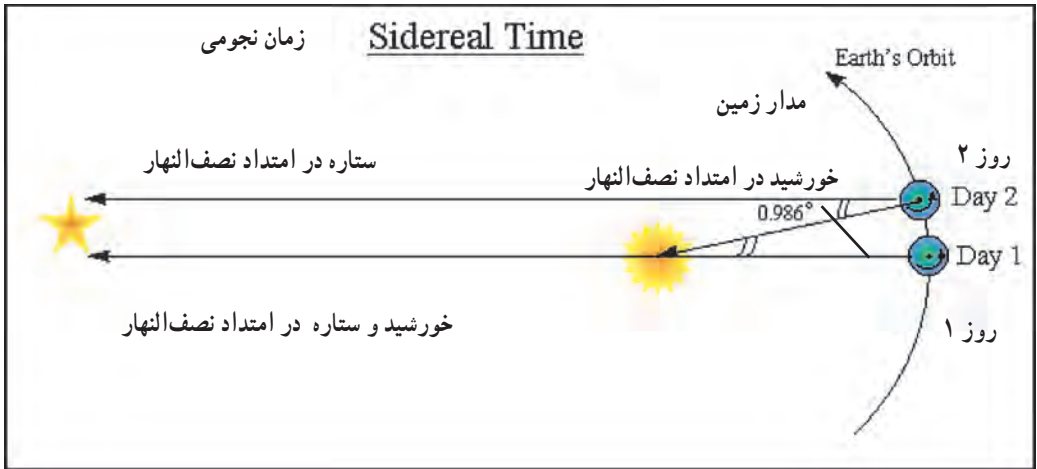
موضوع دیگری که باید بدان توجه نمود این است که برخی کشورها از جمله ایران، در فصل های مختلفی از سال ساعت ها را جلو یا عقب می کشند و این موضوع تغییر اختلاف بین Z.T و زمان جهانی را سبب می شود. در کشور ما در اوّل بهار ساعت ها را ۱ ساعت جلو می کشند؛ سپس در اوّل مهرماه ساعت ها را به همان وضعیت قبلی برمی گردانند. پس اختلاف زمانی بین زمان کشور ما و زمان جهانی در شش ماهه ی اوّل سال ۴/۵ ساعت بوده در شش ماهه ی دوّم سال ۳/۵ ساعت است. پرسش: وقتی رادیو در کشورمان در نیمه ی دوم سال، ساعت ۱۴ را اعلام می کند. گویای این مطلب است که خورشید ۱۴ ساعت است که از نیمه ی سمت القدمی نصف النهاری گذشته است. حال، بگویید که از کدام نصف النهار عبور کرده است؟

نصف النهار استاندارد کشور ما ۵۲/۵° E، یعنی، زمان استاندارد کشور ما بیانگر عبور خورشید از نیمه سمت القدمی نصف النهار ۵۲/۵° است.

پرسش: زمان خورشیدی محلی (L.M.T) چه محلی از کشورمان با زمان استاندارد برابر است؟  
 ۳-۳-۶- زمان نجومی: زمان نجومی به مدت زمانی گفته می شود که هر ستاره، به جز خورشید، از نیمه ی سمت الرأسی نصف النهار محل عبور کرده باشد. این زمان را به طور مختصر با LST<sup>۱</sup> نشان می دهند.

<sup>۱</sup> - Local Sidereal Time

فاصله‌ی زمانی بین دو عبور متوالی یک ستاره‌ی مشخص از نصف‌النهار محل را یک «روز نجومی» گویند. در شکل ۱۳-۶، یک روز نجومی به همراه اختلاف آن با یک روز خورشیدی نشان داده شده است.



شکل ۱۳-۶- زمان نجومی

نزدیک‌ترین ستاره به جز خورشید، حدود چهار سال نوری، از ما فاصله دارد؛ یعنی، فاصله‌ای حدود:

$$۴ \times ۳۶۵ \times ۲۴ \times ۶۰ \times ۶۰ \times ۳۰۰۰۰۰۰ = ۳ / ۷۸۴۳۲ \times ۱۰^{۱۳} \text{ کیلومتر}$$

در حالی که فاصله‌ی ما از خورشید به‌طور ماکزیمم در طول سال برابر  $۱.۵۲۱ \times ۱۰^۸$  کیلومتر است که مقدار بسیار ناچیزی در مقابل فاصله‌ی ما تا ستارگان دیگر است و به همین دلیل در هر جای مسیر حرکت زمین به دور خورشید امتداد هر ستاره‌ای را می‌توان موازی فرض نمود؛ پس یک روز نجومی به‌طور دقیق از دوران  $۳۶^\circ$  زمین به دور محور خودش حاصل می‌گردد، اما با توجه به نزدیکی خورشید به زمین برای یک روز خورشیدی زمین باید مقداری بیش‌تر از  $۳۶^\circ$  دوران داشته باشد تا یک روز خورشیدی تمام گردد. این میزان اضافه‌ی دوران‌ها در طول یک سال (۳۶۵/۲۵) روز خورشیدی برابر  $۳۶^\circ$  است پس برای هر روز برابر  $۰/۹۸۶^\circ$  خواهد بود:

$$۳۶۰ \div ۳۶۵ / ۲۵ = ۰ / ۹۸۶^\circ$$

پرسش: روز خورشیدی طولانی‌تر از روز نجومی است یا کوتاه‌تر از آن؟ چه قدر؟

$$۰ / ۹۸۶^\circ \div ۱۵ = ۰^h . ۳^m ۵۶ / ۶^s \quad \Leftarrow \quad \text{پس ۲۴ ساعت خورشیدی به میزان}$$



بلندتر از ۲۴ ساعت نجومی است.  
تمرین: جاهای خالی را پر کنید.

نجومی  $1 = \square^h$  و  $\square^m$  ساعت خورشیدی

نجومی  $1 = \square^m$  و  $\square^s$  دقیقه خورشیدی

نجومی  $1 = \square^s$  ثانیه خورشیدی

۴-۳-۶- زمان اتمی: هر سه زمان یاد شده وابسته به دَوَران زمین است و با توجه به تغییر سرعت دورانی زمین، آن زمان‌ها همگی نامنظم بوده همین امر در نجوم و حتی در تعیین موقعیت ماهواره‌ای مشکل‌ساز خواهد بود؛ از این رو، لازم بود که زمانی تعریف شود که مستقل از حرکات دورانی زمین باشد. به همین سبب در سال ۱۹۶۷ میلادی در یک کمیته‌ی جهانی زمان اتمی مطرح و ثانیه‌ی اتمی براساس نوسانات اتم سزیم ۱۳۳ تعریف گردید. براساس تصمیم این کمیته، هر ثانیه‌ی اتمی برابر  $9,192,631,770$  بار نوسانات اتم سزیم ۱۳۳ است. این زمان به وسیله‌ی علائم رادیویی با فرستنده‌های مختلفی ارسال می‌گردد. در ایران نیز این زمان به راحتی از فرستنده‌ی RWM مسکو دریافت می‌گردد و ساعت‌ها و کرنومترها را براساس آن تنظیم می‌کنند. به طور اختصار زمان اتمی را با IAT (International Atomic Time) نشان می‌دهند.

## خودآزمایی

- ۱- نقش زمان در تعیین موقعیت و لزوم اندازه‌گیری آن را توضیح دهید.
- ۲- انواع زمان را که در نقشه‌برداری اندازه‌گیری و بکار گرفته می‌شوند، نام ببرید.
- ۳- قانون اول کپلر را بیان کنید.
- ۴- مقدار ثابت حرکت زمین به دور خورشید را با رسم شکل محاسبه کنید.
- ۵- طول نصف قطر بلند و کوتاه بیضی مسیر حرکت زمین به دور خورشید را محاسبه کنید.
- ۶- مقدار خارج از مرکزیت بیضی مسیر حرکت زمین به دور خورشید را محاسبه کنید.
- ۷- قانون دوم کپلر را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۸- قانون سوم کپلر را با نوشتن رابطه‌ی مربوطه توضیح دهید.
- ۹- حرکت زمین به دور خودش (حرکت دورانی) را توضیح دهید.
- ۱۰- حرکت زمین به دور خورشید (حرکت انتقالی) را توضیح دهید.
- ۱۱- زمان متوسط خورشیدی را توضیح دهید.
- ۱۲- رابطه‌ی بین زمان جهانی و زمان خورشیدی یک محل را با ذکر مثال توضیح دهید.
- ۱۳- زمان استاندارد کشورها را با رسم شکل توضیح دهید.
- ۱۴- زمان استاندارد ایران را توضیح دهید.
- ۱۵- زمان نجومی را تعریف کنید.
- ۱۶- روز نجومی را تعریف کنید.
- ۱۷- زمان اتمی را تعریف کنید.

### تعیین موقعیت نجومی (۲)

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

- ۱- ستاره را تعریف کرده واحد اندازه‌گیری فاصله‌ی ستارگان را توضیح دهد.
- ۲- نجوم محض و نجوم موضعی را تعریف کند.
- ۳- سیاره را تعریف کند.
- ۴- سیارات منظومه‌ی شمسی را به ترتیب نزدیکی به خورشید نام ببرد.
- ۵- قمر طبیعی را تعریف کرده تعداد اقمار طبیعی کره‌ی زمین و کره‌ی مشتری را نام ببرد.
- ۶- قمر مصنوعی را تعریف کند.
- ۷- سه فرق سیارات و ستارگان را به‌طور خلاصه بیان کند.
- ۸- کره‌ی سماوی را با رسم شکل تعریف کند.
- ۹- سمت الرأس و سمت القدم را در کره‌ی سماوی تعریف کند.
- ۱۰- محور دورانی عالم را با رسم شکل تعریف کند.
- ۱۱- صفحه‌ی استوای سماوی را تعریف کند.
- ۱۲- صفحه‌ی اکلیپتیک را با رسم شکل تعریف کرده، زاویه‌ی آن با صفحه‌ی استوا را بیان کند.
- ۱۳- خط اعتدالین را تعریف کند.
- ۱۴- نقاط اعتدالین را تعریف کند.
- ۱۵- روش تعیین عرض نجومی تقریبی یک محل را با استفاده از ستاره‌ی قطبی شرح دهد.

## ۷-۱- تعیین موقعیت با استفاده از وضعیت ستارگان

### ۷-۱-۱- تعاریف مقدماتی

۱- ستاره: در نقشه برداری برای تعیین موقعیت یک نقطه می توان از وضعیت ستارگان و دیگر اجرام سماوی نیز استفاده نمود که این موضوع از دیرباز سابقه داشته است. ستارگان مجموعه ای از اجرام سماوی هستند که آن ها را در منظومه ی شمسی به صورت جرم سماوی ثابت می شناسیم، آن ها را نقاط ثابت مختصات دار در نظر می گیریم، هر چند که ستارگان نیز به همراه منظومه ی شمسی در حال حرکت هستند. فواصل ستارگان از کره ی زمین را با واحدی به نام سال نوری می سنجند.

یک سال نوری مسافتی است که نور در یک سال می پیماید و با توجه به این که سرعت نور تقریباً  $300000$  کیلومتر بر ثانیه است، پس یک سال نوری برابر خواهد بود با:

$$3000000 \times 60 \times 60 \times 24 \times 365 = 9,460,800,000,000 \text{ کیلومتر}$$

نزدیک ترین ستارگان نسبت به کره ی زمین، به جز خورشید، ۴ سال نوری فاصله دارند؛ یعنی حدود  $3/7 \times 10^{13}$  کیلومتر.

مثال ۱: شعاع کره ی زمین چه نسبتی از یک فاصله ی سال نوری است؟

$$\frac{6400}{4 \times 9/4608 \times 10^{13}} = \frac{1}{5/913 \times 10^9} \cong 1/69 \times 10^{-10}$$

\* توجه کنید که ابعاد کره ی زمین، حتی در مقابل نزدیک ترین ستارگان بسیار ناچیز است.

مثال ۲: می دانیم فاصله ی زمین تا خورشید حدود  $152100000$  کیلومتر است. این فاصله را بر اساس سال نوری بیان کنید.

$$\frac{152100000}{94608000000000} = 1/6 \times 10^{-5} \text{ سال نوری}$$

$$1/6 \times 10^{-5} \times 365 = 0/005868 \text{ روز نوری}$$

$$0/005868 \times 24 = 0/140833 \text{ ساعت نوری}$$

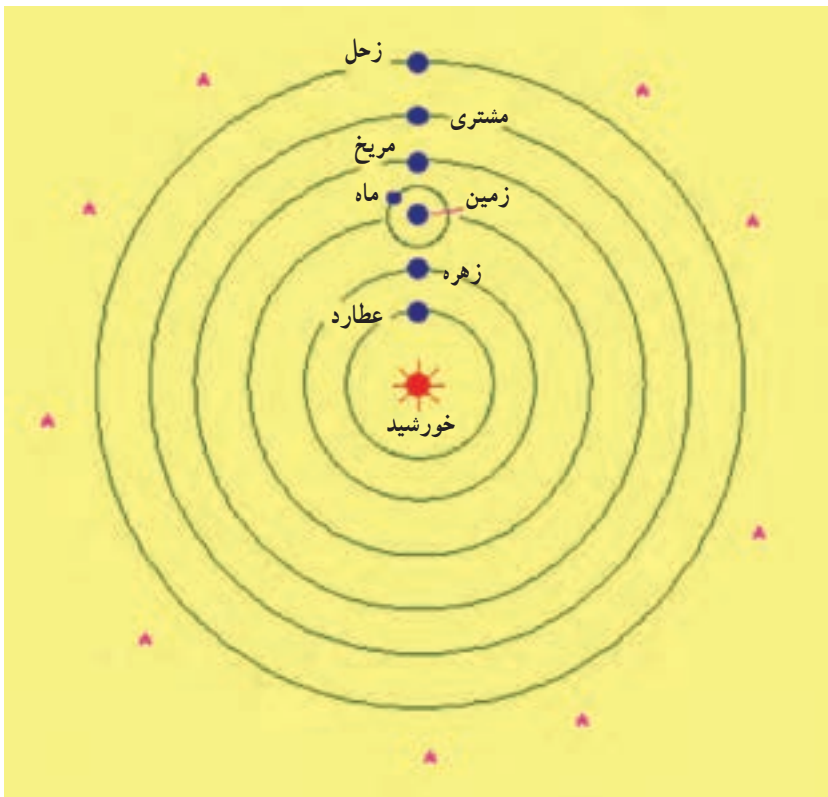
$$0/140833 \times 60 = 8/45 \text{ دقیقه ی نوری}$$

بنابراین، فاصله ی ما از خورشید حدود  $8/5$  دقیقه ی نوری است.

۲- نجوم: به علمی که با آن ماهیت ستارگان را بررسی می کنند «علم نجوم محض» می گویند. حال، اگر این بررسی ها درباره ی موضع و موقعیت ستارگان باشد به آن «نجوم موضعی» گویند. در

نقشه‌برداری با موقعیت ستارگان کار داریم؛ به این صورت که از موقعیت آن‌ها برای به دست آوردن موقعیت نقاط زمینی استفاده می‌کنیم.

۳- سیاره: یکی دیگر از اجرام سماوی «سیارات» هستند. سیارات، مجموعه‌ای از اجرام سماوی هستند که به دور خورشید در حال دَوَران هستند. زمین نیز یکی از این سیارات است. حرکت سیارات به دور خورشید بر اساس قوانین کپلر بوده که به دلیل اهمیت آن قوانین، در ژنودزی آن را در بخش قبل توضیح دادیم. در شکل ۱-۷ وضعیت سیارات را مشاهده می‌کنید.



شکل ۱-۷

اسامی سیارات شناخته شده‌ی منظومه‌ی شمسی به ترتیب نزدیکی به خورشید عبارت‌اند از:

۱- عطارد ۲- زهره ۳- زمین ۴- مریخ ۵- مشتری ۶- زحل ۷- اورانوس ۸- نپتون

۹- پلوتون

۴- قمر: یکی دیگر از جرم‌های سماوی اقمار طبیعی هستند که نمونه‌ی مشخص آن‌ها کره‌ی ماه

است. اقمار طبیعی اجرام سماوی هستند که دور سیارات حرکت می‌کنند. بررسی حرکات این‌ها مشکل‌تر از بقیه است، زیرا اقمار، علاوه بر گردش بر دور سیارات خود به دور خورشید هم دوران می‌کنند. زمین فقط دارای یک قمر طبیعی بوده در حالی که سیاره‌ی مشتری دارای سیزده قمر شناخته شده است.

## آیا می‌دانید؟



نوع دیگر از اجرام سماوی اقمار مصنوعی یا همان ماهواره‌ها هستند.

۵- **فرق ستاره و سیاره:** فرق بین سیارات و ستارگان، به‌طور خلاصه، بدین قرار است:

۱- **وضعیت سیارات نسبت به هم و نسبت به ستارگان لحظه به لحظه در حال تغییر بوده، درحالی‌که وضعیت ستارگان نسبت به هم ثابت است.**

۲- **سیارات در حال دوران به دور خورشید هستند در حالی‌که ستارگان جرم‌های سماوی ثابتند.**

۳- **سیارات بزرگ و نزدیک به کره‌ی زمین در تلسکوپ به صورت یک قرص به چشم**

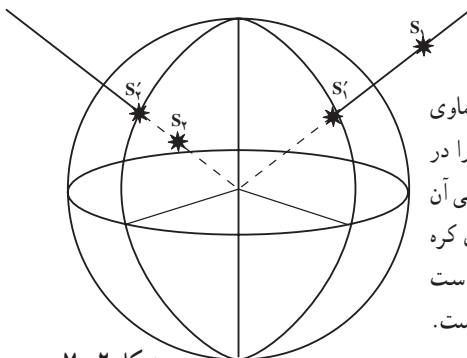
می آیند ؛ در حالی که ستارگان فقط به صورت یک نقطه‌ی نورانی در تلسکوپ دیده می‌شوند.

۶- کره‌ی سماوی: در یک شب صاف به آسمان نگاه کنید. میلیون‌ها ستاره را در آسمان با فاصله‌های مختلف از خودتان می‌بینید. چون در نجوم امتداد ستارگان را مشاهده می‌کنیم بهتر است آن‌ها را بدون توجه به فواصل آن‌ها از ما بر روی یک کره‌ی فرضی، تصویر شعاعی کنیم. به این کره‌ی فرضی که مرکز آن، مرکز جرم زمین بوده و اجرام سماوی روی آن تصویر شعاعی<sup>۱</sup> می‌گردند «کره‌ی سماوی» گویند.



شکل ۳-۷- کره‌ی سماوی

همان‌گونه که از شکل پیداست در هر لحظه فقط می‌توانیم نصف این کره را ببینیم که به سمت بالای سر ما قرار دارد. حال آن‌که نیم کره‌ی زیرین و ستارگان تصویر شده‌ی روی آن را نمی‌توان در

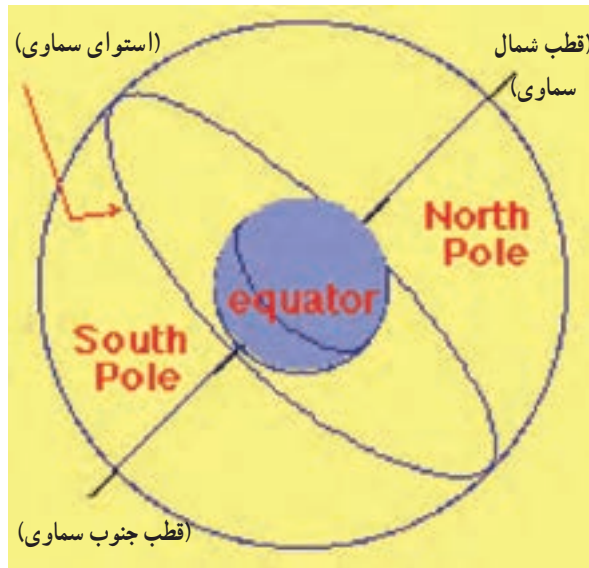


شکل ۲-۷

۱- تصویر شعاعی بدین مفهوم است که اگر مرکز کره‌ی سماوی را به هر جرم سماوی وصل کنیم این امتداد سطح کره‌ی سماوی را در یک نقطه قطع می‌کند. آن نقطه بر روی کره‌ی سماوی تصویر شعاعی آن جرم سماوی روی کره است. ممکن است جرم سماوی در بیرون کره باشد، مانند  $S_1$  که تصویر شعاعی آن  $S'_1$  است؛ هم‌چنین ممکن است جرم سماوی در داخل سماوی بوده مانند  $S_2$  که تصویر آن  $S'_2$  است.

همان لحظه مشاهده کرد.

- ۷- سمت الرأس و سمت القدم: نقطه‌ای که درست در بالای سر ما بر روی کره‌ی سماوی قرار دارد در اصطلاح سمت الرأس یا زینت<sup>۱</sup> و نقطه‌ی پایین را «سمت القدم» یا نادیر<sup>۲</sup> گویند.
- ۸- محور دورانی عالم: در صورتی که محور دورانی زمین را ادامه دهیم کره‌ی سماوی را در دو نقطه به نام قطب شمال سماوی (N.C.P) و قطب جنوب سماوی (S.C.P) قطع خواهد کرد. امتداد N.C.P به S.C.P را در نجوم «محور دورانی عالم» گویند.
- ۹- صفحه‌ی استوای سماوی: صفحه‌ای که از مرکز کره‌ی سماوی گذشته و بر امتداد محور دورانی عالم عمود باشد صفحه‌ی استوای سماوی گویند (شکل ۴-۷).



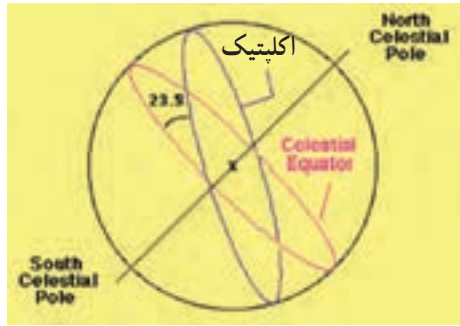
شکل ۴-۷

۱۰- صفحه‌ی اکلیپتیک: صفحه‌ی اکلیپتیک یک صفحه‌ی فرضی است که مسیر حرکت ظاهری خورشید را در روی کره‌ی سماوی نشان می‌دهد. این صفحه با صفحه‌ی استوا زاویه‌ی  $23\frac{1}{2}$  درجه می‌سازد که بدان زاویه‌ی میل صفحه‌ی اکلیپتیک گویند و همین زاویه‌ی میل اکلیپتیک می‌باشد که باعث تغییر طول شبانه روز می‌گردد.

۱ - Zenith

۲ - Nadir





شکل ۷-۵

## آیا می‌دانید؟



ابوریحان بیرونی در هر کاری جانب حق و صدق و امانت را رعایت می‌نمود. و روح او جز با مشاهده و تجربه‌ی شخصی آرام نمی‌گرفت. برای نمونه، میل کلی (زاویه‌ی میان سطح استوا و سطح مدار ظاهری خورشید) را

چند بار در غزنه اندازه می‌گیرد تا خاطرش آسوده شد و دانست که میل کلی ۲۳ درجه و ۳۵ دقیقه است. این در حالی بود که پیش از او نیز شخصیت‌های گوناگونی بارها این کار را انجام داده بودند.

در شکل ۷-۶ مفهوم اکلتیک بهتر نشان داده شده است.



(ب)

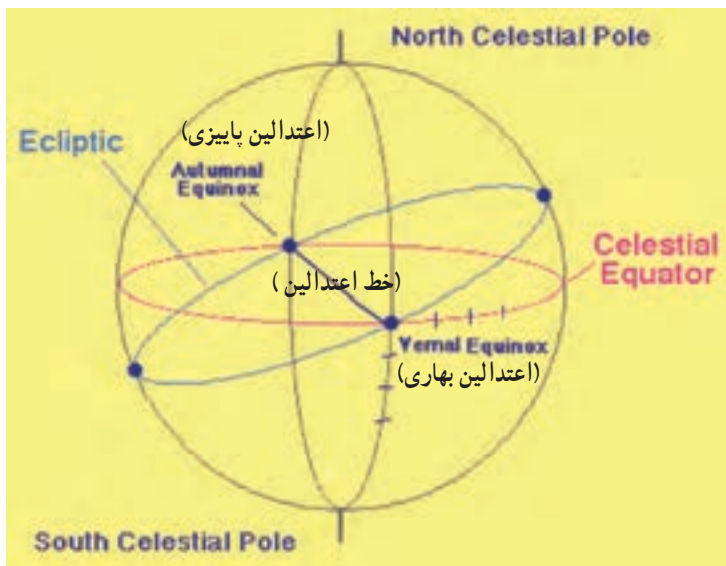
(الف)

شکل ۷-۶— وضعیت امتداد زمین به خورشید را برای امروز و برای ۶ ماه بعد نشان می‌دهد.

شکل ۶-۷- ب، موقعیت خورشید را نسبت به ستارگان قابل رؤیت از سطح زمین در امروز را نشان می‌دهد. حال، این موقعیت را در روی کره‌ی سماوی علامت‌گذاری می‌کنیم. با توجه به حرکت زمین (حرکت انتقالی) این موقعیت به‌طور پیوسته در حال تغییر است که ترسیم وضعیت آن بعد از شش ماه، در شکل ۶-۷ الف، آمده است.

بنابراین، هر یک از این وضعیت‌ها در هر لحظه در حال تغییر است و اگر این وضعیت‌ها را در یک سال در نظر بگیریم حرکت ظاهری خورشید در یک سال، صفحه‌ی اکلیپتیک را در روی کره‌ی سماوی مشخص خواهد کرد.

۱۱- خط اعتدالین: تقاطع صفحه‌ی استوا و صفحه‌ی اکلیپتیک در امتداد خطی است که به آن «امتداد خط اعتدالین» گویند. این امتداد کره‌ی سماوی را در دو نقطه، یکی اعتدالین بهاری و دیگری اعتدالین پاییزی قطع می‌کند.

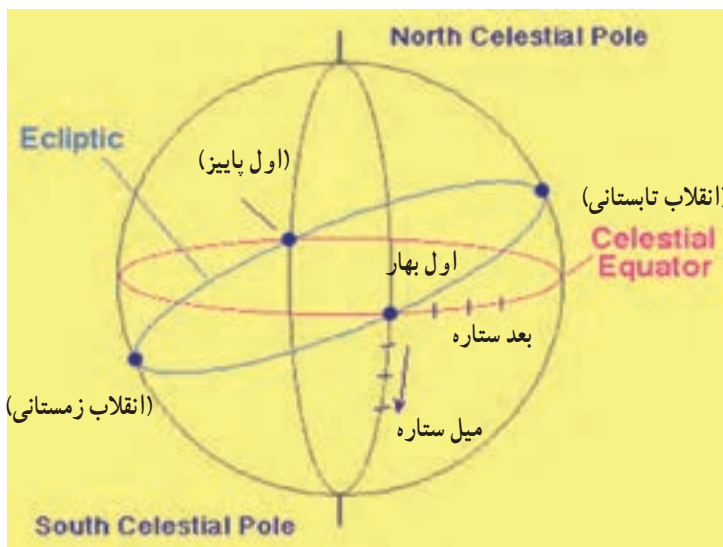


شکل ۷-۷

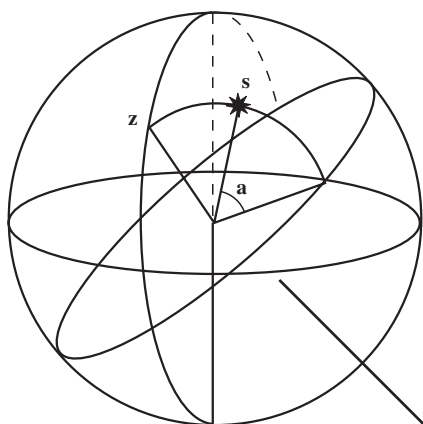
۱۲- نقاط اعتدالین: نقاط اعتدالین نقاطی هستند که وقتی زمین به آن نقاط می‌رسد طول شبانه روز با هم برابر است.

خورشید در اول بهار (۲۱ مارس) به نقطه‌ی اعتدالین بهاری و در اول پاییز (۲۲ سپتامبر) به نقطه‌ی اعتدالین پاییزی می‌رسد. دو نقطه‌ی دیگر بر روی صفحه‌ی اکلیپتیک است که در یکی از

آن‌ها خورشید در شمالی‌ترین وضعیت در کره‌ی سماوی بوده و در اول تابستان (در حدود ۲۲ ژوئن) به آن نقطه می‌رسد که بدان «نقطه‌ی انقلاب تابستانی» می‌گویند. وضعیت دیگر حالتی است که خورشید در جنوبی‌ترین وضعیت بر روی کره‌ی سماوی قرار می‌گیرد و آن «انقلاب زمستانی» است در اول زمستان (حدود ۲۲ سپتامبر) زمین به آن نقطه می‌رسد.



شکل ۸-۷



شکل ۹-۷ ارتفاع ستاره

۱۳- ارتفاع ستاره: ارتفاع ستاره را با  $a$  نشان می‌دهند و آن زاویه‌ای است که امتداد ستاره با صفحه‌ی افق سماوی یک محل تشکیل می‌دهد که بر روی دایره‌ی قائم گذرنده بر ستاره اندازه‌گیری می‌شود. ارتفاع ستاره پارامتری است که مشاهده می‌کنیم. این ارتفاع در واقع زاویه‌ی شیب یا متمم زاویه‌ی زینتی است.

تغییرات ارتفاع ستاره:  $-9^\circ \leq a \leq 9^\circ$

+ برای بالای صفحه‌ی افق محل و - برای زیر صفحه‌ی افق محل.

۱ - Altitude

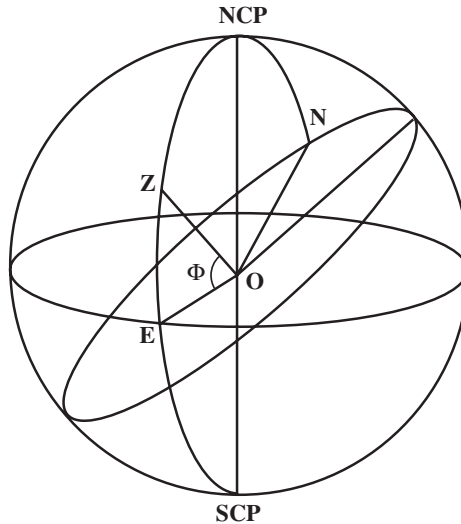
۱۴- زاویه‌ی زنیتی: زاویه‌ی بین امتداد ستاره و امتداد Zenith را زاویه‌ی زنیتی می‌گوییم و آن را با  $Z$  نشان می‌دهیم و داریم:

$$Z = 90^\circ - a$$

## ۲-۷- تعیین عرض نجومی تقریبی یک نقطه به روش‌های ساده

۱- تعیین عرض نجومی تقریبی یک نقطه با استفاده از ستاره‌ی قطبی: با توجه به شکل و تعاریف قبلی زاویه‌ی  $E\hat{O}Z$  همان عرض نجومی نقطه است. از طرفی  $OE$  یک امتدادی روی صفحه‌ی استواست. و امتداد  $NCP$  و  $O$  عمود بر استوا بوده و به همین دلیل زاویه‌ی  $NCP$  و  $O$  برابر  $90^\circ$  است. از طرفی زاویه‌ی  $N\hat{C}P, O, N$  طبق تعریف همان ارتفاع قطب است. چون  $OE \perp LO, NCP$  و  $OZ \perp ON$  بنابراین:

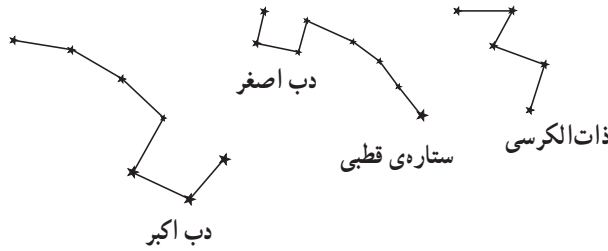
$$E\hat{O}Z(\Phi) = N\hat{C}P, O, N \text{ (ارتفاع قطب)}$$



شکل ۱۰-۷

پس اگر بتوانیم زاویه‌ی بین امتداد قطب را با صفحه‌ی افق اندازه‌گیری کنیم در حقیقت مقدار عرض نجومی یک محل را به دست آورده‌ایم. اما مشکل این است که امتداد دقیق قطب یا محور دورانی زمین را در اختیار نداریم تا زاویه‌ی ارتفاعی آن را قرائت نموده به  $\Phi$  یک محلی بی‌بریم.

ستاره‌ی قطبی<sup>۱</sup> ستاره‌ای است که امروزه به‌طور تقریبی در امتداد محور دورانی زمین است<sup>۲</sup>. امروزه ستاره‌ی قطبی ماکزیم حدود  $1^\circ$  از امتداد محور دورانی زمین منحرف است. نحوه‌ی تشخیص ستاره‌ی قطبی در آسمان با استفاده از شکل ۷-۱۱، امکان‌پذیر است. اگر ستارگان دب اکبر یا دب اصغر و ذات‌الکرسی را در آسمان تشخیص دهید در آن صورت خواهید توانست ستاره‌ی قطبی را در آسمان بیابید:



شکل ۷-۱۱

پس شما در هر محلی برای به‌دست آوردن  $\Phi$  تقریبی آن محل می‌توانید زاویه‌ی شیب ستاره‌ی قطبی را با هر وسیله‌ای اندازه‌گیری کنید، با دقتی حدود  $1^\circ$  با  $\Phi$  محل برابر است. پرسش: در چه محلی از کره‌ی زمین ستاره‌ی قطبی در افق آن محل دیده می‌شود؟ وقتی ستاره‌ی قطبی در افق محل دیده می‌شود زاویه‌ی شیب ستاره‌ی قطبی در آن محل برابر  $0^\circ$  است؛ یعنی عرض نجومی آن محل برابر با صفر بوده محل بر روی استوا قرار دارد. \* با توجه به نقشه‌ی جهان ۵ شهر از کشورهای مختلف را نام ببرید که ستاره‌ی قطبی در آن جا با زاویه‌ی صفر درجه دیده می‌شود.

آیا می‌دانید محلی که ستاره‌ی قطبی درست در بالای ناظر دیده می‌شود، دارای چه عرض نجومی می‌باشد؟

وقتی ستاره‌ی قطبی در سمت الرأس ناظر دیده می‌شود پس زاویه‌ی شیب ستاره‌ی قطبی در آن محل برابر با  $90^\circ$  است؛ یعنی  $90^\circ$ ؛ یعنی محل در قطب شمال است.

\* با توجه به نقشه‌ی کشور ایران بیان کنید در محل سکونت شما ستاره‌ی قطبی تقریباً با چه زاویه‌ی شیبی دیده می‌شود؟

۱ - Polaris

۲ - امتداد محور دورانی زمین در حال تغییر است؛ حتی پس از  $13000$  سال دیگر حدود  $47^\circ$  از امتداد فعلی منحرف خواهد شد. در درس ژئودزی دوره‌های بالاتر این موضوع را بی‌خواهید گرفت.

## مطالعه آزاد

۲- تعیین عرض نجومی تقریبی یک محل با استفاده از ارتفاع یک ستاره‌ی مشخص: راه حل ساده‌ی دیگر برای به دست آوردن  $\Phi$  محل، مشاهده‌ی ارتفاع یا زاویه‌ی زینتی ستاره‌ی مشخص در حالت عبور از صفحه‌ی نصف النهار محل است:

$$\hat{S}OE = \delta$$

میل ستاره

$$\hat{Z}OE = \Phi$$

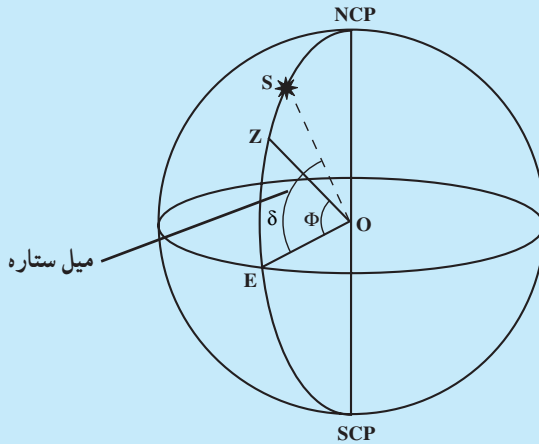
عرض نجومی محل

$$\hat{Z}OS = Z$$

زاویه‌ی زینتی ستاره

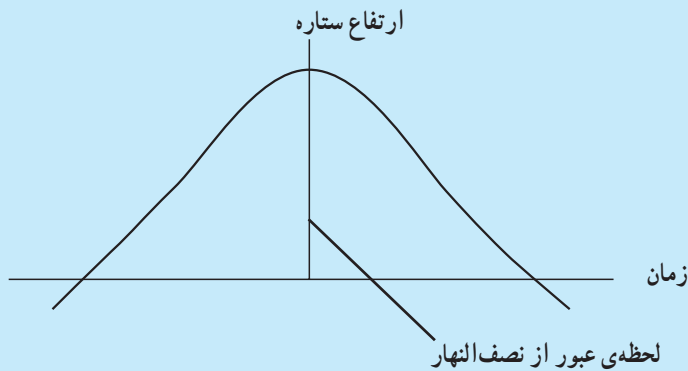
با یک رابطه‌ی ساده می‌توان  $\Phi$  را به دست آورد:

$$\Phi = Z - \delta$$



شکل ۱۲-۷

\* اگر ستاره از قسمت جنوبی «Zenith» عبور کند رابطه چگونه خواهد شد؟ در این روش هم مسئله‌ی مهم تشخیص این است که ستاره چه زمانی از نصف النهار محل عبور می‌کند. آفتاب را در نظر بگیرید. صبح به هنگام طلوع ارتفاع خورشید صفر است که رفته رفته ارتفاع آن زیاد می‌گردد تا این که به نصف النهار محل می‌رسد. در این حالت خورشید با بیش‌ترین ارتفاع مشاهده می‌شود. پس از آن حالت، دوباره ارتفاع خورشید رفته رفته کاهش پیدا کرده تا غروب کند. وضعیت ستارگان نیز چنین است. حالت عبور ستاره از نصف النهار محل ستاره دارای بیش‌ترین ارتفاع است.



شکل ۱۳-۷

از این رو قبل از عبور ستاره از نصف النهار به ستاره نشانه روی می‌کنیم. ارتفاع ستاره با گذشت زمان بیش‌تر می‌گردد. تا این که در یک زمان به بیش‌ترین مقدار خود می‌رسد. این زمان، لحظه‌ی عبور ستاره از نصف النهار است که در آن، ارتفاع ستاره اندازه‌گیری می‌شود و  $\Phi$  به دست می‌آید.

\* در اوّل تابستان ارتفاع خورشید در یک محلی اندازه‌گیری شده، مقدار آن  $38^\circ$  بوده، حال  $\Phi$  آن محل را محاسبه کنید.

روش‌های دقیق دیگری نیز وجود دارد که در دوره‌های بالاتر با آن آشنا خواهید

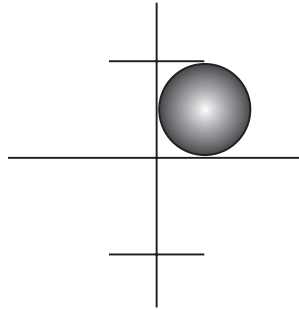
شد.

### ۷-۳- تعیین $\Lambda$ طول نجومی تقریبی یک محل

۱- تعیین طول نجومی ( $\Lambda$ ) تقریبی یک محل با مشاهده‌ی خورشید: چنان که یاد شد،  $\Lambda$  طول نجومی زاویه‌ی بین نصف النهار گرینویچ و نصف النهار محل است؛ هم‌چنین زمان خورشیدی و نجومی هم هر دو وابسته به نصف النهار محل هستند؛ براین اساس، می‌توانیم با استفاده از زمان به  $\Lambda$  یک محل برسیم.

اختلاف بین طول نجومی دو نقطه، دقیقاً برابر است با اختلاف بین زمان‌های محلی آن دو نقطه. از طرفی، یکی از روش‌های ساده، استفاده از مشاهده‌ی زمان عبور خورشید از نصف النهار محل است؛ بدین صورت که لحظه‌ی عبور خورشید از نصف النهار محل را ثبت می‌کنیم. تشخیص لحظه‌ی عبور خورشید از نصف النهار محل، لحظه‌ای است که خورشید دارای بیش‌ترین ارتفاع باشد.

بنابراین، یک روش ساده این است که برای به دست آوردن  $\Lambda$ ، تئودولیت را در نقطه‌ای خاص مستقر نموده با استفاده از فیلتر به خورشید نشان‌رومی می‌کنیم؛ پس موقعیت را دنبال نموده تا لحظه‌ای که به ماکزیمم ارتفاع برسد (البته با توجه به ابعاد بزرگ خورشید نمی‌توان مرکز آن را دقیق تشخیص داد) از این‌رو، مانند شکل آفتاب را در بین تار قائم و تار افق قرار داده تعقیب می‌کنیم:



شکل ۱۴-۷

در لحظه‌ای که خورشید به بیش‌ترین ارتفاع رسید زمان را به‌طور دقیق ثبت می‌کنیم. این زمان همان  $12^h = LMT$  و همان ظهر شرعی است.

(با توجه به این که شروع زمان خورشیدی از لحظه‌ی عبور خورشید از نیمه‌ی سمت‌القدمی نصف‌النهار بود.) حال با داشتن  $ZT$  می‌توانیم زمان جهانی  $UT$  یا  $GMT$  را محاسبه کنیم:

$$LMT - GMT = \Lambda \quad (\text{به واحد ساعت})$$

مثال: در یک روز تابستان در محلی واقع در کشور ایران به خورشید نشان‌رومی کرده زمان عبور خورشید از نصف‌النهار محل (از نیمه‌ی سمت‌الرأسی) را ثبت می‌کنیم. اگر عبور در ساعت  $13^h 07^m 10^s$  صورت گرفته باشد، در نتیجه:

(به دلیل این که در نیمه‌ی اول سال  $UT$  یا  $GMT = ZT - 4/5^h$  بوده است)

$$13^h 07^m 10^s - 4^h 30^m = 08^h 37^m 10^s$$

در لحظه‌ای که زمان را ثبت کردیم آن لحظه در حقیقت، ظهر آن محل بوده در گرینویچ ساعت:

$$08^h 37^m 10^s \text{ بوده است؛ بنابراین:}$$

$$LMT - GMT = 12^h - 08^h 37^m 10^s$$

$$= 3^h 22^m 50^s = \Lambda \text{ به ساعت}$$

$$\Lambda = 3^h 22^m 50^s \times 15 = 50^\circ 42' 30''$$



## مطالعه آزاد

۲- تعیین طول نجومی ( $\Lambda$ ) تقریبی یک محل با اندازه‌گیری سایه: با وضعیت سایه‌ی یک میله هم می‌توان به LMT  $12^h$  یک محل هم پی برد. میله‌ای را در محل مناسب به‌طور عمودی قرار می‌دهیم (می‌دانیم آفتاب در لحظه‌ی ظهر یا  $LMT = 12^h$  دارای بیش‌ترین ارتفاع است) سایه‌ی میله در ظهر کوتاه‌تر از بقیه لحظه‌هاست بدین ترتیب، می‌توان لحظه‌ای که دارای کوتاه‌ترین سایه است  $\Lambda$  محل را مشاهده کرد.

موضوع دیگر اینکه می‌توانیم به این روش، اختلاف  $\Lambda$  بین نقاط مختلف را نیز به‌دست آوریم. فرض کنید لحظه‌ای را که خورشید یا ستاره‌ای از نصف‌النهار نقطه‌ی A عبور می‌کند ثبت می‌کنیم. برای مثال، در نقطه‌ی A خورشید در ساعت  $2^s \ 14^m \ 13^h$  و در نقطه‌ی B در ساعت  $4^s \ 2^m \ 13^h$  از نصف‌النهار عبور می‌کند در صورتی که  $\Lambda$  نقطه‌ی A  $51^\circ 00' 00''$  باشد،  $\Lambda$  نقطه‌ی B را می‌توان محاسبه نمود:

$$\Delta Z = 13^h \ 2^m \ 4^s - 13^h \ 14^m \ 2^s$$

$$= 0^h \ 6^m \ 2^s$$

$$\Delta \approx 0^h \ 6^m \ 2^s \times 15 = 1^\circ 35'$$

حال، آیا این مقدار به  $\Lambda$  نقطه‌ی A باید اضافه شود یا از آن کم گردد؟ با توجه به زمان‌های یادشده درمی‌یابیم که نقطه‌ی B در سمت غرب نقطه‌ی A قرار دارد؛ براین اساس  $\Lambda$  نقطه‌ی B کم‌تر از  $\Lambda$  نقطه‌ی A است؛ یعنی باید مقدار موردنظر از  $\Lambda$  نقطه‌ی A کم گردد.

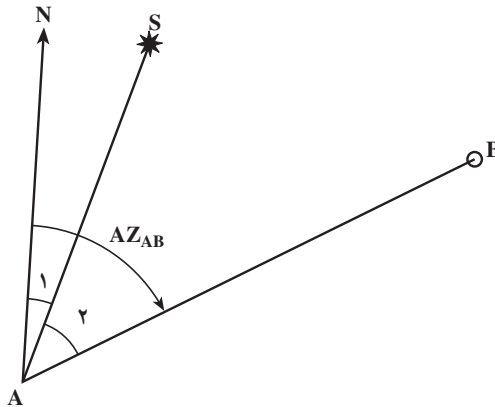
$$\Lambda \text{ نقطه‌ی B} = 49^\circ 25'$$

— باید توجه نمود که مانند تعیین  $\Phi$  برای  $\Lambda$  نیز روش‌های دقیق‌تر وجود دارد. در دوره‌های بالاتر با آن روش‌ها آشنا خواهید شد.

## ۴-۷- تعیین آزیموت نجومی تقریبی یک امتداد

هدف، تعیین آزیموت نجومی امتداد AB است، اما نمی‌توان این زاویه را مستقیماً اندازه‌گیری نمود، زیرا امتداد شمال را در اختیار نداریم تا به‌طور دقیق به آن نشانه‌روی کرده آن زاویه را با

تئودولیت یا وسایل دیگر مشاهده کنیم. برای حل این مشکل می‌توانیم از ستاره‌ی مشخص استفاده کنیم. با در نظر گرفتن ستاره‌ی S، زاویه‌ی مورد نظر به دو زاویه‌ی  $\hat{1}$  و  $\hat{2}$  تجزیه می‌گردد. زاویه‌ی «۲» زاویه‌ای است که می‌توان آن را مشاهده کرد. این زاویه بین امتداد ستاره‌ی مشخص و امتداد نقطه‌ی زمینی قرار دارد. اما برای زاویه‌ی «۱» نیز همان مشکل قبلی موجود است؛ به این صورت که یک طرف آن شمال بوده که یک امتداد مشخص نیست تا با آن بتوان نشانه‌روی کرد. در حقیقت، زاویه‌ی «۱» چیزی جز آزیموت ستاره نیست. بنابراین، این زاویه را فقط می‌توان محاسبه کرد، نه مشاهده. بر این اساس سه پارامتر موجود می‌تواند به شرح زیر باشد:



شکل ۱۵-۷

۱-  $\Phi$  عرض نجومی محل

۲-  $\delta$  میل ستاره (از جدول)

۳-  $a$  ارتفاع ستاره (می‌توان آن را مشاهده کرد).

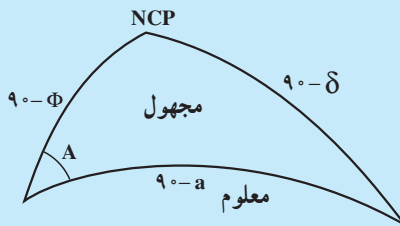
گفتنی است که در نجوم شیوه‌ی مشخص کردن  $\Phi$  و  $\Lambda$  و آزیموت به همین ترتیبی است که از آن یاد شد؛ یعنی ابتدا  $\Phi$  تعیین می‌گردد و سپس  $\Lambda$  که در آن از  $\Phi$  دقیق استفاده می‌گردد؛ آن‌گاه آزیموت یک امتداد تعیین می‌شود؛ از این رو لحظه‌ای که آزیموت یک امتداد تعیین می‌گردد  $\Phi$  تعیین شده است.

## آیا می‌دانید؟

در سال ۴۱۵ قمری فرمان‌روای ترک‌های وولگا گروهی را به غزنه فرستاده بود. آن مردمان با ساکنان سرزمین‌های قطبی رابطه‌ی بازرگانی داشتند و ابوریحان بیرونی از آنان خواست اطلاعاتش را درباره‌ی آن سرزمین‌ها پیش‌تر کند. یکی از آن فرستادگان در پیشگاه محمود غزنوی گفت که در سرزمین‌های دور دست شمال، گاهی خورشید روزهای زیادی غروب نمی‌کند. سلطان محمود در آغاز بسیار خشمگین شد و آن سخنان را کفرآمیز خواند. اما ابوریحان به او گفت که سخن آن فرستاده درست و علمی است و ماجرا را برایش توضیح داد.

## مطالعه آزاد

مثال: در یک لحظه‌ای زاویه‌ی افقی بین ستاره‌ی قطبی و امتداد AB قرائت شده که برابر با  $۲۰^{\circ}۱۱'۳۰''$  است. در همان لحظه نیز ارتفاع ستاره‌ی قطبی مشاهده گردیده که برابر با  $۳۵^{\circ}۱۱'۵۰''$  بوده است. حال، اگر  $\Phi = ۳۵^{\circ}۱۵'۱۰''$  و  $\delta = ۸۹^{\circ}۱۵'۴۰''$  ستاره باشد آزمون امتداد زمینی را محاسبه کنید:



شکل ۱۵-۷

$$\cos(90 - \delta) = \cos(90 - a) \cos(90 - \Phi) + \sin(90 - a) \sin(90 - \Phi) \cos A$$

$$\sin \delta = \sin a \sin \Phi + \cos a \cos \Phi \cos A$$

$$\cos A = \frac{\sin \delta - \sin a \sin \Phi}{\cos a \cos \Phi} = \frac{\sin ۸۹^{\circ}۱۵'۴۰'' - \sin ۳۵^{\circ}۱۱'۵۰'' \sin ۳۵^{\circ}۱۵'۱۰''}{\cos ۳۵^{\circ}۱۱'۵۰'' \cos ۳۵^{\circ}۱۵'۱۰''}$$

$$\cos A = ۰/۹۹۹۸۷۶۱ \Rightarrow A = ۰^{\circ}۵۴'۷/۰۳''$$

البته با توجه به این که ماکزیمم انحراف ستاره‌ی قطبی از محور دورانی در محل حدود  $1^\circ$  است یعنی اگر آزمون یک امتداد با دقت حدود  $1^\circ$  مورد نظر است، زاویه‌ی بین آن امتداد و امتداد ستاره‌ی قطبی قرائت شود کافی است.

سؤال: روش‌های دیگر برای تعیین آزمون کدام‌اند؟

### خودآزمایی

- ۱- ستاره را تعریف کرده واحد اندازه‌گیری فاصله‌ی ستارگان را توضیح دهید.
- ۲- نجوم محض و نجوم موضعی را تعریف کنید.
- ۳- سیاره را تعریف کنید.
- ۴- سیارات منظومه‌ی شمسی را به ترتیب نزدیکی به خورشید نام ببرید.
- ۵- قمر طبیعی را تعریف کرده، تعداد اقمار طبیعی کره‌ی زمین و کره‌ی مشتری را بیان کنید.
- ۶- قمر مصنوعی را تعریف کنید.
- ۷- سه فرق سیارات و ستارگان را به‌طور خلاصه بیان کنید.
- ۸- کره‌ی سماوی را با رسم شکل تعریف کنید.
- ۹- سمت الرأس و سمت‌القدم را در کره‌ی سماوی تعریف کنید.
- ۱۰- محور دورانی عالم را با رسم شکل تعریف کنید.
- ۱۱- صفحه‌ی استوای سماوی را تعریف کنید.
- ۱۲- صفحه‌ی اکلپتیک را با رسم شکل تعریف کرده زاویه‌ی آن با صفحه‌ی استوا را بیان کنید.
- ۱۳- خط اعتدالین را تعریف کنید.
- ۱۴- نقاط اعتدالین را تعریف کنید.
- ۱۵- روش تعیین عرض نجومی تقریبی یک محل را با استفاده از ستاره‌ی قطبی شرح دهید.
- ۱۶- روش تعیین طول نجومی تقریبی یک محل را با مشاهده‌ی خورشید شرح دهید.

## ضمیمه ۱

مشخصات سیارات منظومه شمسی

شماره	سیارات مشخصات	Mercury عطارد	Venus زهرة	Earth زمین	Mars مریخ	Jupiter مشتری	saturn زحل	Uranus اورانوس	Neptune نپتون	Pluto پلوتو
۱	ماکزیم فاصله از خورشید (میلیون کیلومتر)	۶۹/۷	۱۰۹	۱۵۲/۱	۲۴۹/۱	۸۱۵/۷	۱۵۰۷	۳۰۰۴	۴۵۳۷	۷۳۷۵
۲	می نیم فاصله از خورشید (میلیون کیلومتر)	۴۵/۹	۱۰۷/۴	۱۴۷/۱	۲۰۶/۷	۷۴۰/۹	۱۳۴۷	۲۷۳۵	۴۴۵۶	۴۴۲۵
۳	پریود حرکت انتقالی دور خورشید	۸۸ روز	۲۲۴/۷ روز	۳۶۵/۲۵ روز	۶۸۷ روز	۱۱/۸۶ سال	۲۹/۴۶ سال	۸۴/۰۱ سال	۱۶۴/۸ سال	۲۴۷/۷ سال
۴	پریود دورانی	۵۹ روز	۲۴۳ - روز	h m s ۲۳ ۵۶ ۰۴	h m s ۲۴ ۳۷ ۲۳	h m s ۹ ۵۰ ۳۰	h m s ۱۰ ۱۴ ۰۰	h m s - ۱۱ ۰۰	h m s ۱۶ ۰۰	h ۶۹
۵	سرعت انتقالی km/s	۴۷/۹	۳۵	۲۹/۸	۲۴/۱	۱۳/۱	۹/۶	۶/۸	۵/۴	۴/۷
۶	قطر km	۴۸۸۰	۱۲۱۰۴	۱۲۷۵۶	۶۷۸۷	۱۴۲۸۰۰	۱۲۰۰۰۰	۵۱۸۰۰	۴۹۵۰۰	-
۷	با فرض این که جرم زمین ۱ باشد.	۰/۵۵	۰/۸۱۵	۱	۰/۱۰۸	۳۱۷/۹	۹۵/۲	۱۴/۶	۱۷/۲	-
۸	میل صفحه‌ی مداری نسبت به استوا	۲۸° تا ۳۸°	۳°	۲۳° تا ۲۷°	۲۳° تا ۳۵°	۳° تا ۵°	۲۶° تا ۴۴°	۸۲° تا ۵°	۲۸° تا ۴۸°	-
۹	قمرهای شناخته شده	۰	۰	۱	۲	۱۳	۱۰	۵	۲	۰

## ضمیمه‌ی ۲

اطلاعات کلی درباره‌ی خورشید، زمین و ماه

### جرم *Mass*

$$\text{جرم خورشید} = 1.99 \times 10^{30} \text{ کیلوگرم}$$

$$\text{جرم زمین} = 5.98 \times 10^{24} \text{ کیلوگرم}$$

$$\text{جرم ماه} = 7.36 \times 10^{22} \text{ کیلوگرم}$$

### شعاع *Radius*

$$\text{شعاع خورشید} = 6.96 \times 10^5 \text{ کیلومتر}$$

$$\text{شعاع زمین} = 6.378 \times 10^3 \text{ کیلومتر}$$

$$\text{شعاع ماه} = 1738 \text{ کیلومتر}$$

### دانسیته یا وزن مخصوص متوسط

$$\text{وزن مخصوص متوسط خورشید} = 1410 \text{ کیلوگرم بر متر مکعب}$$

$$\text{وزن مخصوص متوسط زمین} = 5522 \text{ کیلوگرم بر متر مکعب}$$

$$\text{وزن مخصوص متوسط ماه} = 3340 \text{ کیلوگرم بر متر مکعب}$$

### شتاب جاذبه در سطح

$$\text{شتاب جاذبه در سطح خورشید} = 274 \text{ متر بر مجذور ثانیه}$$

$$\text{شتاب جاذبه در سطح زمین} = 9.8 \text{ متر بر مجذور ثانیه}$$

$$\text{شتاب جاذبه در سطح ماه} = 1.67 \text{ متر بر مجذور ثانیه}$$

$$\ast \text{سرعت دورانی زمین حول محور خودش} = 7.29 \times 10^{-5} \text{ رادیان بر ثانیه}$$

$$\ast \text{سرعت انتقالی زمین} = 29.77 \text{ متر بر ثانیه}$$

$$\ast \text{فاصله‌ی ماه تا زمین به طور متوسط} = 3.8 \times 10^5 \text{ کیلومتر}$$



سال‌شمار زندگی ابوریحان بیرونی

۳۶۲ قمری / ۳۵۱ خورشیدی: روز پنج‌شنبه سوم ذی‌الحجه / هجدهم دی ماه در روستایی

بیرون شهر کاث به دنیا آمد.

۳۶۸ قمری / ۳۵۷ خورشیدی: در مکتب شهر جرجانیه برای یک سال درس خواند.

۳۶۹ قمری / ۳۵۸ خورشیدی: درشش را در مکتب روستا ادامه داد.

۳۷۹ قمری / ۳۵۸ خورشیدی: در هفده سالگی به اندازه‌گیری ارتفاع نیمروزی خورشید در

شهر کاث پرداخت.

۳۸۵ قمری / ۳۷۳ خورشیدی: انقلاب تابستانی را در دهکده‌ای در جنوب شهر کاث رصد

کرد.

۳۸۷ قمری / ۳۷۵ خورشیدی: روز شنبه یازدهم جمادی‌الاول / ۷ خرداد ماه، خورشیدگرفتگی

را رصد کرد.

۳۹۱ قمری / ۳۷۹ خورشیدی: کتاب آثارالباقیه را در گرگان به نام قابوس بن وشمگیر آل‌زیار

نوشت.

۳۹۳ قمری / ۳۸۱ خورشیدی: روز شنبه چهاردهم ربیع‌الثانی / ۶ اسفند ماه و روز یک‌شنبه

سیزدهم شوال / ۲۹ مرداد، دو ماه‌گرفتگی را در گرگان رصد کرد.

۳۹۴ قمری / ۳۸۲ خورشیدی: روز یک‌شنبه دوازدهم شعبان / ۲۰ مرداد ماه، ماه‌گرفتگی را

در جرجانیه رصد کرد.

۴۰۸ قمری/ ۳۹۶ خورشیدی: همراه سلطان محمود غزنوی از جرجانیه به غزنه رفت.

۴۰۹ قمری/ ۳۹۷ خورشیدی: عرض جغرافیایی جیخور، در نزدیکی کابل، را با کمک شاقول اندازه گرفت.

۴۱۲ قمری/ ۴۰۰ خورشیدی: اعتدال بهاری و پاییزی و انقلاب تابستانی و زمستانی را در شهر غزنه رصد کرد.

۴۱۶ قمری/ ۴۰۴ خورشیدی: نگارش کتاب تحدید نہایات الاماکن را به پایان رساند.

۴۱۸ قمری/ ۴۰۵ خورشیدی: رساله‌ی استخراج الاوتار فی الدایره را نوشت.

۴۲۰ قمری/ ۴۰۷ خورشیدی: نگارش کتاب التفهیم لاوائل الصناعه التنجیم را به پایان رساند.

۴۲۱ قمری/ ۴۰۸ خورشیدی: کتاب تحقیق ماللهند را نوشت و رساله‌ی قانون مسعودی را به سلطان مسعود غزنوی هدیه داد.

۴۲۵ قمری/ ۴۱۲ خورشیدی: فهرست کتاب‌ها و نوشته‌های محمدبن زکریای رازی و فهرست ۱۱۳ جلد کتاب خود را نوشت.

۴۴۲ قمری/ ۴۲۹ خورشیدی: روز جمعه سوم رجب/ ۶ آذرماه، به سوی پروردگار خود رفت.



## ضمیمه‌ی ۴

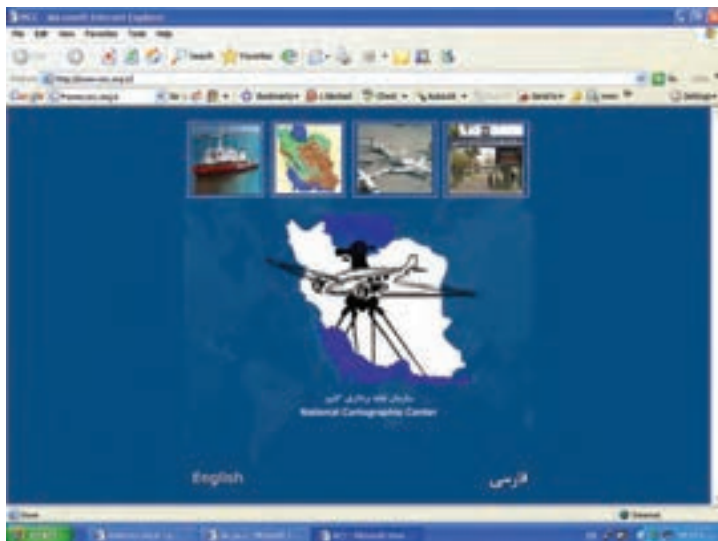
معرفی بعضی از سایت‌های مهم نقشه‌برداری در ایران: در زیر سایت‌های سه سازمان

مهم دولتی مرتبط با نقشه‌برداری معرفی می‌شود:

سایت رسمی سازمان نقشه‌برداری کشور.

<http://www.ncc.org.ir>

در معرفی این سایت آمده است: سازمان نقشه‌برداری کشور از زمان تأسیس در سال ۱۳۲۲ فعالیت‌های گسترده‌ای شامل: ایجاد شبکه‌های مختصات مبنایی، اجرای طرح تهیه نقشه‌های پوششی کشور، تهیه اطلس‌های ملی، تهیه چارت‌های دریایی، انجام مشاهدات جزر و مدی، تهیه نقشه رقومی شهرها کشور، ایجاد پایگاه اطلاعات مکانی ملی، ایجاد پایگاه اسامی جغرافیایی، تهیه و چاپ انواع نقشه‌های موردی، موضوعی و برجسته، نظارت و کنترل فنی فعالیت‌های نقشه‌برداری و تدوین دستورالعمل‌ها و استانداردهای مربوطه را انجام داده است. سازمان نقشه‌برداری کشور به عنوان تولیدکننده اصلی نقشه و اطلاعات مکانی در کشور اهدافی مانند: گسترش دامنه کاربران و کاربردهای نقشه و اطلاعات مکانی بهره‌گیری بیش از پیش از این اطلاعات در برنامه‌ریزی، مدیریت و توسعه مبتنی بر دانایی محور، مورد نظر چشم‌انداز بیست ساله و برنامه‌های توسعه پنج ساله کشور، ایجاد ارزش افزوده به اطلاعات تولید شده، اشتراک‌گذاری و بهره‌گیری مشترک از داده‌ها، اطلاعات مکانی، ایجاد پایگاه‌های اطلاعات مکانی قابل دسترس از طریق فن‌آوری‌های ارتباطات را دنبال می‌نماید.



## سایت رسمی سازمان جغرافیایی نیروهای مسلح

<http://www.ngo.iran.ir/>

در معرفی این سایت آمده است: نام «جغرافیایی» گسترده فعالیت و خدمات سازمان جغرافیایی از بدو تأسیس تاکنون را مشخص می‌نماید. در سال ۱۳۰۰ هجری شمسی سنگ بنای یک ارگان رسمی نقشه‌برداری یعنی تشکیل شعبه نقشه‌برداری و نقشه‌کشی گذارده شد و در سیر تحول و متناسب با نیاز، مأموریت‌ها و وظایف سازمانی به دایره‌ی جغرافیایی، اداره‌ی جغرافیایی، سازمان جغرافیایی کشور و سازمان جغرافیایی تغییر نام یافته است.

سازمان جغرافیایی به منظور دستیابی سریع و دقیق به اطلاعات جغرافیایی کشور و سایر مناطق مورد نیاز تلاش گسترده‌ای را در به روز درآوردن فنی نیروی انسانی، مدرنیزه نمودن خط تولید و ارائه‌ی خدمات، همگام با مراکز پیشرفته نقشه‌برداری داشته و در این مسیر گام برمی‌دارد.

سازمان جغرافیایی با بیش از سه ربع قرن تجربه در تهیه نقشه‌های پوششی و انجام کلیه فعالیت‌های نقشه‌برداری و جغرافیایی، هماهنگ با پیشرفت‌های علمی و فنی جهان، آمادگی کامل ارائه‌ی خدمات گوناگون در زمینه‌های مختلف علوم و فنون جغرافیایی، دورسنجی و نقشه‌برداری را دارا می‌باشد.



سایت رسمی سازمان فضایی ایران

[http:// isa.ir/](http://isa.ir/)



در خصوص آشنایی با سایت‌های بخش‌های دانشگاهی، دانشکده نقشه‌برداری و ژئودزی دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی و گروه مهندسی نقشه‌برداری و ژئوماتیک دانشگاه تهران که دو مرکز دانشگاهی معتبر و با سابقه در کشور در زمینه‌ی نقشه‌برداری هستند معرفی می‌شود:

**دانشکده نقشه‌برداری و ژئودزی دانشگاه صنعتی خواجه‌نصیرالدین طوسی**

<http://www.kntu.ac.ir/geodesy>





## منابع

- ۱- کتاب Geodesy The Concept نوشته دکتر ونیچک ۱۹۸۶
- ۲- جزوه درسی ژئودزی یک دکتر مهدی نجفی علمداری، انتشارات دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۳- جزوه درسی نجوم ژئودتیک مهندس محمد کریم، انتشارات دانشکده نقشه برداری دانشگاه صنعتی خواجه نصیرالدین طوسی
- ۴- کتاب کارتوگرافی دکتر همراه
- ۵- نقشه و نقشه خوانی، ترجمه مهندس عباس جعفری، انتشارات سازمان جغرافیایی
- ۶- کتاب درسی مبانی نقشه برداری، تألیف دکتر بهمن مقرب نیا
- ۷- تصویر پشت جلد کتاب، اقتباس شده از روزنامه ایران مورخ ۱۳۸۶/۹/۱۱؛ نقشه ای که یک سیاح فرانسوی در ۲۹۴ سال پیش از قلمرو ایران تهیه کرده است.
- ۸- بوسترهای سال جهانی ریاضیات ۱۳۷۹. انتشارات فاطمی

