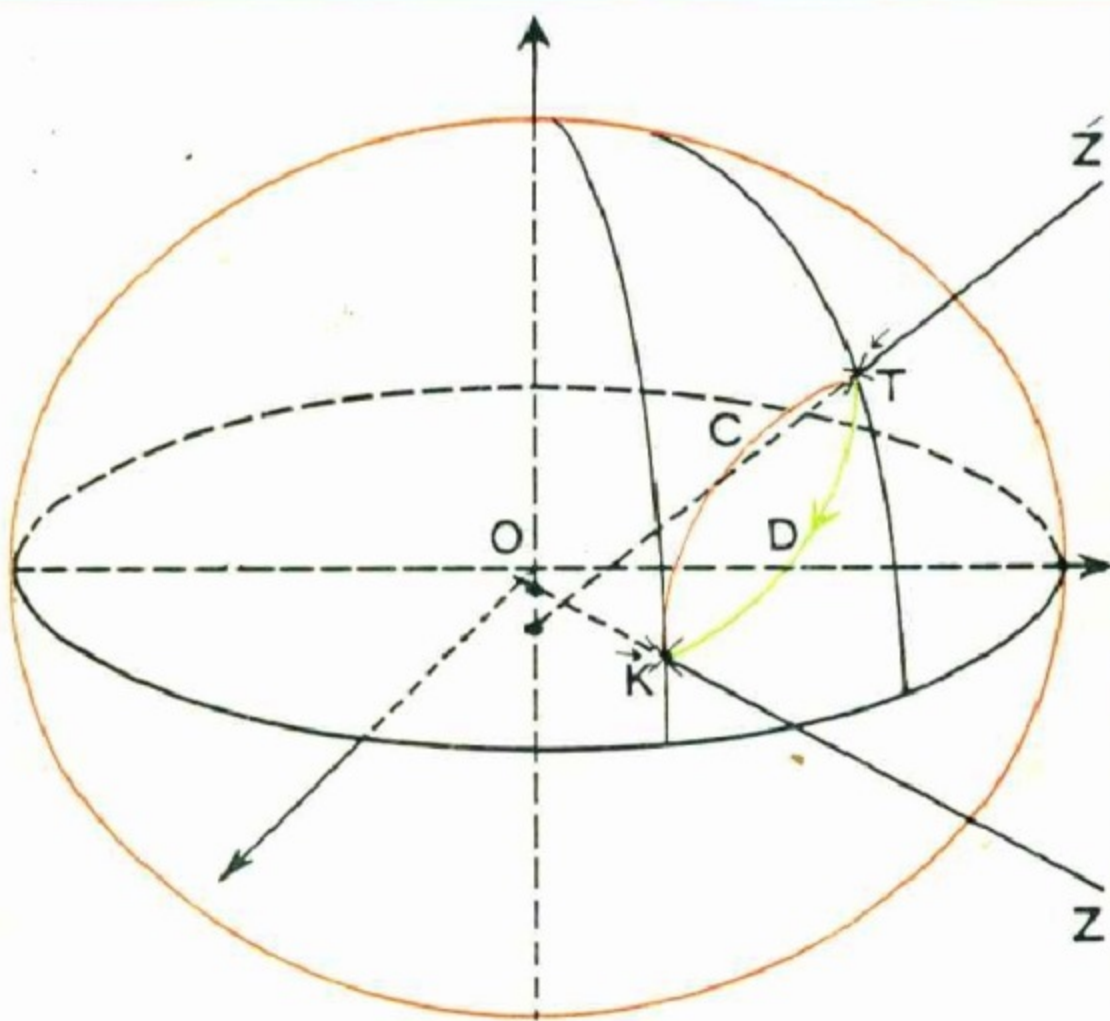


کاربرد علوم در قبله‌یابی

نگرشی نو در تعیین قبله

نوشته

ماشاءالله علی احیائی



بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

٢١

کاربرد علوم در قبله‌یابی نگرشی نو در تعیین قبله

نوشته

ماشاءالله علی‌احیائی



مؤسسه انتشارات امیرکبیر
تهران، ۱۳۶۷



علی احیالی، ماشاءالله
کاربرد علوم در قبله‌یابی نگرشی نو در تعیین قبله
چاپ اول، ۱۳۶۷
چاپ و صحافی چاپخانه سپهر تهران
کیراز: ۳۳۰۰ نسخه
حق چاپ محفوظ است

فهرست مندرجات

صفحه	عنوان
۱۷	پیشگفتار
۲۱	فصل اول - طول و عرض جغرافیایی .
۲۱	۱ - تعریف طول و عرض جغرافیایی .
۲۳	۲ - تعیین عرض جغرافیایی .
۲۵	۱ - ۲ - تعیین عرض جغرافیایی با استفاده از وسایل ساده .
۳۰	۲ - ۲ - تعیین عرض جغرافیایی از روی نقشه .
۳۲	۳ - ۲ - تعیین عرض جغرافیایی با اندازه‌گیری ارتفاع ستاره قطبی .
۳۲	۴ - ۲ - تعیین عرض جغرافیایی با اندازه‌گیری ارتفاع خورشید و یا یک ستاره در لحظه عبور از نصف النهار محل .
۳۳	۵ - ۲ - تعیین عرض جغرافیایی از روی رصد دو ستاره، که در دو طرف سمت الرأس ناظر قرار دارند، در لحظه عبور از نصف النهار محل .
۳۳	۶ - ۲ - تعیین عرض جغرافیایی با اندازه‌گیری ارتفاع نصف النهاری یک ستاره در حین گذر زیرین و زبرین .
۳۴	۷ - ۲ - تعیین عرض جغرافیایی با رصد خورشید و یا یک ستاره در هر وضعیتی .
۳۴	۸ - ۲ - تعیین عرض جغرافیایی با رصد یک ستاره در حین عبور از سطح نصف النهار اصلی .
۳۴	۹ - ۲ - تعیین عرض جغرافیایی با اندازه‌گیری ارتفاع حول نصف النهاری خورشید و یا یک ستاره .

- ۳- عرض جغرافیایی و عرض زمین مرکزی. ۳۵
- ۴- تغییرات عرض جغرافیایی. ۳۷
- ۵- تعیین طول جغرافیایی. ۴۰
- ۱-۵- تعیین طول جغرافیایی در نقطه‌ای ناشناخته و دوردست. ۴۲
- ۲-۵- تعیین طول جغرافیایی از روی نقشه. ۴۵
- ۳-۵- تعیین طول جغرافیایی از طریق اندازه‌گیری وقت نجومی. ۴۷
- ۴-۵- تعیین طول جغرافیایی از طریق حمل و نقل یک زمان‌سنج. ۴۸
- ۵-۵- تعیین طول جغرافیایی بوسیله تلگراف. ۴۹
- ۶-۵- تعیین طول جغرافیایی بوسیله بی‌سیم. ۴۹
- ۷-۵- تعیین طول جغرافیایی از طریق رصد ماه و ستاره‌ای که از نصف النهار یک محل به صورت تقریباً همزمان می‌گذرند. ۴۹
- ۸-۵- تعیین طول جغرافیایی از طریق رصد علایم فلکی. ۵۰
- ۹-۵- تعیین طول جغرافیایی از طریق فواصل ماه. ۵۰

فصل دوم - جهت‌یابی - تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی. ۵۱

- ۱- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با مشخص کردن دو ارتفاع برابر خورشید در صبح و بعد از ظهر (روش دایره هندی). ۵۴
- ۲- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از راه تعیین لحظه ظهر خورشیدی. ۵۵
- ۳- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با مشخص کردن کوتاهترین طول سایه یک میله قائم. ۵۷
- ۴- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از قطب‌نما. ۶۱
- ۵- جهت‌یابی تقریبی از طریق استفاده از ساعت. ۶۷
- ۶- جهت‌یابی تقریبی با تعیین سمت آفتاب زده تنه درختان (روش دهقانان). ۶۹
- ۷- جهت‌یابی از طریق یافتن ستاره قطبی در نیمکره شمالی و صورت

- ۷۰ فلکی صلیب جنوبی در نیمکره جنوبی.
- ۸- جهت یابی به وسیله ماه.
- ۹۰
- ۹- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از راه محاسبه سمت خورشید. ۹۱
- ۱۰- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی. ۹۶
- ۱۱- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از سایه یک صفحه دایره‌ای شکل. ۹۹
- ۱۲- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، با استفاده از ساعت‌های خورشیدی. ۱۰۳
- ۱۳- تعیین امتداد قطب سماوی با رصد یک ستاره در ارتفاعهای برابر. ۱۰۵
- ۱۴- تعیین امتداد قطب سماوی با رصد یک ستاره دور قطبی در وضعیت دورترین فاصله از نصف النهار سماوی مکان. ۱۰۶
- ۱۵- تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه تعیین زاویه ساعتی خورشید و یا یک ستاره. ۱۰۸
- ۱۶- تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه رصد ستاره قطبی و یا یک ستاره نزدیک به قطب. ۱۰۸
- ۱۷- تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه رصد خورشید و یا یک ستاره در وضعیت خارج از نصف النهار. ۱۰۹
- ۱۸- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با وسایل ژيروسکوپی. ۱۱۰
- فصل سوم - جهت یابی با ساعت‌های خورشیدی.**
- ۱۱۱
- ۱- درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی افقی. ۱۱۱
- ۱-۱- روش ترسیمی. ۱۱۳
- ۱-۲- روش محاسباتی. ۱۱۵
- ۲- درجه بندی ساعت خورشیدی از نوع سمتی ارتفاعی. ۱۱۹
- ۳- تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی با مرکز متغیر. ۱۲۲

- ۱۲۲ ۱-۳- تعیین نقاط درجه بندی ساعت خورشیدی آنالماتیک.
- ۱۲۲ ۱-۱-۳- روش ترسیم.
- ۱۲۴ ۲-۱-۳- روش محاسبه.
- ۱۲۸ ۳-۱-۳- طریقه رسم بیضی.
- ۱۳۰ ۲-۳- تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی لامبرت.
- ۱۳۰ ۱-۲-۳- روش ترسیم.
- ۱۳۲ ۲-۲-۳- روش محاسباتی.
- ۱۳۳ ۴- درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی ارتفاعی اقی.
- ۱۳۳ ۱-۴- روش ترسیم.
- ۱۳۶ ۲-۴- روش محاسباتی.
- ۱۳۶ ۵- ساخت قطب نمای خورشیدی با استفاده از دو ساعت خورشیدی.
- ۱۴۱ ۶- بکاربردن یک ساعت خورشیدی به عنوان جهت یاب خورشیدی.
- ۱۴۱ ۷- بکاربردن کرومومتر خورشیدی به عنوان جهت یاب خورشیدی.

- ۱۴۴ فصل چهارم - حل چند مثال در مثلثات کروی.
- ۱۴۴ ۱- دایره عظیمه.
- ۱۴۶ ۲- زاویه کروی.
- ۱۴۶ ۳- مثلث کروی.
- ۱۴۷ ۴- خواص مثلث کروی.
- ۱۴۹ ۵- فرمولهای یک مثلث کروی.
- ۱۵۱ ۶- مثلث کروی قائم الزاویه
- ۱۵۲ ۷- کاربرد بعضی از فرمولهای مثلثات کروی
- ۱۵۲ مثال (۱-۴)
- ۱۵۳ مثال (۲-۴)
- ۱۵۶ مثال (۳-۴)
- ۱۵۶ مثال (۴-۴)

- ۱۶۱ مثال (۴-۵)
- ۱۶۲ مثال (۴-۶)
- ۱۶۵ فصل پنجم - روشهای قبله یابی .
- ۱۶۵ ۱- قبله .
- ۱۶۶ ۲- کعبه .
- ۱۶۶ ۳- مگه .
- ۱۶۷ ۴- مختصات جغرافیایی کعبه .
- ۱۶۸ ۵- روشهای تعیین قبله .
- ۱۶۹ ۱-۵- محاسبه جهت قبله با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی .
- ۱۶۹ مثال (۱-۵)، جهت قبله در تهران، روش محاسباتی .
- ۱۷۴ ۲-۵- تعیین جهت قبله با روش ترسیمی
- ۱۷۴ مثال (۲-۵)، جهت قبله در تهران، روش ترسیمی .
- ۱۷۹ مثال (۳-۵)، جهت قبله در بمبئی، در هندوستان .
- ۱۷۹ مثال (۴-۵)، جهت قبله در صنعا، در یمن .
- ۱۸۰ مثال (۵-۵)، جهت قبله در مانیل، در فیلیپین .
- ۱۸۱ مثال (۶-۵)، جهت قبله در خرطوم، در سودان .
- ۱۸۲ مثال (۷-۵)، جهت قبله در آتن، در یونان .
- ۱۸۴ مثال (۸-۵)، جهت قبله در استکهلم، در سوئد .
- ۱۸۵ مثال (۹-۵)، جهت قبله در سانفرانسیسکو، در آمریکای شمالی .
- ۱۸۸ مثال (۱۰-۵)، جهت قبله در بوگوتا، در کلمبیا .
- ۱۸۹ مثال (۱۱-۵)، جهت قبله در پرنامبوکو (رسایف)، در برزیل .
- ۱۹۰ مثال (۱۲-۵)، جهت قبله در آدلاید، در استرالیا .
- ۱۹۱ مثال (۱۳-۵)، جهت قبله در طرابوزان، در ترکیه .
- ۱۹۲ مثال (۱۴-۵)، جهت قبله در هانوئی، در ویتنام .
- ۱۹۶ ۳-۵- خطای ناشی از اشتباه یک درجه در جهت قبله .

- مثال (۱۵-۵)، اشتباه یک درجه در جهت قبله. ۱۹۶
- ۴-۵- تعیین امتداد قبله با استفاده از کره جغرافیایی. ۱۹۸
- ۵-۵- تعیین جهت قبله از راه سایه یک میله قائم و یا نخ یک شاقول
در اوقات معین. ۱۹۹
- مثال (۱۶-۵). ۲۰۴
- مثال (۱۷-۵). ۲۰۵
- مثال (۱۸-۵). ۲۰۶
- ۶-۵- تعیین جهت قبله با استفاده از قبله‌نمای رزم آرا. ۲۰۸
- ۷-۵- تعیین جهت قبله در نقاط خاص. ۲۲۰
- ۱-۷-۵- تعیین جهت قبله در نقطه متقابل مکه بر روی زمین. ۲۲۲
- ۲-۷-۵- تعیین جهت قبله در نقاط قطب شمال و جنوب جغرافیایی. ۲۲۳
- مثال (۱۹-۵). ۲۳۶
- فصل ششم - شرح پاره‌ای از اصطلاحات نجومی. ۲۳۹
- ۱- کره سماوی. ۲۳۹
- ۲- سمت الرأس و سمت القدم. ۲۴۲
- ۳- افق سماوی. ۲۴۲
- ۴- قطبهای زمین و دایره استوای زمین. ۲۴۲
- ۵- قطبهای سماوی و محور سماوی ۲۴۴
- ۶- استوای سماوی. ۲۴۴
- ۷- مایل دریایی. ۲۴۵
- ۸- افق محسوس. ۲۴۵
- ۹- افق مرئی. ۲۴۶
- ۱۰- شیب افق. ۲۴۶
- ۱۱- دایره ارتفاع. ۲۴۷
- ۱۲- نصف النهار سماوی. ۲۴۸

۲۴۸	۱۳- سطح نصف النهار اصلی.
۲۴۸	۱۴- جهت های شمال، جنوب، مغرب و مشرق واقعی.
۲۵۰	۱۵- عرض جغرافیایی.
۲۵۰	۱۶- متمم عرض جغرافیایی.
۲۵۰	۱۷- طول جغرافیایی.
۲۵۰	۱۸- ارتفاع.
۲۵۱	۱۹- فاصله سمت الرأس.
۲۵۲	۲۰- سمت.
۲۵۲	۲۱- دایره میل و یا دایره ساعتی.
۲۵۳	۲۲- میل.
۲۵۴	۲۳- فاصله قطبی.
۲۵۴	۲۴- زاویه ساعتی.
۲۵۵	۲۵- دایره البروج.
۲۵۶	۲۶- نقاط اعتدال.
۲۵۸	۲۷- نقاط انقلاب.
۲۵۸	۲۸- بُعد.
۲۵۹	۲۹- دایره اعتدال.
۲۵۹	۳۰- دایره انقلاب.
۲۶۰	۳۱- زمین
۲۶۱	۳۲- دستگاه مختصات زمین
۲۶۱	۳۳- مناطق زمین
۲۶۳	۳۴- دستگاههای مختصات نجومی
۲۶۵	۳۴-۱- دستگاه افقی.
۲۶۸	۳۴-۲- دستگاه استوایی مستقل.
۲۷۰	۳۴-۳- دستگاه استوایی وابسته.
۲۷۲	۳۴-۴- دستگاه عرض و طول سماوی.

- ۲۷۴ ۵-۳۴- دستگاه کهکشانی.
- ۲۷۴ ۶-۳۴- تبدیل مختصات نجومی از یک دستگاه مختصات به دستگاه دیگر.
- ۲۷۵ ۳۵- مثلث نجومی.
- ۲۷۶ ۳۶- ستارگان دور قطبی.
- ۲۷۸ ۳۷- ستاره در حال عبور.
- ۲۸۰ ۳۸- وضعیت دورترین فاصله یک ستاره.
- ۲۸۲ ۳۹- وضعیت یک ستاره در سطح نصف النهار اصلی.
- ۲۸۴ ۴۰- قرار گرفتن یک ستاره در افق.
- ۲۸۴ ۴۱- قرار گرفتن ستاره در خارج از نصف النهار.
- ۲۸۴ ۴۲- فاصله زاویه ای ستارگان.
- ۲۸۵ ۴۳- فاصله زاویه ای ماه.
- ۲۸۵ ۴۴- مقارنه.
- ۲۸۵ ۴۵- مقابله.
- ۲۸۵ ۴۶- خورشید.
- ۲۸۷ ۴۷- حرکات ظاهری خورشید.
- ۲۸۸ ۴۸- حرکت مداری زمین به دور خورشید.
- ۲۹۱ ۴۹- فصول.
- ۲۹۴ ۵۰- وضعیت های ظاهری خورشید در فصول مختلف.
- ۲۹۶ ۵۱- تقویم نجومی دریاوردی.
- ۲۹۷ ۵۲- میل خورشید.
- ۲۹۹ ۵۳- حرکت تقویمی (پرسیون) و رقص محوری.
- ۳۰۹ ۵۴- تقویم.
- ۳۱۰ روز
- ۳۱۰ روز شمسی حقیقی (ظاهری).
- ۳۱۱ روز شمسی متوسط.

۳۱۱	روز نجومی.
۳۱۲	طول روز طبیعی.
۳۱۴	طول مدت بین الطلوعین.
۳۱۵	تقسیمات روز
۳۱۶	هفته.
۳۱۶	ماه.
۳۱۷	سال.
۳۱۸	سال برجی.
۳۱۸	سال نجومی.
۳۱۹	سال نوری.
۳۱۹	سال آنومالیستیک.
۳۲۰	انواع تقویم.
۳۲۰	تقویم قمری.
۳۲۱	تقویم قمری شمسی.
۳۲۱	تقویم شمسی.
۳۲۲	تقویم جولیبوسی.
۳۲۳	تقویم گرگوری.
۳۲۵	۵۵- فازها و حالات ماه.
۳۲۸	۵۶- گرفت.
۳۳۶	۵۷- ستاره.
۳۳۷	۵۸- سیارات.
۳۴۱	۵۹- صورتهای فلکی.
۳۴۲	۶۰- منطقه البروج.
۳۴۵	۶۱- کهکشان.
۳۴۵	۶۲- کهکشان راه شیری.
۳۴۶	۶۳- عبور.

۳۴۷	۶۴- سکستانت.
۳۴۷	۶۵- تئودولیت.
۳۴۸	۶۶- استرلاب.
۳۴۸	۶۷- تصحیحات نجومی.
۳۴۸	۱- تصحیح اختلاف منظر.
۳۵۱	۲- تصحیح شکست نور.
۳۵۴	۳- تصحیح شیب افق.
۳۵۶	۴- تصحیح نیم قطر.
۳۶۰	۶۸- خورشید نیمه شب.

فصل هفتم- زمان.

۳۶۲	۱- زمان.
۳۶۲	۲- اندازه گیری و تعیین زمان.
۳۶۳	۳- مقیاس های زمان.
۳۶۴	۴- وقت نجومی.
۳۶۶	۵- وقت نجومی محلی.
۳۷۰	۶- وقت شمسی ظاهری (حقیقی).
۳۷۴	۷- وقت ظاهری محلی.
۳۷۷	۸- وقت متوسط.
۳۷۸	۹- تبدیل فواصل زمانی شمسی متوسط به فواصل زمانی نجومی و برعکس.
۳۸۰	۱۰- وقت متوسط محلی.
۳۸۱	۱۱- وقت تقویمی و زمان اتمی.
۳۸۶	۱۲- تعدیل زمان (معادله زمان).
۴۰۱	۱۳- وقت استاندارد.
۴۰۴	۱۴- وقت جهانی.
۴۰۵	۱۵- نامگذاری و اصطلاحات مربوط به وقت در زندگی روزمره.

- ۴۰۵ ۱۶- تبدیل وقت شمسی ظاهری محلی به وقت شمسی استاندارد.
- ۴۰۷ ۱۷- جلو بردن ساعت به منظور استفاده بیشتر از روشنایی روز.

- ۴۰۹ فصل هشتم - شکل زمین
- ۴۰۹ ۱- کره.
- ۴۱۰ ۲- بیضوی.
- ۴۱۰ ۳- شبه کره.
- ۴۱۱ ۴- تاریخچه شکل زمین.
- ۴۱۷ ۵- سطوح مبنای ژئودتیک.
- ۴۱۷ ۵-۱- مختصات کروی.
- ۴۲۱ ۵-۲- مختصات ژئودتیک.
- ۴۲۸ ۵-۳- مختصات نجومی.
- ۴۲۸ سطح هم پتانسیل.
- ۴۲۹ شکل زمین گون (ژئوئید).
- ۴۳۱ سطح مبنای نجومی.

فصل نهم - یک برنامه تحقیقاتی بین المللی در مورد تعیین همزمان قبله

- ۴۳۷ در دنیا.
- ۴۳۸ ۱- اثر مختصات جغرافیایی مکه.
- ۴۳۸ ۲- امکان عبور خورشید از سمت الرأس مکه در لحظه ظهر خورشیدی
- ۴۳۹ ۳- مناطقی از زمین که می توان روش را بکار گرفت.
- ۴۴۵ ۴- اثر تصحیحات نجومی.
- ۴۴۵ ۵- اثر شکل زمین.
- ۴۵۲ ۶- پیشنهاد یک برنامه تحقیقات بین المللی.
- ۴۵۳ ۷- کاربرد اساس روش، در ژئودزی
- ۴۵۴ ۸- تذکر

۴۵۵	فصل دهم - روش های ساده موجود در کتاب
۴۵۵	راهنمای استفاده از روشهای آسان کتاب در قبله یابی.
۴۵۵	۱- تعیین مختصات جغرافیایی محل.
۴۵۵	۲- تعیین مختصات جغرافیایی کعبه معظمه.
۴۵۵	۳- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل.
۴۵۶	۴- تعیین قبله با روش ترسیمی.
۴۵۶	۵- تعیین جهت قبله با استفاده از سایه یک میله قائم در اوقات معین.
۴۵۶	۶- قبله‌نمای رزم آرا.
۴۵۶	۷- تعیین قبله با استفاده از یک کره جغرافیایی.
۴۵۷	فهرست منابع
۴۶۱	فهرست اعلام

تقدیم به مقام والای استاد و معلم و هر که مرا آموخت،
تقدیم به دانشجویان و دانش پژوهان
و تقدیم به تمام کسانی که در نشر دانش سهم اند.

به نام خدا

پیشگفتار

مدتی پیش کتابی تحت عنوان جهت‌یابی و قبله‌یابی با روشهای آسان از طرف مؤسسه انتشارات امیرکبیر منتشر شد. موضوع جهت‌یابی و قبله‌یابی، با همه آسانی آن، حاوی نکات دقیق و قابل تأملی است که جمع کردن همه آنها در کتاب مذکور ممکن نبود، چه، بعنوان شروع کار می‌بایست فقط مطالب عمومی موضوع، مورد بررسی قرار می‌گرفت.

در کتاب حاضر، مسئله قبله‌یابی، با نگرشی نومورد بررسی قرار گرفته و کاربرد رشته‌های متعدد علوم در قبله‌یابی تشریح شده است.

بشر از قرن‌ها پیش، جهات را با استفاده از وضعیتهای خورشید تعیین می‌کرده و امروزه هم حرکات خورشید در جهت‌یابی، دارای اهمیتی اساسی است.

در زمان حاضر، بعلاوه کثرت تردد و مسافرت، موضوع جهت‌یابی، اهمیت بیشتری یافته است و وسایل دقیق فنی و مهندسی، در این مورد بکار گرفته می‌شود.

علاوه بر جهات چهارگانه، جهت قبله نزد مسلمانان، بسیار مورد توجه بوده، شناخت آن در بیشتر مراسم دینی مورد نیاز است.

جهت قبله، در نحوه قرارگیری ساختمان مساجد، حایز اهمیت است؛ چنانکه همه می‌دانند، محراب تمام مساجد موجود در ممالک اسلامی و در سطح دنیا بسوی کعبه است. در سایر ابنیه و معماری اسلامی نیز جهت قبله یک جهت اساسی است. اهمیت موضوع قبله تا بدانجاست که در خانه هر مسلمانی، تعیین امتداد قبله از واجبات است.

با توجه به اهمیت موضوع، این کتاب به منظور بررسی دقیق مطلب قبله‌یابی، نوشته شده است و نیاز به تحقیق در مسئله را مطرح می‌سازد.

با وجود اهمیت موضوع قبله یابی، دیده می شود که بررسی مهمی در این خصوص صورت نگرفته و میزان دقت روشهای مورد استفاده، کاملاً تحت مطالعه دقیق علمی درنیامده است.

کتاب، با فصل طول و عرض جغرافیایی (فصل اول) آغاز می شود. دانستن مختصات جغرافیایی یک محل در تعیین جهت قبله آن، از نخستین اطلاعات واجب به شمار می آید. روشهای تعیین مختصات جغرافیایی در این فصل مورد امعان نظر قرار گرفته و چگونگی تعیین آنها با استفاده از نقشه و یا وسایل ساده، تشریح شده است.

دانستن جهت شمال و جنوب جغرافیایی در قبله یابی، از اطلاعات لازم دیگری است که جهت قبله، نسبت به آنها سنجیده می شود. جهت یابی و یا تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، در فصل دوم کتاب آمده است.

در فصل سوم، جهت یابی با استفاده از ساعت های خورشیدی، شرح داده شده است که این مطلب از نظر تاریخی اهمیت غیر قابل انکار دارد، چه مسلمین، قبل از اختراع قطب نماهای مغناطیسی، با استفاده از ترکیب دو نوع ساعت خورشیدی، جهت را بدست می آوردند.

با فرض کروی بودن شکل زمین، محاسبه زاویه جهت قبله، نسبت به امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، با استفاده از رابطه های مثلثات کروی میسر است. بدین منظور در فصل چهارم چند مثال در زمینه مثلثات کروی عنوان شده است. در حال حاضر با استفاده از ماشینهای حساب الکترونیکی، استفاده از فرمولهای مثلثات کروی بسیار ساده بوده، دیگر نیازی به محاسبات لگاریتمی نیست.

روشهای قبله یابی در فصل پنجم به تفصیل تشریح شده و در این مورد مثالهای متعددی ذکر گردیده است. در این فصل به بعضی از فعالیتهای انجام شده در موضوع قبله یابی در ایران، اشاره شده و در عین حال اساس روش تعیین جهت قبله از راه بدست آوردن سایه یک میله قائم و یا سایه نخ یک شاقول - دوبار در سال در اوقات معین - به تفصیل تشریح شده است.

شرح بعضی از اصطلاحات نجومی را در فصل ششم می خوانید؛ دانستن بعضی مطالب نجومی، در دانش قبله یابی مورد لزوم است و این فصل، خواننده را با اصطلاحات نجومی مورد نیاز آشنا می کند. بطوری که او بتواند با استفاده از فهرست اعلام پایان کتاب، شرح هر اصطلاحی را بسادگی بیابد.

موضوع زمان و وقت، مطلب دیگری است که در قبله یابی اهمیت فراوان دارد. لذا فصل هفتم به موضوع زمان اختصاص یافته و اصطلاحات و فرمولهای مورد لزوم تشریح شده است.

تا قرن هفدهم میلادی، زمین به شکل کره کامل انگاشته می شد؛ در نیمه

دوم قرن هفدهم، بیضوی شکل بودن زمین مطرح گردید؛ امروزه شکل واقعی زمین و ابعاد دقیق آن، از طریق مطالعات و بررسیهای ژئودتیکی، تعیین شده است، اما هنوز در محاسبات مربوط به قبله یابی، شکل زمین بصورت کره کامل فرض می شود و تا بحال اثر شکل زمین، در نتیجه محاسبات از راه کاربرد فرمولهای مثلثات کروی، مورد بررسی قرار نگرفته، لذا به همین منظور شکل زمین در فصل هشتم کتاب به بحث کشیده شده است.

فصل نهم به یک برنامه تحقیقات بین المللی در مورد قبله یابی اختصاص دارد. این تحقیقات با توجه به شکل واقعی زمین، امری اجتناب ناپذیر است و امید می رود که توسط سازمانهای تحقیقاتی مورد توجه قرار گیرد.

چنانکه اشاره شد، روش تعیین قبله، با بدست آوردن امتداد سایه یک میله قائم و یا سایه نخ یک شاقول، دوبار در سال در اوقات معین میسر می گردد که چگونگی امر، در فصل پنجم تشریح شده است. البته روش مربوط، به گونه ای که تا بحال معمول بوده، فقط در بیشتر مناطق نیمکره شرقی کاربرد دارد. اما در فصل نهم، برای اولین بار روش کار در نیمکره غربی نیز ارائه شده و به عبارت دیگر کاربرد این روش چهار بار در سال است.

بالاخره در فصل دهم، چگونگی یافتن روشهای آسان قبله یابی بیان گردیده است. این فصل کوتاه، استفاده از کتاب را برای خوانندگانی که حوصله پرداختن به همه فصلهای آن را ندارند، آسان می سازد.

با توجه به مندرجات کتاب، مشاهده می شود که در امر قبله یابی، رشته های متعدد علوم، از قبیل: ریاضیات، نجوم، نقشه برداری، ژئودزی و غیره، مورد استفاده قرار می گیرند؛ لذا با پیشرفت خارق العاده رشته های مختلف علوم در قرون اخیر، نگرشی نو، در امر قبله یابی اجتناب ناپذیر است. ناگفته نماند که در رابطه با مطلب قبله یابی، می بایست مسائل شرعی مربوطه را در نظر داشته و همیشه نظر مسئولین مربوطه در این مورد، ارجح است.

انجام یک کار صد درصد صحیح از عهده یک نفر بر نمی آید و قطعاً خوانندگان جستجوگر به لغزشهای چندی در این کتاب برخورد خواهند کرد. استدعایم این است که محبت فرموده، اشتباهات موجود و نظرات اصلاحی خود را به اطلاع مؤلف (تهران، صندوق پستی ۱۴۴۵۵/۳۹۱) برسانند که مزید بسی تشکر و امتنان خواهد بود.

ماشاء الله علی اخیایی

تهران، شهریورماه ۱۳۶۳

طول و عرض جغرافیایی

برای پیدا کردن جهت قبله یک مکان می‌بایست طول و عرض جغرافیایی آن را بدانیم. لذا موضوع طول و عرض جغرافیایی را در این فصل مورد بررسی قرار می‌دهیم. همچنین در این فصل روشهای ساده‌ای برای تعیین طول و عرض جغرافیایی یک مکان، ارائه خواهد شد.

ممکن است خواننده به اصطلاحات نجومی مختلفی برخورد کند، در این صورت، با مراجعه به فهرست اعلام مندرج در پایان کتاب، می‌تواند تعاریف مربوط را که در فصل ششم کتاب، شرح داده شده است، بیابد.

۱. تعریف طول و عرض جغرافیایی

مختصات جغرافیایی یک نقطه بر روی کره زمین، با طول و عرض جغرافیایی تعیین می‌شود. عرض جغرافیایی، با حرف یونانی (ϕ) ^۱ و طول جغرافیایی (λ) ^۲ نشان داده می‌شود.

محور چرخشی زمین، قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی را مشخص کرده و از این مطلب، یک دستگاه مختصاتی که شرح آن در ذیل خواهد آمد، حاصل شده است. درست در حد وسط بین دو قطب جغرافیایی، دایره استوا^۳ در نظر گرفته می‌شود. دایره استوا دایره عظیمه‌ای است که کره زمین را به دو نیم کره شمالی و جنوبی^۴ تقسیم می‌کند. به موازات دایره استوا، دوائر صغیره‌ای، مابین دایره استوا و قطبهای جغرافیایی، در نظر گرفته می‌شود که مدارات^۵ نامیده می‌شوند. مدارات در حقیقت خطوط شرقی غربی سیستم مختصات مربوط هستند. دوائر عظیمه‌ای که از دو قطب جغرافیایی زمین

1. Phi

2. Lambda

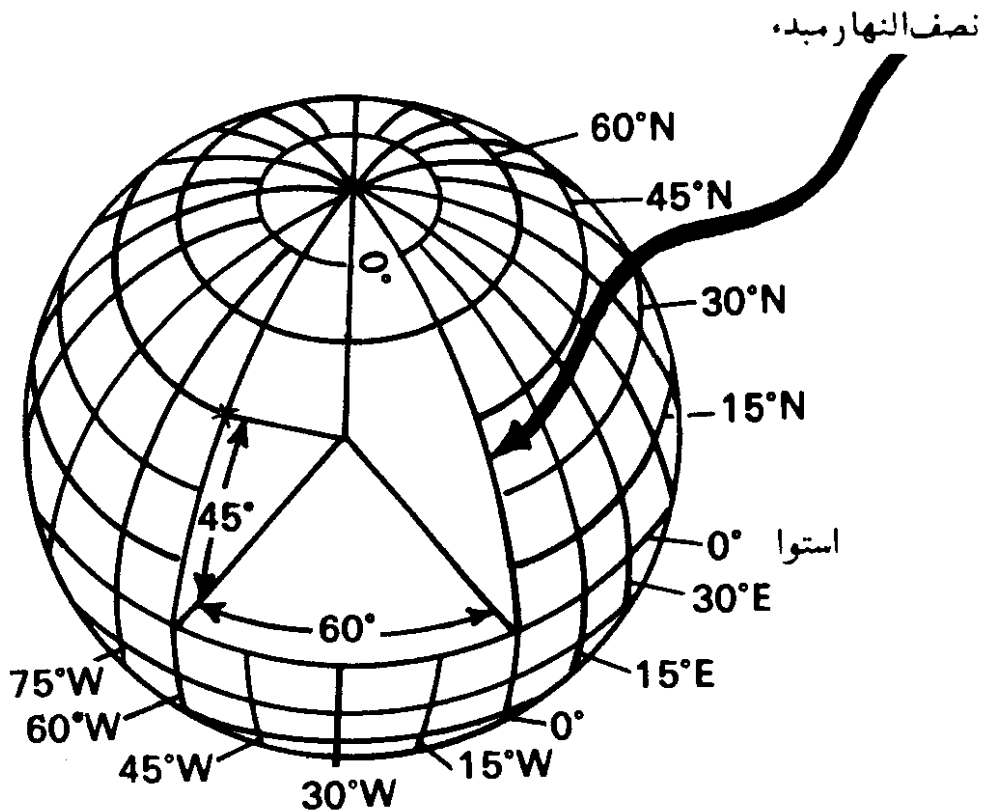
3. Equator

4. Northern and Southern Hemisphere

5. Parallels of Latitude

می گذرند، تشکیل نصف النهارات^۱ را می دهند. این دوائر تشکیل دهنده خطوط شمالی جنوبی مختصاتند.

عرض جغرافیایی یک نقطه، با فاصله زاویه ای آن از دایره استوا، از صفر تا ۹۰ درجه بطرف شمال و یا جنوب بیان می شود. طول جغرافیایی یک نقطه، با فاصله زاویه ای که نصف النهار آن نقطه با نصف النهار مبده^۲ می سازد بیان می گردد. طبق موافقتنامه ای که در کنفرانس بین المللی، در مورد نصف النهار^۳، در واشنگتن دی سی^۴، در آمریکا در سال ۱۸۸۴، حاصل شد، نصف النهاری که بر محور نوری رصدخانه سلطنتی گرینیچ^۵ در انگلستان منطبق است بعنوان نصف النهار مبدأ انتخاب شده. طول جغرافیایی، از صفر تا ۱۸۰ درجه نسبت به نصف النهار مبده، بطرف مشرق و یا مغرب بیان می گردد. بنابراین نصف النهار ۱۸۰ درجه شرقی و ۱۸۰ درجه غربی، برهم منطبق هستند. این نصف النهار در اقیانوس آرام^۶ قرار گرفته و به نام خط بین المللی تاریخ^۷ نامیده می شود؛ در مورد این نصف النهار در فصل هفتم، توضیح بیشتری داده شده است.



شکل (۱-۱) — نمایش طول و عرض جغرافیایی یک نقطه بر روی کره زمین، عرض جغرافیایی محل، نشانگر ۴۵° شمالی و طول جغرافیایی آن نیز ۶۰° غربی است.

- | | |
|--------------------------------------|---------------------|
| 1. Meridians of Longitude | 2. Prime Meridian |
| 3. International Meridian Conference | 4. Washington D. C. |
| 5. Royal Greenwich Observatory | 6. Pacific Ocean. |
| 7. International Date Line. | |

در شکل (۱-۱) طول و عرض جغرافیایی محلی بر روی کره زمین، که با علامت بعلاوه (+) مشخص گردیده، نشان داده شده است. عرض جغرافیایی آن 45° شمالی و طول جغرافیایی آن 60° غربی است.

باید توجه داشت که این گونه مختصات جغرافیایی، با فرض کره‌ی شکل بودن زمین است. البته شکل واقعی کره زمین در فصل هشتم، مورد بحث قرار گرفته، همچنین انواع دیگر مختصات نیز در آنجا بیان شده است.

درجات عرض جغرافیایی بطور مساوی تقسیم شده است، اما فاصله‌های مربوط کمی با هم فرق دارند که آن هم بعلت فشردگی کره زمین در ناحیه دو قطب آن است. فاصله یک درجه عرض جغرافیایی در ناحیه استوایی $110/567$ کیلومتر ($68/703$ مایل) است که در نزدیکی قطبها، این فاصله به $111/699$ کیلومتر ($69/407$ مایل) می‌رسد.

چنانکه می‌دانیم، نصف‌النهارات همدیگر را در قطبهای جغرافیایی زمین قطع می‌کنند، لذا فاصله یک درجه‌ای طول جغرافیایی از صفر کیلومتر در قطبها تا $111/321$ کیلومتر ($69/172$ مایل) در ناحیه استوایی تغییر می‌کند.

درجات طول و عرض جغرافیایی با تقسیمات کوچکتر مانند دقیقه زاویه‌ای (۱) و ثانیه زاویه‌ای (=) نیز نشان داده می‌شود.

۲. تعیین عرض جغرافیایی

عرض جغرافیایی یک مکان را می‌توان از روی نقشه‌های جغرافیایی پیدا کرد؛ همچنین با استفاده از روشهای متداول در نجوم، می‌شود آن را مشخص ساخت. به روشهای متداول نجومی، در پایان این قسمت، بطور خلاصه اشاره خواهد شد. اما پس از بیان یک خاصیت مهم عرض جغرافیایی، روشی را شرح خواهیم داد که می‌تواند در نقاط دوردست و بدون دسترسی به نقشه‌های جغرافیایی برای تعیین عرض جغرافیایی بکار رود، سپس طرز بدست آوردن عرض جغرافیایی، با استفاده از نقشه را بیان خواهیم کرد. قبل از شروع روشهای مختلف، می‌بایست یک خاصیت مهم در رابطه با عرض جغرافیایی را شرح داد:

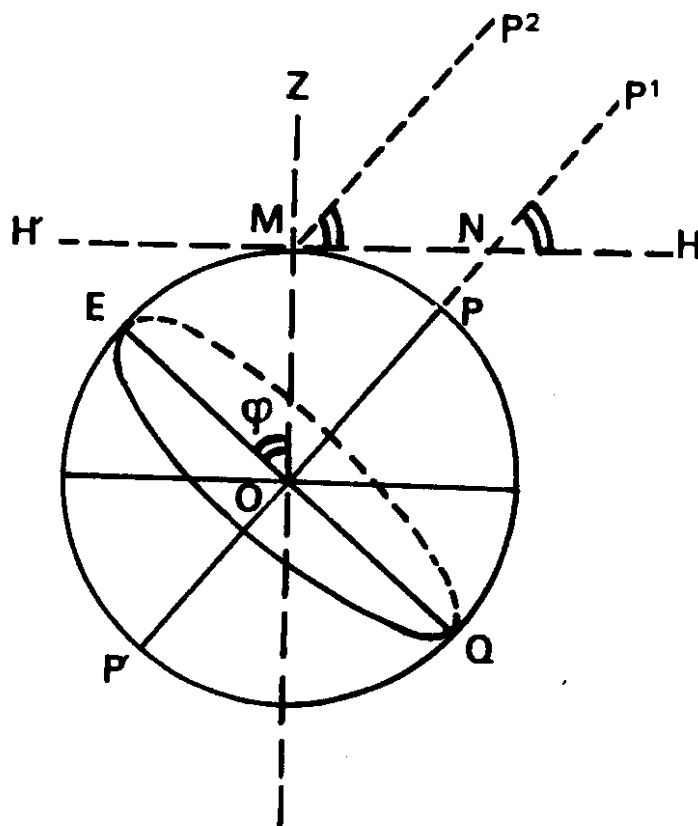
عرض جغرافیایی یک محل، برابر است با ارتفاع^۲ قطب سماوی^۳. — قطب سماوی در فصل ششم تعریف شده است — این خاصیت به طریق زیر قابل اثبات است:

دایره نشان داده شده در شکل (۱-۲) معرف کره زمین و نقطه O مرکز آن است. فرض می شود که نقطه M محل مورد نظر بر روی کره زمین باشد، در نتیجه، امتداد قائم^۱ در این محل در امتداد خط MO است؛ بطوری که اگر خط MO را بطرف بالای سر ناظر^۲ مستقر در نقطه M امتداد دهیم به سمت الرأس^۳ آن، در نقطه Z می رسیم. خط POP محور زمین است که در صورت امتداد دادن آن، امتداد قطب سماوی مشخص می شود (OPP_۱). دایره EQ نیز معرف دایره استواست.

خط HH نمایانگر صفحه افق^۳، در نقطه M است که عمود بر خط ZMO رسم شده است. بعد فاصله قطب سماوی تا حدی است که اگر از نقطه M خطی در امتداد آن رسم شود، خط حاصل، MP_۲، موازی خط OPP_۱ خواهد بود.

طبق تعریف، عرض جغرافیایی نقطه M با زاویه $\hat{EOM} = \varphi$ بیان می شود، در حالیکه ارتفاع قطب سماوی با زاویه HNP_۱ و یا زاویه HMP_۲ (موازی NP_۱ است) ذکر می گردد. لذا می بایست تساوی زیر ثابت شود:

$$\hat{EOM} = \hat{HMP}_2$$



شکل (۱-۲) - برابری عرض جغرافیایی یک معز و ارتفاع قطب سماوی

$$\hat{HMP}_2 + \hat{ZMP}_2 = 90^\circ$$

این تساوی به طریق زیر ثابت می‌شود:

$$\hat{POM} + \hat{EOM} = 90^\circ$$

$$\hat{ZMP}_2 = \hat{POM}$$

از طرف دیگر

$$\hat{HMP}_2 = \hat{EOM}$$

ولذا

یعنی عرض جغرافیایی یک محل، برابر با ارتفاع قطب سماوی است. این نتیجه، برای تعیین عرض جغرافیایی بکار برده می‌شود که در همین قسمت به آن اشاره خواهد شد.

۱-۲. تعیین عرض جغرافیایی با استفاده از وسایل ساده

در نقاط دوردست ممکن است به نقشه‌های جغرافیایی که دارای مشخصه طول و عرض جغرافیایی باشند دسترسی پیدا نشود و یا وسایل نجومی مورد لزوم برای تعیین عرض جغرافیایی در آن نقاط موجود نباشد، در اینصورت روش زیر را می‌توان به آسانی با استفاده از وسایل ساده بکار گرفت. در این روش نیازی به وسایل پیچیده نجومی، و آدم متخصص که بتواند با آنها کار کند، نیست و سهولت توسط همه کس قابل اجراست.

اساس روش، بر، اندازه‌گیری ارتفاع خورشید، در لحظه‌ای که خورشید درست بر بالای نصف‌النهار یک محل قرار می‌گیرد، استوار است. بدین ترتیب که وقتی خورشید از نصف‌النهار یک محل گذر می‌کند، با توجه به شکل (۱-۳)، رابطه زیر صادق است:

$$a = 90^\circ - \varphi \pm \delta \quad (1-1)$$

که در آن

a = ارتفاع خورشید در لحظه عبور از نصف‌النهار محل

φ = عرض جغرافیایی محل

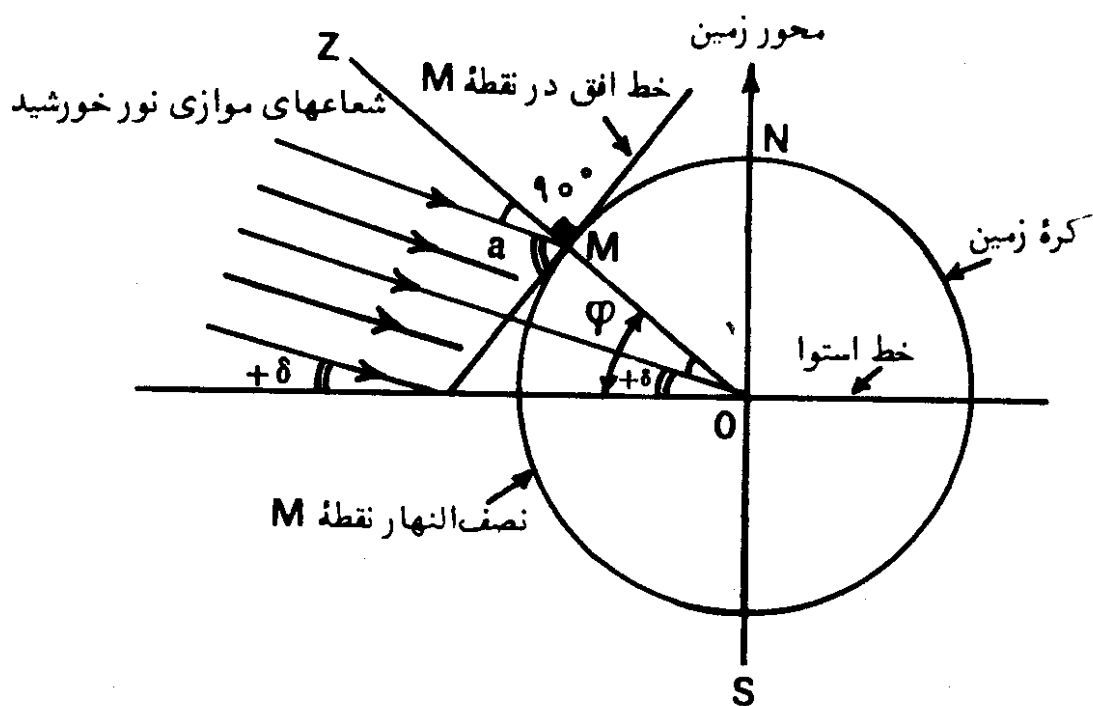
δ = میل خورشید

شعاعهای نور خورشید که بر زمین می‌تابند بعلت دوردست بودن منبع نور

1. Sun's Declination

خورشید، موازی یکدیگرند و چنانکه در فصل ششم بیان شده است، میل خورشید زاویه‌ای است که اشعه موازی نور خورشید با صفحه دایره استوا می‌سازند و اندازه آن در طول سال از $23^{\circ}/45 -$ تا $23^{\circ}/45 +$ تغییر می‌کند.

دایره نشان داده شده در شکل (۱-۳)، معرف کره زمین است. همچنین این دایره می‌تواند نمایانگر دایره نصف‌النهارِ ناظر مستقر در نقطه M باشد. لذا بسادگی با استفاده از روابط موجود بین زوایای یک مثلث و همچنین رابطه مربوط به زاویه خارجی، رابطه (۱-۱) مذکور در فوق، اثبات می‌گردد. علامت بعلاوه میل خورشید مربوط



شکل (۱-۳) - رابطه بین عرض جغرافیایی و میل و ارتفاع خورشید در لحظه قرار گرفتن خورشید بر نصف‌النهار محل.

به‌حالتی است که خورشید در شمال دایره استوا، (فصل بهار و تابستان) و علامت منهای میل خورشید مربوط به وقتی است که خورشید در جنوب دایره استواست (فصل زمستان و پائیز). شکل (۱-۳) برای حالتی نشان داده شده که خورشید در شمال دایره استوا قرار گرفته و در نتیجه، علامت δ مثبت است.

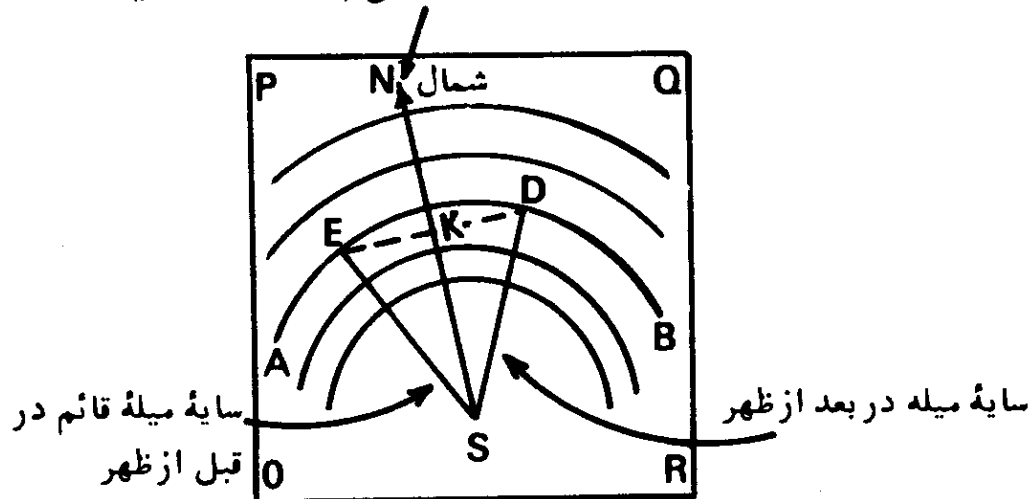
با روشن شدن مفهوم فرمول (۱-۱)، دیده می‌شود که اگر ارتفاع خورشید را در لحظه عبور از نصف‌النهار یک محل اندازه‌گیری کنیم و همچنین میل خورشید را برای تاریخ آزمایش در دست داشته باشیم، با استفاده از فرمول، اندازه عرض جغرافیایی محل

محاسبه می‌گردد. مقادیر متوسط میل خورشید در روزهای سال، در جدول شماره (۱-۶) و همچنین طریق محاسبه آن در فصل ششم داده شده است.

برای عملی ساختن این روش، ابتدا می‌بایست امتداد نصف‌النهار و یا امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل را مشخص سازیم. در فصل دوم روشهای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی یک محل بیان شده است. در اینجا روش ساده‌ای برای تعیین این امتداد بیان می‌شود:

مطابق شکل (۴-۱) یک صفحه کاملاً افقی و تراز مانند صفحه OPQR را انتخاب می‌کنیم؛ در یک محل مناسب بر روی این صفحه، نقطه‌ای مانند نقطه S را

امتداد شمال و جنوب جغرافیایی (خط نصف‌النهار)



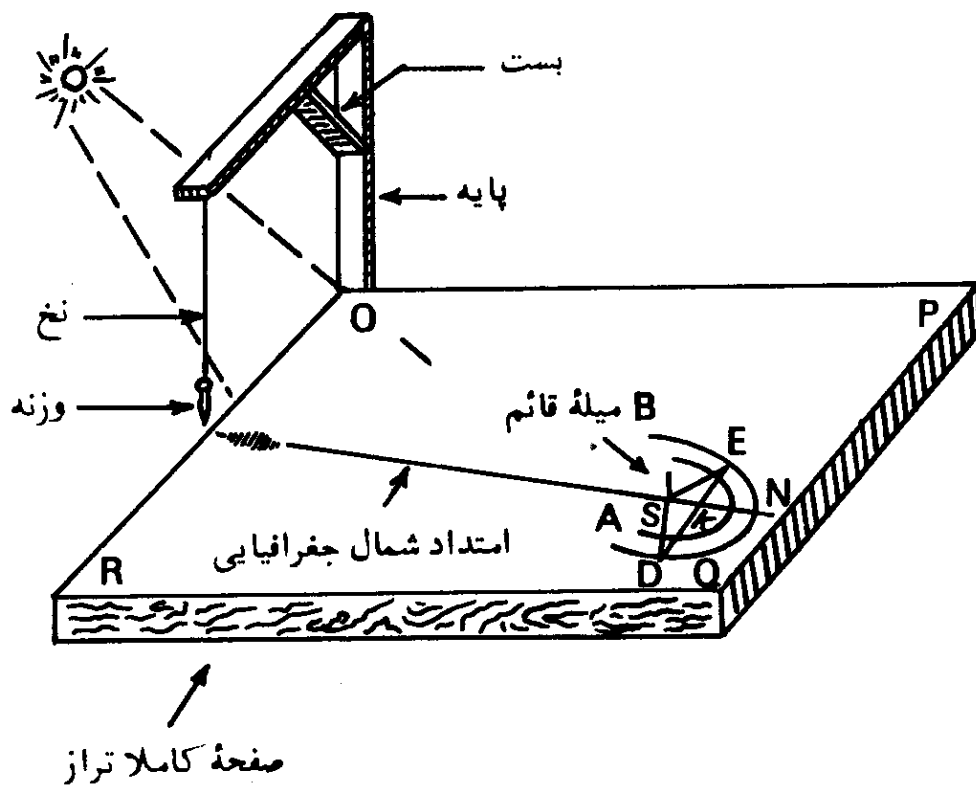
شکل (۴-۱) — تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با مشخص کردن سایه‌های مساوی یک میله قائم در صبح و بعد از ظهر. در این شکل تصویر از بالا نشان داده شده و لذا میله قائم نصب شده در نقطه S، به صورت یک نقطه دیده می‌شود.

مشخص می‌سازیم. به مرکز S و با شعاعهای مختلف، تعدادی کمان متحدالمرکز رسم می‌کنیم؛ در نقطه S یک سوزن و یا یک میله، بصورت کاملاً قائم نصب می‌نماییم؛ طول میله و یا سوزن را طوری انتخاب می‌کنیم که سایه آن بتواند بر روی کمانهای رسم شده بیفتد. چند ساعتی قبل از ظهر و در یک لحظه مشخص، انتهای سایه میله و یا سوزن بر روی یکی از کمانهای رسم شده می‌افتد که در شکل (۴-۱) نقطه E بر روی کمان AB مشخص کننده انتهای سایه است. در لحظه معینی در ساعات بعد از ظهر، انتهای سایه، دوباره بر همان کمان AB در نقطه دیگری مانند D خواهد افتاد. نقطه‌های E و D را، که دقیقاً بدین ترتیب مشخص شده‌اند، توسط یک خط

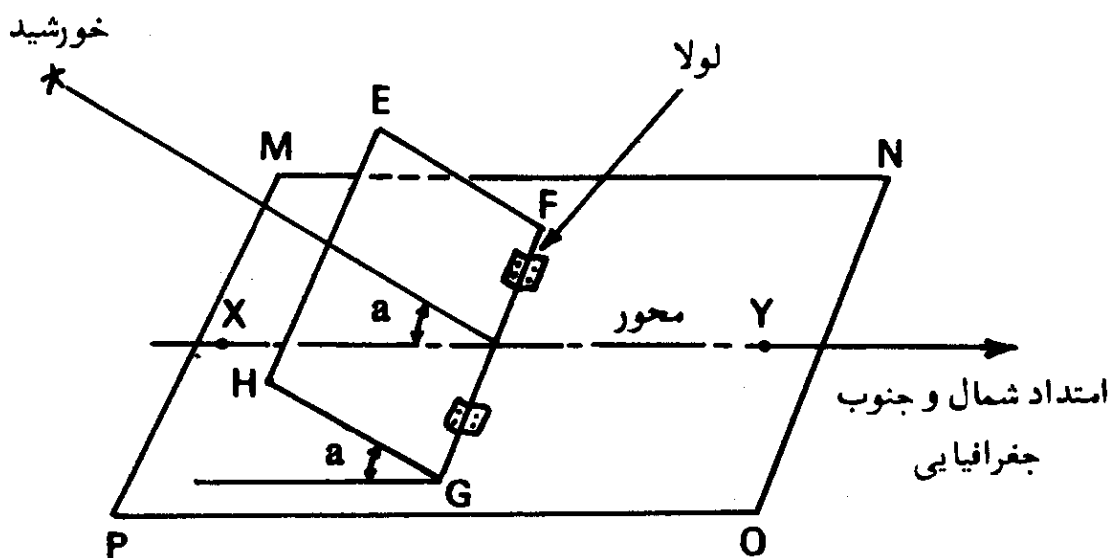
مستقیم به همدیگر وصل می کنیم. آنگاه وسط خط ED را بدست می آوریم که در شکل، نقطه K وسط این خط است. سپس نقطه K را به نقطه S وصل می کنیم که خط SKN، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و یا خط نصف النهار محل است. باید توجه داشت که در تمام مدت آزمایش صفحه OPQR کاملاً در جای خود ثابت مانده، هیچگونه تغییری در وضعیت آن داده نشود. دقت عمل در این روش بستگی به تراز بودن صفحه و بزرگی مقیاس کار یعنی اندازه شعاع کمانهای متحدالمرکز و بلندی میله و یا سوزن دارد. تعیین امتداد شمال و جنوب حقیقی با این روش در حدود یک روز طول می کشد. البته می توان برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از روشهای دیگری که در فصل دوم داده شده است، استفاده کرد. همچنین دقت این روش را در فصل دوم مورد بحث قرار خواهیم داد. در حقیقت این روش همان طریقه معروف به دایره هندی است که از قرنهای پیش به کار گرفته می شده است.

در مرحله دوم، می بایست لحظه ای را که خورشید از نصف النهار محل می گذرد تعیین کنیم. برای این کار بعد از تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، در روز بعد با استفاده از همان صفحه OPQR کار را ادامه می دهیم. لحظه ای که خورشید بر روی نصف النهار محل قرار می گیرد، سایه میله قائم مستقر در نقطه S بر روی خط SKN خواهد افتاد. مشروط بر آنکه هیچگونه تغییری در وضعیت صفحه نداده باشیم. البته این کار را با استفاده از یک شاقول، بنحوی که در شکل (۵-۱) نشان داده شده است نیز می توان انجام داد. درست در لحظه ای که خورشید از نصف النهار یک محل، گذر می کند، سایه نخ یک شاقول که بر روی صفحه OPQR قرار داده شده، بر روی خط شمال و جنوب جغرافیایی می افتد.

در مرحله سوم، می بایست ارتفاع خورشید را درست در لحظه ای که از نصف النهار محل می گذرد، برای استفاده در فرمول (۱-۱)، اندازه گیری کنیم. این عمل، با ساختن وسیله ساده ای که در شکل (۶-۱) نمایانده شده، میسر است. صفحه MNOP یک صفحه کاملاً افقی است که محور XY آن، باید در امتداد خط شمال و جنوب جغرافیایی محل که به شرح فوق قبلاً تعیین شده، قرار گیرد. صفحه EFGH بوسیله لولا دقیقاً به صفحه MNOP طوری وصل شده که خط FG عمود بر محور XY است. حال، دقیقاً در لحظه ای که خورشید از نصف النهار محل می گذرد، صفحه EFGH را حول محور آن یعنی خط FG، آنقدر می چرخانیم تا سایه آن بر روی FG بیفتد و یا بعبارت دیگر، صفحه EFGH، دیگر سایه ای نداشته باشد. در این حالت، زاویه بین دو صفحه EFGH و



شکل (۱-۵) - تعیین لفظه‌ای که خورشید بر نصف النهار محل قرار می‌گیرد.



شکل (۱-۶) - شمای وسیله ساده برای اندازه‌گیری ارتفاع خورشید در لفظه عبور از نصف النهار یک محل.

MNOP برابر ارتفاع خورشید است که در فرمول (۱-۱) با علامت a نمایانده شده است. در مرحله آخر، با بدست آوردن میل خورشید از جدول شماره (۱-۶)، اندازه

عرض جغرافیایی (φ) را با استفاده از فرمول مذکور محاسبه می‌کنیم. دقت روش بیان شده، بستگی دارد به دقتی که در ساختن و استقرار وسایل مورد لزوم بکار می‌رود. با توجه به آنچه که گذشت، در این روش، بیشترین اندازه ارتفاع خورشید، بعنوان ارتفاع خورشید در لحظه عبور از نصف‌النهار، گرفته شده است که البته این مطلب کاملاً و دقیقاً درست نیست؛ چه، میل خورشید، چنانکه در فصل ششم توضیح داده خواهد شد، بطور مداوم در حال تغییر است. البته اختلاف بین ما کسیمم ارتفاع خورشید و ارتفاع آن در لحظه عبور از نصف‌النهار محل، معمولاً کسری از ثانیه است که در آزمایشاتی این چنینی قابل صرف‌نظر کردن است. تصحیح مربوط به شکست نور خورشید در اتمسفر زمین هم در این روش نادیده گرفته شده است.

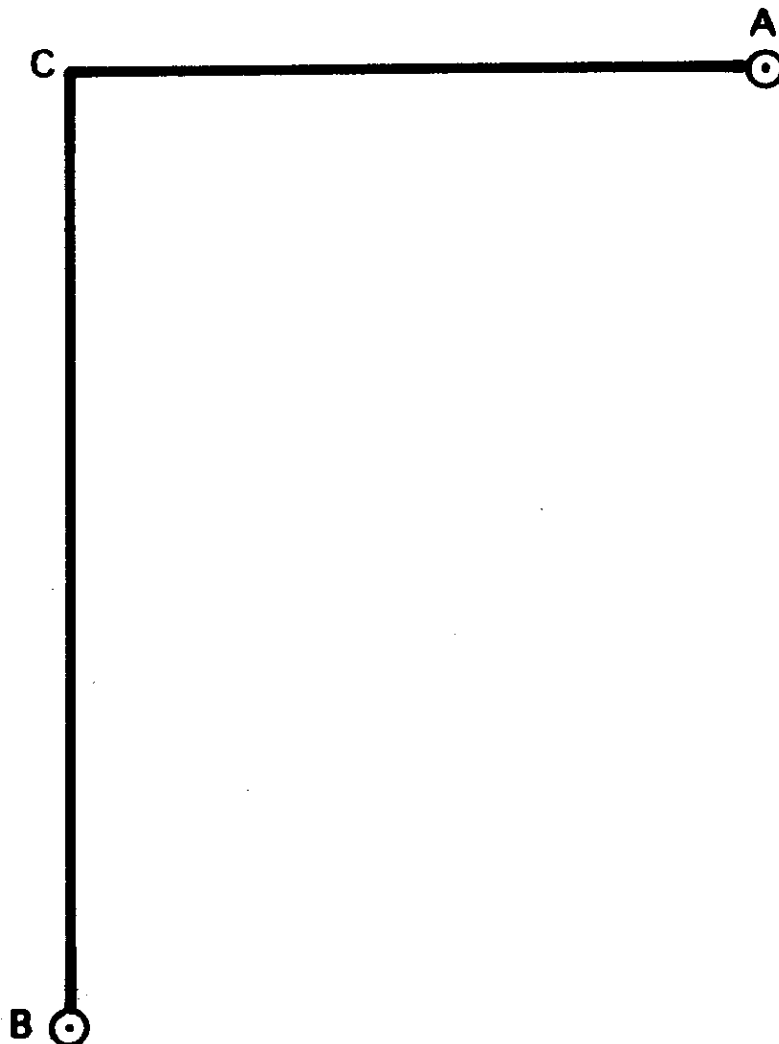
۲-۲. تعیین عرض جغرافیایی از روی نقشه

اندازه عرض جغرافیایی یک محل را از روی نقشه‌هایی که دارای مشخصه طول و عرض جغرافیایی هستند، بسادگی می‌توان بدست آورد. اگر مقیاس نقشه نیز بزرگ باشد، دقت عمل تا حدود دقیقه و یا کسری از آن هم می‌تواند باشد. کافی است محل مورد نظر را بر روی نقشه پیدا کرده، با توجه به خطوط مربوط به عرض جغرافیایی، از راه محاسبه و یا از راه ترسیم، عرض جغرافیایی محل را پیدا کنیم. این روش در صورتی عملی است که محل مورد نظر بر روی نقشه، نشان داده شده باشد، اما در صورتی که نشود محل مورد نظر را بر روی نقشه موجود مشخص کرد، روش ذکر شده قبلی را می‌توان بکار گرفت. ولی اگر نقشه موجود، دارای مشخصه طول و عرض جغرافیایی نباشد، روش ذیل را بکار می‌بندیم:

در ابتداء بر روی نقشه، شهر و یا محلی را که دارای مختصات جغرافیایی معلومی است، در نزدیکی محل مورد نظر انتخاب می‌کنیم. برای اختصار کلام، محل با مختصات جغرافیایی معلوم را محل معلوم می‌نامیم. سپس فاصله شرقی و یا غربی و فاصله جنوبی و یا شمالی محل معلوم را از محلی که مختصات جغرافیایی آن را نمی‌دانیم با یک خط کش مدرج اندازه می‌گیریم. در حقیقت فاصله مستقیم دو محل، اندازه‌گیری نمی‌شود، بلکه مطابق شکل (۷-۱) دو فاصله مختلف اندازه‌گیری می‌شود. بدین ترتیب اگر در این شکل نقطه A نمایانگر محل معلوم، و نقطه B محل مورد نظر باشد، فاصله بطرف شمال و یا جنوب از نقطه B و فاصله به طرف مشرق و یا مغرب از نقطه A اندازه‌گیری می‌شود؛ بنحوی که دو فاصله مربوط همدیگر را در نقطه‌ای مانند C قطع کنند. در

این شکل، نقطه A در شمال شرقی محل B است و لذا فاصله AC، شرقی و فاصله BC، شمالی است.

با توجه به فاصله‌هایی که قبلاً برای یک درجه عرض جغرافیایی داده شد، فاصله یک دقیقه عرض جغرافیایی، در حدود $1/85$ کیلومتر ($1/15$ مایل) است. در مرحله بعدی فاصله‌های حقیقی AC و BC را با توجه به مقیاس نقشه، به دست می‌آوریم. در این مرحله، فاصله AC، مورد لزوم نیست، ولی بعداً در تعیین طول جغرافیایی بکار خواهد رفت. اما فاصله شمالی جنوبی BC برای محاسبه عرض جغرافیایی، لازم است. با توجه به اندازه داده شده در بالا، فاصله BC بر حسب کیلومتر، معادل $\frac{BC}{1/85} = 0.54BC$ دقیقه عرض جغرافیایی است و چون نقطه مورد نظر در جنوب محل



شکل (۱-۷) - پیدا کردن طول و عرض جغرافیایی یک محل از روی مختصات جغرافیایی یک محل نزدیک به آن.

معلوم است، لذا باید معادل $(0.54BC)$ دقیقه، از عرض جغرافیایی نقطه A کاسته شود تا عرض جغرافیایی محل مورد نظر بدست آید. البته چنانکه واضح است کاربرد

این روش، در صورتی است که محل مورد نظر بر روی نقشه، مشخص باشد، در غیر اینصورت روش قبلی را می توان بکار گرفت. بعد از بیان روشهای ساده فوق، به ذکر مختصر چند روش معمول در نجوم، می پردازیم که تعیین دقیق عرض جغرافیایی یک محل، با بکار بردن آنها کاملاً امکان پذیر است.

۳-۲. تعیین عرض جغرافیایی با اندازه گیری ارتفاع ستاره قطبی^۱

چنانکه قبلاً بیان شد، عرض جغرافیایی یک محل، برابر با ارتفاع قطب سماوی در آن محل است. اگر دقیقاً در امتداد قطب شمال سماوی، ستاره مشخصی وجود داشت، با اندازه گیری ارتفاع آن ستاره در هر محلی، عرض جغرافیایی آن، مشخص می گردید. اما چنین ستاره ای در امتداد دقیق قطب شمال سماوی موجود نیست. تنها ستاره ای که خیلی نزدیک قطب شمال سماوی قرار گرفته ستاره قطبی است که فاصله قطبی^۲ آن در حدود یک درجه و ده دقیقه (۱° ۱۰') است.

لذا برای بدست آوردن عرض جغرافیایی یک محل، می بایست ارتفاع ستاره قطبی را بمقدار کمی تصحیح کرد. مقدار این تصحیح با توجه به وضعیت ستاره قطبی، ممکن است منفی و یا مثبت باشد.

۴-۲. تعیین عرض جغرافیایی، با اندازه گیری ارتفاع خورشید و یا یک ستاره در

لحظه عبور از نصف النهار محل

چگونگی این روش در مورد خورشید، در مطلب شماره (۱-۲) در این فصل توضیح داده شد و در مورد یک ستاره نیز اساس کار، همان است. در این روش، امتداد خط نصف النهار محل، باید از قبل تعیین شده باشد. این روش، در مواقعی بکار گرفته می شود که دقت زیادی مورد نیاز نباشد.

بعد از رصد ستاره معین در شب و اندازه گیری ارتفاع آن با وسایل نجومی، اندازه میل ستاره، از جدول نجومی^۳، بدست آمده و با توجه به موقعیت ستاره، نسبت به سمت-الرأس ناظر، عرض جغرافیایی محل محاسبه می شود.

در مورد خورشید وقتی که ارتفاع آن با دقت زیاد و وسایل نجومی اندازه گیری

1. Polaris

2. Polar Distance

3. Ephemeris

می‌شود، می‌بایست تصحیحات نجومی^۱ از قبیل تصحیح مربوط به شکست نور^۲ خورشید در اتمسفر کره زمین و تصحیح مربوط به اختلاف منظر^۳ (پارالاکس) و غیره را نیز معمول داشت.

۵-۲. تعیین عرض جغرافیایی از روی رصد دو ستاره، که در دو طرف

سمت الرأس ناظر قرار دارند، در لحظه عبور از نصف النهار محل

این روش، در حقیقت روش توسعه یافته قبلی است؛ بعلت اینکه در این روش دو رصد انجام می‌شود، لذا تصحیح مربوط به شکست نور و تصحیح مربوط به وسایل نجومی، عملاً یکدیگر را خنثی می‌کنند. اساس کار بدین ترتیب است که ارتفاع ستاره معینی را که در یک طرف سمت الرأس ناظر قرار می‌گیرد در حین عبور از نصف النهار محل با وسایل نجومی اندازه‌گیری کرده، عرض جغرافیایی را با روش قبلی محاسبه می‌کنند. سپس ستاره دیگری را در طرف سمت الرأس ناظر، طوری انتخاب می‌کنند که با اختلاف زمانی کمی، در حدود نیم ساعت از نصف النهار محل گذر کند. آنگاه ارتفاع این ستاره را در حین عبور از نصف النهار نیز با همان وسایل، اندازه‌گیری کرده، عرض جغرافیایی محل را دوباره محاسبه می‌کنند. متوسط دو عرض جغرافیایی بدست آمده، عرض جغرافیایی محل است.

۶-۲. تعیین عرض جغرافیایی، با اندازه‌گیری ارتفاع نصف النهاری^۴ یک ستاره

در حین گذر زیرین و زبرین^۵

ستارگان حول قطبی^۶ در طول شبانه‌روز بعلت حرکت وضعی زمین، دارای یک حرکت ظاهری^۷، حول قطب سماوی می‌باشند. بعلت این حرکت ظاهری، ستارگان حول قطبی، دوبار از نصف النهار سماوی^۸ یک محل گذر می‌کنند. در این روش، ارتفاع یک ستاره معین بهنگام عبور از نصف النهار محل، در گذر زیرین و زبرین، اندازه‌گیری می‌شود. متوسط دو ارتفاع اندازه‌گیری شده برابر عرض جغرافیایی محل ناظر است. در این روش، نیازی به دانستن میل ستاره، احساس نمی‌شود، اما بعلت اینکه فاصله بین دو گذر ستاره از نصف النهار محل ۱۲ ساعت نجومی^۹ طول می‌کشد لذا این روش، زیاد

1. Astronomical Corrections

2. Refraction

3. Parallax

4. Meridian Altitude

5. Lower and Upper Culmination

6. Circumpolar

7. Apparent movement

8. Celestial Meridian

9. Sidereal Hour

مورد استعمال ندارد.

۲-۷. تعیین عرض جغرافیایی با رصد خورشید و یا یک ستاره در هر وضعیتی

در روشهای قبلی، رصد خورشید و یا یک ستاره، بهنگام عبور از نصف النهار محل صورت می گرفت. در این روش ارتفاع ستاره و یا خورشید، در هر وضعیتی، اندازه گیری می شود و بعد ستاره از جدول نجومی، استخراج شده، آنگاه با استفاده از فرمولهای مربوط به مثلث نجومی^۲، عرض جغرافیایی محل محاسبه می گردد.

۲-۸. تعیین عرض جغرافیایی با رصد یک ستاره در حین عبور از سطح

نصف النهار اصلی^۳

در این روش ستاره ای که فاصله قطبی^۴ آن کمتر از ۹۰ درجه و بیشتر از متمم عرض جغرافیایی^۵ محل باشد، انتخاب می شود. چنین ستاره ای، در گردش شبانه روز زمین به دور خود، دو بار از سطح نصف النهار اصلی، گذر می کند. ستاره ای برای این رصد بهتر است که در نزدیکی سمت الرأس ناظر، از سطح نصف النهار اصلی بگذرد. بعد از انتخاب ستاره، فاصله زمانی دو گذر ستاره از سطح نصف النهار اصلی برحسب زمان نجومی تعیین می شود، سپس با استفاده از فرمولهای مربوط به مثلث نجومی و بدست آوردن اطلاعات لازم از جدول نجومی، عرض جغرافیایی محل، محاسبه می شود. مزیت این روش در این است که ارتفاع ستاره، اندازه گیری نمی شود و لذا مشخص نبودن دقیق میزان تصحیح مربوط به شکست نور، دیگر خطای نامشخص را بوجود نمی آورد.

۲-۹. تعیین عرض جغرافیایی با اندازه گیری ارتفاع حول نصف النهاری

خورشید و یا یک ستاره

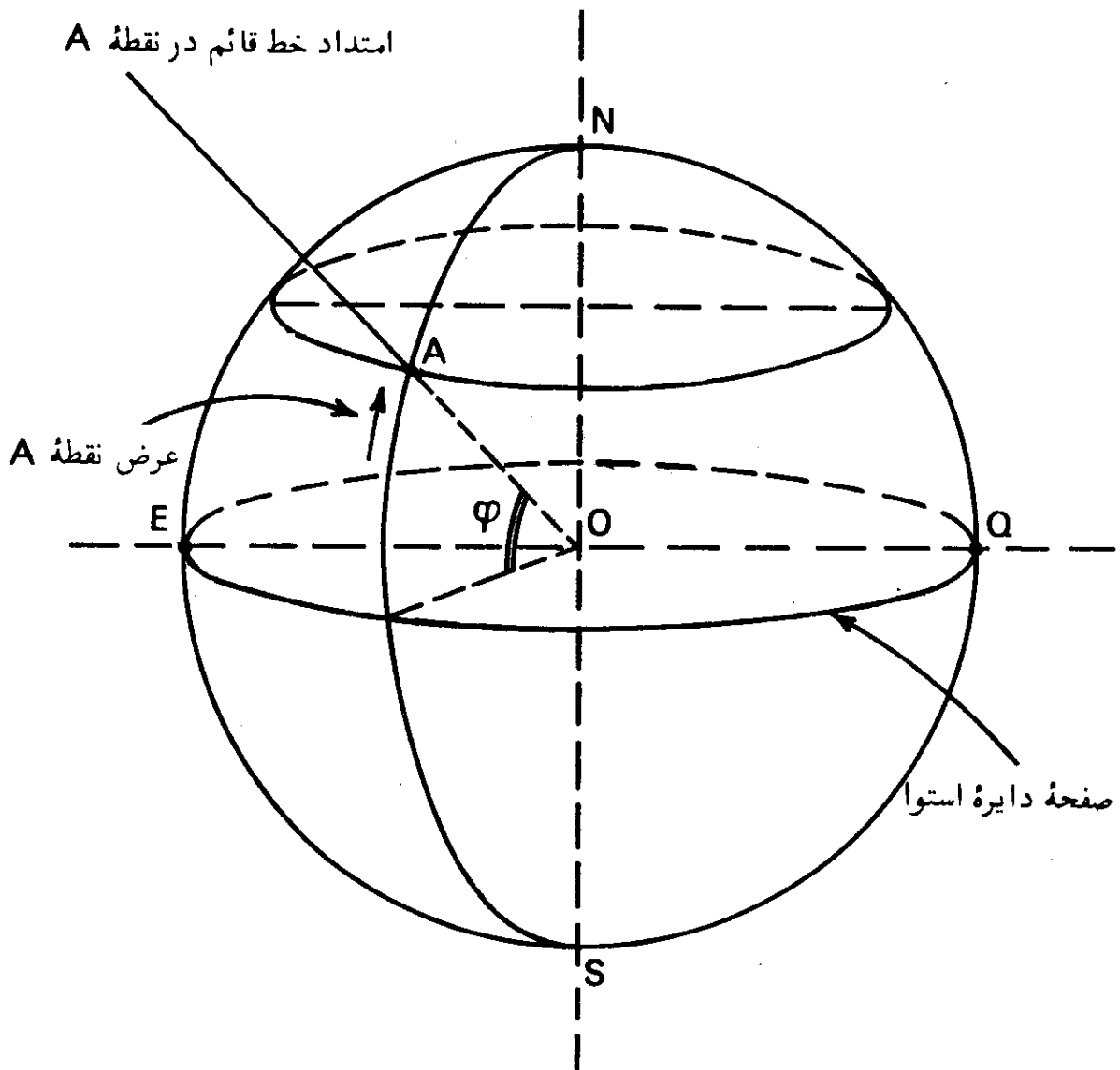
وقتی که ارتفاع یک ستاره در فاصله خیلی نزدیک به نصف النهار محل اندازه گیری شود، اصطلاحاً آن را ارتفاع حول نصف النهار^۶ می نامند. در این روش، ارتفاع ستاره و یا خورشید، چند دقیقه قبل و بعد از عبور از نصف النهار محل، اندازه گیری می شود. زمان دقیق هر اندازه گیری می بایست دقیقاً تعیین گردد، تا بتوان زاویه ساعتی^۷

1. Right-Ascension
2. Astronomical Triangle
3. Prime-Vertical Transit
4. Polar Distance
5. Co-latitude
6. Circum-meridian Altitude
7. Hour angle

را نیز حساب کرد. سپس با استفاده از فرمولهای مختلف، ارتفاع نصف‌النهارى ستاره، محاسبه می‌گردد. در مرحله بعد، از روی ارتفاع نصف‌النهارى، به ترتیبی که قبلا بیان شده، عرض جغرافیایی محل، حساب می‌شود.

۳. عرض جغرافیایی^۱ و عرض زمین مرکزی^۲

قبلا عرض^۳ یک نقطه بر روی کره زمین را بعنوان عرض جغرافیایی بیان کردیم. اما، بین تعریف عرض و عرض جغرافیایی یک نقطه بر روی کره زمین، به شرحی که در ذیل خواهد آمد، تفاوت وجود دارد.

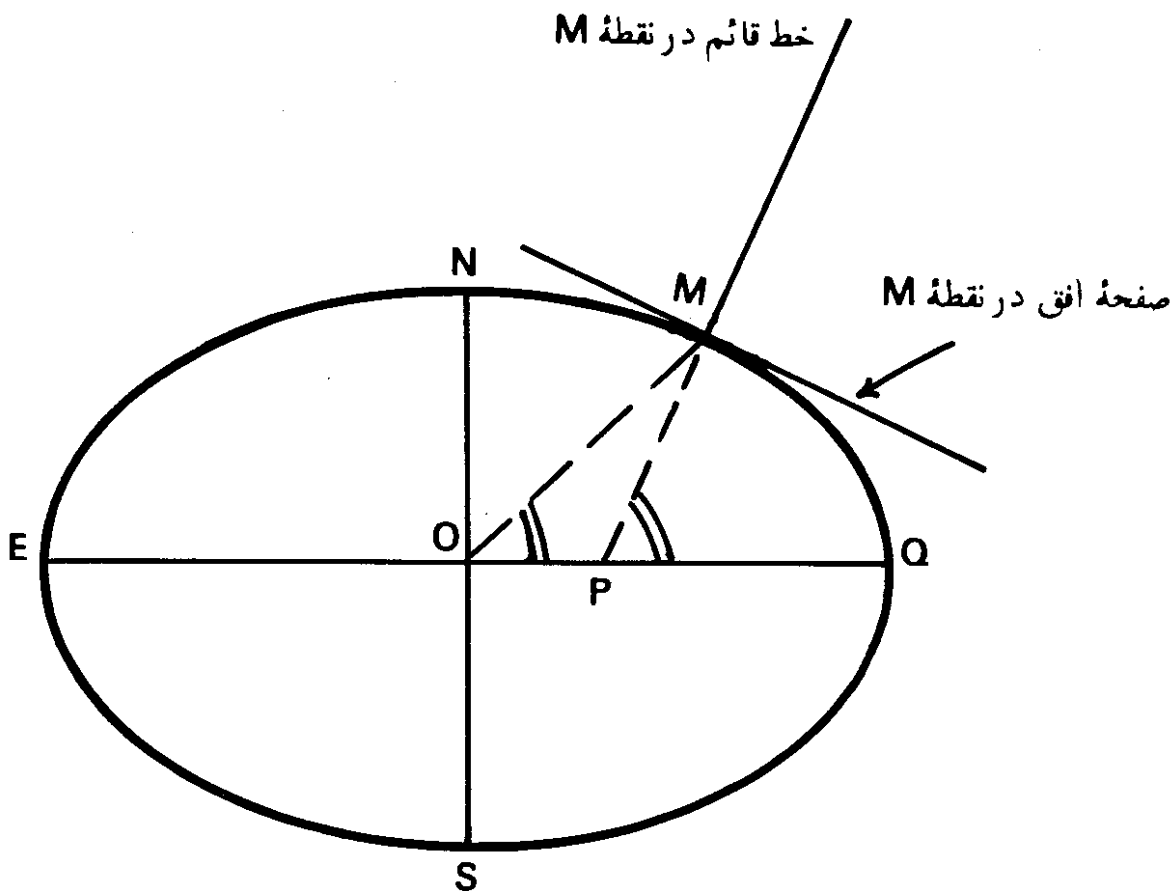


شکل (۸-۱) — عرض یک نقطه بر روی کره زمین، وقتی که شکل آن بصورت یک کره کامل فرض شود. زاویه بوجود آمده در مرکز زمین بین امتداد قائم محل و صفحه استوا، عرض محل مورد نظر است.

عرض یک محل را می توان بصورت کمانی از یک دایره عظیمه ای که از قطبین کره زمین و محل مورد نظر، می گذرد و مابین آن و صفحه استوای زمین قرار می گیرد، تعریف کرد. بسته به محل مورد نظر، کمان دایره عظیمه، ممکن است در شمال و یا جنوب صفحه استوا قرار گیرد. بعبارت دیگر، با توجه به آنچه که در شکل (۱-۸) نشان داده شده است، عرض یک محل، عبارت از زاویه ای است که در مرکز زمین بین صفحه استوا و امتداد خط قائم در محل، بوجود می آید.

اساس این مطلب بر این است که زمین بصورت یک کره کامل فرض گردد، اما همچنانکه در فصل هشتم بصورت مفصلتر بیان خواهد شد، شکل کره زمین بصورت کره کامل نیست، بلکه در قطبین آن، مانند آنچه که در شکل (۱-۹) نشان داده شده، حالت پهن شدگی^۲ وجود دارد.

البته این شکل با مقیاس، رسم نشده و فشردگی زمین در قطبها، بصورت اغراق آمیز نمایانده شده است. قبلا هم به برآمدگی زمین در نواحی استوایی و فشردگی



شکل (۱-۹) — عرض جغرافیایی و عرض زمین مرکزی.

آن در قطبها، اشاره شد و دیدیم که فاصلهٔ مربوط به یک درجهٔ عرض جغرافیایی در قطبها، بیشتر از ناحیهٔ استوایی است.

در شکل (۹-۱) مقطعی از زمین بصورت یک بیضی نشان داده شده که نقطهٔ M، نمایانگر یک محل است. اگر زمین بصورت کرهٔ کامل بود، امتداد خط قائم بر صفحهٔ افق^۱ در نقطهٔ M، از مرکز آن در نقطهٔ O می‌گذشت یعنی در امتداد خط OM قرار می‌گرفت. اما با فرض بیضوی^۲ بودن زمین، خط عمود^۳ بر صفحهٔ افق در نقطهٔ M بر امتداد OM قرار نگرفته، بلکه امتدادی مانند PM خواهد داشت. و درحقیقت وقتی که ارتفاع قطب سماوی در نقطهٔ M، به منظور تعیین عرض جغرافیایی، اندازه‌گیری می‌شود، اندازهٔ زاویهٔ MPQ بدست می‌آید و نه زاویهٔ MOQ. اندازهٔ زاویهٔ MPQ، آنچه را که اصطلاحاً عرض جغرافیایی و یا عرض ژئودتیک^۴ نامیده می‌شود به دست می‌دهد. تقریباً عرض ژئودتیک همان عرضی است که در مشاهدات نجومی بدست می‌آید. اندازهٔ زاویهٔ MOQ عرض زمین مرکزی را بدست می‌دهد. بیشترین اختلاف بین عرض زمین مرکزی و عرض ژئودتیک، در عرض ۴۵ درجه است که در حدود ۱۱ دقیقه و ۴۴ ثانیهٔ قوسی است. براساس فرمولهائی که در فصل هشتم داده شده است، رابطهٔ بین دو عرض تعریف شده، بصورت زیر است:

$$\frac{\tan \overset{\wedge}{\text{MOQ}}}{\tan \overset{\wedge}{\text{MPQ}}} = \frac{\text{ON}^2}{\text{OQ}^2} \quad (1-2)$$

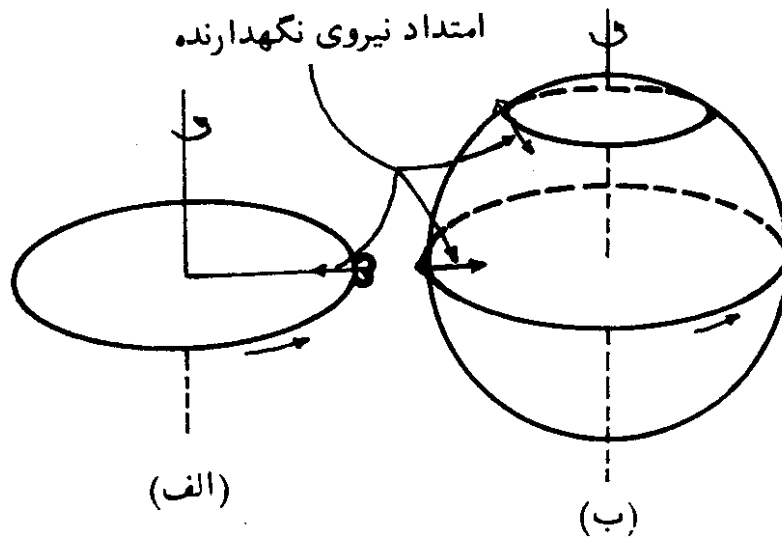
بدین ترتیب می‌بینیم که عرض یک محل بر روی کرهٔ زمین و یا بطور کلی مختصات آن، بستگی به شکل واقعی زمین دارد و به همین دلیل شکل زمین در فصل هشتم تشریح شده است.

۴. تغییرات عرض جغرافیایی^۵

شکل زمین تقریباً بصورت یک شبه کرهٔ پهن شده^۶ است که بمقدار کمی در قطبها فشرده شده و در نواحی استوایی دارای برآمدگی است، که برآمدگی آن، قرینه می‌باشد. برآمدگی استوایی زمین در اثر حرکت دورانی زمین به دور محور آن، بوجود آمده است. یک شیئی که بر روی یک جسم در حال دوران قرار دارد در صورتی که بر روی جسم

- | | | | |
|--------------------------|--------------------|------------------|----------------------|
| 1. Horizon | 2. Ellipsoid | 3. Perpendicular | 4. Geodetic Latitude |
| 5. Variation of Latitude | 6. Oblate Spheroid | | |

نگهداشته نشده باشد، در امتداد خط مماس بر آن جسم به بیرون آن پرت خواهد شد. مثلاً وزنه‌ای که بوسیله یک نخ، در یک مسیر دایره‌ای شکل در حال دوران است، در صورت پاره شدن نخ در امتداد خط مماس بر مسیر دایره‌ای شکل، پرت خواهد شد. اما می‌بینیم، با وجود آنکه زمین در حال دوران است، ولی اجسام روی آن به بیرون پرت نمی‌شوند. علت اینست که نیروی جاذبه زمین، اجسام روی آن را محکم نگهداشته مانع پرت شدنشان به بیرون می‌شود. چنانکه در شکل، (الف-۱۰) نشان داده شده،



شکل (۱۰-۱) - نیروی نگهدارنده اجسام در حال دوران: در شکل (الف) وزنه در اثر نیروی کشش نخ در مدار دایره‌ای شکل دوران می‌کند. در شکل (ب) نیروی نگهدارنده اجسام بر روی زمین، نیروی جاذبه آن است که در ناحیه استوایی امتداد نیروی جاذبه در صفحه دوران، و در سایر مناطق، در خارج آن قرار دارد.

در حالت وزنه و نخ، نیروی نگهدارنده وزنه، در صفحه دوران وزنه قرار گرفته است. ولی در مورد زمین، مطابق آنچه که در شکل (ب-۱۰) نشان داده شده، نیروی نگهدارنده اجسام، بجز در ناحیه استوایی، در سطح دوران آنها قرار ندارد.

به همین علت یک نیروی بازمانده، وجود دارد که سبب راندن تمام اجسام به سوی منطقه استوایی می‌گردد. همین نیروی بازمانده است که برآمدگی ناحیه استوایی را موجب شده و باعث تراکم جرم در آنجا گشته است. این برآمدگی طوری است که زمانی که به ناحیه استوایی می‌رسیم، سرابالایی شروع می‌شود.

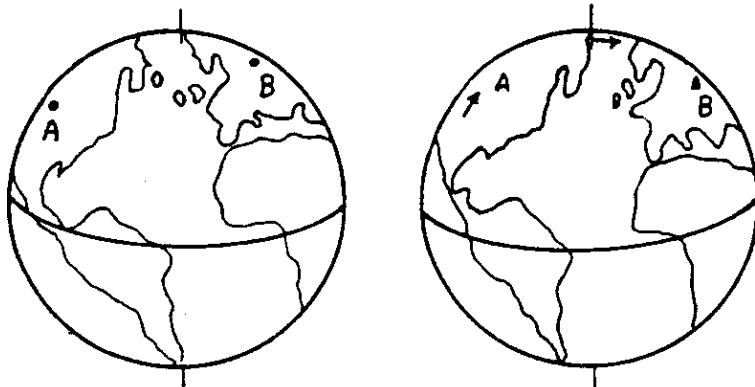
میزان سرابالایی و تراکم جرم در ناحیه استوایی، طوری است که مابین نیروی بازمانده - که اجسام را به سوی دایره استوا، می‌راند و نیروی لازم برای بالا رفتن از

سرابالایی — تعادل بوجود آمده است. بنابراین شکل زمین در حال حاضر تغییری ندارد و بحالت تعادل رسیده است.

با وجود این اگر مقداری ماده در محلی به غیر از ناحیه استوایی بر زمین اضافه شود، نیروی بازمانده باعث می شود که این اضافه جرم بسوی استوا حرکت کند. برای مثال چنانچه سلسله جبال در محلی در شمال استوا در حال تشکیل باشد، حرکتی به سوی دایره استوا خواهد داشت. البته چون سلسله جبال مذکور به پوسته زمین متصل است، لذا تمامی پوسته، به آرامی حرکت کرده و جرم اضافی را به سمت استوا، می راند. این لغزش پوسته زمین بر روی امتداد محور چرخش آن، که امتدادی ثابت است، اثری ندارد. تنها چیزی که می تواند اتفاق بیفتد تغییر وضعیت خود زمین نسبت به محور چرخشی آنست. نتیجه این عمل حرکت لرزشی تمامی توده زمین نسبت به محور چرخشی آنست.

زمین دائماً دارای تغییراتی در توزیع جرم خود است. این تغییرات احتمالاً در فواصل نامرتب، بوجود می آید و موجب ایجاد ضربه هایی در یک جهت و بعضی اوقات در جهت دیگر، می گردد. این پدیده شبیه پاندولی است که در حال نوسان بوده از جهات مختلف ضربات نامرتبی به آن وارد می شود. چنین پاندولی به حرکت نوسانی طبیعی خود ادامه می دهد و اغتشاشات نامرتبی که در اثر ضربه های منفرد ایجاد می گردد، بوسیله نوسانات طبیعی آن، پوشیده می ماند.

بعلت حرکت لرزشی زمین نسبت به محور چرخشی آن، عرض جغرافیایی هر-



شکل (۱۱-۱) — تغییرات عرض جغرافیایی؛ به علت صلب بودن زمین، کاهش در عرض B برابر افزایش عرض A است. جابجایی نقطه B در یک جهت و نقطه A در جهت دیگر از ۵۰ فوت تجاوز نکرده است. ممکن است در گذشته های دور تغییرات بیشتری در عرض جغرافیایی اتفاق افتاده باشد.

نقطه‌ای بر روی زمین، دچار تغییر می‌گردد. چنین تغییراتی که در عرض جغرافیایی پدیدار می‌گردد، از سال ۱۸۴۲ در چند رصدخانه^۱ که در جهات مختلف نسبت به قطب قرار دارند، اندازه‌گیری شده است. این پدیده‌ها را در شکل (۱۱-۱) می‌توانید مشاهده کنید. بدین ترتیب که اگر عرض نقطه^۲ A افزایش یافته است، عرض نقطه^۳ B، در طرف دیگر قطب، به همان اندازه، کاهش داشته است. در این پدیده، امتداد محور چرخشی زمین در فضا تغییری نمی‌کند اما در ایام مختلف، نقاط گوناگونی بر روی کره زمین در حوالی قطبها، بر قطبهای چرخشی منطبق می‌شوند. به همین خاطر گاهی تغییرات عرض جغرافیایی را به نام سرگردانی قطب^۲ می‌نامند.

تعیین تغییرات عرض جغرافیایی یک نقطه بر روی زمین، یکی از دقیقترین اندازه‌گیریهای علوم فیزیک است. تغییرات عرض جغرافیایی در زمانهای مختلف، با دقتی تقریباً برابر با یک صدم ثانیه قابل تعیین است. این دقت، معادل اختلاف فاصله‌ای برای ۳۰ سانتیمتر و یا تقریباً یک فوت است. چنین دقتی بیانگر یک قسمت از 10^8 می‌باشد. شکل (۱۲-۱) حرکت قطب را بین سالهای ۱۹۴۱ و ۱۹۴۷ نشان می‌دهد. از زمان اولین اندازه‌گیریهای تغییرات عرض جغرافیایی، قطبها در حدود ۵۰ فوف تغییر مکان داده‌اند. حرکت لرزشی زمین نسبت به محور چرخشی آن، یک حرکت نامرتبی است و به نام لرزش چاندلر^۳، نامیده می‌شود. در این حرکت، زمین در اطراف محور چرخشی خود در یک دوره متغیر^۴، در حدود ۴۴۰ روز، حرکت می‌کند. موضوع تغییرات عرض جغرافیایی، بدان جهت در این قسمت آورده شد که زمانی که تعیین دقیق عرض جغرافیایی خانه کعبه، در فصل نهم کتاب، بمیان می‌آید، این گونه تغییرات را نیز می‌توان در دقت‌های زیاد در مد نظر داشت.

۵. تعیین طول جغرافیایی

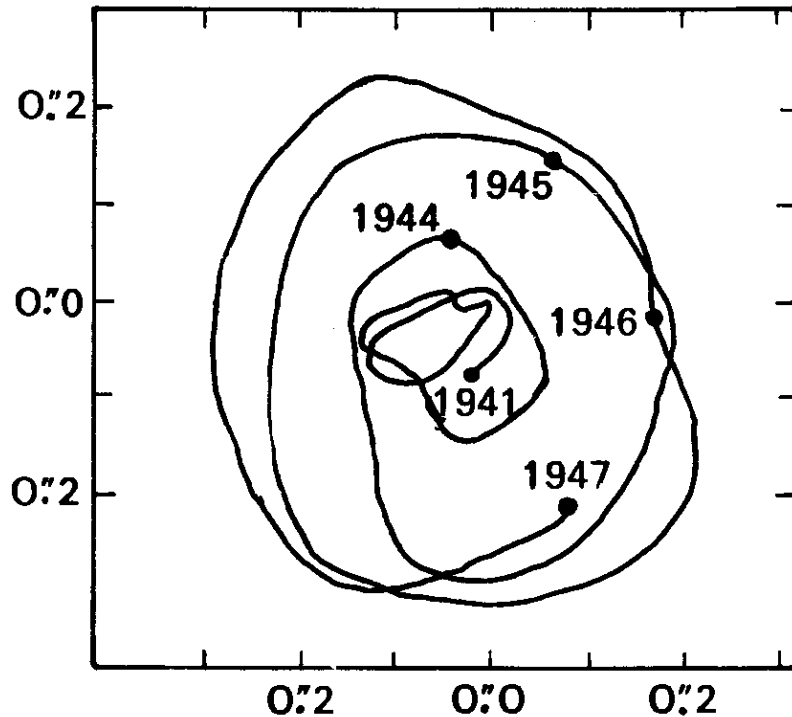
طول جغرافیایی یک نقطه نسبت به نقطه دیگر، برابر با اختلاف بین نصف‌النهارهای دو نقطه است که بصورت کمانی از دایره استوا محصور بین آنها اندازه‌گیری می‌شود. طول جغرافیایی، در صورتی که بر حسب درجه قوسی بیان شود تا ۱۸۰ درجه به سمت مشرق و یا به سمت مغرب نصف‌النهار ثابت که بعنوان مبدا انتخاب شده

1. Observatory

2. The Wandering of the pole

3. Chandler Wobble

4. Variable Period



شکل (۱۲-۱) - سرگردانی قطب بین سالهای ۱۹۴۱ و ۱۹۴۷. امتداد محور چرخشی زمین در فضا ثابت است اما نقاط مختلفی در زمانهای مختلف بر قطب منطبق شده‌اند.

است، تغییر می‌کند. چنانکه قبلاً نیز بیان شد، نصف‌النهار مبدئی که انتخاب شده و توسط اکثر ممالک، مورد قبول قرار گرفته، نصف‌النهار گرینویچ است. اختلاف طول جغرافیایی در دو نقطه، به اختلاف وقت هم زمان اندازه‌گیری شده در دو نقطه نیز بستگی دارد. اگر وقت محلی نقطه‌ای را که در آن قرار گرفته‌ایم محاسبه کنیم و همچنین وقت محلی نقطه دیگری را در همان زمان بدانیم، اختلاف بین دو وقت محلی برابر با اختلاف طول جغرافیایی دو نقطه برحسب زمان خواهد بود.

در این قسمت ابتدا روش ساده‌ای را برای تعیین طول جغرافیایی در نقاط ناشناخته ذکر کرده، آنگاه به چگونگی تعیین آن از روی نقشه، اشاره می‌کنیم و در پایان به روشهای نجومی که برای تعیین دقیق آن بکار گرفته می‌شود، بطور مختصر نظر خواهیم افکند. بیشتر روشها در این مطلب خلاصه می‌شود که می‌بایست اختلاف وقت را بین یک محل معین مانند گرینویچ و وقت محلی نقطه مورد نظر بدست آورد. وقت محلی که نسبت به نصف‌النهار یک محل، مورد محاسبه قرار می‌گیرد، بسادگی از روی وقت استاندارد^۲، که نسبت به یک نصف‌النهار معین در منطقه سنجیده می‌شود، تعیین می‌گردد. این مطلب در فصل هفتم، تشریح شده است.

۱-۵. تعیین طول جغرافیایی در نقطه‌ای ناشناخته و دور دست

روش ساده‌ای که در اینجا بیان می‌شود، می‌تواند برای تعیین طول جغرافیایی نقاط ناشناخته‌ای که حتی در نقشه‌های جغرافیایی دیده نمی‌شوند، بکار گرفته شود. تنها وسیله مورد لزوم، یک ساعت دقیق و یا یک کرونومتر (زمان‌سنج) است. اساس این روش، بر اندازه‌گیری وقت در لحظه عبور خورشید از نصف‌النهار محل استوار است. لحظه عبور خورشید از نصف‌النهار محل را اصطلاحاً ظهر خورشیدی^۱ (شمسی)، ظهر شمسی حقیقی^۲ ظهر شمسی ظاهری^۳ و یا به بیان دیگر ظهر شرعی می‌نامند. در این روش، طول جغرافیایی محل، از روی فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$LAT = ST + EOT \pm LA \left(\frac{E}{W} \right) \quad (1-3)$$

که در آن

LAT = وقت ظاهری محل^۵ و یا وقت شمسی حقیقی^۶ محل است که توسط ساعت خورشیدی نشان داده می‌شود.

ST = وقت استاندارد و یا وقتی است که توسط ساعت، در محل نشان داده می‌شود.

EOT = تعدیل زمان^۷ (معادله زمان) برحسب دقیقه.

LA عبارت مربوط به تصحیح طول جغرافیایی^۸ است و از روی رابطه زیر برحسب دقیقه زمانی بدست می‌آید:

۴ × (اختلاف بین طول جغرافیایی محل و طول جغرافیایی نصف‌النهار = LA

(۱-۴) استاندارد^۹ مربوط به وقت استاندارد در منطقه)

حروف E و W و علامتهای بعلاوه (+) و منها (-) بدان معنی است که اگر محل مورد نظر، در مشرق نصف‌النهار استاندارد قرار گرفته باشد، علامت (+) و در صورتی که در مغرب آن باشد، علامت (-) بکار می‌رود.

فرمولهای فوق، به تفصیل در فصل دهم شرح داده شده‌اند.

در لحظه ظهر خورشیدی ۱۲ - LAT است. مقادیر تعدیل زمان (EOT) را

می‌توان یا محاسبه کرد و یا از جدول (۳-۷) در فصل هفتم بدست آورد. وقت استاندارد

از ساعت معمولی که مطابق وقت استاندارد، میزان شده باشد، بدست می‌آید. وقت

1. Chronometer

2. Solar Noon

3. Real Solar Noon

4. Apparent Solar Noon

5. Local Apparent Time

6. (Real) Solar Time

7. Equation of Time

8. Longitude Adjustment

9. Standard Meridian

استاندارد برای نصف‌النهار مشخصی است که به نام نصف‌النهار استاندارد در یک منطقه استاندارد، نامیده می‌شود. مثلاً نصف‌النهار استاندارد مربوط به وقت استاندارد و یا رسمی در ایران ۵۲/۵ درجه طول شرقی است. یعنی وقتی که رادیوایران ساعت ۱۲ ظهر را اعلام می‌کند. این بدین معنی است که خورشید میانگین^۲ بر بالای نصف‌النهار ۵۲/۵ درجه شرقی قرار گرفته است. خورشید میانگین خورشیدی است فرضی که با سرعتی یکنواخت ظاهراً در مسیر استوای سماوی^۳، یک بار در ۲۴ ساعت به دور زمین می‌گردد. کلمه ظاهراً بدان معنی است که درحقیقت، این زمین است که یک بار به دور خود می‌چرخد و چنین بنظر می‌رسد که خورشید یک بار به دور آن گشته است. توضیح بیشتر این مطالب را در فصل هفتم بخوانید.

با توضیحاتی که داده شد، روش کار بدین گونه است که دریا بیم که در لحظه ظهر خورشیدی، یک ساعت دقیق و میزان شده، چه وقتی را نشان می‌دهد. چگونگی تعیین لحظه ظهر خورشیدی، قبل از مطلب شماره (۱-۲) این فصل عنوان شده است. حال برای درک بهتر مطلب، به ذکر مثالی می‌پردازیم:

مثال (۱-۱) — در نقطه‌ای ناشناخته، بعد از تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، لحظه ظهر خورشیدی، برابر ۱۷ دقیقه بعد از ظهر به وقت رادیوایران در روز ۲۱ آذرماه ۱۳۶۳، تعیین شده است. طول جغرافیایی محل چقدر است؟

راه حل — در روز ۲۱ آذرماه ۶۳ (معادل دوازدهم دسامبر ۱۹۸۴ میلادی) اندازه تعدیل زمان در جدول شماره (۳-۷) برابر با (+۶) دقیقه و ۳۴ ثانیه است (دقیقه ۵۷/۶ = EOT) و چون در لحظه ظهر خورشیدی، وقت ساعت خوانده شده، لذا $LAT = ۱۲$ است. اگر اختلاف دو طول جغرافیایی را X بنامیم، با استفاده از روابط (۱-۳) و (۱-۴) می‌توانیم بنویسیم:

$$X \pm ۴ = (دقیقه ۵۷/۶) + ۱۷ \text{ دقیقه و } ۱۲ \text{ ساعت} - ۱۲ \text{ ساعت}$$

$$\pm ۴X = -۲۳/۵۷$$

$$\pm X = -۵/۸۹۲۵$$

X نمایانگر اختلاف دو طول است و لذا می‌تواند بدون علامت باشد، پس:

$$X = -۵/۸۹۲۵$$

نتیجه اینکه، اختلاف بین طول جغرافیایی محل مورد نظر و نصف‌النهار ۵۲/۵ درجه شرقی برابر با ۵/۸۹۲۵ درجه است. یعنی طول جغرافیایی محل مورد نظر، هم

می تواند برابر با $۵۲/۵$ درجه بعلاوه $۵/۸۹۲۵$ درجه، یعنی $۵۸/۳۹۲۵$ درجه شرقی باشد و هم برابر با $۵۲/۵$ درجه، منهای $۵/۸۹۲۵$ درجه، یعنی $۴۶/۶۰۷۵$ درجه شرقی باشد. پیدا کردن اینکه کدامیک صحیح است کار ساده ای است. کافی است در فرمولهای بکار رفته، مقدار ST را مجهول بگیریم و معادله را با جوابهای بدست آمده، دوباره حل کنیم. هر کدام که جواب ST را صحیح بدست داد یعنی ST برابر با ۱۷ دقیقه بعد از ظهر شد، جواب صحیح مسئله است. با توجه به این امر دو جواب بدست آمده را به شرح زیر کنترل می کنیم. اول برای جواب $۵۸/۳۹۲۵$ درجه طول شرقی:

$$۱۲ = ST + (+۶/۵۷) + ۴(۵/۸۹۲۵)$$

$$ST = ۱۴/۳۰ \text{ دقیقه و } ۱۲ \text{ ساعت}$$

و در مورد جواب $۴۶/۶۰۷۵$ درجه طول شرقی خواهیم داشت:

$$۱۲ = ST + (+۶/۵۷) - ۴(۵/۸۹۲۵)$$

$$ST = ۱۷ \text{ دقیقه و } ۱۲ \text{ ساعت}$$

که در نتیجه، این جواب صحیح است یعنی طول جغرافیایی محل مورد نظر $۴۶/۶۰۷۵$ درجه شرقی است. باید توجه داشت که در این رابطه اخیر چون $۴۶/۶۰۷۵$ درجه طول شرقی در مغرب نصف النهار استاندارد ($۵۲/۵$ درجه شرقی) قرار دارد، علامت منها (-) منظور شده است و در رابطه قبل، چون $۵۸/۳۹۲۵$ درجه طول شرقی در مشرق نصف النهار استاندارد واقع شده، لذا علامت بعلاوه (+) بکار رفته است.

همچنین می شد بدون انجام این محاسبات، با توجه به علامت مقدار $(\pm X)$ که برابر با $۵/۸۹۲۵$ - درجه شده است، نتیجه را نیز حدس زد. وقتی که این علامت منفی باشد محل مورد نظر در مغرب نصف النهار استاندارد است و لذا باید $۵/۸۹۲۵$ درجه را از $۵۲/۵$ درجه طول شرقی کم کرد. و وقتی که علامت مقدار بدست آمده برای مقدار $(\pm X)$ مثبت باشد، محل مورد نظر در مشرق نصف النهار استاندارد قرار گرفته است، لذا باید تفاوت بدست آمده را به $۵۲/۵$ درجه طول شرقی اضافه کرد.

دقت این روش، بستگی به دقت بکار رفته در تعیین لحظه ظهر خورشیدی دارد.

البته مقادیر تعدیل زمان را می شود از جدول نجومی، دقیقاً برای وقت معین استخراج کرد. چنین مقادیری قطعاً جواب دقیقتری از طول جغرافیایی را بدست خواهد داد. اما از آنجایی که کل روش را نمی توان بعنوان یک روش خیلی دقیق بحساب آورد، لذا می توان همان مقادیر تعدیل زمان مندرج در جدول را بکار برد.

۲-۵. تعیین طول جغرافیایی از روی نقشه

طول جغرافیایی (۸) یک محل را می‌توان از روی نقشه‌هایی که دارای این مشخصه، باشند، بسادگی بدست آورد: در صورتیکه مقیاس نقشه، بزرگ باشد، دقت عمل، می‌تواند تا حدود دقیقه و یا کسری از آن باشد. کافی است محل مورد نظر را بر روی نقشه پیدا کنیم و با توجه به خطوط مربوط به طول جغرافیایی، از راه محاسبه و یا از راه ترسیم، طول جغرافیایی محل را بدست آوریم. اما در صورتیکه نتوان محل مورد نظر را بر روی نقشه موجود مشخص کرد، می‌توان روش ذکر شده قبلی را به کار برد.

گاهی اوقات نقشه موجود در دسترس، دارای مشخصه طول و عرض جغرافیایی نیست، در این صورت به شرح زیر، طول جغرافیایی محل را پیدا می‌کنیم:

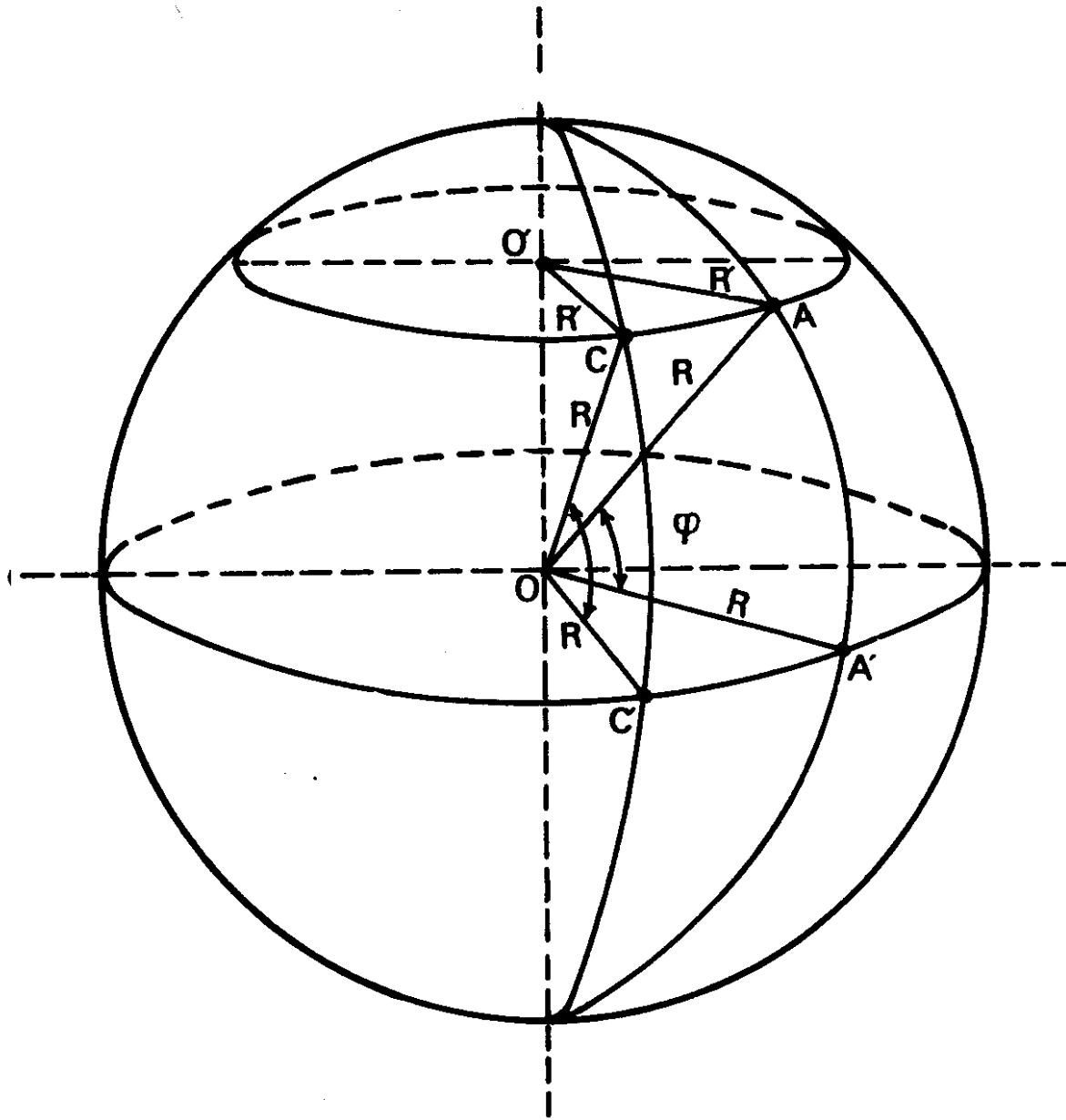
این روش نیز همانند روش مربوط به تعیین عرض جغرافیایی است که در مطلب شماره (۲-۳) در این فصل و شکل (۷-۱) مربوط به آن، گفته شد. در آنجا گفتیم که طول AC، برای تعیین طول جغرافیایی، بکار خواهد رفت و با توجه به طول BC عرض جغرافیایی محل B را از روی عرض جغرافیایی نقطه A که معلوم فرض شده بود، بدست آوردیم. در اینجا هم طول جغرافیایی محل B را از روی طول جغرافیایی محل معلوم محاسبه می‌کنیم. در مورد محاسبه عرض جغرافیایی، مسئله ساده بود و دیدیم که فاصله یک دقیقه عرض جغرافیایی در امتداد خط شمالی جنوبی معادل ۱/۸۵ کیلومتر (۱/۱۵ مایل) است. اما در مورد طول جغرافیایی، مطلب به این اندازه ساده نیست. فاصله شرقی غربی معادل یک درجه طول جغرافیایی، با اندازه عرض جغرافیایی تغییر می‌کند.

در شکل (۱۳-۱) نقاط A و C نمایانگر دو محل با عرض جغرافیایی برابرند و عبارت دیگر بر روی یک مدار، قرار گرفته‌اند و فرض می‌کنیم که عرض جغرافیایی آنها برابر θ باشد. می‌دانیم که اندازه کمان AC بر حسب درجه، برابر با اختلاف طول جغرافیایی نقاط A و C است؛ البته این مطلب، در صورتی صحیح است که هر دو نقطه یک طرف نصف النهار مبدا قرار گرفته باشند. همچنین اندازه کمان AC بر حسب درجه برابر کمان AC است. اگر شعاع زمین R باشد، بسادگی طول کمان AC را می‌شود محاسبه کرد:

$$\text{طول کمان } A'C' = \frac{2 \times \pi \times R}{360^\circ} \times (\text{اندازه کمان } A'C' \text{ بر حسب درجه})$$

به همین ترتیب اگر شعاع مدار AC برابر R باشد ($OB = OC = R$)

$$\text{اندازه کمان AC بر حسب درجه} = \frac{2 \times \pi \times R'}{360^\circ} \times \text{طول کمان AC}$$



شکل (۱-۱۳) - معایبه طول شرقی-غربی بر حسب اختلاف طول جغرافیایی دو نقطه.

بنابراین، داریم:

در مثلث قائم الزویه $OO'C$ زاویه OC برابر با $(90^\circ - \varphi)$ است و در نتیجه خواهیم داشت:

$$\sin \widehat{O'OC} = \sin (90^\circ - \varphi) = \cos \varphi = \frac{O'C}{OC} = \frac{R'}{R}$$

$$R' = R \cos \varphi$$

$$\frac{\text{طول کمان } A'C'}{\text{طول کمان } AC} = \frac{1}{\cos \varphi} \quad (1-5)$$

حال به شکل (۱-۷) برمی گردیم. طول تعیین شده AC بر روی نقشه، تقریباً می تواند معادل طول کمان AC فرض شود، چه نقاط A و C نسبت به اندازه های کره زمین بسیار بهم نزدیک انتخاب شده اند. با توجه به فاصله هایی که قبلاً برای یک درجه طول جغرافیایی در ناحیه استوایی داده شد، فاصله یک دقیقه طول جغرافیایی در ناحیه استوایی برابر ۱/۸۵ کیلومتر (۱/۱۵ مایل) است. در نتیجه، با استفاده از رابطه فوق طول کمان AC برای حالتی که اندازه کمان AC برابر یک دقیقه باشد، بسادگی محاسبه می گردد. این طول برابر (۱/۸۵ cos φ) کیلومتر و یا (۱/۱۵ cos φ) مایل خواهد بود. در نتیجه، طول تعیین شده AC بر روی نقشه، و برحسب کیلومتر معادل $\frac{AC}{1/85 \cos \varphi} = \frac{0/54 AC}{\cos \varphi}$ دقیقه طول جغرافیایی است. حال اگر مثلاً طول جغرافیایی

نقطه A شرقی باشد، چون نقطه مورد نظر در مغرب آن است، لذا باید معادل $(\frac{0/54 AC}{\cos \varphi})$ دقیقه، از طول جغرافیایی آن کاسته گردد، تا طول جغرافیایی محل مورد نظر بدست آید.

البته کاربرد این روش نیز در صورتی است که محل مورد نظر، بر روی نقشه، مشخص باشد، در غیر این صورت روش قبلی را می توان بکار گرفت.

در اینجا جا دارد که به چگونگی محاسبه فاصله دو محل که دارای عرض جغرافیایی برابرند، نیز اشاره شود. با توجه به آنچه که در بالا شرح داده شد، فاصله دو محل، که دارای عرض برابرند، برحسب مایل دریایی و در امتداد مدار که از آنها می گذرد، برابر است با:

$$\text{Cos } \varphi \times (\text{تفاوت طول جغرافیایی دو محل برحسب دقیقه})$$

این فاصله، بیشتر در دریانوردی کاربرد دارد که اصطلاح مربوط به آن در پاورقی^۲ داده شده است.

در ادامه مطلب، بطور اختصار به شرح چند روش معمول در نجوم و نقشه برداری که برای تعیین طول جغرافیایی یک محل به کار می روند، می پردازیم:

۵-۳. تعیین طول جغرافیایی از طریق اندازه گیری وقت نجومی

در این روش مبنای کار، تعیین وقت نجومی^۱ است که براساس رصد ستارگان در حرکت شبانه روز آنها استوار است. وقت نجومی به تفصیل در فصل هفتم شرح داده شده است. دایره‌ای که بعنوان مبنا در تعیین وقت نجومی، بکار می‌رود، نصف‌النهار سماوی محل^۲ است که از سمت الرأس ناظر و قطبهای سماوی^۳ می‌گذرد. درحقیقت اگر صفحه نصف‌النهار محل بر روی زمین را امتداد دهیم، کره سماوی را در دایره عظیمه‌ای قطع می‌کند که همان نصف‌النهار سماوی محل است. روز نجومی فاصله زمانی^۴ بین دو دوگذر پیاپی نقطه اعتدال بهاری^۵، از نصف‌النهار محل است.

طول جغرافیایی یک محل بر روی زمین برابر با اختلاف بین وقت نجومی آن و وقت نجومی گرینیچ در کشور انگلستان است. در عمل، وقت نجومی یک محل از رصد یک ستاره که مختصات آن، به دقت اندازه گیری شده است، تعیین می‌گردد.

۵-۴. تعیین طول جغرافیایی از طریق حمل و نقل یک زمان سنج

اصولا زمان سنج (کرونومتر) ساعتی است که زمان را با دقت زیاد اندازه گیری می‌کند و بیشتر در دریانوردی برای تعیین موقعیت، در دریا بکار می‌رود. معمولا زمان-سنج مطابق وقت گرینیچ میزان می‌شود، یعنی وقت متوسط گرینیچ را نشان می‌دهد. هر روز دقت زمان سنج با رادیو مقایسه می‌شود و لذا میزان تند و یا کند کار کردن آن^۶، در ۲۴ ساعت معلوم می‌گردد.

در این روش، زمان سنجی که میزان تند و یا کند کار کردن آن دقیقاً معلوم شده، مطابق وقت دقیق یک محل معین، میزان می‌گردد. آنگاه زمان سنج به محل دیگری که طول جغرافیایی آن را نمی‌دانیم برده می‌شود. در محل جدید وقت دقیق محلی از راه مشاهدات نجومی تعیین شده و نتیجه آن با وقتی که زمان سنج نشان می‌دهد مورد مقایسه قرار می‌گیرد. با در نظر گرفتن طول مدت انتقال، و در نتیجه، تعیین اندازه مقدار تند و یا کند کار کردن زمان سنج در این مدت، از روی اختلاف وقت نشان داده شده توسط زمان سنج، و وقت تعیین شده از روی مشاهدات نجومی در محل دوم، اختلاف طول جغرافیایی دو محل، محاسبه می‌شود. البته باید توجه داشت که میزان

1. Sidereal Time

2. Local Celestial Meridian

3. Celestial Poles

4. Interval of Time

5. Vernal Equinox

6. Error

تند و یا کند کار کردن یک زمان سنج، بهنگامی که بصورت ثابت قرار گرفته و یا در حین نقل و انتقال است، برابر نیست. لذا می‌بایست در اندازه‌گیریهای دقیق، این مطلب را در مد نظر داشت.

این روش، امروزه در نقشه برداری، کاربرد ندارد مگر در صورتی که بی‌سیم و یا تلگراف در دسترس نباشد. اما این روش هنوز در دریانوردی برای تعیین طول جغرافیایی بکار می‌رود.

۵-۵. تعیین طول جغرافیایی بوسیله تلگراف

اگر دو محل مورد نظر بوسیله تلگراف با هم ارتباط داشته باشند، می‌توان با ارسال علایم تلگرافی از هر دو محل وقت دقیق محلی را، که وسیله کرونومتر نشان داده می‌شود، اعلام کرده و با توجه به متوسط اختلاف وقت بین دو محل، طول جغرافیایی را محاسبه کرد. ارسال علایم از هر دو سو و بدست آوردن متوسط دو اختلاف وقت، به منظور حذف اثر وقت تلف شده در مدت ارسال علایم است.

۵-۶. تعیین طول جغرافیایی بوسیله بی‌سیم

توسعه ارسال علایم بی‌سیم، تعیین وقت معادل نصف‌النهار مبدا (گرینیچ) را در تمام نقاط دنیا ممکن ساخته است و در نتیجه، تعیین طول جغرافیایی آسانتر شده است. در حال حاضر علایم بی‌سیم مربوط به اعلام وقت، در نقاط مختلف دنیا و در اوقات معین، ارسال می‌گردد.

اگر وقت متوسط محلی یک مکانی را بدانیم و هم‌زمان با آن، وقت متوسط گرینیچ^۲ را نیز در دست داشته باشیم، از تبدیل اختلاف وقت به درجه، طول جغرافیایی محل، محاسبه می‌گردد. اگر وقت متوسط محلی از وقت متوسط گرینیچ جلوتر باشد، مکان در مشرق نصف‌النهار گرینیچ، و در صورتیکه از وقت گرینیچ عقب‌تر باشد، در مغرب نصف‌النهار گرینیچ قرار خواهد داشت. تنها مشکل این روش تعیین وقت متوسط گرینیچ در لحظه تعیین وقت متوسط محلی است که این مشکل نیز از طریق گرفتن سیگنال‌های رادیویی ارسالی از گرینیچ، قابل حل است.

در ادامه مطلب فقط بعنوان نمونه به چند روش دیگر که فقط جنبه تاریخی

دارند و در حال حاضر، مورد استفاده نیستند، اشاره می کنیم.

۵-۷. تعیین طول جغرافیایی از طریق رصد ماه و ستاره‌ای که از نصف‌النهار یک محل بصورت تقریباً همزمان می گذرند^۱.

۵-۸. تعیین طول جغرافیایی از طریق رصدِ علامه فلکی^۲.

۵-۹. تعیین طول جغرافیایی از طریق فواصل ماه^۳.

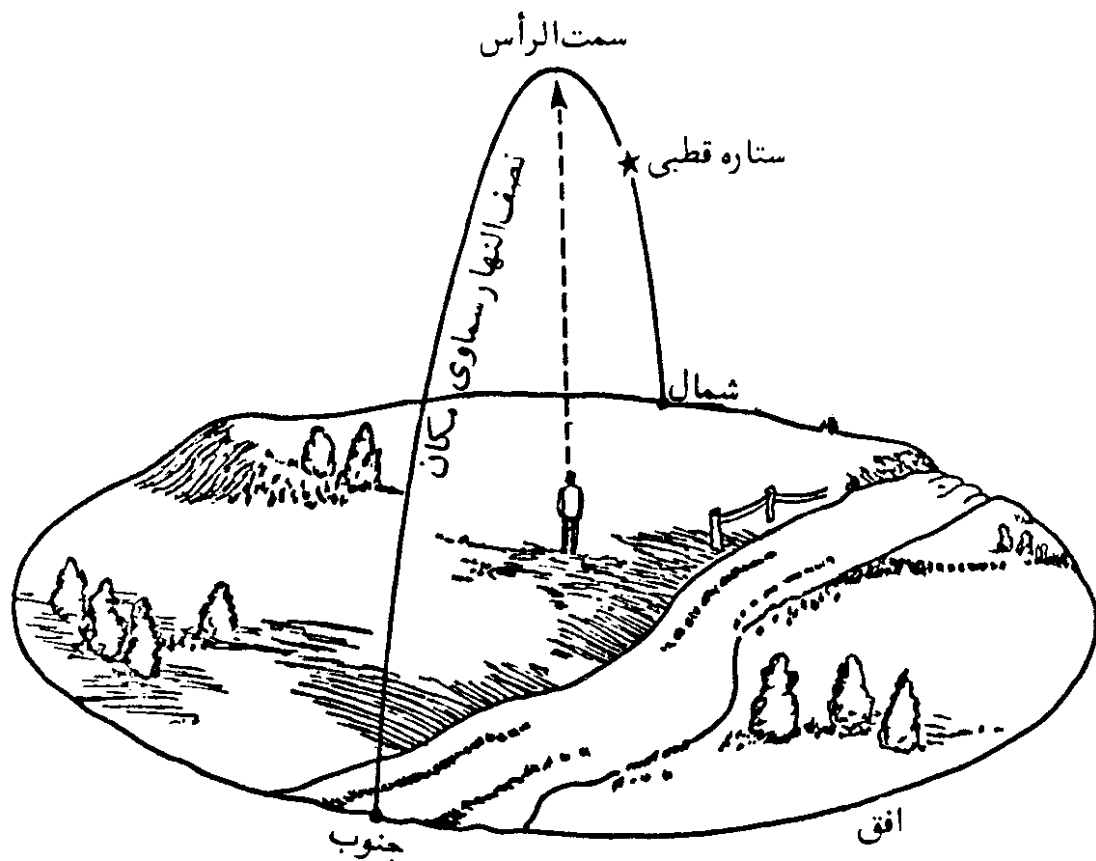
جهت یابی - تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی

بعد از تعیین طول و عرض جغرافیایی یک محل، قدم بعدی، برای یافتن جهت قبله، تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی^۱ آن است. و چنانکه خواهیم دید، آن را امتداد شمال و جنوب واقعی^۲ نیز می‌نامند. همچنین در فصل اول در بخشهای مربوط به تعیین طول و عرض جغرافیایی نقاط ناشناخته - مطلب شماره (۱-۲) و (۱-۵) - هم دیدیم که تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در این گونه موارد نیز لازم بود. در علم جغرافی، نصف‌النهار جغرافیایی^۳ یک محل، نیمدایره‌ای فرضی بر روی کره زمین است که بر صفحه استوا عمود بوده، از قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی می‌گذرد. وقتی که این نیمدایره بر سطح مکانی بر روی زمین تصویر گردد، خط حاصل خط نصف‌النهار^۴ و یا به عبارت دیگر امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و یا واقعی آن مکان است.

در نجوم، از تصویر نصف‌النهار جغرافیایی بر کره سماوی، نصف‌النهار سماوی^۵ حاصل می‌گردد. نصف‌النهار سماوی که از نقاط شمال و جنوب جغرافیایی افق یک محل و سمت الرأس آن می‌گذرد، بعنوان نصف‌النهار نجومی محلی، نامیده می‌شود. در شکل (۱-۲) نصف‌النهار نجومی یک محل نمایانده شده است.

در کلاسهای ابتدایی می‌خواندیم که اگر در حالت ایستاده دستهای خود را به دو طرف و در امتداد شانه‌ها طوری باز کنیم که دست راست ما به طرف مشرق (محل طلوع آفتاب) و دست چپ ما به طرف مغرب (محل غروب آفتاب) قرار گیرد، روبروی ما جهت شمال و پشت سر ما جهت جنوب خواهد بود. این خود روش ساده‌ای برای تعیین

1. Geographical North-South Direction
2. True North-South Direction
3. Geographical Meridian
4. Meridian Line
5. Local Astronomical Meridian



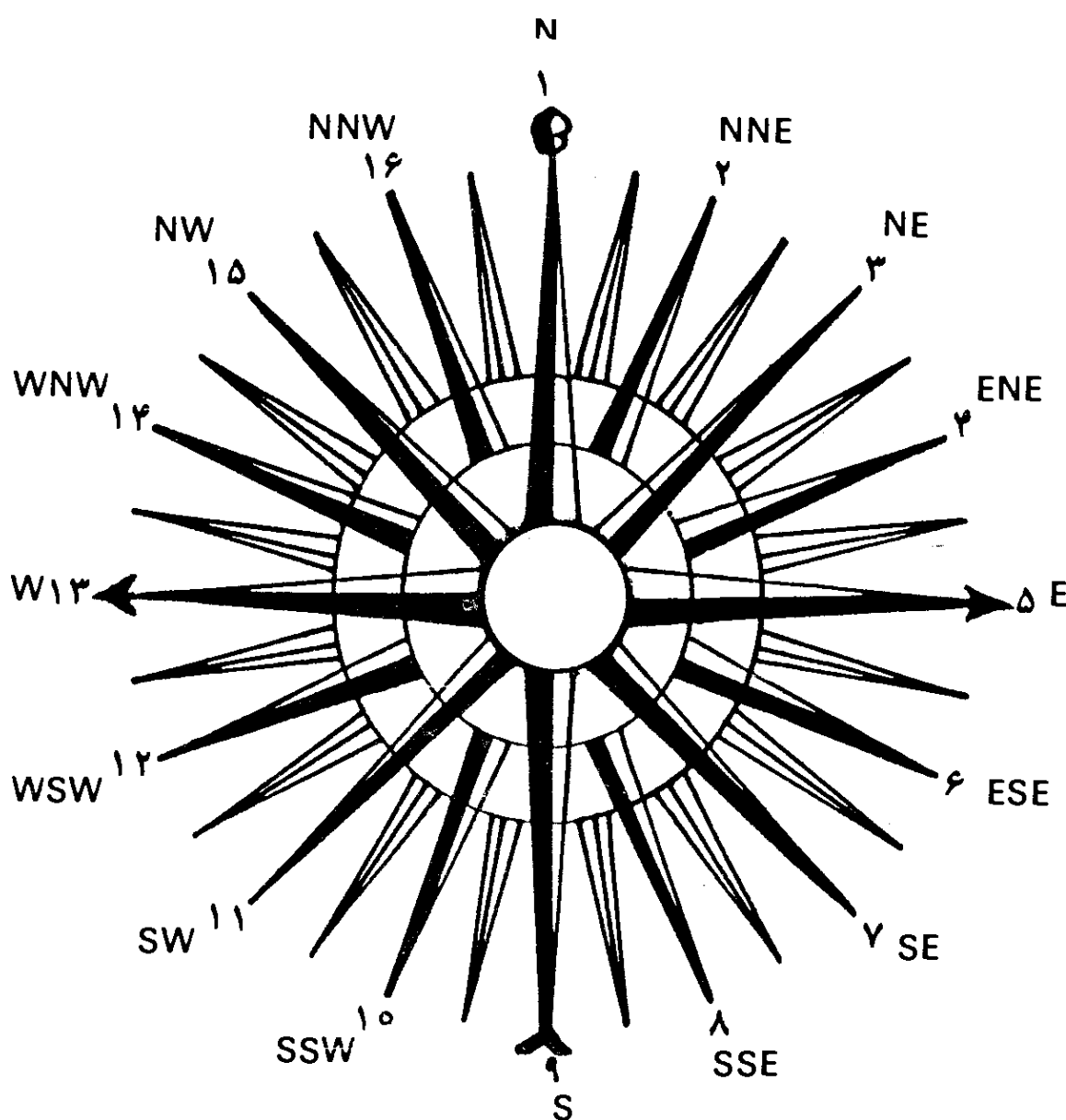
شکل (۲-۱) - نصف النهار سماوی یک محل.

جهات اصلی^۱ و یا جهات چهارگانه است. اما شرط اصلی در این روش، دانستن محل طلوع و غروب آفتاب در افق منطقه است. البته چنانکه بعداً خواهیم دید فقط در اول بهار و پاییز است که محل طلوع و غروب خورشید دقیقاً در مشرق و مغرب واقعی ناظر قرار می‌گیرد. در سایر اوقات محل آنها از مشرق و مغرب واقعی ناظر، فاصله می‌گیرد بطوریکه در اول تابستان و زمستان، در دورترین وضعیت خود نسبت به مشرق و مغرب واقعی ناظر، قرار دارند.

این روش ساده از تعریف جهات اصلی، ناشی شده است. بدین ترتیب که افق هر نقطه، مدار آن محل را در دو نقطه و خط نصف النهار آن را نیز در دو نقطه دیگر قطع می‌کند؛ بطوریکه خط واصل میان دو نقطه اول بر خط واصل میان دو نقطه دوم عمود است. از دو نقطه اول، آنکه در سمت طلوع خورشید است، مشرق یا خاور و آنکه در سوی مقابل آن واقع شده، مغرب یا باختر نامیده می‌شوند. از دو نقطه دوم محلی که در طرف چپ شخصی که روبروی مشرق ایستاده است، قرار دارد، شمال و نقطه دیگر را که

در مقابل آن است جنوب می گویند.

علاوه بر جهات اصلی، به منظور اینکه امتدادها را با دقت بیشتری تعیین کنند، جهات فرعی^۱ نیز شناسانده شده اند. بدین ترتیب که فاصله بین چهار نقطه شمال، جنوب، مشرق و مغرب دایره افق هر محل را به چهار قسمت برابر تقسیم می کنند؛ هر یک از زوایای قائمه میان جهات اصلی به چهار قسمت مساوی دیگر تقسیم می شوند که در نتیجه، دوازده نقطه، یا جهت دیگر، بدست می آید که به آنها جهات فرعی می گویند. اسامی جهات فرعی غیر از جهات اصلی، به ترتیب عقربه های ساعت از سمت شمال، بطوری که در شکل (۲-۲) نمایانده شده، عبارت است از: ۱. شمال شمال شرقی



شکل (۲-۲) - جهات اصلی و فرعی.

۲. شمال شرقی ۳. شرق شمال شرقی ۴. شرق جنوب شرقی ۵. جنوب شرقی ۶. جنوب جنوب شرقی ۷. جنوب جنوب غربی ۸. جنوب غربی ۹. غرب جنوب غربی ۱۰. غرب شمال غربی ۱۱. شمال غربی ۱۲. شمال شمال غربی.

علاوه بر روش ساده مذکور، ممکن است از قطب نما برای مشخص کردن جهات اصلی استفاده کرد. اما قطب نما فقط جهت قطبهای مغناطیسی کره زمین را معلوم می کند، که جز در مکان های معین، این جهت منطبق بر جهت شمال و جنوب جغرافیایی نیست. در حقیقت اصطلاح جنوب و یا شمال واقعی^۱ به منظور تشخیص آن از جنوب یا شمال مغناطیسی^۲، وضع شده است.

در این فصل، ابتدا چندین روش ساده برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی ارائه شده، سپس بطور خلاصه روشهای دقیق معمول در نجوم و نقشه برداری، بیان گردیده است

۱. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با مشخص کردن دو ارتفاع برابر خورشید در صبح و بعد از ظهر (روش دایره هندی)

قدما خط نصف النهار یک محل را با مشخص کردن دو ارتفاع مساوی خورشید، در صبح و بعد از ظهر تعیین می کردند. این روش هنوز هم توسط منجمین مورد استفاده قرار می گیرد. مزیت این روش در اینست که در روز روشن قابل اجراست و نیازی به رصد شبانه نیست. اما در عوض، وقت می گیرد و در حدود کمتر از یک روز طول می کشد. چنانکه قبلا در فصل اول در مطلب شماره (۱-۲) و شکل (۴-۱) بیان شد، آزمایش، با رسم چند کمان متحدالمرکز بر روی یک صفحه افقی و علامت گذاری نوک سایه یک میله قائم بر روی همان کمان، در دو وقت صبح و بعد از ظهر صورت می گیرد. علت رسم چند کمان بدانجهت است که بتوان علامت گذاری را در مورد چند کمان انجام داد، که در این صورت متوسط اندازه گیریها امتداد دقیقتری را بدست خواهد داد. و علاوه بر صورت ابری بودن هوا در مورد یک کمان خاص، می توان آزمایش را با کمانهای دیگر ادامه داد.

نکته قابل توجه، اینکه در این روش از تغییرات میل خورشید در طول روز چشم پوشی می شود. لذا اگر آزمایش در اوایل تابستان و زمستان، که تغییرات میل خورشید کم است، صورت گیرد، نتیجه کار دقیقتر خواهد بود. همچنین بعلاوه طول مدت

آزمایش، ممکن است میزان شکست نور در اتمسفر زمین در صبح و بعد از ظهر یکنواخت نباشد و در نتیجه تولید خطا گردد.

تصحیح مربوط به شکست نور، در فصل ششم آمده است.

مطلب دیگر در این روش مسئله شکل زمین است که کاملاً کروی فرض شده و چنین تصور می‌شود که امتداد خط شاقول همیشه از مرکز زمین می‌گذرد که این تصور همیشه درست نیست. چگونگی این مطلب در فصل هشتم بیان شده است.

۲. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از راه تعیین لحظه ظهر خورشیدی

این روش، ساده بوده و بر تعیین وضعیت خورشید در لحظه ظهر خورشیدی استوار است. چنانکه قبلاً هم گفته شد، در لحظه ظهر خورشیدی، خورشید از صفحه نصف النهار محل گذر می‌کند. به همین خاطر با تعیین وضعیت خورشید در لحظه ظهر خورشیدی، از راه مشخص کردن امتداد سایه یک میله قائم، می‌توان امتداد شمال و جنوب جغرافیایی یک محل را تعیین کرد. لذا در این روش، ابتدا می‌بایست لحظه ظهر خورشیدی را قبلاً مشخص کرد. برای محاسبه وقت ظهر خورشیدی، از فرمول (۱-۳) استفاده می‌شود. این فرمول در فصل اول داده شده و در فصل هفتم، درباره آن توضیح بیشتری داده شده است. برای روشن شدن نحوه استفاده از فرمول، به ذکر مثالی در این مورد مبادرت می‌کنیم و سپس مطلب را پی می‌گیریم:

مثال (۱-۲) — تعیین کنید که در چه ساعتی در محلی با طول جغرافیایی $51^{\circ} 25' 39''$ شرقی در تهران و در روز بیست و دوم مهر ماه، ظهر خورشیدی واقع می‌شود.

راه حل: نصف النهار استاندارد در ایران $52^{\circ}/5$ شرقی است و نصف النهار محل که $51^{\circ}/4275$ است، در مغرب نصف النهار استاندارد قرار گرفته است. در لحظه ظهر شرعی $12 = LAT$ بوده و لذا با استفاده از فرمول (۱-۳) و (۱-۴) خواهیم داشت:

$$12 = ST + EOT - LA$$

$$LA = 4 \times (52/5 - 51/4275) = 4/29 \text{ دقیقه}$$

اندازه EOT در روز بیست و دوم مهر ماه (چهاردهم اکتبر)، با استفاده از جدول (۷-۳) در فصل هفتم، برابر با $13 +$ دقیقه و 47 ثانیه است پس:

$$12 = ST + 13/78333 - 4/29$$

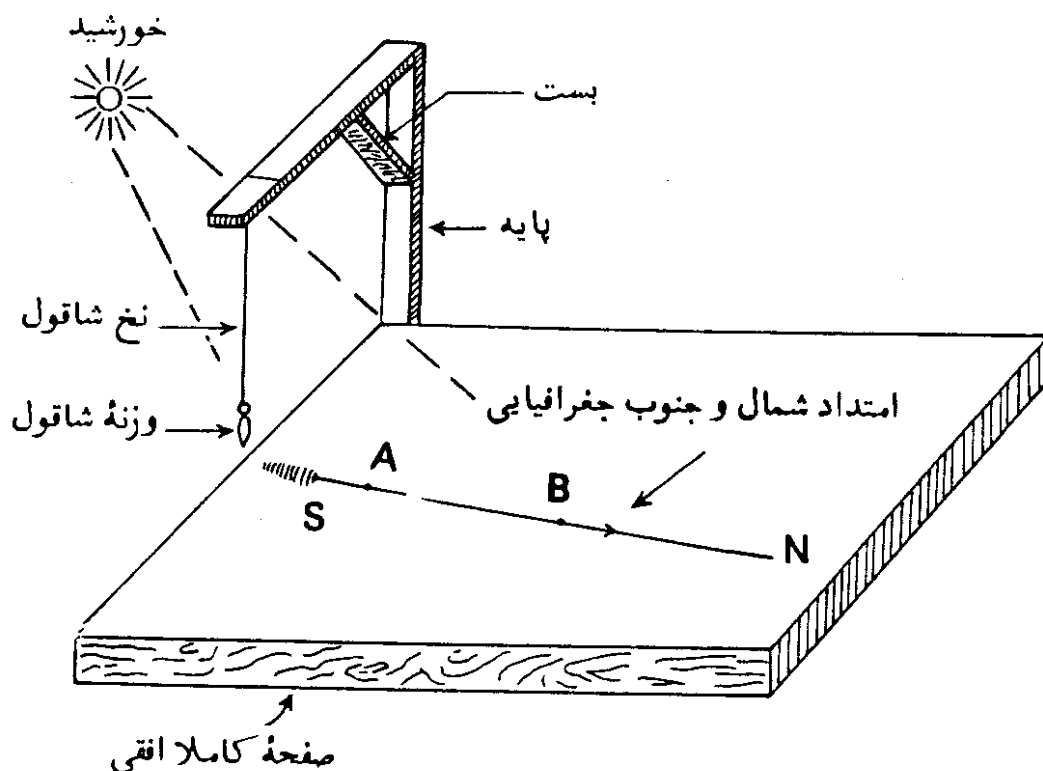
ST = ۵۰/۵۰۶۶۷ دقیقه ۱۱ ساعت

ST = ۳۰/۴ ثانیه ۵۰ دقیقه ۱۱ ساعت

بنابراین در محل مذکور، در زمانی که یک ساعت میزان شده، ساعت ۱۱ و ۵۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه را نشان می دهد، خورشید از نصف النهار محل گذر می کند. و چنانکه می بینیم در لحظه ظهر خورشیدی، ساعت، لزوماً ۱۲ را نشان نمی دهد.

این مثال در حقیقت، نحوه محاسبه تقریبی ظهر شرعی را مشخص می سازد. البته با بکار بردن مقادیر دقیقتر تعدیل زمان که از جدول نجومی، قابل استخراج است، می توان به جواب دقیقتری رسید. جا دارد که مقادیر دقیق تعدیل زمان، سالیانه استخراج شده و در اختیار عموم قرار داده شود.

پس از تعیین لحظه ظهر خورشیدی، مطابق شکل (۲-۳)، صفحه ای کاملاً افقی را انتخاب می کنیم و در کنار آن یک شاقول توسط یک پایه قرار می دهیم. باید توجه داشت که در لحظه تعیین امتداد سایه نخ شاقول، شاقول کاملاً بی حرکت باشد. لذا می بایست وزنه شاقول تا حدی سنگین باشد که نوسان آن زودتر گرفته شود. در مرحله بعد ساعت خود را دقیقاً مطابق وقت رادیو میزان می کنیم و چند دقیقه قبل از وقت محاسبه شده ظهر خورشیدی، در کنار شاقول می ایستیم. سپس درست در لحظه محاسبه شده امتداد سایه نخ شاقول را بر روی صفحه مشخص می سازیم. بدین طریق که دو



شکل (۲-۳) - تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در لحظه ظهر خورشیدی.

نقطه مانند A و B را بر روی سایه مورد نظر تعیین کرده، سپس آنها را بوسیله یک خط مستقیم بیکدیگر متصل می کنیم. خط AB امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل است. جهت شمال جغرافیایی نیز مشخص است، چه، سایه در نیم کره شمالی^۱ بطرف شمال قرار می گیرد و در نیم کره جنوبی^۲، بسمت جنوب واقع می شود.

این یکی از روشهای ساده و دقیق تعیین خط نصف النهار یک محل است و دیگر نیازی به رصد ستاره قطبی در شب و وسایل نجومی نیست. بدین ترتیب بمقدار زیادی در وقت مورد لزوم برای محاسبه و رصد ستاره، صرفه جویی می شود. البته در این روش نیز فرض بر اینستکه زمین کاملاً کروی بوده و امتداد شاقول از مرکز آن می گذرد.

۳. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، با مشخص کردن کوتاه ترین طول سایه یک میله قائم

در این روش، طول سایه یک میله قائم، بر روی یک صفحه کاملاً افقی، مورد بررسی قرار می گیرد. چنانکه می دانیم، طول سایه، در ساعات اولیه صبح درازتر بوده و بطرف مغرب متمایل است. هرچه آفتاب بالاتر می آید طول سایه کوتاهتر شده و در نیم کره شمالی بسوی شمال قرار می گیرد. در ساعات اولیه بعد از ظهر، طول سایه مجدداً افزایش یافته، بطرف مشرق متمایل می گردد. حداقل طول سایه، در لحظه گذر خورشید از نصف النهار محل صورت می گیرد. بنابراین در لحظه ای که طول سایه میله قائم بر روی صفحه افقی بحداقل خود می رسد، لحظه ظهر خورشیدی می باشد و امتداد سایه، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی است.

این روش در حقیقت توسط مسلمین برای تعیین ظهر شرعی بکار گرفته می شود که توجه به جهت سایه در لحظه ظهر شرعی خود نیز می تواند در پیدا کردن جهت قبله مورد استفاده قرار گیرد.

در این روش بیشترین ارتفاع خورشید بعنوان ارتفاع نصف النهاری در نظر گرفته می شود. اما در حقیقت بعلت تغییر میل خورشید، بیشترین ارتفاع خورشید در یک روز معین، دقیقاً برابر ارتفاع نصف النهاری آن، نیست. اما تفاوت بین بیشترین ارتفاع (کوتاه ترین طول سایه) و ارتفاع نصف النهاری (ظهر خورشیدی) خورشید، معمولاً در حدود کسری از ثانیه است و در آزمایشاتی این چنین کاملاً می تواند قابل صرف نظر-

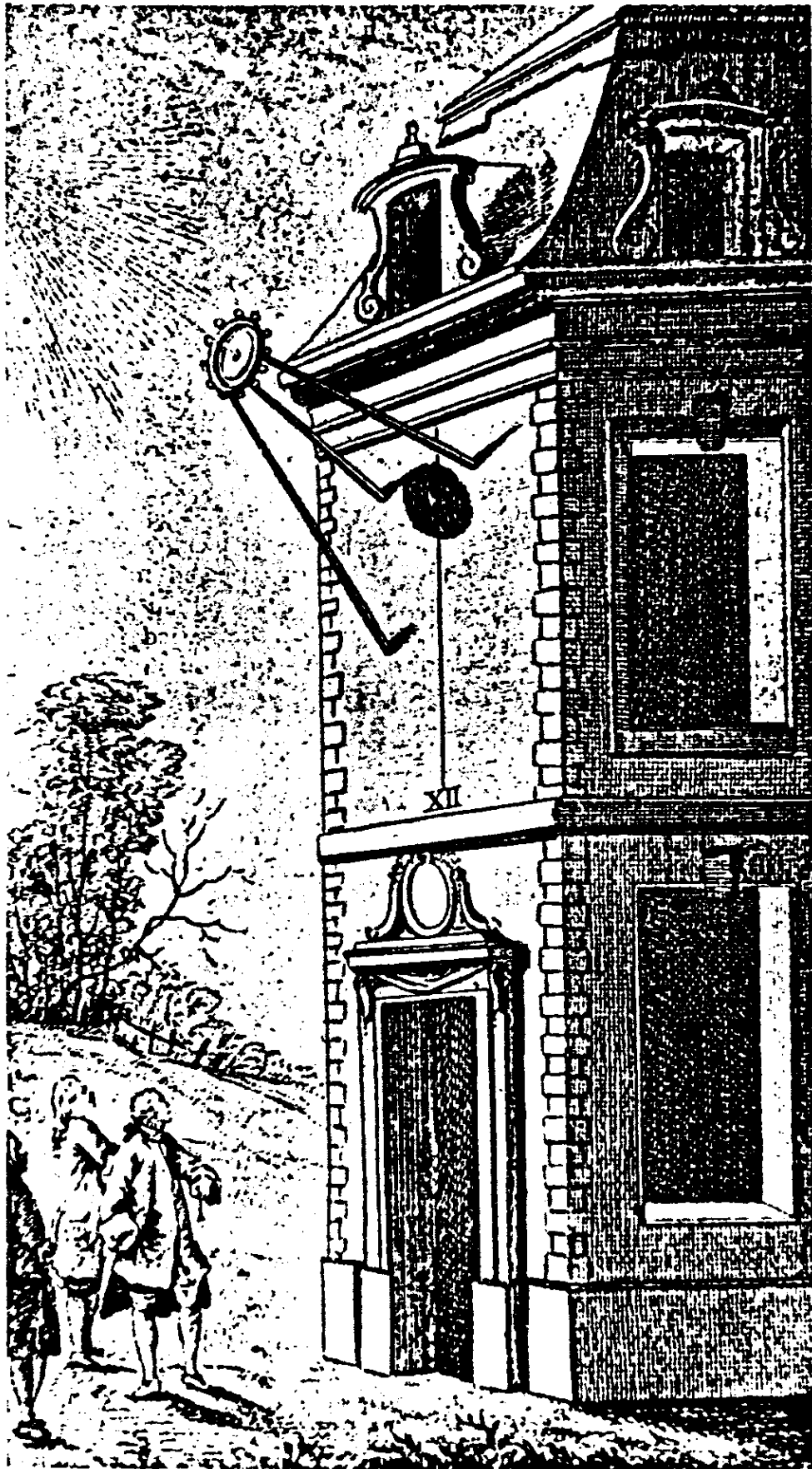
کردن باشد. البته اگر این آزمایش در اوایل زمستان و یا تابستان صورت گیرد، بعلت کم بودن تغییرات میل خورشید در این ایام، اثر این خطا نیز حذف می‌گردد. علاوه بر مسلمین، توجه به لحظه ظهر خورشیدی نزد سایر اقوام، با نام علامت ظهر^۱ نیز مرسوم بوده است. علامت ظهر از نظر تعطیل کار در وسط روز و وقت ناهار اهمیت داشته است. مهاجرین اولیه در آمریکا، قبل از معمول شدن ساعت‌های مکانیکی دقیق، اغلب در جلو خانه خود، در یک مکان آفتابگیر، علامت ظهر را نصب می‌کردند. این بدانجهت بود که کدبانو بموقع مردان را برای صرف ناهار به منزل فراخواند. هنوز هم علامت ظهر در خانه‌های قدیمی بچشم می‌خورد که گاهی هم ساکنین فعلی آنها از کاربرد آن اطلاعی ندارند. در شکل (۴-۲) علامت ظهر بر سر در یک ساختمان در اروپا، مربوط به دوران قرون وسطی^۲ (تقریباً سال‌های ۵۰۰ تا ۱۴۰۰) نشان داده شده است. در این شکل عدد ۱۲ که با اعداد رومی^۳ (XII) نوشته شده نمایانگر ظهر خورشیدی است و در این علامت، بجای استفاده از سایه، از یک شعاع باریک نور خورشید استفاده شده است. وقتی که این شعاع، بر خط قائم موجود در صفحه امی افتاده، لحظه ظهر خورشیدی بوده است. در شکل (۵-۲) نیز علامت ظهر بر دیوار یک قلعه در فرانسه نمایانده شده است.

علامت ظهر، در شکل ساده آن، از یک خط مستقیم بر سطحی صاف تشکیل یافته است. در لحظه‌ای که خورشید بر روی نصف‌النهار محل قرار می‌گیرد، سایه یک شی قائم بر آن منطبق می‌گردد. این خط مستقیم معمولاً بر کف اطاق‌های آفتابگیر و یا کف درگاه پنجره^۴، رسم می‌شد که سایه لبه قائم چهارچوب پنجره، در لحظه ظهر خورشیدی بر روی آن می‌افتاد. گاهی نیز از سایه یک ستون قائم در بالکن ساختمان استفاده می‌شد. همچنین خط مستقیم علامت ظهر، گاهی در محوطه ساختمان، در یک محل آفتابگیر بر زمین مسطح رسم می‌شد، بطوریکه سایه یک میله قائم، مثلاً میله یک پرچم، در لحظه ظهر خورشیدی، بر روی آن منطبق گردد.

با این تفصیل، خط علامت ظهر، همان خط نصف‌النهار و یا امتداد شمال و جنوب جغرافیایی است که سایه یک شی قائم، در لحظه ظهر خورشیدی، کاملاً بر روی آن قرار می‌گیرد. امروز هم هر کس می‌تواند در محوطه خانه خود، در اطاق و یا بالکن آن اقدام به رسم علامت ظهر کند. کافی است که لحظه ظهر خورشیدی را مطابق آنچه

1. The Noon Mark
3. Roman Numeral

2. Medieval (Middle or Dark Ages)
4. Window Sill



شکل (۲-۴) — علامت ظهر بر سردر یک ساختمان در اروپا مربوط به قرون وسطی.

که در مثال (۲-۱) آمد، برای روز معین محاسبه کند و در آن ساعت، در کنار سایه لبه



شکل (۲-۵) — علامت ظهر بر دیوار یک قلعه در کشور فرانسه.

قائم چهارچوب درو یا پنجره و یا ستون و دیوار، خطی مستقیم بر روی کف، رسم سازد؛ در نتیجه، در تمام روزهای دیگر سال، وقتی که کنار سایه شی قائم مزبور، بر روی خط

رسم شده می افتد، لحظه ظهر خورشیدی و یا شرعی است. خود امتداد خط مستقیم نیز در جهت یابی قبله، مورد استفاده خواهد داشت. ممکن است در مواردی نیز خط علامت ظهر را بر روی کفپوش اطاق و یا بالکن، توسط مصالح ساختمانی و بصورت نواری باریک ساخت. مثلاً امتداد خط مربوط را می توان با سنگفرشی با رنگ روشنتر ساخت و یا در کفپوش مربوط، کنده کاری کرد که امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، برای همیشه باقی بماند.

حتی اگر چنین علامتی دقیقاً مشخص شده باشد، می توان بوسیله آن، ساعت خود را نیز کنترل کرد. زیرا چنانکه گفتیم با استفاده از فرمولهای مربوط می توان لحظه ظهر خورشیدی را در هر روز حساب کرد و لذا در موقع افتادن سایه بر روی خط علامت ظهر، ساعت، می بایست تقریباً زمان محاسبه شده را نشان دهد. البته برای این کار، لازم است که طول جغرافیایی محل استقرار علامت ظهر را بدست آورده باشیم.

بجای سایه یک شی قائم، ممکن است از اشعه باریک نور خورشید استفاده کرد. مثلاً اگر یک قطعه مقوا و یا یک صفحه کاغذ سیاه را به شیشه پنجره یک اطاق آفتابگیر بچسبانیم و سپس در قطعه مقوا یا صفحه کاغذ سوراخ کوچکی ایجاد کنیم، نور خورشید بهنگام عبور از این سوراخ، یک لکه نورانی کوچک بر روی کف اطاق خواهد انداخت. حال اگر زمان ظهر خورشیدی را برای یک روز زمستانی محاسبه کنیم و در این لحظه، جای لکه نور خورشید را بر روی کف اطاق، علامت بگذاریم و در نوبت دیگر در یک روز تابستانی عمل را تکرار و دو نقطه علامت گذاری شده را به همدیگر وصل کنیم، خط مستقیم حاصل، علامت ظهر است و در تمام روزهای سال، لکه نورانی، به هنگام ظهر شرعی بر روی آن خواهد افتاد. لکه نورانی، بهتر از سایه، قابل تشخیص است و بدینجهت است که این روش برتری دارد. و دیدیم که در علامتهای ظهر بکار رفته در بناهای قدیمی — موضوع شکل‌های (۲-۴) و (۲-۵) — از این روش استفاده شده است.

۴. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از قطب نما

قطب نما، چنانکه از اسمش پیداست، جهت قطبها را معلوم می کند. و آن عبارت از محفظه مدرّجی است که در داخلش یک عقربه مغناطیسی بر روی یک پایه

نوک تیز، به صورتی نصب شده است که می تواند بر روی آن، بحالت اقی، آزادانه دوران کند. دوسر این عقربه در حالت سکون، جهت قطب شمال و جنوب مغناطیسی زمین را نشان می دهد.

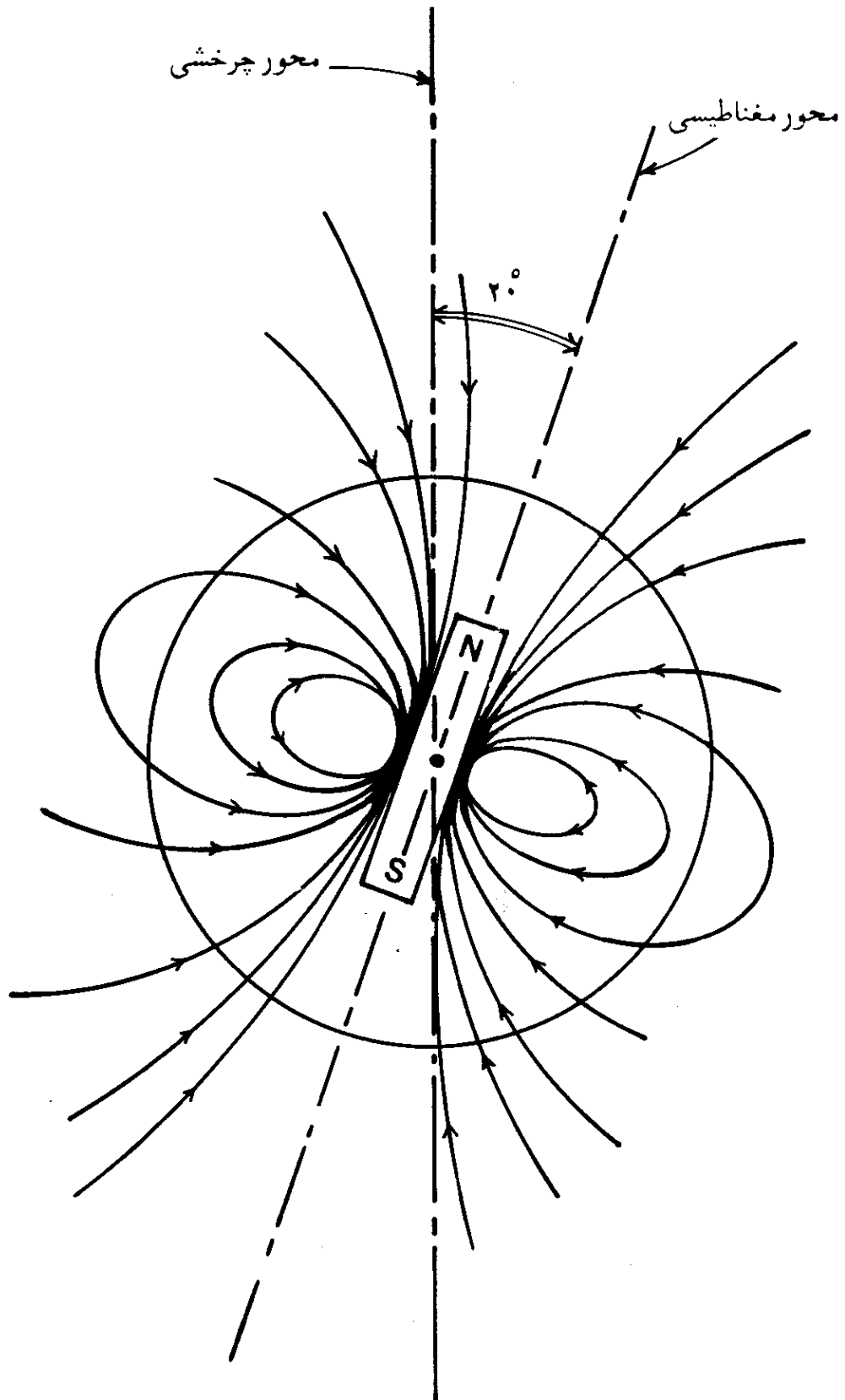
زمین دارای یک میدان مغناطیسی^۱ است که شبیه میدان مغناطیسی حاصل از یک میله عظیم مغناطیسی است که محور آن از مرکز زمین گذر کرده و با محور چرخشی زمین تقریباً زاویه ای برابر ۲۰ درجه می سازد. این میله مغناطیسی فرضی، کره زمین را در دو نقطه، به نام قطبهای مغناطیسی^۲، قطع می کند. از این دو نقطه، آنکه نزدیک به قطب شمال جغرافیایی است، به نام قطب شمال مغناطیسی^۳، و دیگری که نزدیک قطب جنوب جغرافیایی است، به نام قطب جنوب مغناطیسی^۴ موسوم است. بنابراین کلمات شمال و جنوب در این مورد فقط دلالت بر وضعیت قطبهای مغناطیسی داشته و ارتباطی به قطبیت^۵ (پولاریته) ندارند. چنانکه می دانیم دوسر یک میله آهن ربا^۶ نیز به نام قطبهای شمال و جنوب آن موسوم بوده و قطبهای همنام همدیگر را جذب و غیر همنام یکدیگر را دفع می کنند.

در شکل (۶-۲)، میله فرضی مغناطیس مذکور در بالا، تصویر شده و خطوط خطچین، خطوط نیروی مغناطیس^۷ است که نمایانگر امتداد عقربه مغناطیسی نصب شده در جاهای مختلف، می باشد. در حقیقت محل قطبهای شمال و جنوب مغناطیسی، بر روی کره زمین، دقیقاً روبروی هم نیستند.

منشاء میدان مغناطیسی^۸ زمین، شناخته شده نیست ولی ممکن است با چرخش زمین و احتمالاً با جریانهای الکتریکی در داخل هسته آن، ارتباط داشته باشد. طبیعت مغناطیسی زمین، انسان را برای قرنهای به اعجاب واداشته بود. اشخاصی که سفر می کردند، دریافته بودند که قطعات مغناطیس طبیعی^۹ و یا قطعات آهنی که با مغناطیس طبیعی مالش داده شده باشند، در صورتی که آزادانه بتوانند بچرخند، در جهت امتداد شمال و جنوب قرار می گیرند.

کریستف کلمب^{۱۰} با کمک یک قطبناهی ابتدایی که از یک عقربه مغناطیسی شناور بر روی آب تشکیل شده بود، سفر دریایی خود را آغاز کرد. عقربه هر قطبناهی،

- | | | |
|----------------------------|-------------------|------------------------|
| 1. Magnetic Field | 2. Magnetic Poles | 3. North Magnetic Pole |
| 4. South Magnetic Pole | 5. Polarity | 6. Bar Magnet |
| 7. Magnetic Lines of Force | 8. Magnetic Field | 9. Lodestone |
| 10. Christopher Columbus | | |

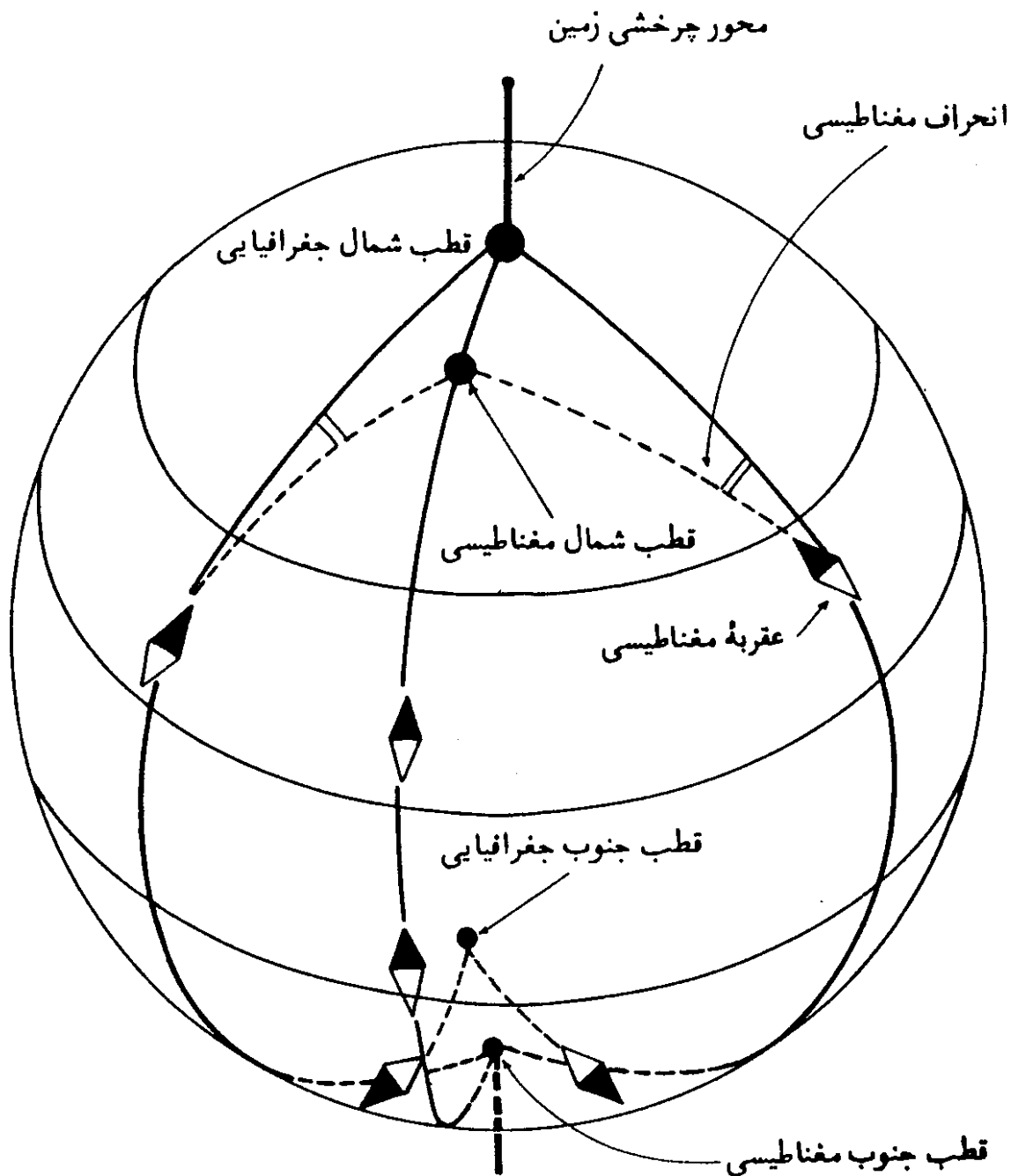


شکل (۲-۶) — میدان مغناطیسی زمین. این میدان همانند یک میله مغناطیسی فرضی نشان داده شده که محور آن با محور چرخشی زمین تقریباً زاویه 20° درجه می سازد.

در امتداد خطوط نامرئی نیروی مغناطیسی که زمین را احاطه کرده اند، قرار می گیرد. در

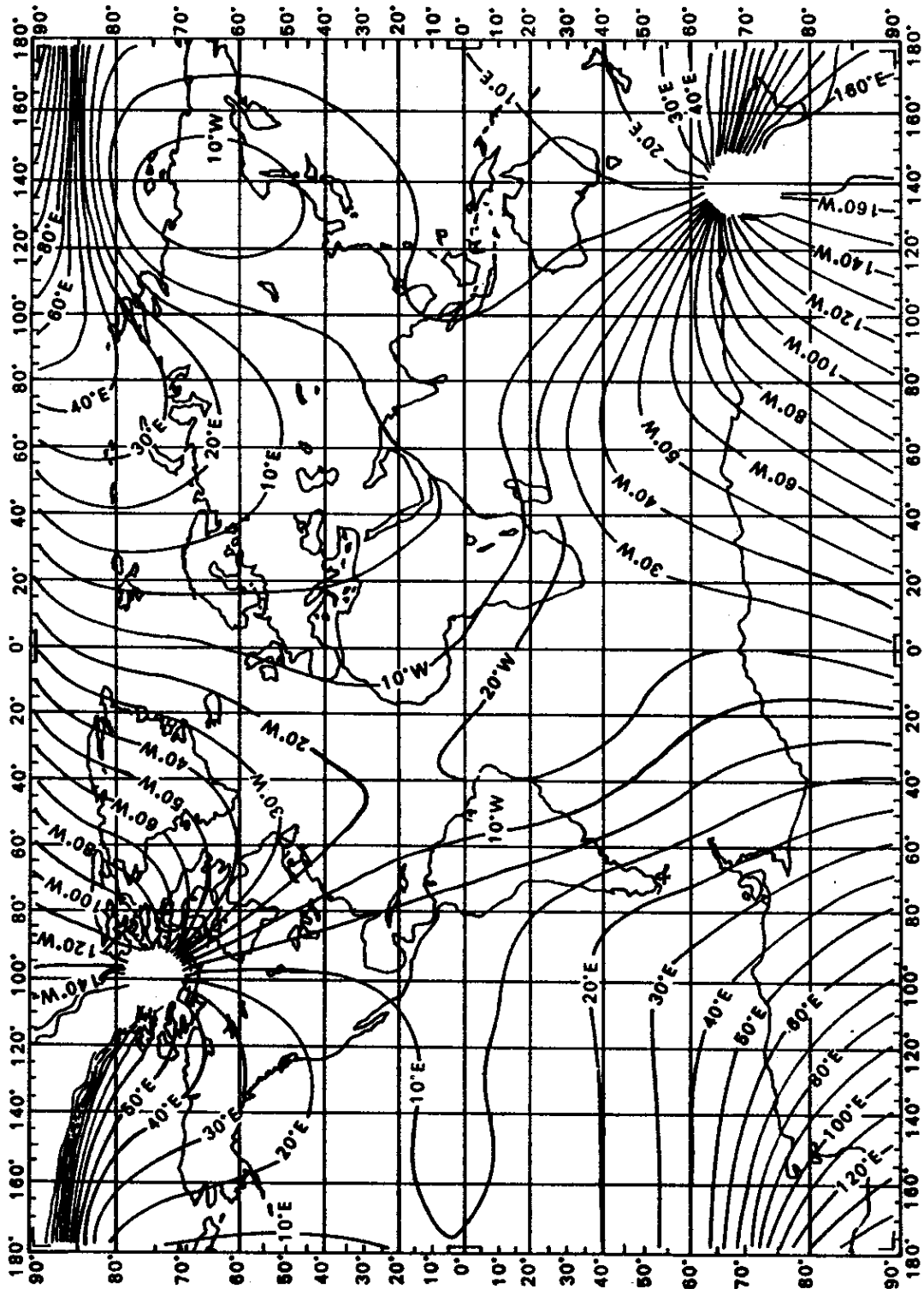
آزمایشگاه، تکه های ریز آهن در امتداد خطوط معینی در اطراف یک میله مغناطیسی قرار می گیرند که معرف خطوط نیرو هستند.

همچنانکه از شکل (۲-۶) پیداست، قطبهای مغناطیسی و قطبهای جغرافیایی بر هم، منطبق نیستند. در نتیجه، مطابق آنچه که در شکل (۲-۷) نشان داده شده،



شکل (۲-۷) - انحراف مغناطیسی.

عقربه مغناطیسی، دقیقاً بطرف قطب شمال جغرافیایی قرار نمی گیرد. اما بعلاوه نزدیک بودن نسبی قطب شمال مغناطیسی به قطب شمال جغرافیایی، استفاده از قطب نما در



شکل (۲-۸) - نقشه مغناطیسی جهان در ۱۹۶۵.

جهت یابی، ممکن شده است. زاویه بین جهت قطب شمال مغناطیسی، که توسط قطب نما نشان داده می شود، و جهت قطب شمال واقعی، به نام زاویه میل مغناطیسی^۱ و یا انحراف مغناطیسی نامیده می شود.

این زاویه، در هر نقطه ای بر روی زمین مشخص شده است و لذا با توجه به اندازه آن، می توان امتداد شمال و جنوب جغرافیایی را با استفاده از قطب نما، مشخص کرد.

1. Magnetic Declination

عقربه مغناطیسی، در پاره‌ای نقاط بطرف مشرق قطب شمال جغرافیایی و در دیگر نقاط بطرف مغرب آن متعایل می‌گردد. به عبارت دیگر، انحراف مغناطیسی در بعضی جاها، شرقی و در بعضی دیگر غربی است. در بعضی مکانها هم مقدار انحراف صفر و در نتیجه دو جهت، بر هم منطبق‌اند.

در بعضی کشورها، نقشه‌های هم میل مغناطیسی^۱ در دسترس است که از روی آنها می‌توان اندازه انحراف مغناطیسی را برای هر مکانی بدست آورد. در شکل (۲-۸) نقشه مغناطیس جهان^۲ داده شده که مربوط به سال ۱۹۶۵ است. با توجه به این شکل مختصات قطبهای مغناطیس به شرح زیر است.

طول جغرافیایی	عرض جغرافیایی	قطب شمال مغناطیسی
غربی ۱۰۰°	شمالی ۷۵°/۵	قطب شمال مغناطیسی
شرقی ۱۴۰°	جنوبی ۶۶°/۵	قطب جنوب مغناطیسی

قطبهای مغناطیسی در یک جا ثابت نیستند، بلکه جای آنها تغییر می‌کند. به همین سبب میل مغناطیسی، سالیانه به مقدار کمی تغییر می‌کند. بنابراین در بیشتر مکانها، عقربه مغناطیسی قطب نما دقیقاً همان جهت ده سال پیش را نشان نمی‌دهد.

انحراف مغناطیسی با ابزاری^۳ به نام انحراف‌سنج مغناطیسی^۴ اندازه‌گیری می‌شود که در آزمایشگاههای مغناطیسی^۵ و در بررسی میدانهای مغناطیسی بکار می‌رود. جالب است بدانیم که از بررسیهای انجام شده، بر روی سنگواره‌های (فسیلهای) مغناطیسی، نتیجه شگفت‌آوری بدست آمده بدینمعنی که محل قطبهای مغناطیسی، نه تنها ثابت نبوده بلکه در طول تاریخ حیات زمین، چندین بار جای آنها با هم عوض شده است.

شدت میدان مغناطیسی^۶، با واحدی به نام گاوس^۷ بیان می‌شود. قانون بنیادی نیرو در مغناطیس (قانون کولمب^۸ یا کولن) شبیه قانون نیوتن در جاذبه است: نیروی دافعه‌ای بین دو قطب مشابه وجود دارد که متناسب با شدت قطبها بوده و با مربع فاصله آنها نسبت معکوس دارد. دو قطب واحد و همنام— هر دو شمال و یا هر دو جنوب— در فاصله یک سانتیمتری، یکدیگر را با نیرویی برابر یک دین^۹ دفع می‌کنند.

قطبهای با اندازه واحد و غیر همنام در فاصله یک سانتیمتری، یکدیگر را با نیرویی برابر یک دین جذب می‌کنند. شدت میدان یک مغناطیس، در یک نقطه معین،

1. Isogonic Maps

2. World Magnetic Chart

3. Instrument

4. Declinometer

5. Magnetic Observatories

6. Magnetic Field Strenght

7. Gauss

8. Coulomb's Law

9. Dyne

برابر نیرویی است که بر قطب با اندازه واحد، در آن نقطه اعمال می شود. شدت میدان مغناطیسی زمین در محل قطب مغناطیسی برابر با $0/63$ گاوس است. به عبارت دیگر، به یک قطب واحد، در قطب شمال مغناطیسی نیرویی برابر $0/63$ دین وارد می شود.

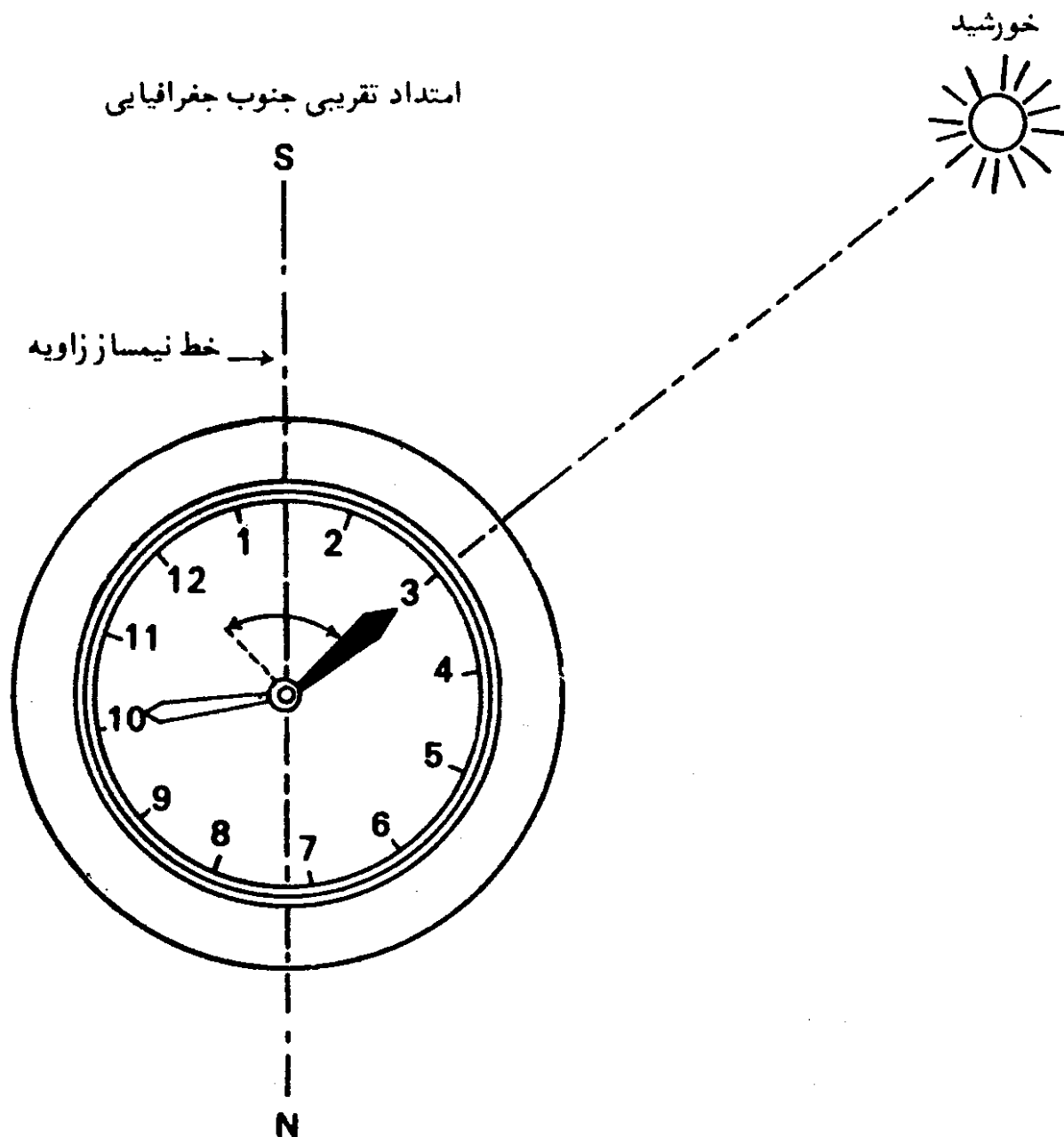
در استوا، شدت میدان مغناطیسی برابر $0/31$ گاوس است. بنابراین زمین، دارای میدان مغناطیسی نسبتاً ضعیفی است. در نتیجه، وقتی که در جهت یابی، از قطب نما استفاده می شود، باید از عدم تأثیر میدانهای موضعی مطمئن بود. میدان مغناطیسی ناشی از خطوط انتقال نیروی برق، ماشینهای الکتریکی، وسایل و ساختمانهای فولادی مجاور و ذخایر معدنی در منطقه، می تواند عقربه قطب نما را بمقدار زیادی منحرف سازد.

بنابراین برای استفاده از قطب نما در جهت یابی، می بایست از اندازه انحراف مغناطیسی در منطقه، خبر داشت و امتداد نشان داده شده توسط آن را تصحیح کرد. همچنین جهت یابی را به دور از میدانهای موضعی به انجام رساند. البته این امر در صورت وجود معادن زیرزمینی شناخته نشده، قدری مشکل است و می بایست با مطالعه قبلی از وجود و مقدار تأثیر آنها، آگاه شد.

در ایران هم در مورد میزان انحراف مغناطیسی در نقاط مختلف، مطالعاتی توسط مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران صورت گرفته است که دسترسی به آنها از طریق مؤسسه مربوط، امکان دارد. میزان انحراف مغناطیسی در تهران، در محلی با طول جغرافیایی 51° و $22/9$ و عرض جغرافیایی 35° و $44/2$ ، برابر 3° و $46/9$ بطرف مشرق و یا تقریباً در حدود 4° شرقی بوده است. البته چنانکه قبلاً هم اشاره شد، میزان انحراف مغناطیسی، سالیانه بمقدار کمی تغییر می کند.

۵. جهت یابی تقریبی از طریق استفاده از ساعت

این روش، معمولاً توسط پیشاهنگان، مورد استفاده قرار می گیرد، بدین ترتیب که ساعت مچی بر کف دست و یا بر روی یک سطح، طوری به حالت افقی قرار داده می شود که صفحه ساعت بطرف بالا و عقربه ساعت شمار به طرف خورشید قرار گیرد. قرار گرفتن عقربه ساعت شمار بطرف خورشید بصورتی است که سایه عقربه کاملاً در زیر آن بیفتد. سپس مطابق آنچه که در شکل (۹-۲) نشان داده شده، جهت تقریبی جنوب



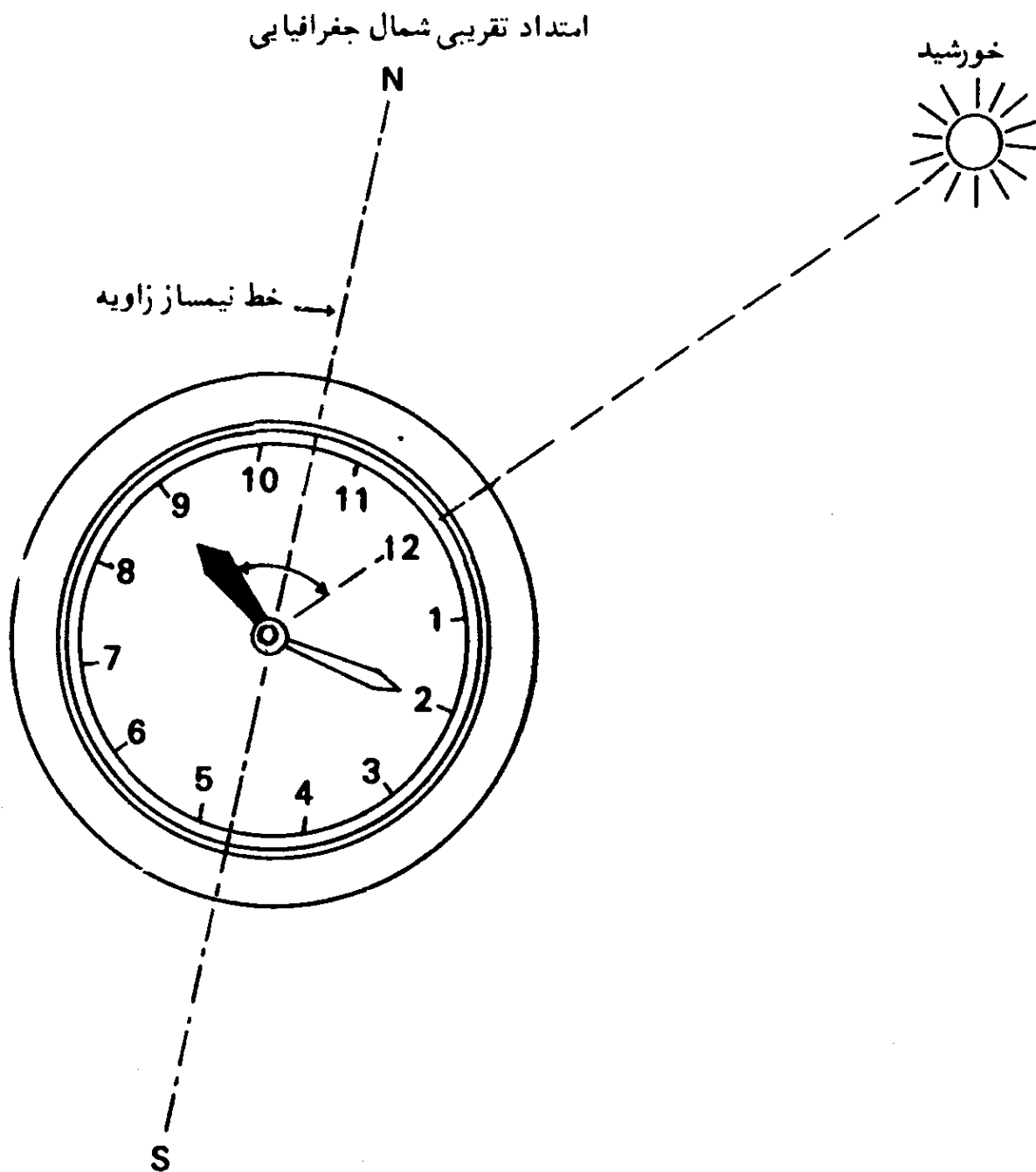
شکل (۲-۹) - تعیین امتداد تقریبی جنوب جغرافیایی با استفاده از ساعت، در نیمکره شمالی.

جغرافیایی، در امتداد نیمساز زاویه عقربه ساعت شمار با خط ساعت ۱۲ خواهد بود. البته این صورت فقط برای نیم کره شمالی زمین است.

در مورد نیمکره جنوبی، مطابق شکل (۲-۱۰)، خط ساعت ۱۲ بطرف خورشید قرار داده می شود و نیمساز زاویه عقربه ساعت شمار و خط ساعت ۱۲، امتداد تقریبی شمال جغرافیایی خواهد بود.

با توجه به چگونگی حرکت ظاهری روزانه خورشید بر پهنه آسمان، که در

1. Daily Apparent Movement of the Sun



شکل (۱۰-۲) - تعیین امتداد تقریبی شمال جغرافیایی با استفاده از ساعت، در نیمکره جنوبی.

مطلب بعدی بیان شده، کاربرد این روش فقط در مناطق بین $۲۳/۵$ و $۶۶/۵$ درجه عرض شمالی در نیمکره شمالی، و مناطق بین $۲۳/۵$ و $۶۶/۵$ درجه عرض جنوبی در نیمکره جنوبی، یعنی در مناطق معتدله، ممکن است.

۶. جهت یابی تقریبی با تعیین طرف آلتاب زده تنه درختان (روش دهقانان)

گردش روزانه خورشید و تابش آن، همیشه مورد توجه دهقانان بوده است.

با توجه به این حرکت، میزان تابش خورشید بر تنه درختان، در تمام سطح آنها، یکسان نیست. لذا در منطقه ما — در نیمکره شمالی — پوست درختان، بویژه درخت بید و چنار، در طرف جنوب آنها، آفتاب زدگی بیشتری دارند و در طرف شمال سبزترند و کمتر حالت آفتاب زدگی دارند. در نتیجه، دهقانان با توجه به همین مطلب ساده، جهات خود را، البته بصورت تقریبی تعیین می کنند.

در اینجا، بیان چگونگی گردش ظاهری روزانه خورشید بصورتی که در مناطق مختلف کره زمین مشاهده می شود، لازم بنظر می رسد. در منطقه معتدله شمالی^۱، خورشید همیشه در وسط روز در طرف جنوب ناظر، و در منطقه معتدله جنوبی^۲، در طرف شمال او قرار می گیرد. در منطقه حاره^۳ خورشید وسط روز، گاهی در طرف شمال و گاهی در سمت جنوب و بعضی اوقات هم بر بالای سر ناظر، بر حسب عرض جغرافیایی محل، قرار می گیرد. در مناطق منجمده شمالی^۴ و جنوبی، خورشید گاهی در طول شبانه روز بر پهنه آسمان قرار دارد و زمانی دیگر، بر حسب فصل و عرض جغرافیایی محل، موقعیتی مانند مناطق معتدله، پیدا می کند و ایامی هم اصلا طلوع نمی کند و شب طولانی، بر منطقه قطبی حکمفرماست. چگونگی حرکت ظاهری روزانه خورشید، برای مناطق با عرض جغرافیایی مشخص و در فصول مختلف، در شکل‌های (۱۱-۲) الی (۲۱-۲) برای نیمکره شمالی و جنوبی، مشخص شده است. در این شکلها، نقطه O محل ناظر و Z نمایانگر سمت الرأس اوست. چگونگی حرکت ظاهری خورشید در قطب شمال و جنوب زمین، در فصل پنجم کتاب، در مطلب مربوط به تعیین جهت قبله در قطب شمال آمده است و لذا شکل‌های مذکور شامل این مناطق نیستند.

با توجه به این شکلها، درمی یابیم که چرا طرف جنوبی ساقه بلند درختان (البته در صورتی که در سایه قرار نداشته باشند) در منطقه معتدله شمالی بیشتر آفتاب زده می باشد ولی در منطقه معتدله جنوبی، طرف شمالی آنها دارای این خاصیت است.

۷. جهت یابی از طریق یافتن ستاره قطبی در نیمکره شمالی و صورت فلکی

صلیب جنوبی^۵ در نیمکره جنوبی

چنانکه در بخشهای دیگر خواهد آمد، تعیین امتداد دقیق شمال جغرافیایی از

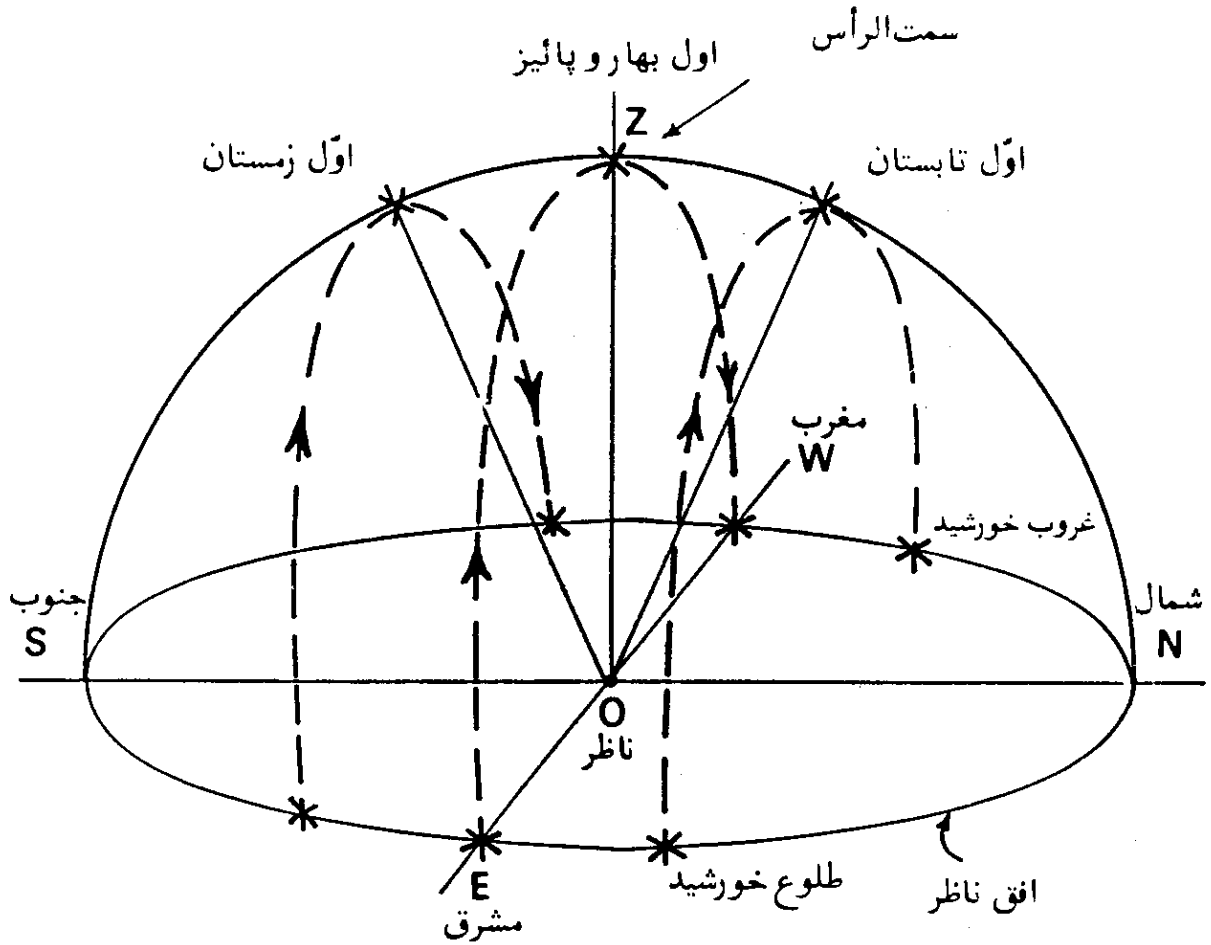
1. North Temperate Zone

2. South Temperate Zone

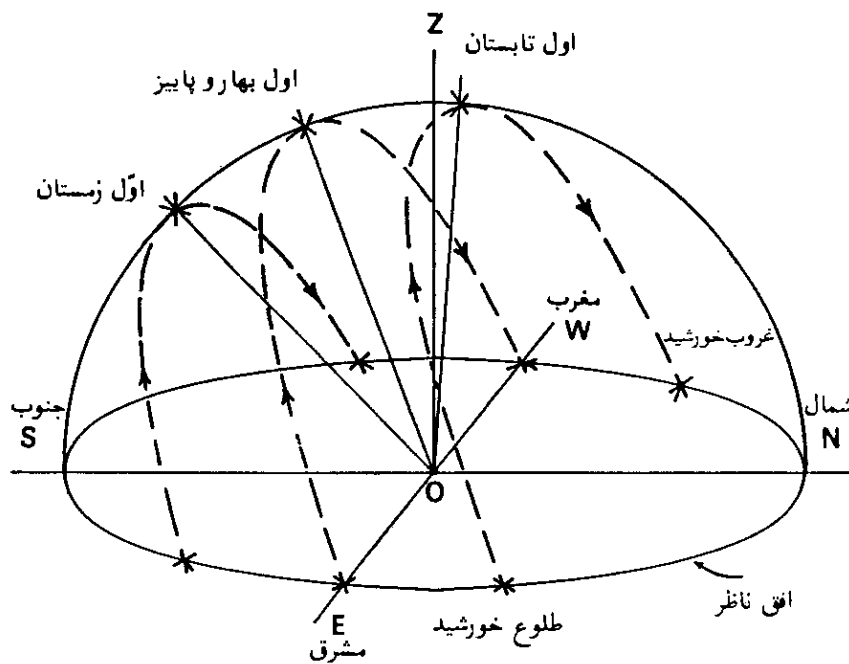
3. Torrid Zone

4. North Frigid Zone

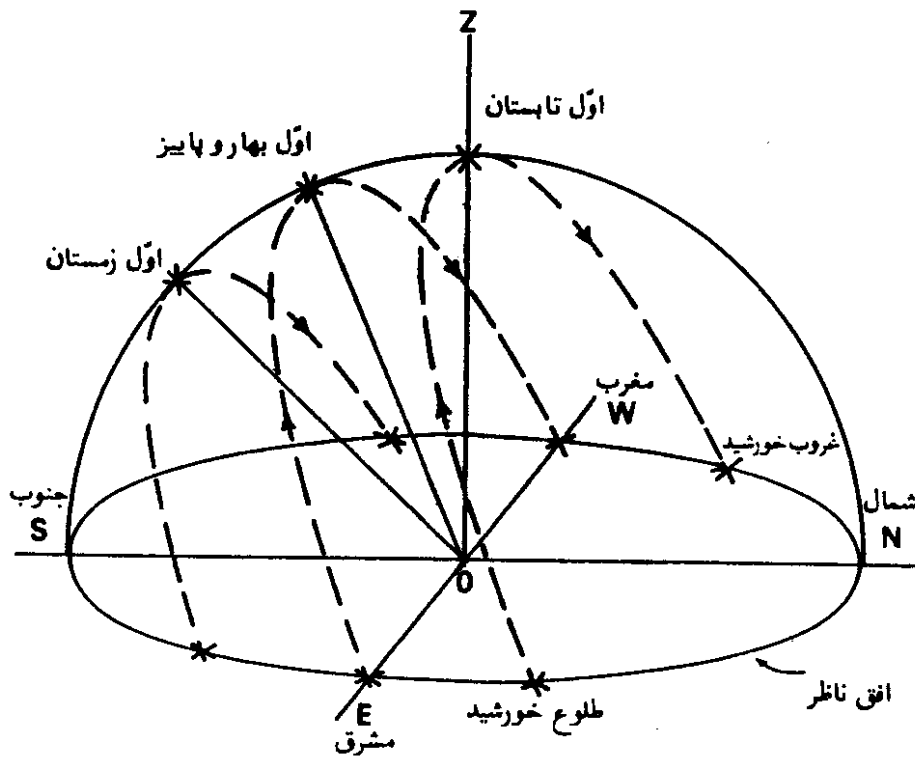
5. Crux (The Southern Cross)



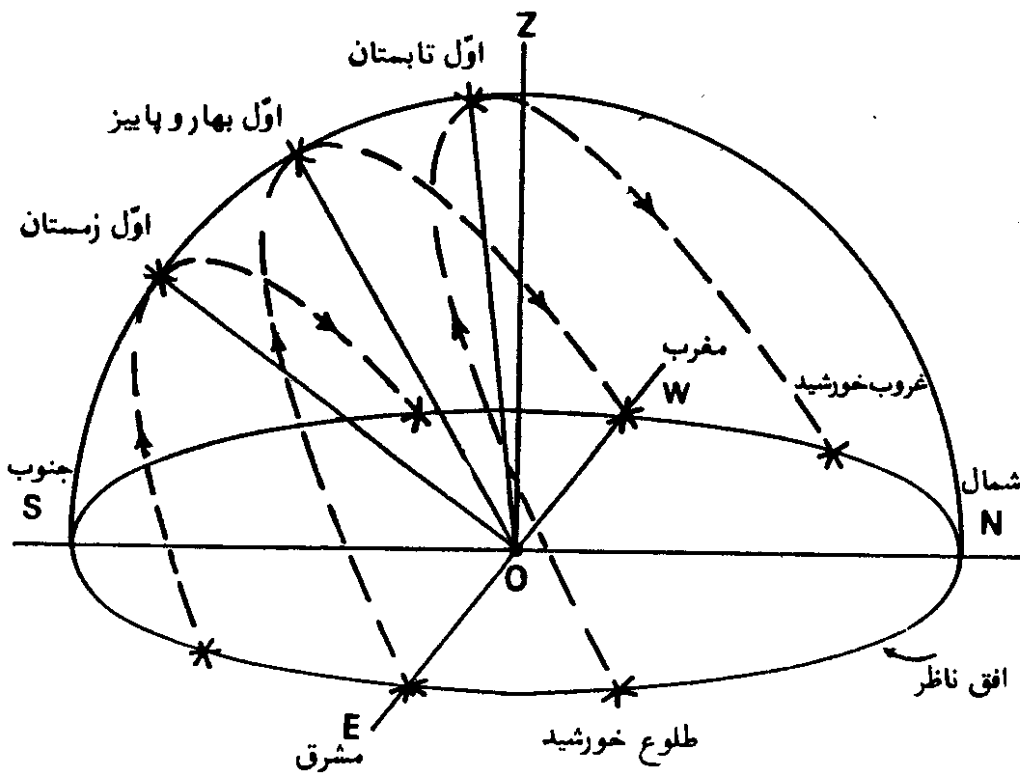
شکل (۲-۱۱) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در آسمان در خط استوا ($\varphi = 0^\circ$). در اول بهار و پاییز محل طلوع و غروب خورشید در مشرق و مغرب حقیقی و در وسط روز در سمت الرأس ناظر قرار می گیرد.



شکل (۲-۱۲) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در آسمان در عرض جغرافیایی 20° شمالی.

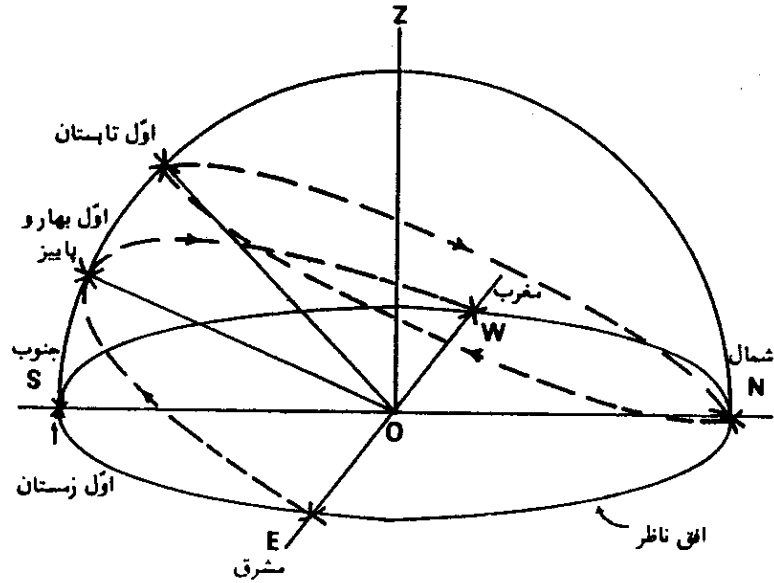


شکل (۲-۱۳) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید بر روی مدار رأس السرطان ($\varphi = 23/45^{\circ} N$) در روز اول تابستان، خورشید گرچه در هنگام طلوع در طرف شمال نقطه مشرق جغرافیایی قرار دارد، اما در وسط روز در سمت الرأس ناظر قرار می گیرد.



شکل (۲-۱۴) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در آسمان در عرض شمالی 30° درجه. در اول تابستان گرچه خورشید در طرف شمال مشرق جغرافیایی طلوع می کند، اما بهنگام نیمروز در وسط آسمان بطرف جنوب سمت الرأس ناظر قرار می گیرد.

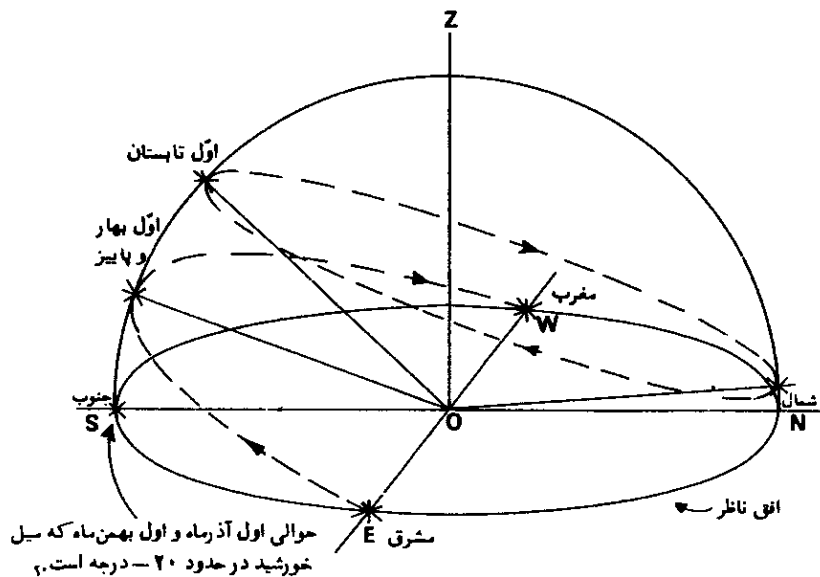
1. Tropic of Cancer



شکل (۲-۱۵) - مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در مدار شمالگان^۱ (مدار قطبی شمال)، $\varphi = 66/55N$

در اول تابستان خورشید در تمام طول شبانه روز بر بینه آسمان قرار دارد و در حقیقت، از نقطه شمالی در افق ناظر بالا آمده و بعد از طی یک دایره در ۲۴ ساعت، دوباره به همان نقطه برمی‌گردد.

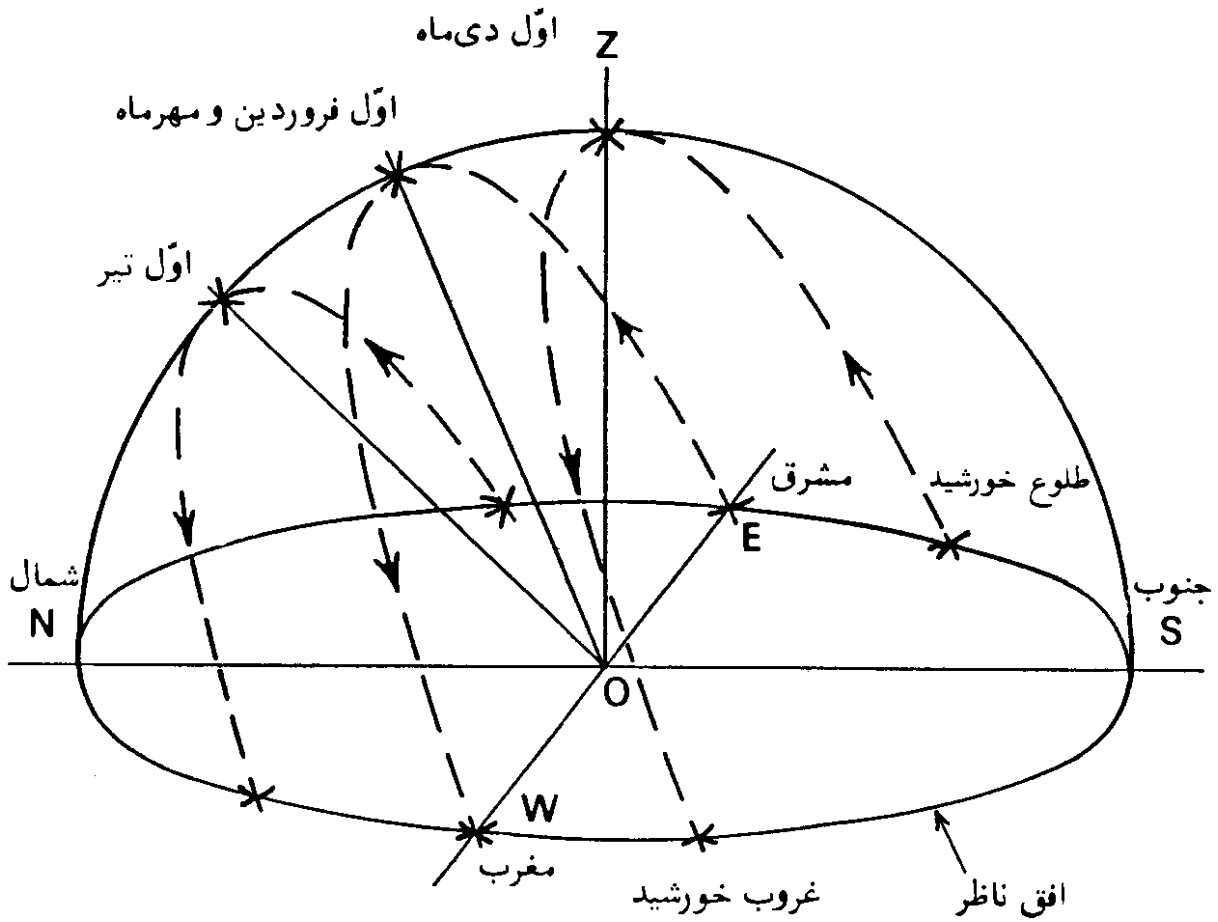
در اول زمستان خورشید در مدت کوتاهی در نقطه جنوب در افق ناظر خواهد بود و در حقیقت طول شب در حدود ۲۴ ساعت است.



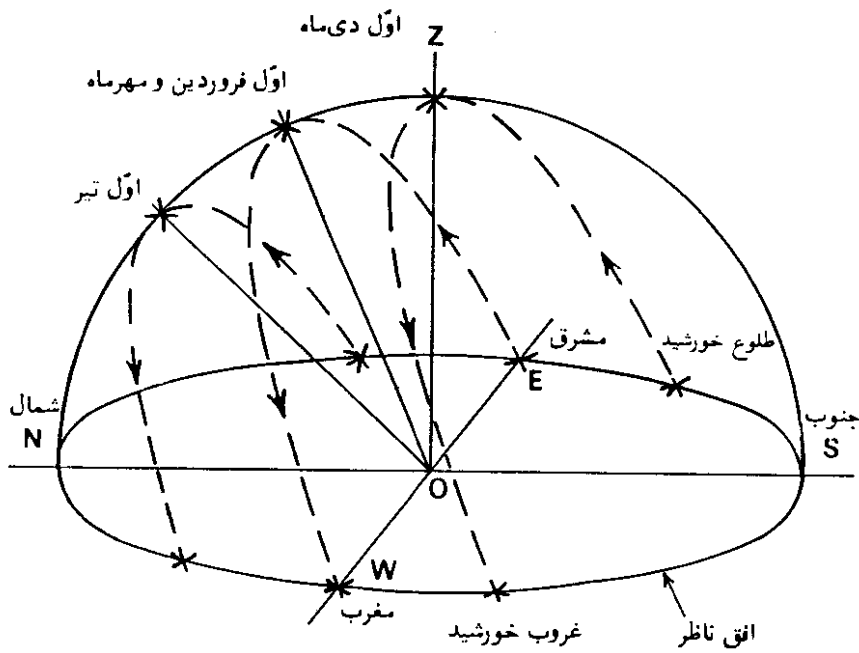
شکل (۲-۱۶) - مسیر حرکت ظاهری خورشید در عرض جغرافیایی ۷۰ درجه شمالی.

در اول تابستان خورشید در شبانه روز همواره در آسمان است و در حقیقت از نقطه شمالی ناظر، بالاتر از افق، قرار می‌گیرد و پس از طی یک دایره، دوباره به همان نقطه برمی‌گردد. تقریباً در حوالی اول آذرماه، خورشید به خط افق رسیده و شب طولانی قطبی در این مکان آغاز می‌شود که تقریباً در حدود دو ماه بطول می‌انجامد و در اوایل بهمن‌ماه مجدداً در افق ناظر در نقطه جنوبی پدیدار شده، شب طولانی قطبی پایان می‌رسد.

1. Arctic Circle

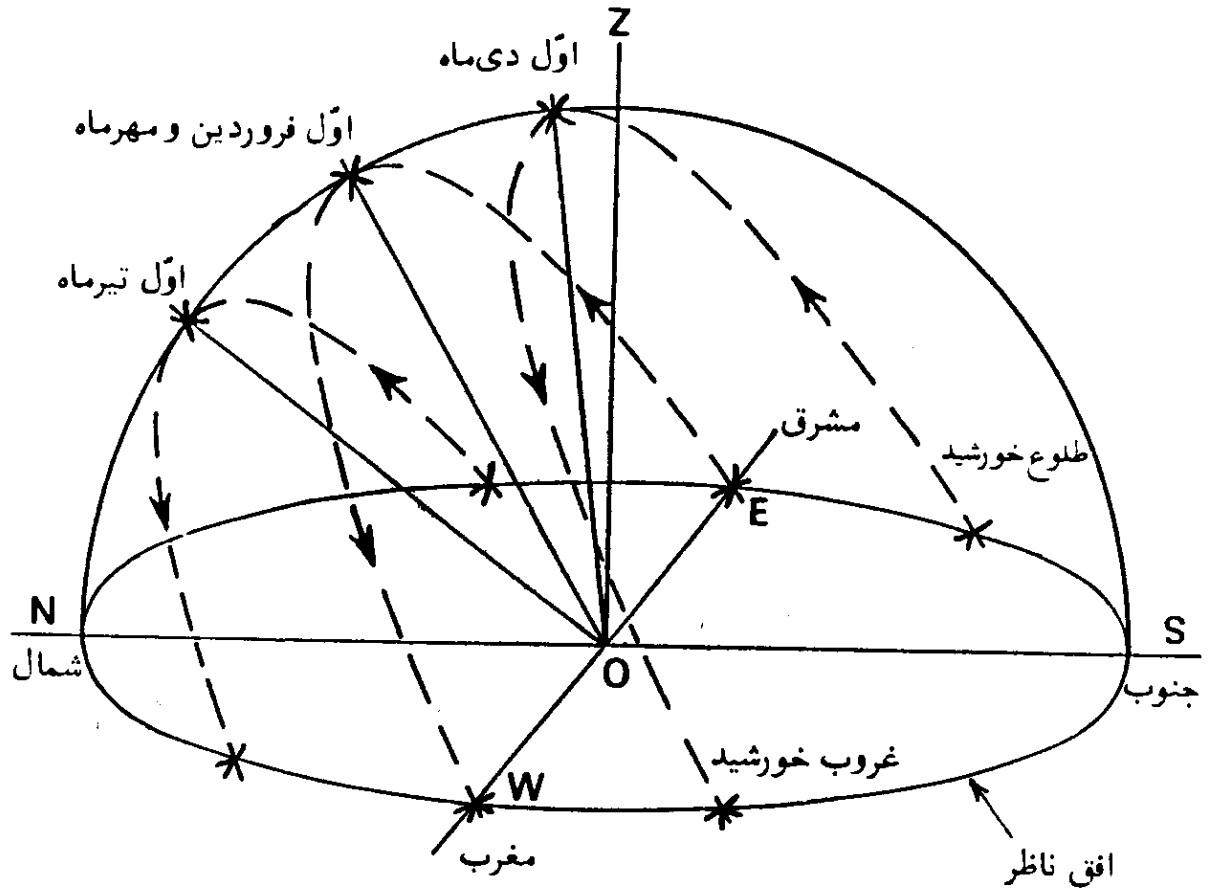


شکل (۲-۱۷) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در آسمان در عرض جنوبی ۲۰ درجه.

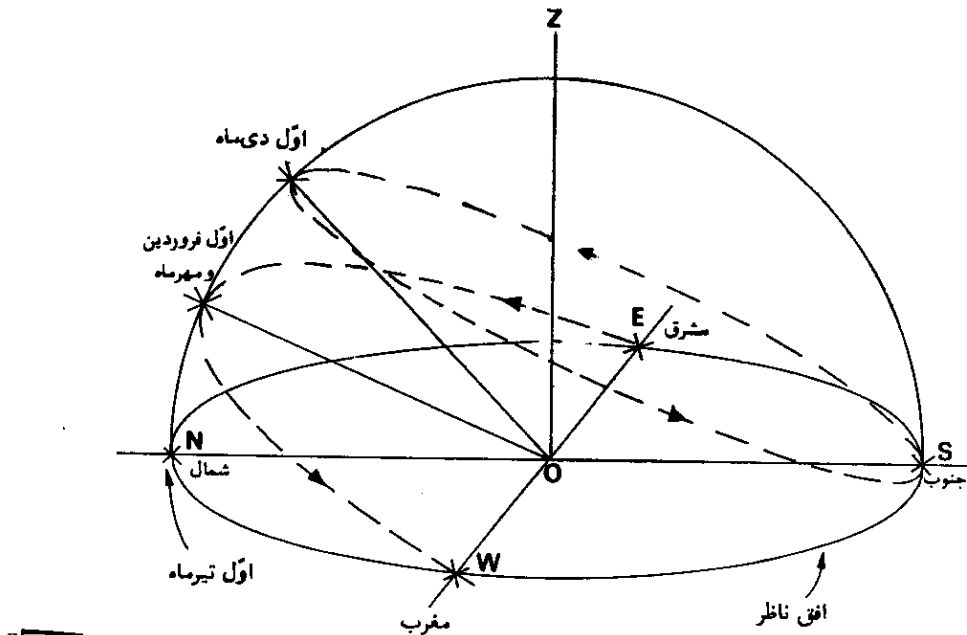


شکل (۲-۱۸) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در مدار رأس الجدی ($\varphi = ۲۳/۴۵ S$).

1. Tropic of Capricorn

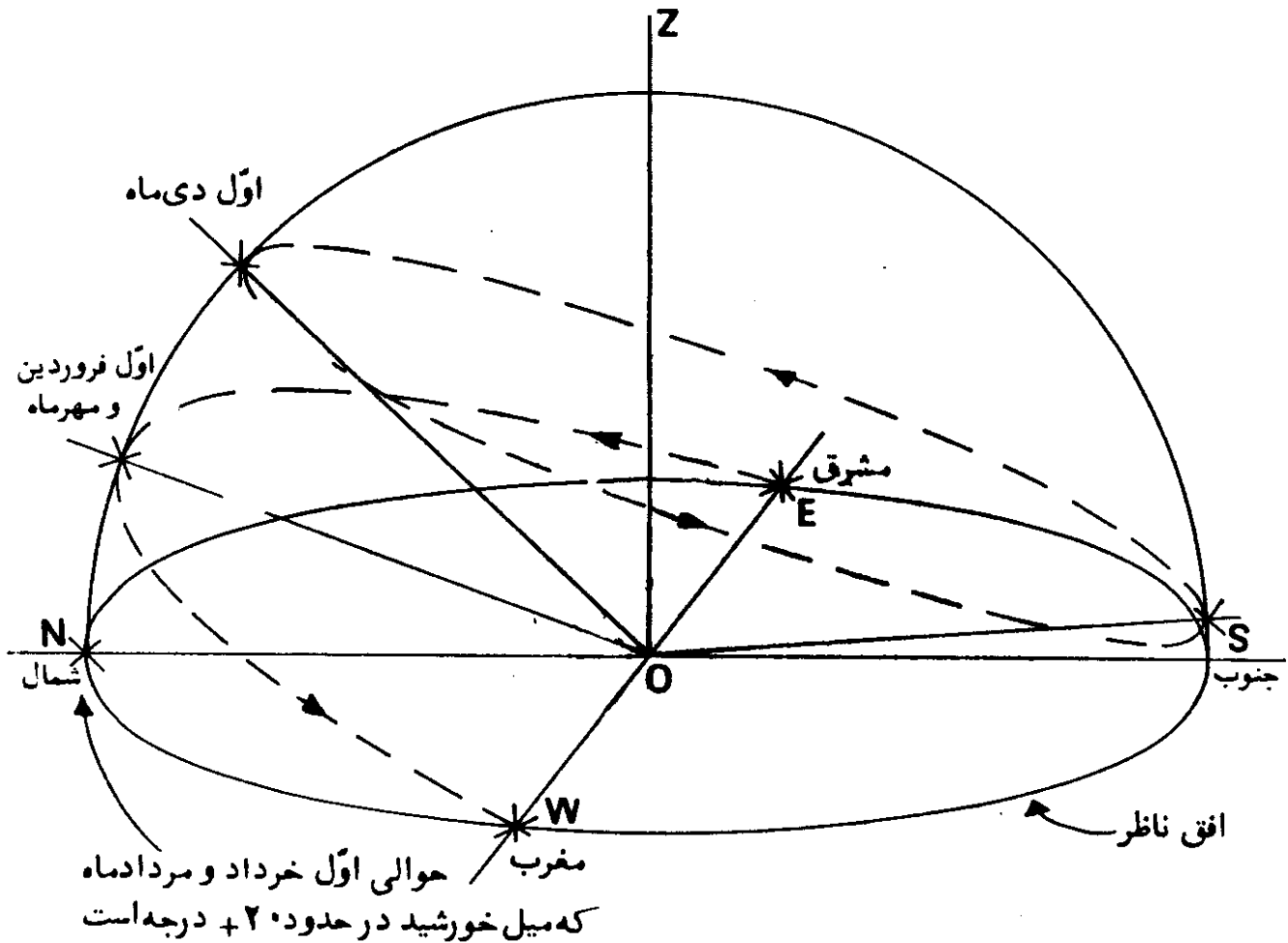


شکل (۲-۱۹) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در مدار ۳۰ درجه عرض جنوبی.



شکل (۲-۲۰) — مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در مدار جنوبگان (مدار قطبی جنوب)، $\varphi = 66^{\circ}55'S$.

1. Antarctic Circle

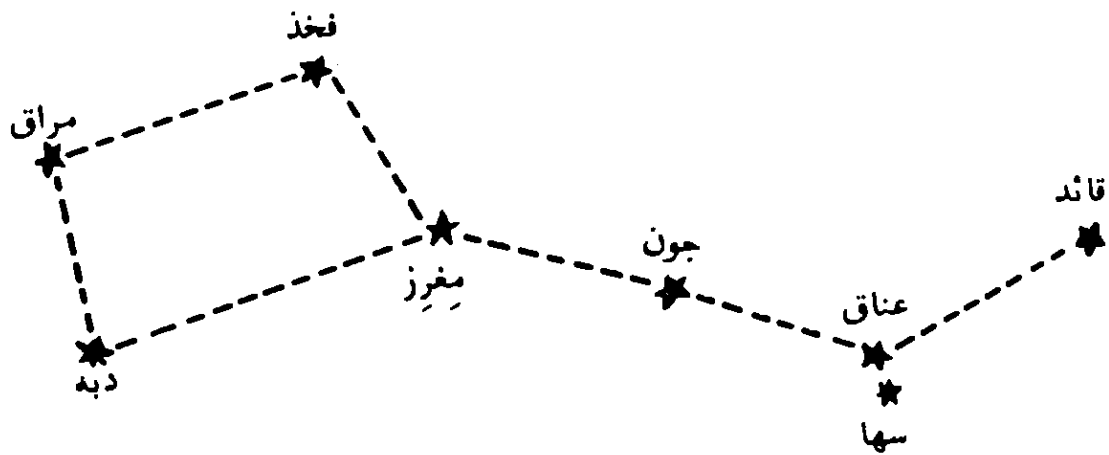


شکل (۲-۲۱) — مسیر حرکت ظاهری خورشید در عرض جغرافیایی ۷۰ درجه جنوبی.

راه رصد ستاره قطبی، با استفاده از وسایل نجومی، ممکن است، اما پیدا کردن ستاره قطبی در آسمان، بدون استفاده از وسایل نجومی، خود می تواند راهنمای جهت شمال باشد. برای انجام این منظور می بایست با چند صورت فلکی آشنا شویم. یکی از آنها صورت فلکی دُب اکبر^۲ (خرس بزرگ) و یا آبگردان بزرگ^۳ است. چنانکه از اسم آبگردان پیدا است، ستاره های این صورت، بشکل آبگردان قرار گرفته اند. این صورت فلکی، بهنگام غروب، در بیشتر مکانهای نیمکره شمالی، بشرط صاف بودن هوا، قابل رؤیت است. هفت ستاره پر نور، شکل آبگردان را پدید آورده اند. چهار ستاره که کاسه^۴ آبگردان را تشکیل می دهند، با اسامی دُبَه^۵، مِراق^۶، فِخْد^۷ و مِغْرَز^۸ معروفند. این اسامی، عربی است و با توجه به اسامی انگلیسی آنها که در زیر نویس، ملاحظه می کنید، معلوم

- | | | |
|------------------|----------------------------|---------------|
| 1. Constellation | 2. Ursa Major (Great Bear) | 3. Big Dipper |
| 4. Bowl | 5. Dubhe | 6. Merak |
| | | 7. Phecda |
| | | 8. Megrez |

می‌شود که اسامی انگلیسی نیز از عربی گرفته شده‌اند. دُبه به معنای خرس، مِراق به معنی گُرده، فخذ به معنای ران و بالاخره مِغرز به معنی بُن دُم خرس است. ستارگانی که دسته آبگردان را تشکیل داده‌اند به نامهای قائد^۱، عناق^۲ و جُون^۳ معروفند که باز هم اسامی عربی است. قائد به معنای جلودار، عناق به معنی بزغاله و معنای دقیق جُون هنوز مورد اختلاف است، چه منشاء آن روشن نیست. در نزدیکی عناق ستاره کوچک سها^۴ قرار دارد. اعراب این دو ستاره را اسب و سواره^۵ می‌نامیدند و از ستاره سها برای آزمون دید خوب استفاده می‌کردند. ستارگان صورت فلکی دب اکبر در شکل (۲-۲۲) نمایانده شده است.

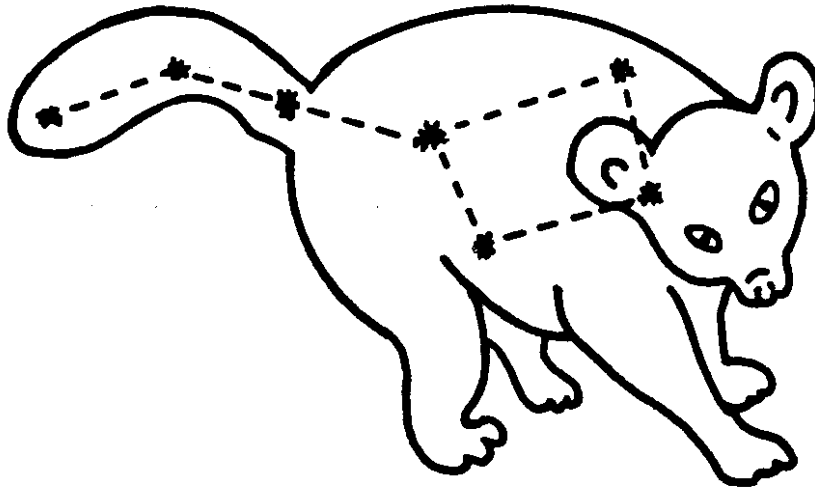


شکل (۲-۲۲) - ستارگان صورت فلکی دب اکبر.

یکی از نخستین نامهایی که به این صورت فلکی، داده شده، خرس بزرگ است و اسامی عربی به معنای ران، گُرده و غیره، قسمت‌های مختلف پیکر خرس را بیان می‌کنند که این تعبیر، در شکل (۲-۲۳) ارائه شده است. دلیل این نام‌گذاری روشن نیست، چه، بزحمت می‌توان طرح بدن خرس و یا هر حیوان دیگری را بر این صورت فلکی تصویر کرد. بنابر افسانه‌ای کهن، خرس نشان‌دهنده کالیستو^۶، دختر شاه آرکادیا^۷ و معشوقه ژوپیترا^۸ است که ژوپیترا به منظور حفاظت از وی، او را به صورت خرس درآورده، بر آسمانها جای داد.

بنابر افسانه‌ای دیگر، خرس بزرگ، عمداً توسط روح بزرگ^۹ بر آسمان نهاده شد

- | | | | |
|----------------------------|-------------|------------|------------|
| 1. Alkaid | 2. Mizar | 3. Alioth | 4. Alcor |
| 5. The Horse and the Rider | 6. Callisto | 7. Arcadia | 8. Jupiter |
| 9. Great Spirit | | | |



شکل (۲-۲۳) - تصویر خرس بزرگ بر صورت فلکی دُب اکبر.

تا به صورت تقویم برای خرسهای موجود در زمین باشد. در نیم‌سالی که خرس بزرگ دارای ارتفاع کمی است، همه خرسها، به درون غارهای خود در زمین رفته و خود را گرم نگه‌می‌دارند. هنگامی که خرس بزرگ در آسمان اوج می‌گیرد، تابستان آغاز می‌شود و خرسها غارهایشان را ترک می‌کنند. در حقیقت خرس بزرگ دارای حرکت ظاهری سالانه‌ای است که در همین بخش مورد بحث قرار خواهد گرفت.

اسامی خرس بزرگ و آبگردان بزرگ هنوز مصطلح است. نام علمی این صورت فلکی، ترجمه لاتینی خرس بزرگ^۱ است.

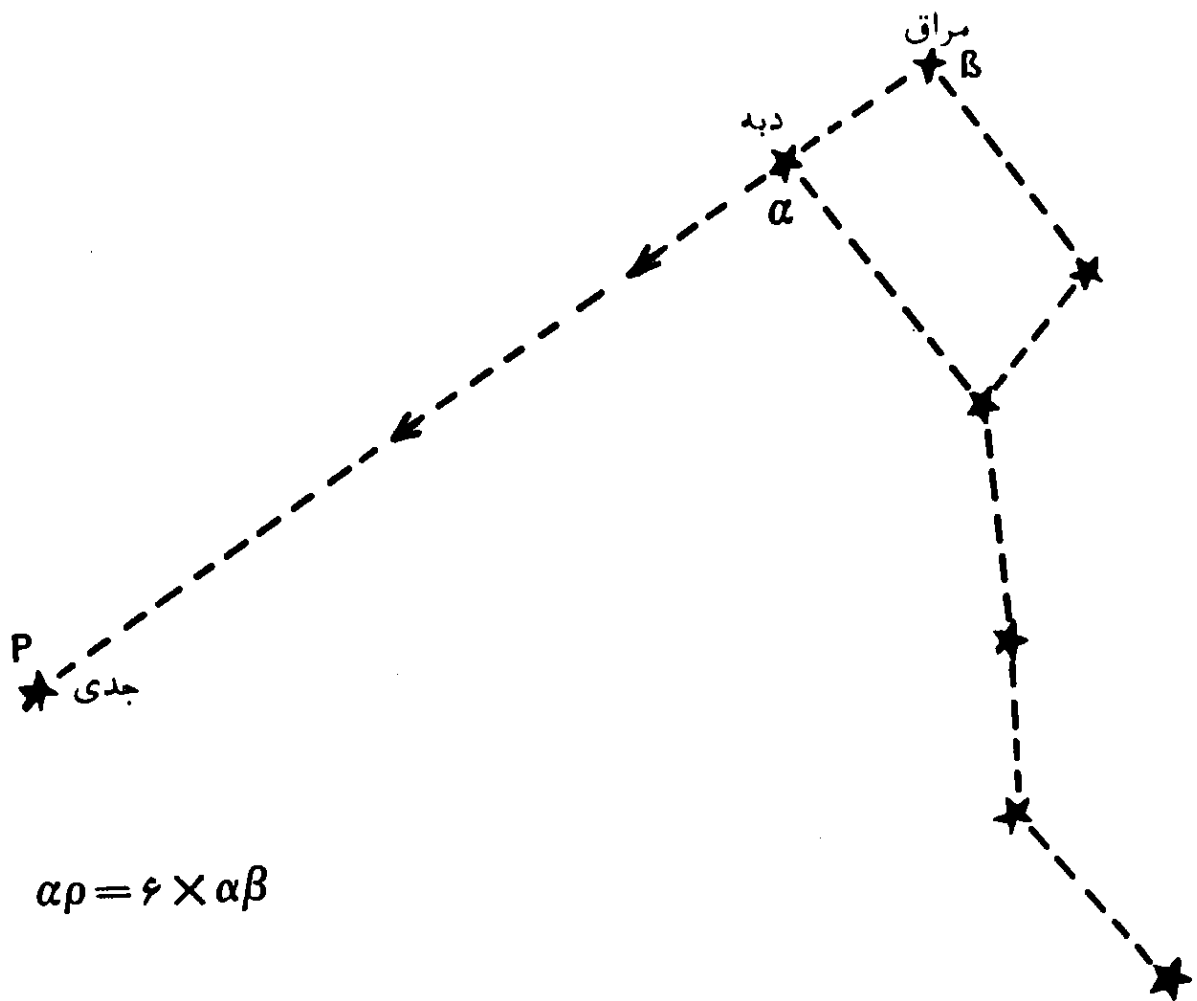
در انگلستان، این صورت فلکی^۲ را گاواهن و یا ارابه^۳، می‌گویند. ولی اگر بخواهیم دقیق باشیم، باید اصطلاح آبگردان بزرگ را به هفت ستاره پرنور، و اصطلاح خرس بزرگ را به همه ستاره‌های این صورت فلکی اطلاق کنیم. اما اغلب، این دو اصطلاح بجای هم، بکار می‌روند.

در ایران، این صورت فلکی را هفت برادران نیز می‌نامند و نام پارسی آن هفتو-رنگ است.

صورت فلکی دیگر، دُب اصغر^۴ (خرس کوچک) و یا آبگردان کوچک^۵ است. معروف‌ترین و پرنورترین ستاره این صورت فلکی، ستاره قطبی^۶ و یا جدی، نام دارد. پیدا کردن این ستاره در آسمان ساده است.

- | | | |
|-----------------------------|------------------|-------------------------|
| 1. Ursa Major | 2. Plough | 3. Wain (for Wagon) |
| 4. Ursa Minor (Little Bear) | 5. Little Dipper | 6. Polaris (North Star) |

نقطه شروع دو ستاره دُبه و مِراق در کاسه آبگردان بزرگ می باشد که به نام قراولان^۱ معروفند، امتداد خط واصل بین این دو ستاره از جُدی می گذرد. فاصله زاویه ای^۲ دُبه و مِراق نزدیک به ۵ درجه و فاصله زاویه ای دُبه و جُدی ۲۹ درجه است، که در نتیجه، فاصله زاویه ای دُبه و جُدی در حدود ۶ برابر فاصله قراولان است. لذا برای پیدا کردن ستاره قطبی، که به نام (α) - دب اصغر^۳ نیز نامیده می شود، می بایست فاصله میان مِراق و دُبه را شش برابر از دُبه امتداد داد تا به ستاره جُدی رسید، شکل (۲۴-۲).



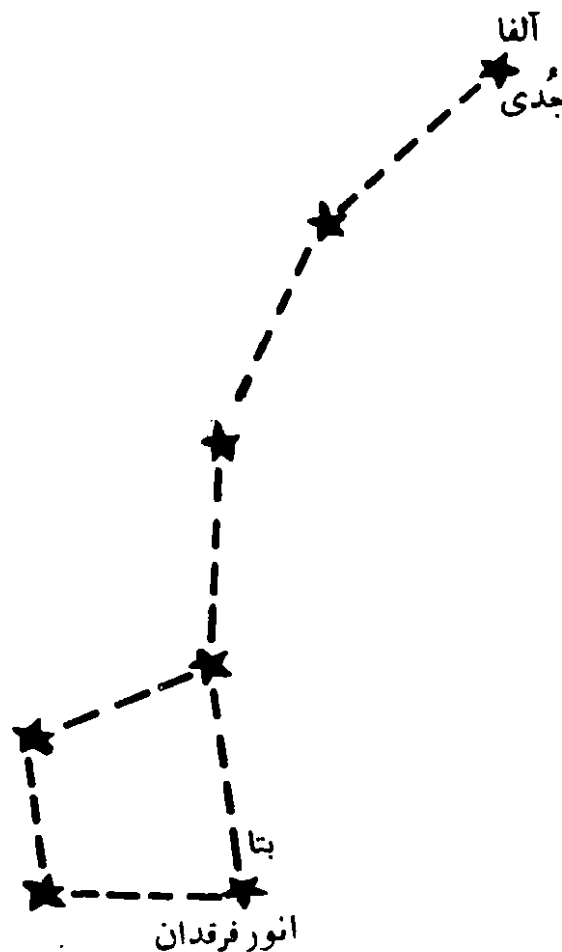
شکل (۲۴-۲) — پیدا کردن جُدی با استفاده از قراولان. فاصله مِراق به دُبه را می بایست از دُبه به اندازه ۶ برابر ادامه داد تا به جُدی رسید.

فاصله قطبی^۴ ستاره قطبی، در حدود ۱° و ۱۰' است و بنابراین در فاصله خیلی

- | | | |
|-------------------|---------------------|-------------------------------------|
| 1. The Pointers | 2. Angular Distance | 3. α (Alpha) — Ursae Minoris |
| 4. Polar Distance | | |

نزدیک امتداد محور چرخشی زمین یعنی قطب شمال سماوی، قرار دارد که بهمین علت، ستاره قطبی^۱ نام گرفته است.

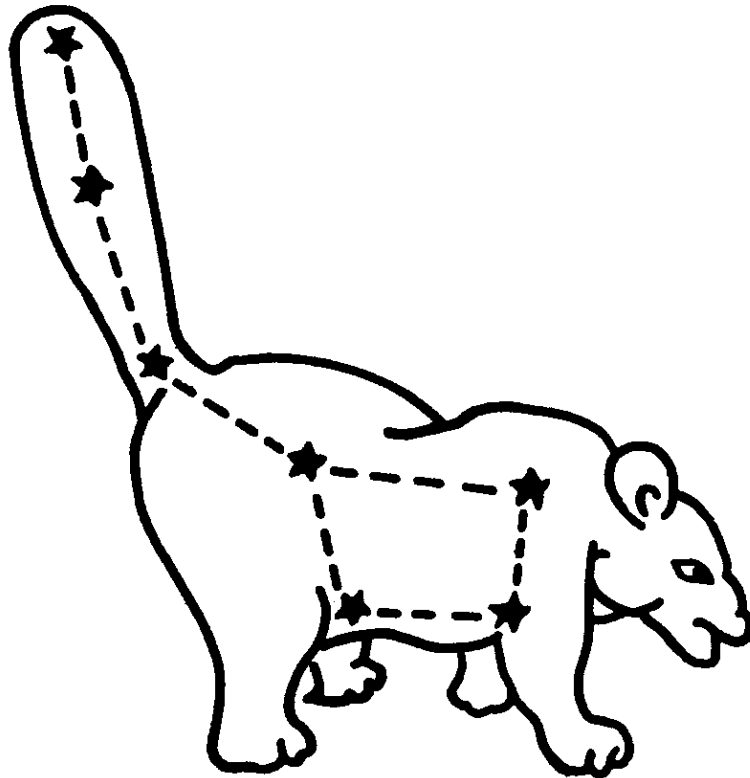
بعد از جدی پرنورترین ستاره صورت فلکی، خرس کوچک، انور فرقدان^۲ است که به نام بتا (β) - دب اصغر^۳ نیز نامیده می شود. نام انگلیسی این ستاره که در زیرنویس آمده، از لغت عربی کوکب به معنای ستاره، گرفته شده است. ستاره های این صورت فلکی در شکل (۲-۲۵) نشان داده شده اند.



شکل (۲-۲۵) - ستارگان صورت فلکی دب اصغر.

مانند صورت فلکی خرس بزرگ، اطلاق نام خرس کوچک به این صورت فلکی نیز نامناسب است، شکل (۲-۲۶). دو ستاره ای که بر سینه خرس کوچک قرار دارند به نام فرقدان یا فرقدین موسوم اند و انور فرقدان یعنی آنکه پرنورتر است. دب اصغر، به نامهای بنات النعش صغری یا هفتورنگ کهن نیز مشهور است.

1. North Star 2. Kochab 3. β (Beta) Ursae Minoris



شکل (۲-۲۶) - تصویر خرس بر صورت فلکی دُب اصغر. دو ستاره قرار گرفته بر سینه خرس، به نام فرقدان یا فرقدین موسوم اند.

بنابر افسانه جالبی از بومیان سرخپوست آمریکا، گروهی شکارچی بومی، راه خود را در جنگل گم کرده بودند که در نتیجه اجابت دعاهایشان، دختر کوچکی پدیدار شد که آنها را به سلامت به خانه هایشان راهنمایی کرد. دخترک ثابت کرد که او، روح ستاره جُدی است، لذا شکارچیان پس از مرگ در آسمان جای گرفتند که برای همیشه نزدیک او باشند.

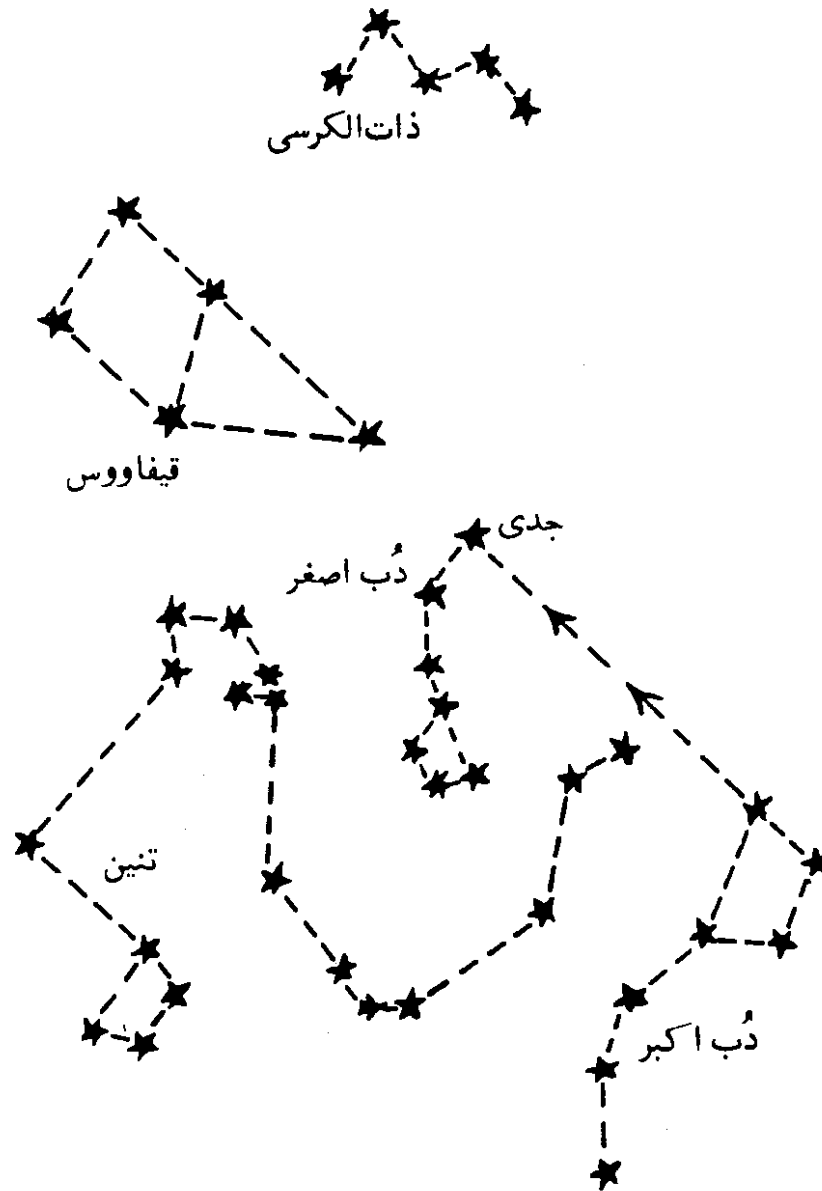
علاوه بر صورت فلکی دُب اکبر و دُب اصغر، سه صورت فلکی مشهور دیگر، همیشه در آسمان، مکانهای با عرض جغرافیایی بیشتر از ۴۰ درجه شمالی، قابل رؤیتند: این صور، عبارتند از ذات‌الکرسی^۱، تِنین (اژدها)^۲ و قیفاووس^۳ که در شکل (۲-۲۷) نشان داده شده‌اند.

قبلاً چگونگی استفاده از قراولان را برای یافتن جُدی بیان کردیم. حال که با صورت فلکی ذات‌الکرسی نیز آشنا شده‌ایم، بد نیست که وضعین این صورت فلکی را، که به شکل حرف M و یا W است، نسبت به ستاره قطبی بدانیم. مطابق آنچه که در

1. Cassiopeia

2. Dragon (Draco)

3. Cepheus



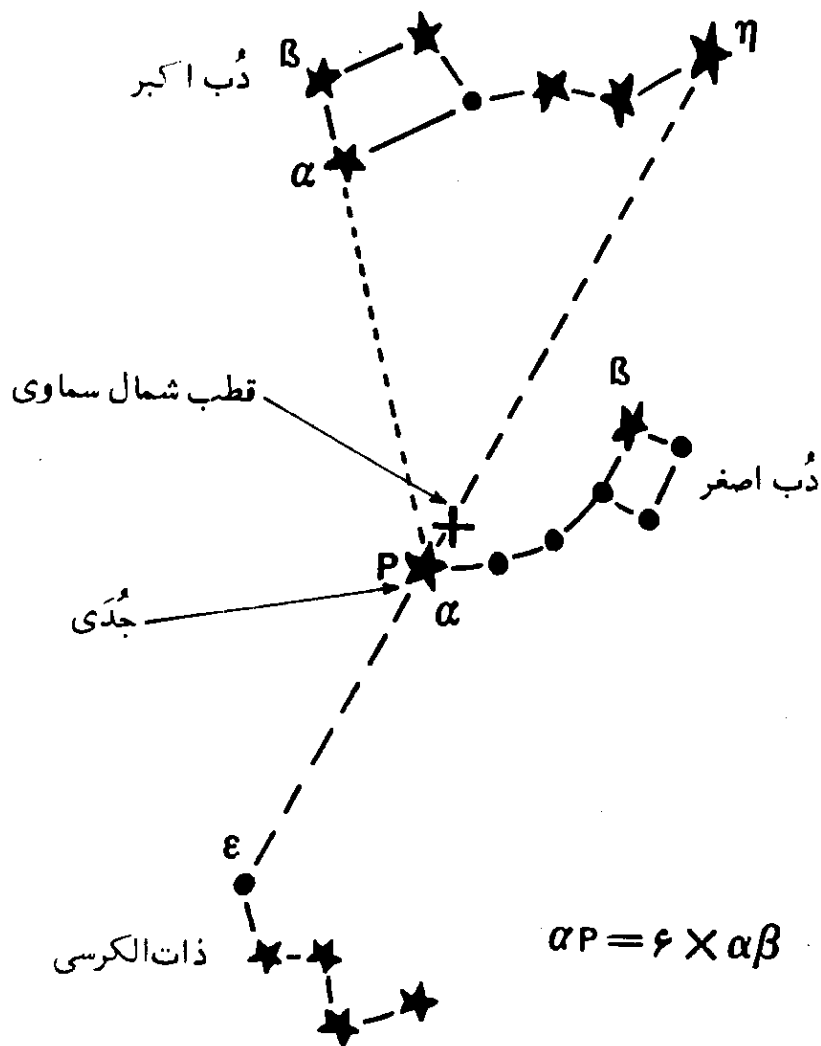
شکل (۲-۲۷) — صور فلکی دور قطبی شمالی که در آسمان مکانهای با عرض جغرافیایی بیشتر از ۴۰ درجه شمالی، قابل رؤیت اند.

شکل (۲-۲۸) نشان داده شده، زمانی که ستاره قطبی بر روی نصف النهار یک محل قرار می گیرد، ستاره های η (اتا) در صورت فلکی دب اکبر و ϵ (اپسیلون) در صورت فلکی ذات الکرسی نیز بر روی نصف النهار محل قرار خواهند گرفت.

تا بحال دیدیم که برای یافتن ستاره قطبی، می بایست ابتدا صورت فلکی دب اکبر را پیدا کنیم. این صورت فلکی مانند هر صورت فلکی و یا ستاره دیگر، دارای حرکت ظاهری روزانه^۱ و سالیانه^۲ است و بنابراین در آسمان یک محل، همیشه در مکان ثابتی قرار نمی گیرد. لذا برای پیدا کردنش، قبلا باید با حرکات آن نیز آشنا بود:

1. Apparent Daily Motion

2. Apparent Annual Motion



شکل (۲-۲۸) — قرار گرفتن سه ستاره آلفا- دب اصغر (جُدی)، اتا- دب اکبر و اپسین- ذات- الکرسی بر روی نصف النهار یک محل.

همه می دانند که ظاهراً خورشید در مشرق طلوع و پس از طی قوسی در آسمان، در مغرب غروب می کند.

ستارگان نیز مانند خورشید ظاهراً قوسهایی را، از قسمت شرقی افق به قسمت غربی آن، می پیمایند. یک دوران کامل، ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴/۰۹ ثانیه بطول می انجامد. در فصل هفتم خواهید دید که مدت این دوران را روز نجومی و یا روز ستاره ای^۱ می نامند. مدت روز نجومی را بسهولت می توان در یک شب صاف بکمک یک ساعت مچی دقیق، تقریباً اندازه گیری کرد. برای این کار زمان طلوع یک ستاره پرنور از افق شرقی را یادداشت کنید. در روز بعد دوباره زمان طلوع همان ستاره را ثبت

1. Sidereal Day.

صورت فلکی محاذی افق و کاسه آن در طرف راست باشد، شش ساعت بعد، دسته آبگردان، بطرف پایین خواهد بود. دوازده ساعت پس از رصد اول، دهانه بازکاسه آبگردان روبه پایین بنظر خواهد رسید. هیجده ساعت پس از رصد اول، دسته آبگردان به سمت بالا خواهد بود.

در هر ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و چهار ثانیه، دب اکبر را در هر یک از این وضعیتها می توان دید. البته در بخشی از این مدت، آفتاب مانع رصد کردن خواهد بود. چه نور ضعیف ستاره ها را در آسمان روشن روز، نمی توان مشاهده کرد.

حال که با حرکت ظاهری روزانه صورت فلکی دب اکبر آشنا شدیم، در مرحله بعد به حرکت ظاهری سالانه آن می پردازیم:

این واقعیت که ستارگان یک گردش کامل را در کمتر از بیست و چهار ساعت انجام می دهند، بسیار مهم است؛ معنی دیگر این واقعیت اینست که ستارگان و یا صورت فلکی دب اکبر، در مدت ۲۴ ساعت بیش از یک گردش کامل را می پیمایند. تفاوت میان ۲۴ ساعت و یک دوره تناوب گردش عبارتست از:

— ۲۴ ساعت

۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و ۴ ثانیه

۳ دقیقه و ۵۶ ثانیه

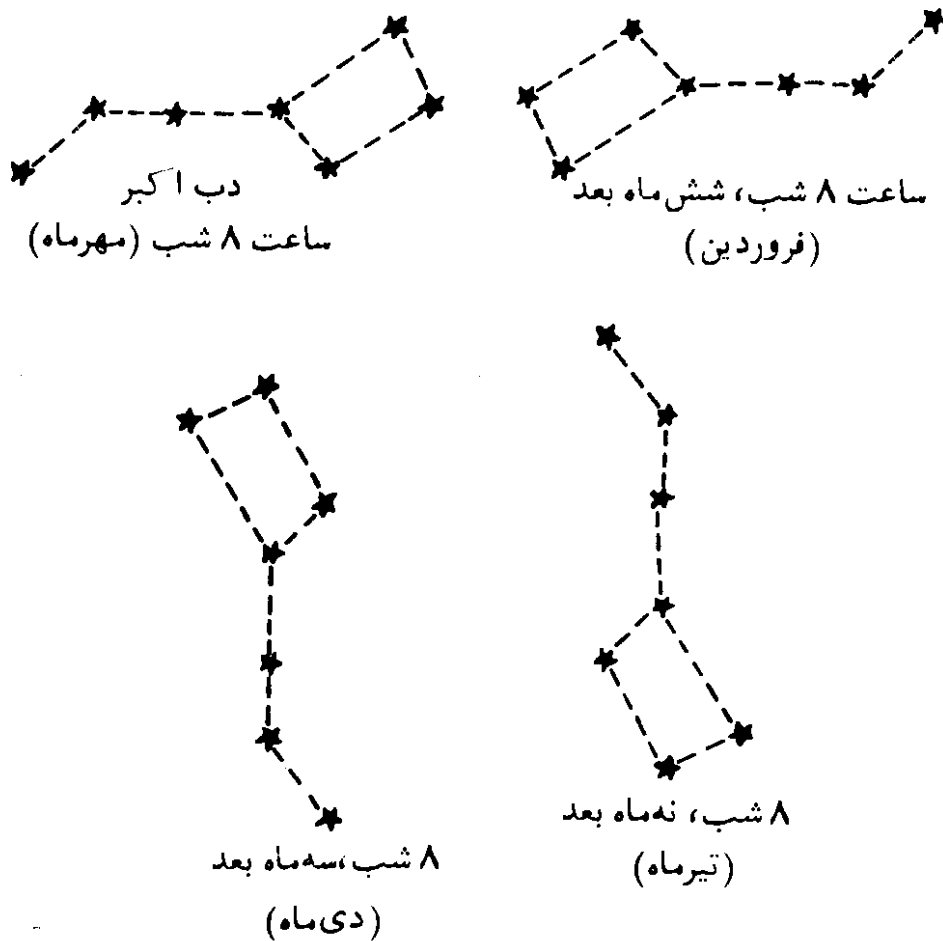
در نتیجه، ستارگان در سه دقیقه و ۵۶ ثانیه باقیمانده، دوران بعدی را شروع می کنند. این مطلب از طریق رصد هم قابل اثبات است.

ستاره ای که فرضاً در ساعت هشت شامگاه جمعه، درست در بالای افق پدیدار می شود، شامگاه روز بعد در ساعت هشت، اندکی بالاتر از حد روز قبل در افق دیده خواهد شد و در ساعت هشت شامگاه روز یکشنبه، ارتفاع بیشتری از افق خواهد داشت و یک ماه بعد در ساعت هشت، بمقدار قابل ملاحظه ای از افق بالاتر خواهد بود. بعد از سه ماه، در ساعت هشت بعد از ظهر ستاره مزبور باندازه ربع دایره، از افق شرقی فاصله خواهد داشت.

این حرکت ستارگان نیز حرکتی ظاهری و نتیجه حرکت واقعی زمین، حول خورشید است. زمین در حرکت انتقالی خود به دور خورشید، یک گردش کامل را در دوازده ماه می پیماید. به همین ترتیب صورتهای فلکی، از جمله دب اکبر دارای یک حرکت ظاهری سالانه است.

بدین طریق در ساعت هشت بعد از ظهر، در مهرماه، دب اکبر در نزدیکی افق

و در وضعیتی است که دهانه بازکاسه، رو بالا است. سه ماه بعد در همان زمان بهنگام شب، دسته آبگردان رو پایین است. در فروردین ماه، در همان وقت شب، دب اکبر ارتفاع زیادی از افق داشته، کاسه آبگردان، در طرف چپ قرار خواهد گرفت. در تیرماه در همان ساعت شب، کاسه آبگردان بطرف پایین است، شکل (۲-۳۰).



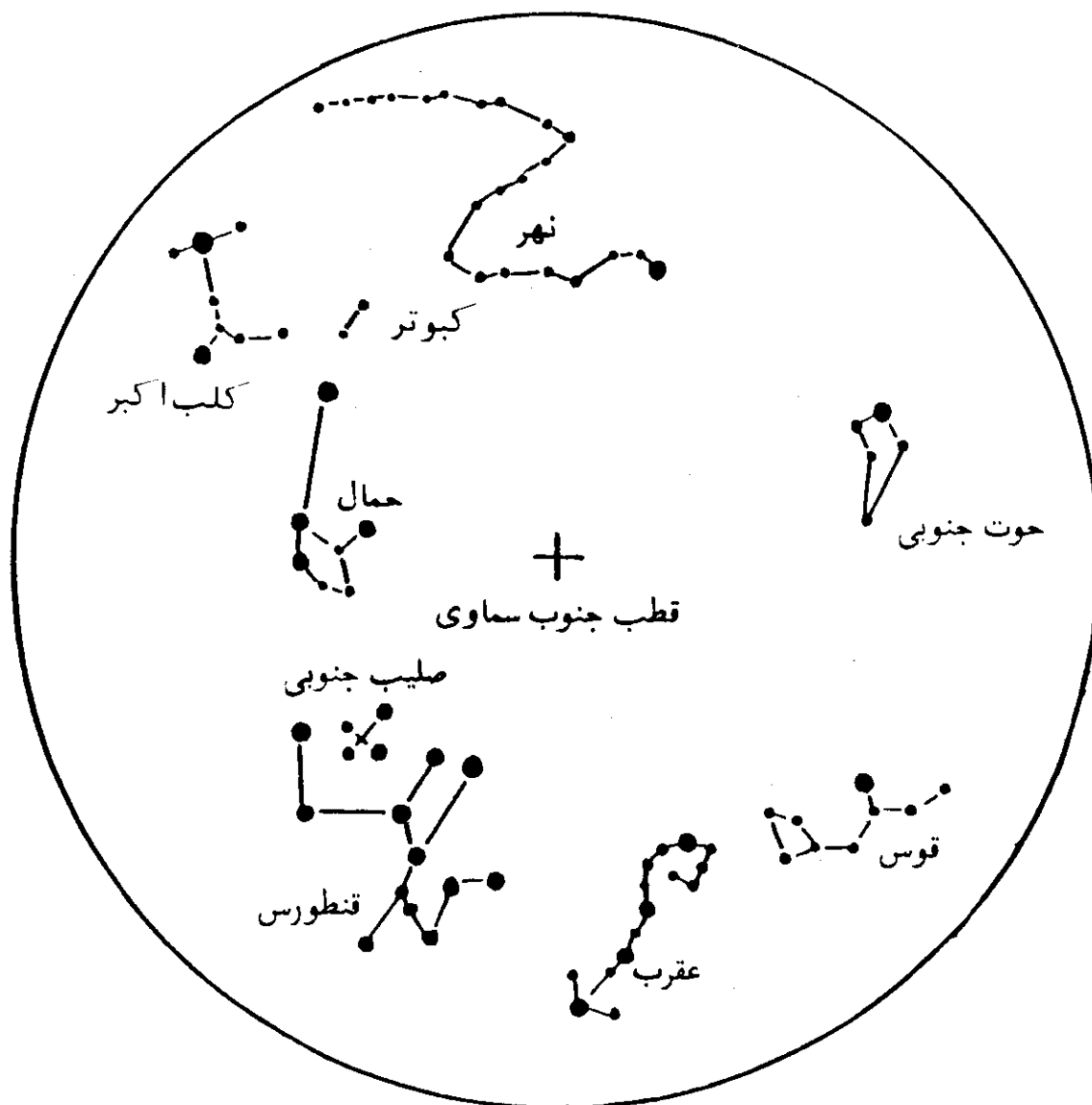
شکل (۲-۳۰) - حرکت ظاهری سالیانه دب اکبر

بنابراین با جمع تعداد حرکات ظاهری روزانه و سالیانه، می بینیم که در مدتی برابر $365/25$ روز، دب اکبر $366/25$ بار گردش ظاهری دارد. که $365/25$ بار آن، حرکت ظاهری روزانه، در اثر حرکت وضعی زمین و یک بار آن، حرکت ظاهری سالانه، در نتیجه حرکت انتقالی آن است.

با آنچه که بیان شد می بینیم که وضعیت دب اکبر همیشه در یک جای آسمان، ثابت نیست. آشنایی با حرکات ظاهری دب اکبر، ما را، در، یافتن آن کمک خواهد کرد.

در نتیجه استفاده از صورت فلکی دب اکبر، ستاره قطبی، بسادگی پیدا می شود. لذا اگر در یک زمین هموار روبروی این ستاره، طوری بایستیم که مستقیماً به جلو و

به طرف آن نگاه کنیم، جهت روبروی ما، جهت شمال جغرافیایی خواهد بود. این گونه جهت یابی اگرچه کاملاً دقیق نیست، اما در بسیاری از موارد، می تواند کارساز باشد. آنچه که تا بحال گفته شد مربوط به نیمکره شمالی زمین بود یعنی این فقط در نیمکره شمالی است که ستاره روشنی مانند ستاره قطبی، در فاصله خیلی نزدیک به قطب شمال سماوی، قابل رؤیت است. چنانچه در شکل (۲-۳۱) می بینیم، در نزدیکی قطب



شکل (۲-۳۱) - ستارگان دور قطبی جنوبی. در نزدیکی قطب جنوب سماوی هیچ ستاره روشنی وجود ندارد.

جنوب سماوی هیچ ستاره روشنی وجود ندارد. سه صورت فلکی زیبا، آسمان نیمکره جنوبی را می آرایند. کارینا^۱ (حما، شاه تخته، باربر) یکی از این سه صورت است،

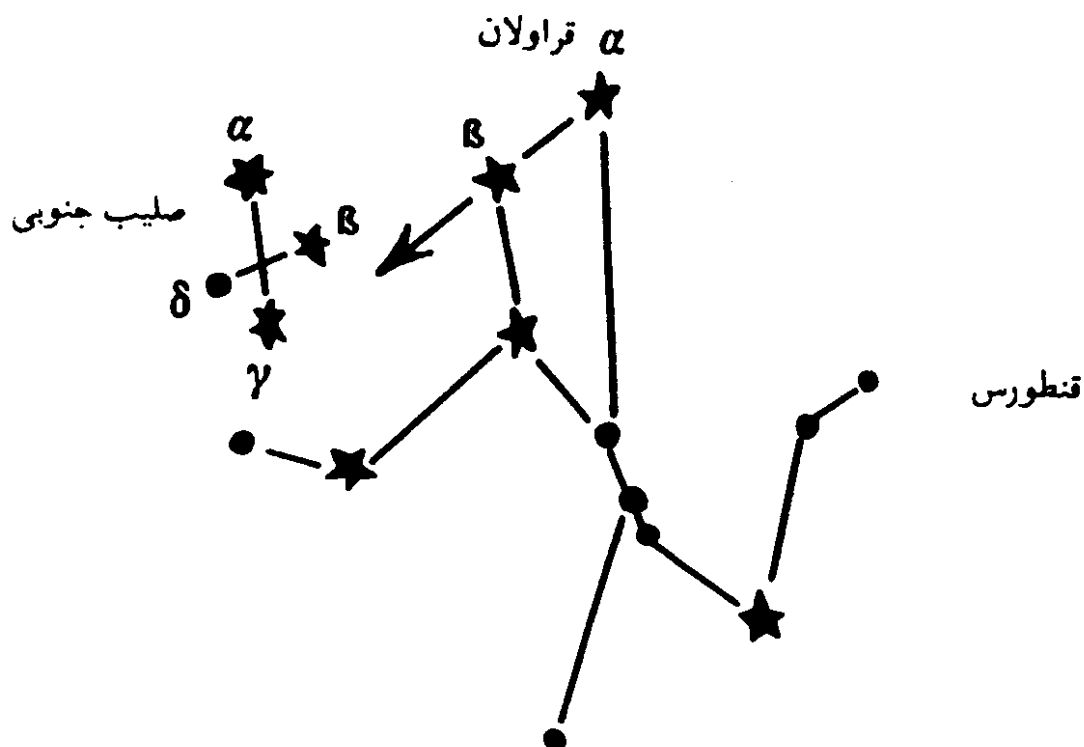
1. South Celestial Pole 2. Carina (The Ship's Keel)

صلیب جنوبی^۱، صورت دیگری است که سخت مورد توجه اهالی نیمکره جنوبی است. صورت سوم قنطورس^۲ است (این اسم دارای ریشه لاتین و یونانی است و از نام حیوانی افسانه‌ای^۳ که نیم تنه بالای او بشکل انسان و نیم تنه دیگر بشکل اسب بوده، گرفته شده است).

این ستارگان برای رصد کنندگان عرضهای جغرافیایی میانه، در نیمکره شمالی، همیشه زیر افق قرار دارند و در نتیجه، قابل رؤیت نیستند. آنها از نیم کره جنوبی زمین دیده می‌شوند و به ستارگان دور قطبی جنوبی^۴، موسومند. بهترین جا برای رصد کردن آنها، استرالیا، آفریقای جنوبی و آمریکای جنوبی است.

از میان سه صورت فلکی ذکر شده، فقط دو صورت صلیب و حمل می‌تواند در جهت یابی مورد استفاده قرار بگیرند:

نزد دریانوردان سراسر جهان α (آلفا) - قنطورس با نام رِجل قنطورس (پای قنطورس) شهرت دارد. بفاصله چند درجه از α (آلفا) - قنطورس، β (بتا) - قنطورس، واقع است. این دو ستاره، قراولان نیمکره جنوبی اند. مطابق شکل (۲-۳۲)، خطی که



شکل (۲-۳۲) - قراولان نیمکره جنوبی. چون خط واصل α و β ادامه یابد، به شمالی‌ترین ستاره صلیب جنوبی می‌رسد.

1. Crux (The Southern Cross)

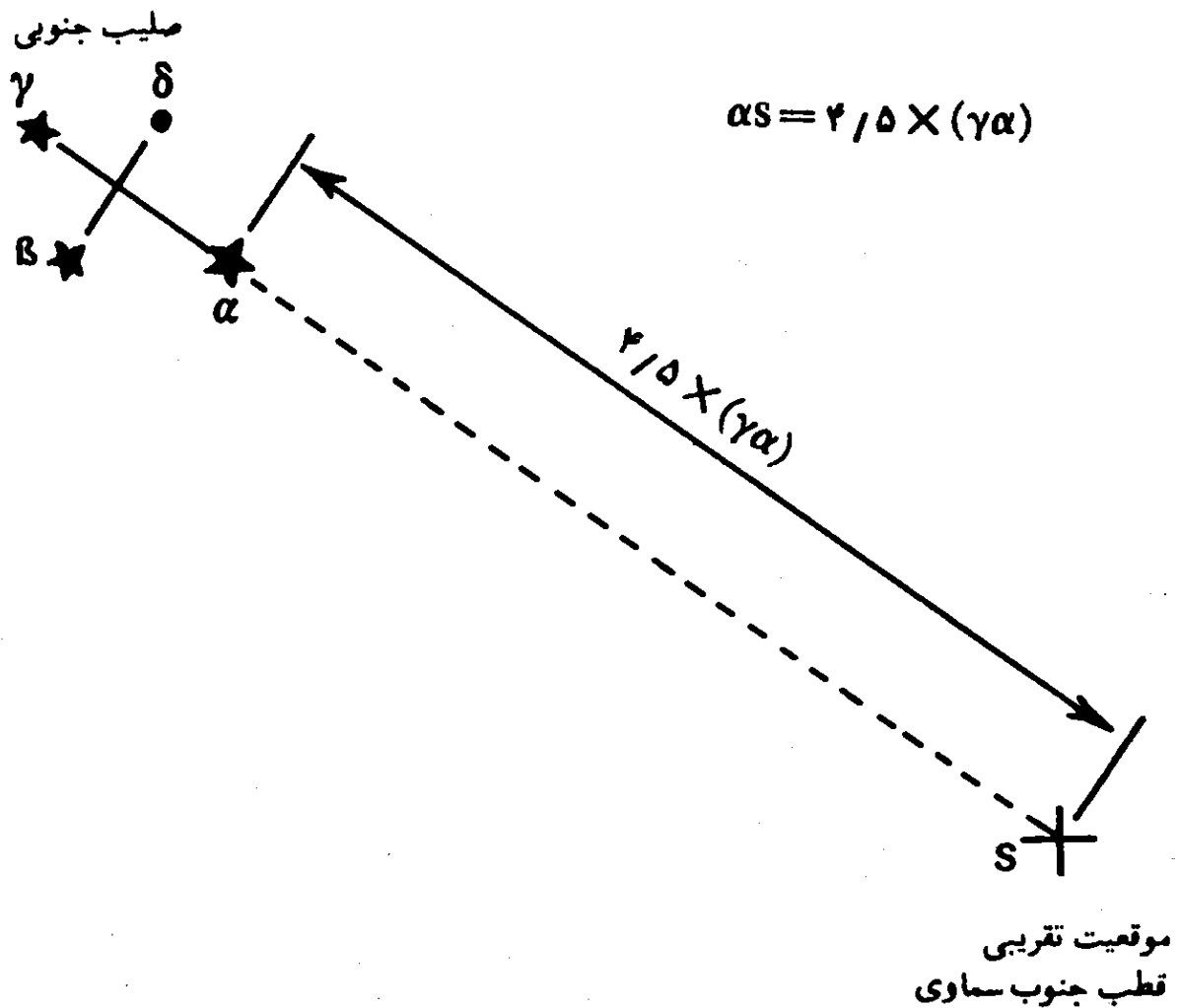
2. Centaurus

3. Centaur

4. South Circumpolar Star

از α و β می گذرد به شمالی ترین ستاره صلیب جنوبی اشاره می کند. بدین ترتیب جهت شمالی صلیب جنوبی مشخص می گردد.

در مرحله بعد، صلیب جنوبی می تواند به سهولت برای پیدا کردن حدود قطب جنوب سماوی، مورد استفاده قرار گیرد. چنانکه مطابق شکل (۲-۳۳)، فاصله میان α (آلفا) - صلیب جنوبی و γ (گاما) - صلیب جنوبی را باندازه چهارونیم برابر از ستاره α (آلفا) - صلیب جنوبی امتداد دهیم، محل تقریبی قطب جنوب سماوی، بدست خواهد آمد. لذا چنانکه در یک زمین هموار، روبروی محل قطب جنوب سماوی بایستیم و مستقیماً به جلو و سمت آن نگاه کنیم، جهت روبروی ما، جنوب جغرافیایی خواهد بود. علاوه بر این روش، در نیمکره جنوبی، می توان بسادگی از روی فازهای ماه نیز



شکل (۲-۳۳) - تعیین موقعیت تقریبی قطب جنوب سماوی با رصد صورت لکی صلیب جنوبی. اگر فاصله میان α (آلفا) - صلیب جنوبی و γ (گاما) - صلیب جنوبی را باندازه چهارونیم برابر از ستاره α (آلفا) - صلیب جنوبی امتداد داده شود، موقعیت تقریبی قطب جنوب سماوی در آسمان، مشخص می شود.

در شب، جهت یابی کرد که در مطلب بعدی چگونگی روش، ذکر شده است.

۸. جهت یابی بوسیله ماه

اهله قمر^۱ و یا صور ماه و همچنین وضعیتهای^۲ ماه نسبت به زمین و خورشید در فصل ششم شرح داده شده است.

می دانیم که ماه در اثر انعکاس نور خورشید می درخشد. بنابراین از قسمت روشن ماه می توان جهت تابش نور خورشید را معلوم کرد. اندکی بعد از ماه نو، باریکه روشنی از ماه بعد از غروب آفتاب، در قسمت غربی افق دیده می شود که به آن هلال ماه نو گویند. از مرحله هلال ماه نو به بعد، بتدریج بر پهنای قسمت روشن ماه افزوده می شود که در نتیجه، پس از عبور از مراحل تربیع اول و تثلیث، به مرحله ماه شب چهارده و یا بدر می رسد. از مرحله ماه نو تا بدر که در واقع نیمه اول ماه قمری است، مرحله روبه بدر نامیده می شود. در مرحله روبه بدر مواز قوس روشن ماه روبه مغرب است. بنابراین از مرحله هلال ماه نو تا مرحله بدر، می توان جهت مغرب را از روی ماه پیدا کرد. اما در خود مرحله بدر، جهت یابی از این طریق ممکن نیست، ولی با توجه به محل طلوع و یا غروب آن و همچنین دقت در مسیر حرکت ماه در آسمان، تا حدی می توان جهتها را نیز در این مرحله شناخت.

نیمه دوم ماه قمری، یعنی مراحل را که ماه پس از قرص کامل یا بدر، بسوی ماه نوطی می کند، مرحله محاق می نامند. در واقع عکس مرحله اول است. در مرحله محاق قوس روشن ماه در تمام مراحل، رو بسوی مشرق دارد. بنابراین در نیمه دوم ماه، از روی قوس روشن ماه می توان جهت مشرق را معلوم کرد. در مرحله ماه نو، قرص ماه در آسمان دیده نمی شود. لذا این روش جهت یابی، موردی پیدا نمی کند.

بنابراین با توجه به قرص ماه، بسادگی می توان جهت مغرب را در نیمه اول ماه و جهت مشرق را در نیمه دوم ماه بطور تقریب مشخص کرد. این روش، بخصوص در نیمکره جنوبی، که ستاره روشنی در محل قطب جنوب سماوی وجود ندارد، می تواند بسادگی برای جهت یابی در شب، بکار گرفته شود.

۹. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی از راه محاسبه سمت خورشید

قبلا در مطلب شماره (۲) و (۳) در این فصل، چگونگی تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در لحظه ظهر خورشیدی بیان شد. روشی که در اینجا بیان می شود؛ در هر وقت روز، بشرط تابش آفتاب، قابل اجراست.

سمت خورشید و یا هرستاره ای، در فصل ششم کتاب تعریف شده است. اگر خطی که ناظر را به خورشید وصل می کند بر صفحه افق تصویر کنیم، زاویه ای که خط تصویر شده با امتداد جنوب جغرافیایی می سازد، سمت خورشید نامیده می شود. با توجه به امتداد جنوب جغرافیایی، زاویه حاصل، ممکن است بطرف مشرق و یا مغرب باشد. سمت خورشید را می توان برای هر ساعتی از هر روز معین با استفاده از فرمولهای زیر، محاسبه کرد:

$$\tan A = \frac{\tan h \cos N}{\sin(\varphi - N)} \quad (2-1)$$

که مقدار پارامتر N، خود از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$\tan N = \frac{\tan \delta}{\cos h} \quad (2-2)$$

در این دو فرمول مقادیر δ ، h و A به شرح زیر است:

δ = میل خورشید بر حسب درجه

h = زاویه ساعتی^۲ خورشید بر حسب درجه

φ = عرض جغرافیایی محل ناظر، بر حسب درجه

A = سمت خورشید نسبت به جنوب جغرافیایی، بر حسب درجه

گاهی زمان، بجای ساعت، بر حسب درجه، بیان می شود؛ بطوری که هر ۲۴ ساعت برابر ۳۶۰ درجه و در نتیجه، هر ساعت برابر ۱۵ درجه می شود. در این گونه موارد است که زاویه ساعتی، مصداق پیدا می کند. در مورد خورشید، مبنای مقایسه، لحظه ظهر خورشیدی است که زاویه ساعتی در این لحظه، برابر صفر است. در ساعت یک بعد از ظهر به وقت شمسی حقیقی، زاویه ساعتی خورشید، برابر ۱۵ درجه و در ساعت دو بعد از ظهر، برابر ۳۰ درجه است. در ساعت ۱۰ و ۱۱ صبح بوقت شمسی حقیقی

زاویه ساعتی خورشید نیز به ترتیب برابر ۳۰ و ۱۵ درجه است. وقت شمسی حقیقی همان پارامتر (LAT)، در فرمول (۱-۳) است، که در فصل اول، بیان گردید. بنابراین زاویه ساعتی خورشید، از تبدیل وقت شمسی حقیقی به درجه زاویه ای، بدست می آید. در جدول (۲-۱)، اوقات قبل و بعد از ظهر به وقت شمسی حقیقی بر حسب زاویه ساعتی داده شده است.

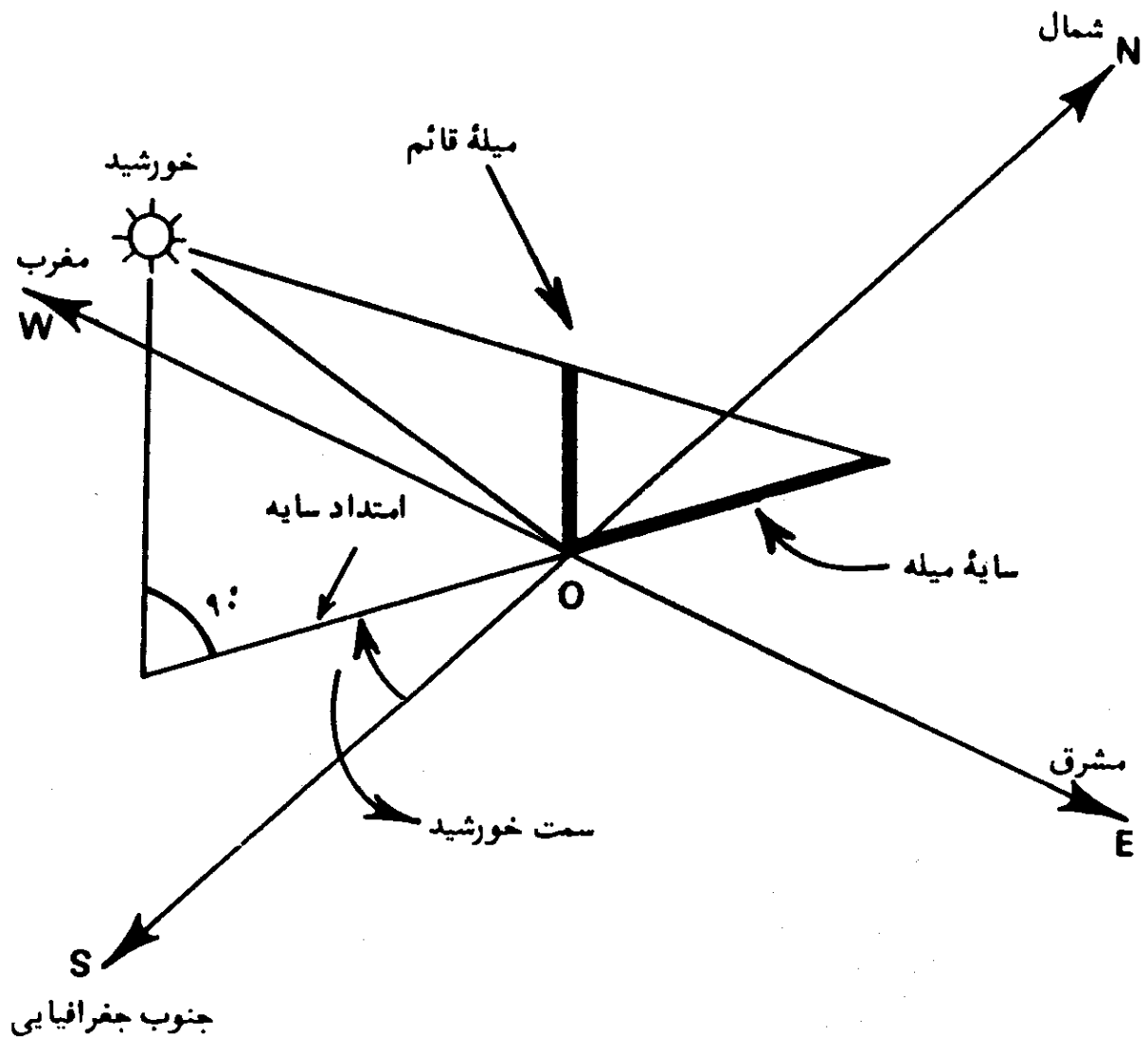
وقت ساعت خورشیدی قبل از ظهر		زاویه ساعت خورشیدی بر حسب درجه		وقت ساعت خورشیدی بعد از ظهر	
ساعت	دقیقه	درجه	دقیقه	ساعت	دقیقه
۱۲	۰	۰	۰	۱۲	۰
۱۱	۳۰	۷	۳۰	۱۲	۳۰
۱۱	۰	۱۵	۰	۱	۰
۱۰	۳۰	۲۲	۳۰	۱	۳۰
۱۰	۰	۳۰	۰	۲	۰
۹	۳۰	۳۷	۳۰	۲	۳۰
۹	۰	۴۵	۰	۳	۰
۸	۳۰	۵۲	۳۰	۳	۳۰
۸	۰	۶۰	۰	۴	۰
۷	۳۰	۶۷	۳۰	۴	۳۰
۷	۰	۷۵	۰	۵	۰
۶	۳۰	۸۲	۳۰	۵	۳۰
۶	۰	۹۰	۰	۶	۰
۵	۳۰	۹۷	۳۰	۶	۳۰
۵	۰	۱۰۵	۰	۷	۰
۴	۳۰	۱۱۲	۳۰	۷	۳۰
۴	۰	۱۲۰	۰	۸	۰

جدول (۲-۱) - زاویه ساعتی خورشیدی از ساعت ۴ صبح تا ۸ بعد از ظهر به وقت شمسی حقیقی

مراحل کار بدین ترتیب است که برای ساعت معینی از روز، وقت معادل را بر حسب وقت شمسی حقیقی، برای نصف النهار محل حساب می کنیم. - این بدان معنی

است که علاوه بر عرض جغرافیایی محل، که برای فرمولهای مذکور مورد نیاز است، می بایست طول جغرافیایی محل را نیز بدانیم. سپس وقت شمسی حقیقی بدست آمده را به شرحی که گذشت و یا با استفاده از جدول (۱-۲) به زاویه ساعتی تبدیل می کنیم. آنگاه میل خورشید را با استفاده از جدول (۱-۶) بدست آورده، سپس سمت خورشید را از فرمولهای داده شده محاسبه می کنیم. مرحله بعدی، این خواهد بود که مطابق شکل (۲-۳۴)، دقیقاً در ساعت معین شده، از امتداد سایه یک میله عمودی (یا نخ شاقول) بر یک صفحه افقی، زاویه سمت محاسبه شده را جدا کرده، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی را بدست آوریم.

از مزایای این روش اینست که تصحیحات مربوط به اختلاف منظر و شکست نور خورشید در اتمسفر، اثری در نتیجه این روش، ندارد. همچنین می توان فرض کرد که سایه ایجاد شده، در زمان معین شده، از مرکز خورشید، ناشی گشته است. دقت



شکل (۲-۳۴) - مشخص کردن امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از سمت خورشید.

روش، بستگی به دقت در عمود بودن میله و مشخص کردن دقیق امتداد سایه در زمان معین شده را دارد. نکته دیگر اینکه ممکن است، در محلی امتداد شاقول از مرکز زمین نگذرد. چگونگی اثر این پدیده در فصل هشتم کتاب، بر خواننده آشکار خواهد شد.

برای روشن شدن امر، به ذکر مثالی می پردازیم:

مثال (۲-۲): سمت خورشید را در ساعت ۹ صبح به وقت رادیوایران در روز بیست و دوم مهرماه در نقطه‌ای در تهران با طول جغرافیایی $39^{\circ} 25' 51''$ و عرض جغرافیایی $43^{\circ} 35'$ محاسبه کرده، سپس با توجه به نتیجه محاسبه، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل را مشخص کنید.

راه حل: اول باید حساب کنیم، آنگه که مطابق وقت استاندارد ایران، ساعت ۹ صبح است، به وقت شمسی حقیقی، در محل، چه ساعتی است. برای این کار، از فرمولهای (۱-۳) و (۱-۴) استفاده می کنیم. در اینجا هم مانند مثال (۱-۲)، نصف النهار محل، در مغرب نصف النهار استاندارد ایران است. لذا علامت LA منفی است. طول جغرافیایی و اندازه تعدیل زمان، همان مقادیر مثال (۱-۲) است. در نتیجه خواهیم داشت:

$$LAT = 9 + 13/78333 - LA$$

$$LA = 4 \times (52/5 - 51/4275) = 4/29 \text{ دقیقه}$$

$$LAT = 9 + 13/78333 - 4/29$$

ساعت شمسی حقیقی $8/8417778 = 30/4$ ثانیه و 50 دقیقه و 8 ساعت $LAT =$ حال می بایست این ساعت را به زاویه ساعتی تبدیل کرد و چون ظهر شمسی حقیقی مبنای کار است، پس: زاویه ساعتی خورشید در ساعت ۹ صبح برابر $47^{\circ}/373333 = (12 - 8/8418) \times 15^{\circ}$ است. مقدار میل خورشید در روز بیست و دوم مهرماه (چهاردهم اکتبر) از جدول (۱-۶) برابر $55'$ و $\delta = -7^{\circ}$ است. بنابراین با استفاده از فرمول (۲-۲) خواهیم داشت:

$$\tan N = \frac{\tan(-7^{\circ}/9167)}{\cos(47^{\circ}/37333)} = -0/02533$$

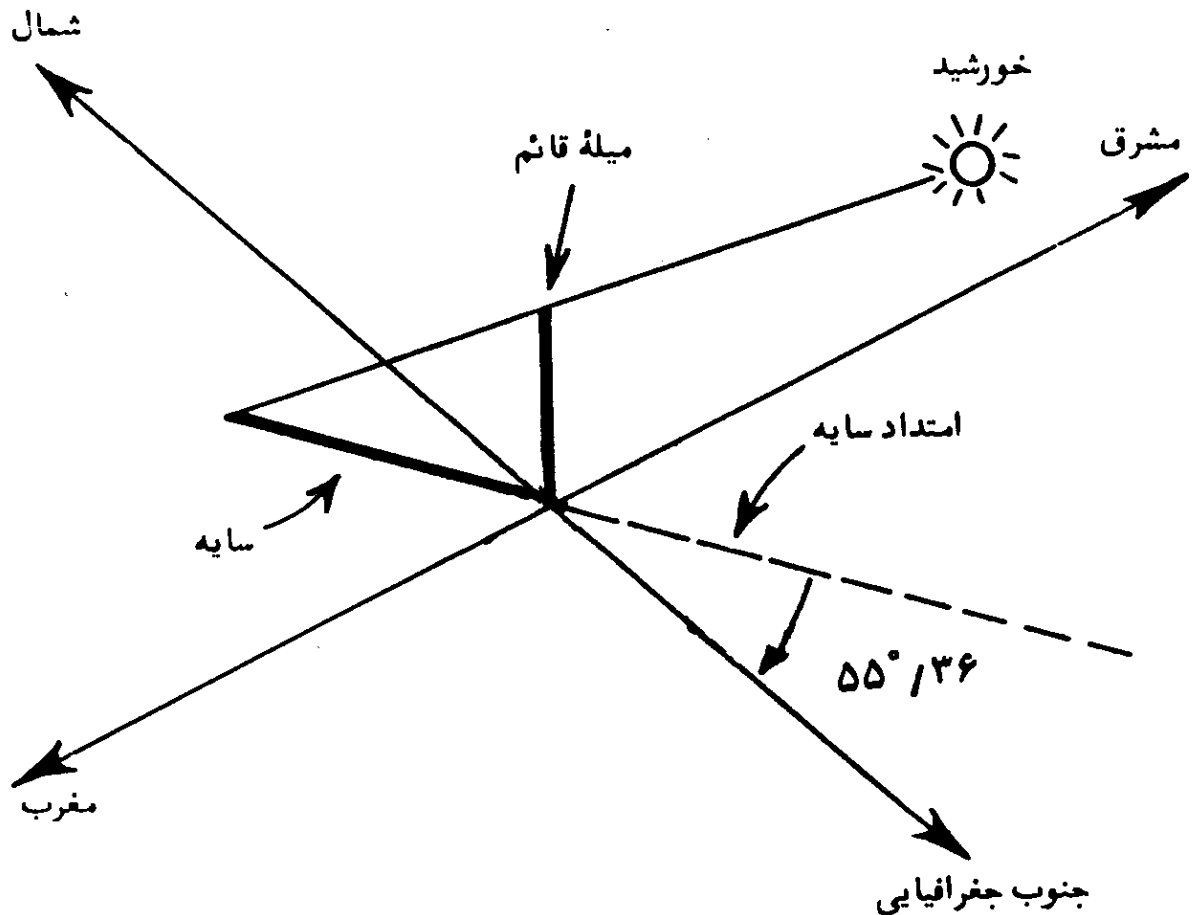
$$N = -11^{\circ}/603651$$

سپس از فرمول (۲-۱) مقدار سمت را محاسبه می‌کنیم:

$$\tan A = \frac{\tan(۴۷^\circ/۳۱۰۸) \cos(-۱۱^\circ/۶۰۳۶)}{\sin(۳۵^\circ/۷۱۶۷ + ۱۱^\circ/۶۰۳۶)} = ۱/۲۴۷۷$$

$$A = ۵۵^\circ/۳۶$$

این زاویه‌ای است که خورشید تصویر شده بر سطح افق، با امتداد جنوب جغرافیایی می‌سازد. در آخرین مرحله، مطابق شکل (۲-۳۵) سایه یک میله قائم را در رأس ساعت ۹ صبح ۲۲ مهر ماه مشخص می‌کنیم. سپس خط سایه را در جهت خلاف سایه، بطرف جلو امتداد داده و از پای میله عمودی بطرف مغرب، زاویه‌ای برابر $۵۵^\circ/۳۶$ جدا می‌کنیم، ضلع بدست آمده، امتداد جنوب جغرافیایی است.



شکل (۲-۳۵) - تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، نقطه‌ای در تهران

۱۰. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی^۱

علاوه بر لحظه ظهر شرعی، وقت مناسب دیگر برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی است. صفحه دایره نصف النهار اصلی بر صفحه نصف النهار سماوی عمود بوده و از سمت الرأس ناظر و نقاط مشرق و مغرب جغرافیایی عبور می کند. بنابراین امتداد سایه یک میله قائم در لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی، امتداد مشرق-مغرب جغرافیایی را مشخص خواهد کرد. خورشید در طول روز دوبار، یکی قبل از ظهر و دیگری بعد از ظهر، از سطح نصف النهار اصلی یک محل، عبور می کند و لذا در هر روز می توان در صبح و یا بعد از ظهر این روش را بکار گرفت (فقط نیمی از سال).
لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار یک محل از فرمول زیر محاسبه می گردد:
اثبات این فرمول در فصل ششم داده شده است.

$$\cosh = \tan \delta \cot \varphi \quad (2-3)$$

چنانکه از این فرمول پیداست، با دانستن میل خورشید و عرض جغرافیایی محل، زاویه ساعتی لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی محل محاسبه می شود. سپس زاویه ساعتی محاسبه شده با استفاده از جدول (۱-۲) به وقت شمسی حقیقی تبدیل و آنگاه وقت بدست آمده را با استفاده از فرمول (۳-۱) به وقت استاندارد و یا رسمی تبدیل می کنیم. در نهایت، درست در وقت رسمی محاسبه شده، سایه یک میله قائم را مشخص می کنیم. امتداد سایه، جهت مغرب-مشرق جغرافیایی محل است که بر جهت شمال جنوب جغرافیایی عمود است.

برای روشن تر شدن روش، به ذکر مثالی مبادرت می کنیم:

مثال (۲-۳) - لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی در تاریخ و محل داده شده در مثال (۲-۲) را محاسبه کنید.

راه حل - با استفاده از رابطه (۲-۳) خواهیم داشت:

$$\cosh = \tan(-7^\circ/9167) \cot(35^\circ/7167)$$

$$\cosh = -0.1934$$

$$h = 101^\circ/15$$

$$h = \frac{101^\circ/15}{15^\circ} = 6/74 \text{ ساعت}$$

بنابراین در ساعت ۶/۷۴ بعد از ظهر و ۵/۲۶ صبح (۶/۷۴-۱۲) به وقت شمسی حقیقی، خورشید از سطح نصف النهار اصلی محل عبور خواهد کرد. اما بنظر می رسد که در این وقت و تاریخ، خورشید در ساعتهای فوق الذکر غروب کرده و یا هنوز طلوع نکرده باشد. کنترل این مطلب، از فرمول زیر که زاویه ساعتی غروب و یا طلوع خورشید را نشان می دهد، ممکن است. این فرمول نیز در فصل ششم کتاب، ذکر شده است.

$$\cosh = -\tan\delta \tan\varphi \quad (2-4)$$

و زاویه ساعتی طلوع و یا غروب خورشید در این مثال، خواهد شد:

$$\cosh = -\tan(-7^\circ/9167)\tan(35^\circ/7167)$$

$$\cosh = -0/09998 \quad h = 95^\circ/74$$

$$h = \frac{95^\circ/74}{15^\circ} = 6/38 \quad \text{ساعت غروب به وقت شمسی حقیقی}$$

$$12 - 6/38 = 5/62 \quad \text{ساعت طلوع به وقت شمسی حقیقی}$$

حدس ما، درست بود و بدین ترتیب در تاریخ مربوط، خورشید قبل از طلوع و بعد از غروب، از سطح نصف النهار اصلی محل مورد نظر می گذرد. بنابراین بکاربردن این روش، در این تاریخ، ممکن نیست. حال اگر به مطلب حرکت ظاهری روزانه خورشید و شکلهای مربوط، که در مطلب شماره (۶) در این فصل داده شد، برگردیم، بسادگی درمی یابیم که کاربرد این روش فقط در نیمی از سال در فصلهای بهار و تابستان، ممکن است و در نیمی دیگر، خورشید در طول روز، سطح نصف النهار اصلی را قطع نمی کند. حال به ذکر مثالی برای تاریخ دیگری که عمل، به این روش، امکان دارد، می پردازیم: مثال (۲-۴) - لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی، در محل داده شده در مثال (۲-۲) را برای روز ۲۱ فروردین ماه تعیین کنید.

راه حل - در روز ۲۱ فروردین ماه (دهم آوریل) اندازه میل خورشید از جدول (۱-۶) برابر $(+7^\circ 43')$ است. پس خواهیم داشت:

$$\cosh = \tan(7^\circ/717)\cot(35^\circ/717) = 0/1885$$

$$h = 79^\circ/14 \quad h = 5/2758 \text{ ساعت}$$

بنابراین در این تاریخ در ساعت ۵/۲۷۵۸ بعد از ظهر و ۶/۷۲۴۲ صبح، به وقت شمسی حقیقی، خورشید از سطح نصف النهار اصلی در این محل، عبور خواهد کرد. حال باید دید به وقت رادیو ایران، چه ساعتی خواهد بود. در این روز، اندازه تعدیل زمان (ثانیه ۳۲ و دقیقه ۱-) است و با استفاده از فرمولهای (۱-۳) و (۱-۴) خواهیم داشت:

$$6/7242 = ST - 1/5333 - LA$$

$$LA = 4 \times (52^\circ/5 - 51^\circ/4275) = 4/29 \text{ دقیقه}$$

$$ST = 6/82123 \text{ ساعت بعد از ظهر}$$

لحظه عبور در بعد از ظهر به وقت رادیو ایران:

$$ST = 16/43 \text{ ثانیه و } 49 \text{ دقیقه و } 6 \text{ ساعت}$$

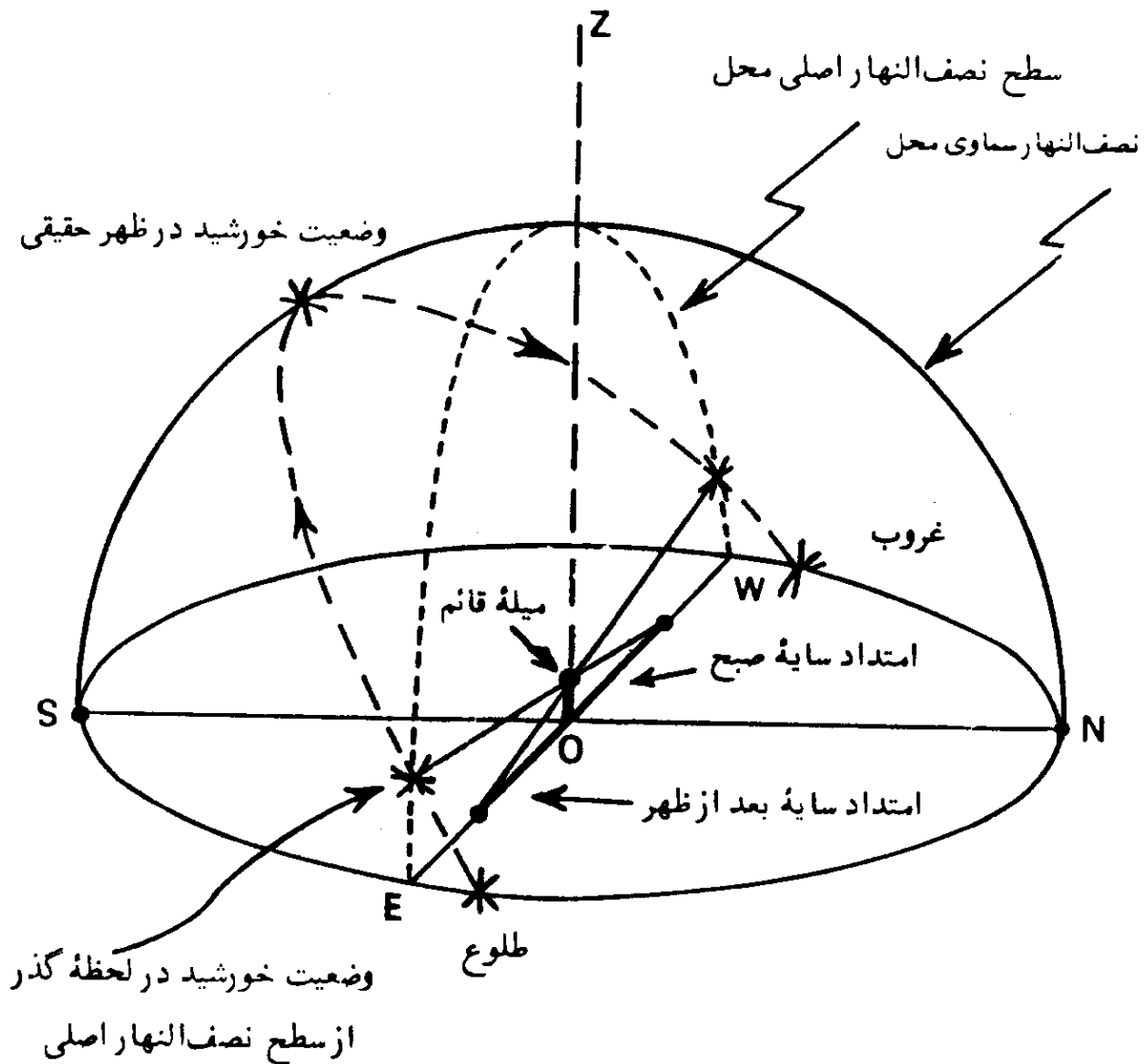
$$5/2758 = ST - 1/5333 - 4/29 \quad \text{همچنین در صبح:}$$

$$ST = 5/37288 \text{ ساعت صبح}$$

لحظه عبور در صبح به وقت رادیو ایران: ۲۲/۳۷ ثانیه و ۲۲ دقیقه و ۵ ساعت - ST
حال که اوقات عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی محاسبه شد، در مرحله آخر، درست در زمانهای محاسبه شده، مطابق شکل (۲-۳۶)، امتداد سایه یک میله قائم را بر روی یک صفحه کاملاً افقی مشخص می کنیم. امتداد سایه، هنگام صبح، سمت مغرب جغرافیایی و در بعد از ظهر، سمت مشرق جغرافیایی خواهد بود. بجای میله قائم، می توان از سایه یک دیوار و یا ستون قائم در محوطه نیز استفاده کرد.

در این روش چون امتداد سایه و یا در حقیقت سمت خورشید مورد استفاده قرار می گیرد، لذا تصحیح مربوط به شکست نور، اثری در نتیجه کار نخواهد داشت. مزیت دیگر این روش، درازتر بودن طول سایه، نسبت به لحظه ظهر خورشیدی است که در نتیجه، امتداد سایه با دقت بیشتری مشخص خواهد شد.

امتدادی که بدین ترتیب بدست می آید، بر امتدادی که در روش تعیین لحظه ظهر خورشیدی و یا طول سایه یک میله قائم مشخص می گردد، عمود است. لذا برای دقت بیشتر، می توان دو روش را در یک روز واحد بکار گرفته، صحت کار را سنجید.



شکل (۲-۳۶) - تعیین امتداد مشرق-مغرب جغرافیایی در تهران در لحظه عبور خورشید از سطح نصف النهار اصلی در روز ۲۱ فروردین ماه.

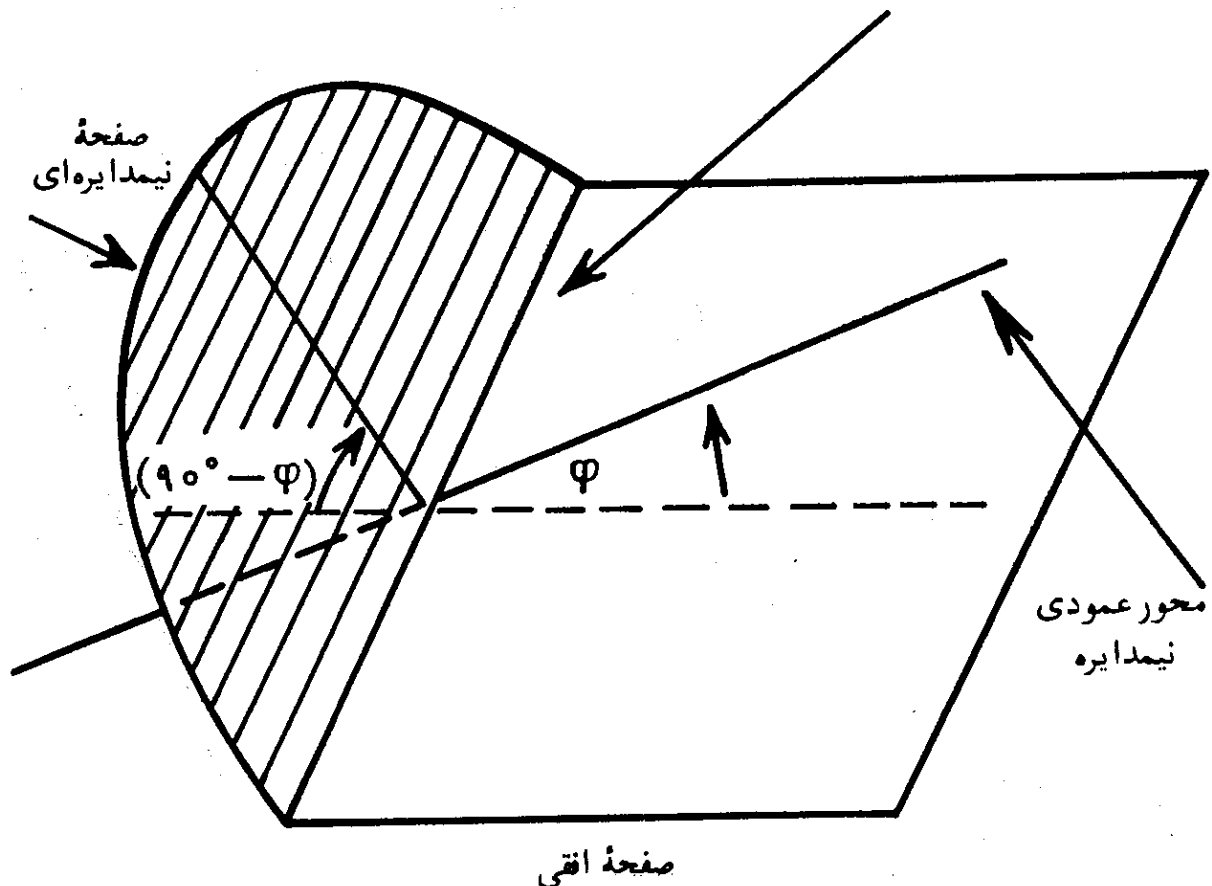
۱۱. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از سایه یک صفحه دایره‌ای شکل

اساس این روش به این صورت است که اگر صفحه‌ای دایره‌ای شکل را در محلی، موازی دایره استوا نگهداریم، بعبارت دیگر، اگر محور عمودی یک صفحه دایره‌ای شکل، موازی محور زمین باشد، لبه سایه صفحه دایره‌ای شکل، محور عمودی آن را در نقطه‌ای قطع می‌کند که در طول روز، جای آن بر روی محور عمودی، ثابت می‌باشد، شکل (۲-۳۷). محل این نقطه، بر روی محور عمودی صفحه دایره‌ای شکل، به تاریخ روز مربوط، بسته است. فاصله آن تا مرکز صفحه دایره‌ای شکل را

بود. اگر این وسیله، طوری بصورت افقی قرار گیرد که قطر آن در امتداد خط مشرق-مغرب جغرافیایی باشد، لبه سایه نیمدایره، محور قائم آن را در نقطه صحیح مورد نظر، بنحوی که در بالا اشاره شد، قطع خواهد کرد. برعکس اگر وسیله، بصورت صحیح قرار نگرفته یعنی قطر آن در امتداد خط مشرق-مغرب حقیقی نباشد، در نتیجه، صفحه نیمدایره‌ای، موازی صفحه دایره استوا نبوده و لبه سایه آن، محور عمودی آن را در نقطه صحیح مورد نظر قطع نخواهد کرد.

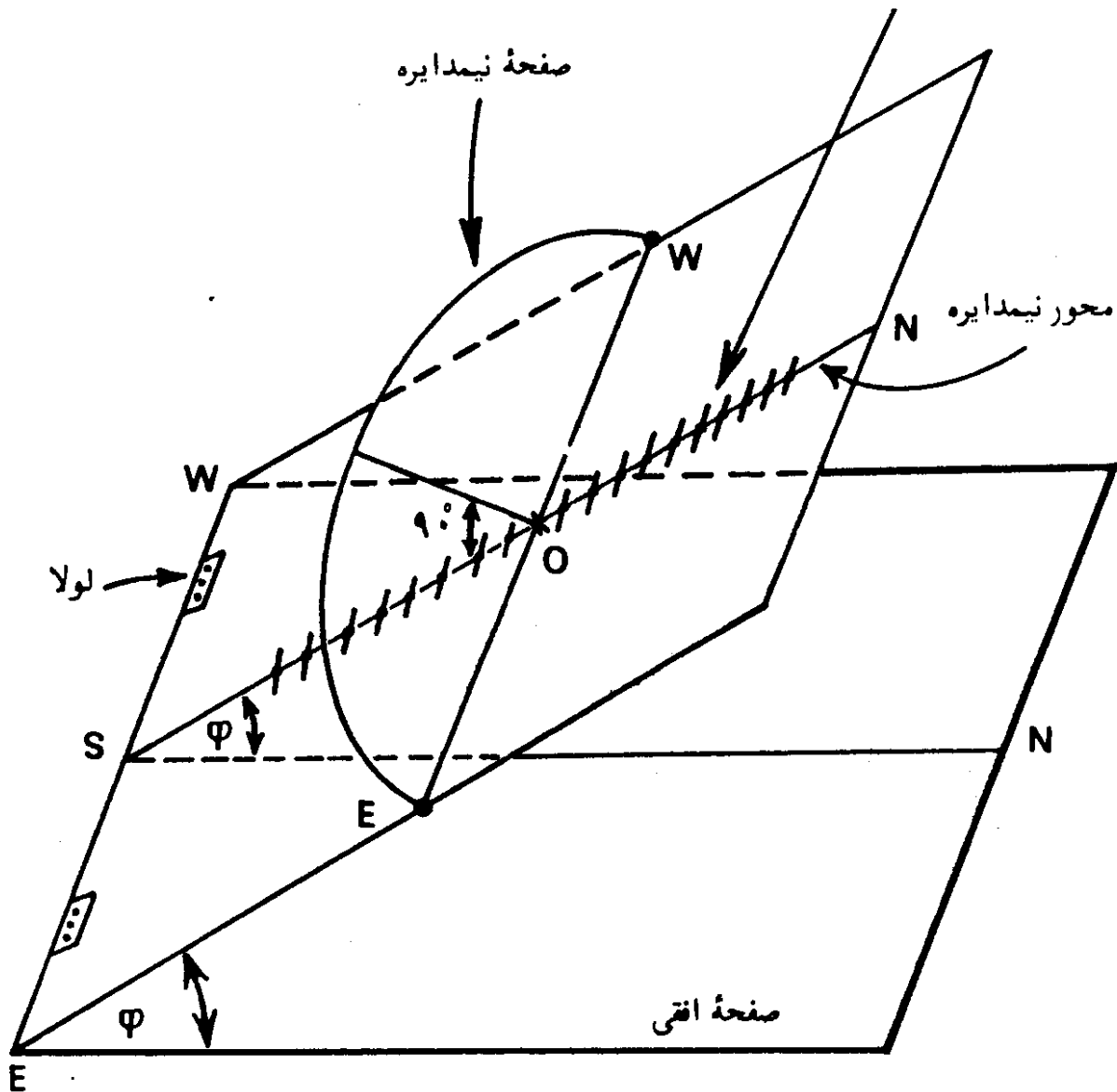
بنابراین از این وسیله می‌توان برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی استفاده کرد. بدین ترتیب که وسیله را بر روی یک صفحه افقی، آنقدر می‌چرخانیم که لبه سایه صفحه نیمدایره‌ای، محور عمودی آن را دقیقاً در نقطه صحیح با فاصله γ از مرکز نیمدایره که از فرمول (۲-۵) با توجه به اندازه میل خورشید در تاریخ روز آزمایش محاسبه می‌شود، قطع کند. در این صورت قطر صفحه نیمدایره، در امتداد خط مشرق-مغرب حقیقی و خط عمود بر آن، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی خواهد بود. شکل (۲-۳۸)، یک شمای ساده است و در آن صفحه‌ای که محور نیمدایره بر

قطر نیمدایره، امتداد خط مشرق مغرب حقیقی را مشخص می‌کند.



شکل (۲-۳۸) - شمای ساخت وسیله ساده برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی

روی آن رسم می‌گردد، نشان داده نشده است. چنین صفحه‌ای با صفحه افق، زاویه‌ای برابر با عرض جغرافیایی محل، می‌سازد که بر صفحه نیمدایره عمود است. محور عمودی نیمدایره را می‌توان بر این صفحه رسم کرده، محل دقیق نقطه‌هایی که لبه سایه، آن را در روزهای سال قطع می‌کند، بر روی آن درجه بندی کرد. این صفحه می‌تواند مطابق شکل (۲-۳۹)، حول لولایی حرکت کند که در نتیجه بتوان وسیله را برای عرضهای مختلف جغرافیایی بکار گرفت، چه مطابق فرمول (۲-۵)، طول فاصله γ تابع عرض جغرافیایی محل نیست. البته چنانکه در این شکل مشاهده می‌شود، درجه بندی مربوط به لبه سایه صفحه نیمدایره‌ای در دو طرف محور آن، نشان داده شده است. این بدان جهت است که شش ماه از سال (بهار و تابستان در نیمکره شمالی) خورشید بر بالای صفحه نیمدایره‌ای تابیده و شش ماه دیگر بر زیر آن خواهد تابید، چه، صفحه درجه بندی نقاط تقاطع لبه سایه صفحه نیمدایره‌ای با محور آن در روزهای مختلف سال.



شکل (۲-۳۹) - شمای ساخت وسیله ساده برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در عرضهای جغرافیایی مختلف.

نیم‌دایره‌ای به موازات صفحه دایره استوای زمین است. در روز اول بهار و پاییز خورشید بر امتداد صفحه، قرار گرفته و لذا سایه آن بر روی خط EW خواهد افتاد. دقت این روش بستگی به دقت ساخت وسیله، و دقت در قراردادن آن دارد. همچنین این روش، در صورتی دقیقتر است که وسیله را صبح زود و یا قبل از غروب آفتاب بکار برد و در نزدیکیهای ظهر، دقت آن کمتر است. دقت این وسیله بشرطی که در چها ساعت وسط روز بکار نرود، می‌تواند در حدود یک درجه باشد. بنابراین چنین وسیله‌ای را می‌توان برای تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، بشرط دانستن عرض جغرافیایی محل، در هر مکانی بکار گرفت.

۱۲. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با استفاده از ساعت‌های خورشیدی^۱

چنانکه می‌دانیم یک ساعت خورشیدی وسیله‌ای است که وقت را بر اساس حرکت ظاهری روزانه خورشید تعیین می‌کند. بیشتر انواع مختلف ساعت‌های خورشیدی، دارای یک میله، دستک و یا تیغه‌ای به نام شاخص^۲ اند که بر روی صفحه‌ای مدرج نصب می‌شوند. سایه شاخص بر روی صفحه مدرج، حکم عقربه^۳ را دارد.

ساعت‌های خورشیدی وقت شمسی حقیقی^۴ محل را نشان می‌دهند و برای اینکه بتوان وقت نشان داده شده توسط آنها را به وقت رسمی تبدیل کرد، می‌بایست مطابق آنچه که قبلاً اشاره شد، تصحیحات مربوط به تعدیل زمان و اختلاف طول جغرافیایی را منظور داشت.

شاید ساعت خورشیدی، قدیمی‌ترین ابزار علمی^۵ باشد. تا قرن نوزدهم، معمول‌ترین وسیله سنجش وقت بود. با افزایش میزان دقت ساعت‌های مکانیکی و رواج وقت رسمی و یا استاندارد به مقیاسی وسیع در قرن نوزدهم، از ارزش عملی ساعت‌های خورشیدی کاسته شد، اما موارد استفاده آنها کاملاً از بین نرفت.

انواع ساعت‌های خورشیدی را می‌توان در دو دسته کلی، طبقه‌بندی کرد. دسته اول بر اساس تغییر ارتفاع خورشید در طول روز کار می‌کنند و به نام ساعت‌های خورشیدی ارتفاعی^۶ موسوم‌اند. ارتفاع خورشید در یک نقطه با عرض جغرافیایی مشخص، به میل خورشید و وقت روز، بستگی دارد و تغییر طول سایه یک شی، بعلت تغییرات ارتفاع خورشید است. بعضی از انواع ساعت‌های خورشیدی قابل حمل اند^۷ و شاید طبیعی است

1. Sundials 2. Gnomon 3. Pointer 4. Solar Apparent (Real) Time
5. Scientific Instrument 6. Altitude Dials 7. Portable Sundials

که در این گونه موارد از ساعت‌های خورشیدی ارتفاعی استفاده کرد. زیرا بهنگام کاربرد ساعت‌های خورشیدی ارتفاعی، نیازی به دانستن امتداد شمال و جنوب جغرافیایی، نیست. دسته دوم براساس سمت و یا زاویه ساعتی خورشید کار می‌کنند. این گونه ساعت‌ها را ساعت‌های خورشیدی جهتی^۱ می‌نامند. در این مورد، وقت از روی جهت سایه، بجای طول سایه، سنجیده می‌شود. کاربرد ساعت‌های خورشیدی قابل حمل از نوع جهتی، ساده نیست، چه، می‌بایست، قبل از بکار بردن آنها، به‌طریقی امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل تعیین گردد و ساعت دقیقاً در امتداد خط نصف‌النهار محل قرار داده شود.

این مطلب قبل از اختراع قطب‌نما، کار ساده‌ای نبود. در طول قرن‌های هیجدهم و نوزدهم، انواعی از ساعت‌های خورشیدی جهتی قابل حمل، که مجهز به قطب‌نما بودند، ساخته شد که قطعاً نمی‌شد از آنها انتظار دقت زیادی را داشت. کمی دقت این گونه ساعت‌ها، چنانکه قبلاً نیز اشاره شده، بعلت عدم انطباق همیشگی امتداد خط نصف‌النهار محل بر امتداد شمال و جنوب مغناطیسی و همچنین اصطکاک عقربه مغناطیسی قطب‌نما است. چه، در وقت نشان داده شده توسط این گونه ساعت‌ها، هیچگونه تصحیحی به‌منظور جبران انحراف مغناطیسی و همچنین اصطکاک عقربه آن صورت نمی‌گرفت.

این نقیصه با ترکیب دو ساعت خورشیدی که هر کدام براساس یکی از پارامتر-های ارتفاع، سمت و زاویه ساعتی خورشید، متکی بودند، مرتفع گردید. این نوع ساعت‌ها را ساعت‌های خورشیدی ترکیبی^۲ می‌نامند. در این صورت صفحه مشترک دو ساعت، در جای خود آنقدر چرخانده می‌شود تا وقت نشان داده شده توسط دو ساعت، یکی باشد. در این صورت ساعت خورشیدی ترکیبی، خود بخود، در امتداد خط نصف-النهار محل قرار می‌گیرد.

ساعت‌های خورشیدی را می‌توان در جهت یابی، بصورت‌های مختلف بکار برد. چون موضوع، از نظر یافتن قبله، دارای اهمیت تاریخی است، لذا فصل سوم کتاب به این مطلب اختصاص داده شده است و در اینجا، خواننده می‌تواند. شرح کامل روش را در فصل بعدی پیگیری کند.

البته کتاب دیگری به نام ساعت‌های خورشیدی، اصول و راهنمای ساخت، جلد اول. از همین مؤلف توسط انتشارات امیرکبیر بطبع رسیده که خوانندگان محترم

می‌توانند برای مطالعه بیشتر در مورد ساعتهای خورشیدی بطور کلی، به آن مراجعه کنند.

تا اینجای مطلب، روشهای متعددی برای یافتن امتداد شمال و جنوب جغرافیایی بیان شد که می‌تواند با اندکی دقت و صرف وقت توسط همه کس بسادگی قابل اجرا باشد. بد نیست در ادامه مطلب، به روشهای معمول در نجوم و نقشه‌برداری، اشاره مختصری داشته باشیم:

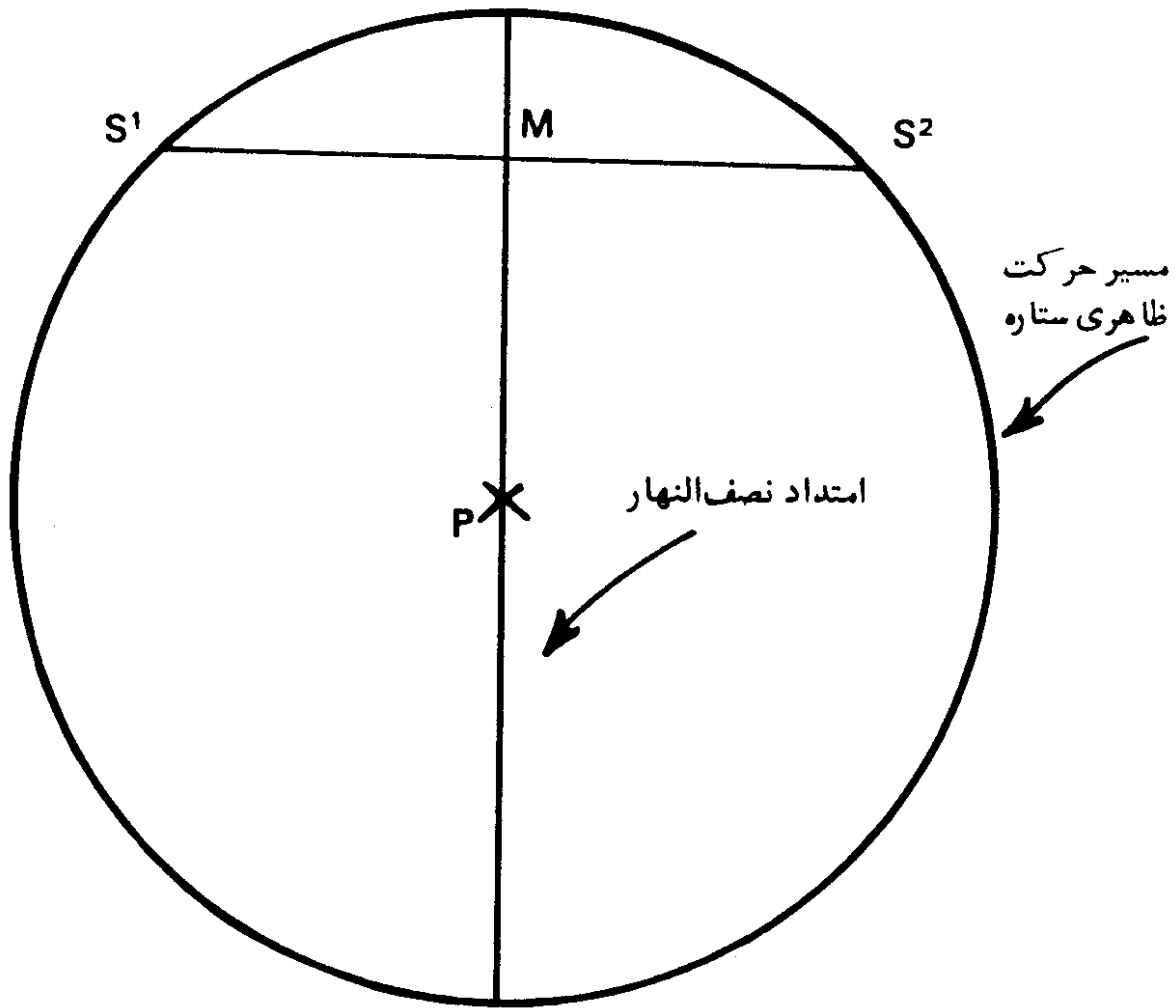
۱۳. تعیین امتداد قطب سماوی با رصد یک ستاره در ارتفاعهای برابر

ساده‌ترین روش تعیین امتداد قطب سماوی، شاید روش رصد یک ستاره در ارتفاعهای برابر باشد. در این روش، دانستن طول و عرض جغرافیایی و زمان محلی مکان مورد نظر، ضروری نیست. اما طول مدت رصد، که از چهار تا شش ساعت در شب به درازا می‌کشد، از معایب این روش است. بعلاوه، ممکن است میزان شکست نور ستاره در اتمسفر زمین، به مقدار قابل توجهی در طول مدت رصد تغییر کرده، در ارتفاع ستاره به اندازه غیر مشخصی اثر گذارد.

اگر در شکل (۲-۴۰)، نقطه P نشانه قطب سماوی باشد، دایره‌ای که به مرکز P رسم شده، نمایانگر مسیر حرکت ظاهری یک ستاره، به دور آن است. فرض کنید ارتفاع ستاره S در وضعیتی مانند S_1 با وسایل نجومی، اندازه‌گیری شود. حال اگر ناظر صبر کند و ارتفاع وسیله خود را تغییر ندهد، او دوباره همان ستاره را در وضعیت S_2 خواهد دید. واضح است که نقطه M، در وسط S_1 و S_2 ، بر صفحه قائمی که از قطب سماوی گذر می‌کند، قرار داشته، در نتیجه امتداد نصف‌النهار سماوی را مشخص خواهد ساخت.

اساس روش ذکر شده در مطلب شماره (۱) در این فصل، که امتداد نصف‌النهار جغرافیایی یک محل با اندازه‌گیری دو ارتفاع مساوی خورشید تعیین می‌شود، بر همین روش متکی است.

چنانکه ملاحظه شد، در این روش، ناظر، می‌بایست مدتی در انتظار بماند که دوباره همان ستاره را در همان ارتفاع قبلی مشاهده کند. لذا بعلاوه طول مدت رصد، روشهای مناسب دیگر، بکار گرفته می‌شوند.

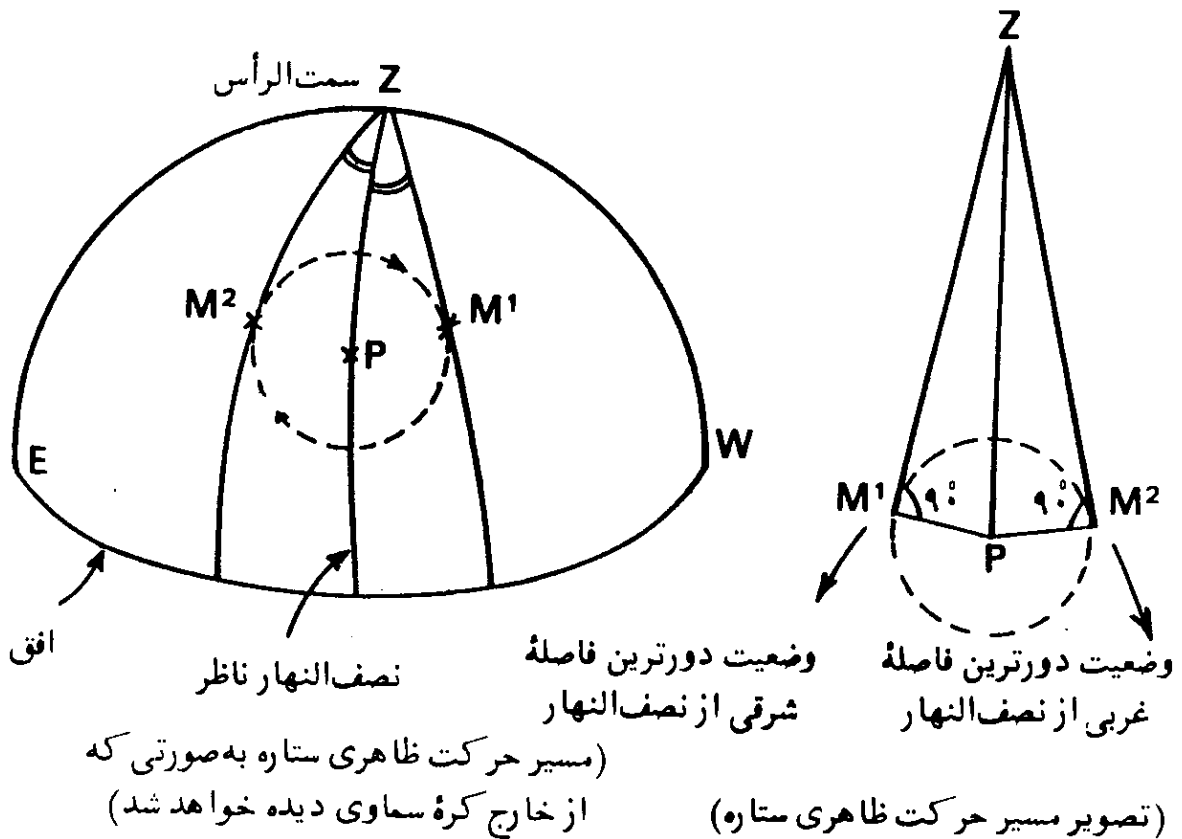


شکل (۲-۴۰) - تعیین امتداد نصف النهار با رصد یک ستاره در ارتفاعهای برابر

۱۴. تعیین امتداد قطب سماوی با رصد یک ستاره دور قطبی^۱ در وضعیت دورترین فاصله^۲ از نصف النهار سماوی مکان

یک ستاره دور قطبی، همیشه بالای افق است و بنابراین هیچوقت غروب نمی کند و مطابق شکل (۲-۴۱) ظاهراً مسیری دایره ای را به دور قطب سماوی طی می کند. چنانکه در این شکل مشاهده می شود، ستاره^۳ M در وضعیت های^۱ M_۱ و^۲ M_۲ دارای بیشترین فاصله از نصف النهار ناظر است. در حقیقت دایره های عمودی^۳ ستاره، در وضعیت های^۱ M_۱ و^۲ M_۲ با صفحه نصف النهار ناظر، بیشترین زاویه را می سازند. از این دو وضعیت خاص یکی در طرف مشرق^۴ و دیگری در طرف مغرب^۵ نصف النهار صورت می گیرد.

1. Circumpolar Star
2. Star at Elongation
3. Vertical Circles
4. Eastern Elongation
5. Western Elongation



شکل (۲-۴۱) - تعیین امتداد نصف النهار سماوی با رصد یک ستاره در دورترین فاصله از نصف النهار

در این روش، می بایست عرض جغرافیایی محل رصد معلوم باشد. سپس یک ستاره مناسب انتخاب گردد و از روی جدول نجومی میل ستاره تعیین شود. سپس با استفاده از فرمولهای مثلث نجومی^۱، سمت ستاره در وضعیت دورترین فاصله از نصف النهار ناظر، محاسبه شود. البته زمانی که ستاره در هر یک از دو وضعیت مذکور قرار می گیرد، محاسبه آن بسادگی، با استفاده از فرمولهای مربوط قابل انجام است. بنابراین در لحظه ای که ستاره در وضعیت دورترین فاصله قرار می گیرد، سمت آن معلوم بوده، در نتیجه با رصد ستاره در این وضعیت، امتداد نصف النهار سماوی معلوم می گردد. این روش گرچه بسیار دقیق و مناسب است، اما معایبی هم در بردارد که اهم آنها بقرار زیر است:

۱. تعداد ستارگان مناسب برای رصد در این روش محدودند.
۲. زمان رصد ستاره در لحظه بیشترین فاصله، می بایست قبلاً محاسبه شود.
۳. روش، برای مناطق نزدیک خط استوا مناسب نیست.

با این وجود، رصد لازم، در این روش ساده است و محاسبات مربوط نیز آسان و نتیجه کار هم دقیق می باشد.

۱۵. تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه تعیین زاویه ساعتی خورشید و یا یک ستاره

در این روش، سمت خورشید و یا یک ستاره، از راه تعیین زاویه ساعتی خورشید در لحظه ای که از سطح نصف النهار اصلی عبور کرده و یا در نزدیکی آن قرار می گیرد، بدست می آید. البته ارتفاع، اندازه گیری نمی شود و بنابراین خطای مربوط به شکست نور در اتمسفر زمین، وجود نخواهد داشت. برای انجام کار، به یک کرومومتر دقیق با میزان خطای معلوم، نیاز می باشد. بنابراین قبلا می بایست میزان خطای کرومومتر از راه مشاهدات نجومی تعیین شده باشد. لحظه دقیق رصد، توسط کرومومتر تعیین شده، سپس بعد ستاره و یا خورشید از جدول نجومی تعیین و با استفاده از رابطه های مربوط، زاویه ساعتی لحظه رصد محاسبه می شود. سپس با معلوم بودن عرض جغرافیایی محل، میل خورشید و یا ستاره و زاویه ساعتی، سمت خورشید و یا ستاره، محاسبه شده و بنابراین امتداد نصف النهار سماوی، بدست می آید.

این روش، گرچه آسان است و نتایج خوبی بدست می دهد، اما خطای کرومومتر، می بایست قبلا طی یک مشاهده نجومی دیگری معلوم شده باشد.

۱۶. تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه رصد ستاره قطبی و یا یک ستاره نزدیک به قطب^۱

دقیق ترین روش تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه رصد یک ستاره نزدیک به قطب و محاسبه سمت آن، صورت می گیرد. زمان دقیق هر رصد بوسیله کرومومتر تعیین شده، سپس زاویه ساعتی ستاره محاسبه می شود. آنگاه سمت ستاره از راه فرمولهای مثلث نجومی محاسبه می گردد. سمت ستاره های نزدیک قطب در حین رصد بمیزان بسیار کمی تغییر می کند و بنابراین خطای ناشی از اندازه گیری زمان، اثر کمی در سمت محاسبه شده، دارد. انتخاب ستارگان نزدیک قطب فقط برای کارهای دقیق صورت می گیرد. از آنجایی که ستاره قطبی (α (آلفا) - دب اصغر) روشنترین ستاره نزدیک به قطب

است، لذا این ستاره بر ستارگان دیگر ارجحیت دارد. ستاره قطبی، به قطب شمال سماوی بسیار نزدیک بوده، فاصله قطبی آن در حدود یک درجه و ۱۰ دقیقه است. مزیت این ستاره در این است که بعلت روشنتر بودن آن، می توان رصد را در تاریک روشن شامگاهی^۱ (فلق) به انجام رساند و دیگر نیازی به ایجاد روشنایی برای کار با ابزار نجومی نمی باشد.

در مقایسه با روش داده شده در مطلب شماره (۱۴) در این فصل، این روش، برتری دارد. چه، در اینجا، رصد ممکن است در هر وقتی صورت گیرد و نیازی به محاسبه وقت وضعیت بیشترین فاصله ستاره و انتظار برای وقوع آن، نیست.

۱۷. تعیین امتداد نصف النهار سماوی از راه رصد خورشید و یا یک ستاره در وضعیت خارج از نصف النهار^۲

این روش، گرچه بسیار مناسب است اما در کارهای بسیار دقیق، بکار گرفته نمی شود. در اینجا ارتفاع ستاره اندازه گیری شده، پس از تعیین میل ستاره و مشخص کردن عرض جغرافیایی محل، با استفاده از فرمولهای مثلث نجومی سمت آن محاسبه می شود. در اینجا می بایست ارتفاع اندازه گیری شده را برای خطای ناشی از شکست نور تصحیح کرد. میزان این خطا برای ستارگانی که در نزدیک افق هستند معلوم نیست و لذا می بایست ستاره ای را انتخاب کرد که ارتفاعش حداقل ۳۰ درجه باشد. همچنین رصد ستاره، باید در زمانی صورت گیرد که تغییرات ارتفاع آن زیاد و تغییرات سمت آن کم باشد. وضعیت مناسب برای رصد، در وقت عبور ستاره از سطح نصف النهار اصلی است، که اثر خطای ناشی شده از اندازه گیری ارتفاع، کمتر است.

در مورد رصد خورشید بعلت تغییرات بیشتر میل آن، می بایست وقت رصد نیز تعیین شده و در نتیجه، میزان دقیق میل خورشید با توجه به این وقت، از جدول نجومی تعیین شود. بعلاوه در مورد خورشید بعلت نزدیکی نسبی آن به زمین، در مقایسه با ستارگان، لازم است ارتفاع اندازه گیری شده را برای اختلاف منظر، نیز تصحیح کرد.

۱۸. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی با وسایل ژيروسکوپی

جهت یابی از راه روشهای نجومی، به آسمانی صاف نیاز دارد که بتوان ستارگان را در آن، رصد کرد. برای حالتی که روشهای قبلی، امکان کاربرد نداشته باشد، می توان از وسیله ای به نام جهت یاب ژيروسکوپی استفاده کرد. اساس کار این دستگاه بر مبنای دوران یک حلقه، حول محورش، استوار است که خود محور نیز حول نقطه ای از آن، آزادی دوران دارد. موقعی که حلقه با سرعت زیاد حول محورش به چرخش درآید، محور با گردش از چپ به راست یک مخروط دورانی را در فضا می پیماید. در مکانیک، ثابت شده است که حرکت مخروطی محور، نتیجه حرکت چرخشی زمین بوده و محور مخروط، بموازات محور زمین خواهد بود.

جهت یابی با ساعتهای خورشیدی

در مطلب شماره (۱۲) در فصل دوم، بطور مختصر، مطالبی در مورد کاربرد ساعتهای خورشیدی در جهت یابی، بیان شد. اما از نظر اهمیت مطلب، شرح کاملتر آن را در این فصل ملاحظه می کنید. با توجه به راهنماییهای ارائه شده در این فصل، می توان بسادگی یک قطب نمای خورشیدی ساخت. این مطلب دارای سابقه تاریخی است. چه، مسلمین از ترکیب دو ساعت خورشیدی برای یافتن جهت قبله، در قرن چهاردهم استفاده کرده اند.

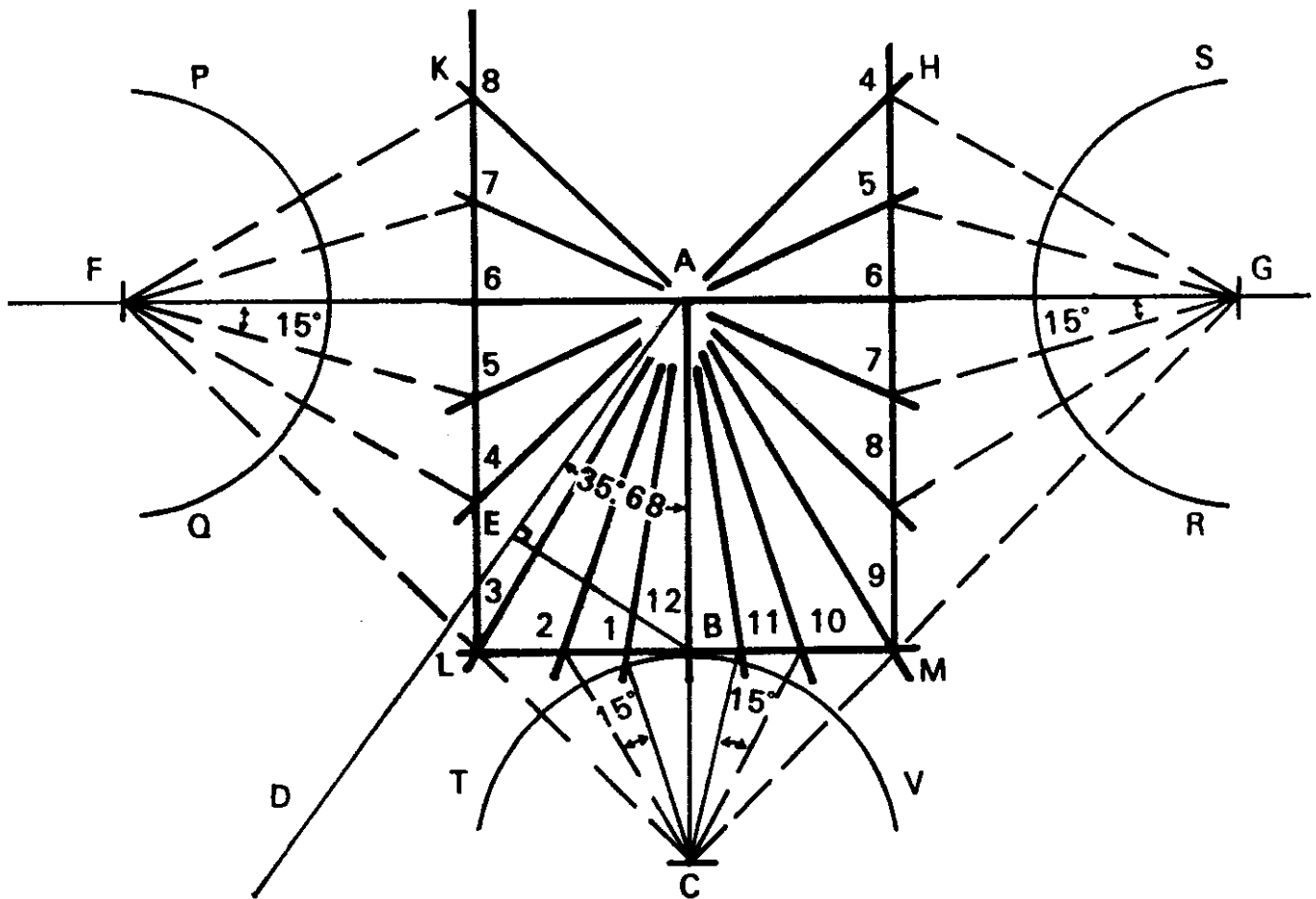
برای اینکه بتوان یک قطب نمای خورشیدی ساخت، می بایست طرز درجه بندی صفحه^۱ سه نوع ساعت خورشیدی را، که براساس ارتفاع، سمت و زاویه ساعتی خورشید، کار می کنند، دانست. چنانکه قبلا گفته شد، ساعتهایی که براساس ارتفاع خورشید کار می کنند، ساعتهای خورشیدی ارتفاعی و آنهایی که براساس سمت و یا زاویه ساعتی خورشید استوارند، ساعتهای خورشیدی جهتی، نامیده می شوند. از ترکیب دو نوع از سه نوع ساعت خورشیدی فوق الذکر، می توان قطب نمای خورشیدی ساخت. اما برای آنکه بتوان مطلب را بصورت دقیق مورد بررسی قرار داد، در ابتدا درجه بندی صفحه^۲ سه نوع ساعت خورشیدی برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی ($\varphi = 35^{\circ}41'N$) محاسبه و رسم می شود:

۱. درجه بندی صفحه^۲ ساعت خورشیدی افقی^۱

ساعتهای خورشیدی افقی براساس زاویه ساعتی خورشید کار می کنند. صفحه^۲

این ساعتها به موازات صفحه افق قرار داده می شوند. در شکل (۳-۱) درجه بندی این نوع ساعت، برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه شمالی نمایانده شده است. لبه شاخص^۱ این نوع ساعت خورشیدی بسوی قطب شمال سماوی قرار می گیرد. قاعده^۲ شاخص^۳ بر خط مربوط به ساعت دوازده ظهر خورشیدی منطبق است. خط مربوط به ساعت دوازده ظهر، که نشانه عبور خورشید از نصف النهار محل است، می بایست دقیقاً در امتداد خط نصف النهار جغرافیایی محل قرار گیرد. ارتفاع زاویه ای لبه شاخص^۳ از صفحه ساعت، برابر عرض جغرافیایی محل است. محل تقاطع خطوط درجه بندی صفحه ساعت به نام مرکز ساعت خورشیدی^۴ موسوم است.

درجه بندی صفحه این نوع ساعت خورشیدی به دو صورت ترسیمی و محاسباتی صورت می گیرد:



شکل (۳-۱) - درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی افقی با روش ترسیمی برای عرض جغرافیایی ۳۵/۶۸ شمالی.

۱-۱. روش ترسیمی

مراحل درجه بندی صفحه ساعت با روش ترسیمی بقرار زیر است:

۱. خط افقی FAG، که تشکیل خط ساعت ۶ صبح و ۶ بعدازظهر را می‌دهد،

رسم می‌شود.

۲. در نقطه A، خط AC عمود بر FAG رسم می‌گردد. این خط، تشکیل خط

ساعت ۱۲ ظهر را می‌دهد.

۳. خط AD بصورتی رسم می‌شود که با خط AC زاویه‌ای برابر با عرض

جغرافیایی محل بسازد $(\angle DAC = 35^\circ / 68)$.

۴. از نقطه B بر روی AC، خط BE عمود بر خط AD رسم می‌گردد.

۵. طول BC برابر طول BE انتخاب شده، سپس طولهای AG و AF برابر طول

AC جدا می‌گردند.

۶. از نقاط F و G خطوط FC و GC به نقطه C وصل می‌شوند. سپس از نقطه B

خطی به موازات خط FG رسم می‌شود. این خط FC را در نقطه L و GC را در نقطه M

قطع خواهد کرد. آنگاه از نقاط L و M، خطوط LK و MH به موازات AC رسم می‌گردند.

۷. به مراکز C، F و G و به شعاع برابر طول BC، کمانهای TV، PQ و RS

رسم می‌شوند.

سپس این کمانها مطابق شکل، به قطعات ۱۵ درجه‌ای تقسیم می‌گردند. آنگاه

از نقاط F، C و G خطوطی به نقاط بدست آمده بر روی کمانها، طوری وصل می‌شوند که

خطوط KL، LM و MH را قطع کنند. در مرحله بعد، نقطه A به نقاط بدست آمده بر روی

خطوط KL، LM و MH وصل می‌گردند. همچنین نقطه A به نقاط L و M نیز وصل می‌شود.

خطوط بدست آمده، تشکیل درجه بندی صفحه ساعت را می‌دهند.

می‌توان از تقسیم کمانهای TV، PQ و RS به قطعات کوچکتر، در فواصل بین

خطوط بدست آمده، خطوط مربوط به زمانهای کمتر از یک ساعت را نیز رسم کرد. چه،

کمان ۱۵ درجه‌ای معادل یک ساعت و در نتیجه، کمان ۷/۵ درجه‌ای معادل نیم

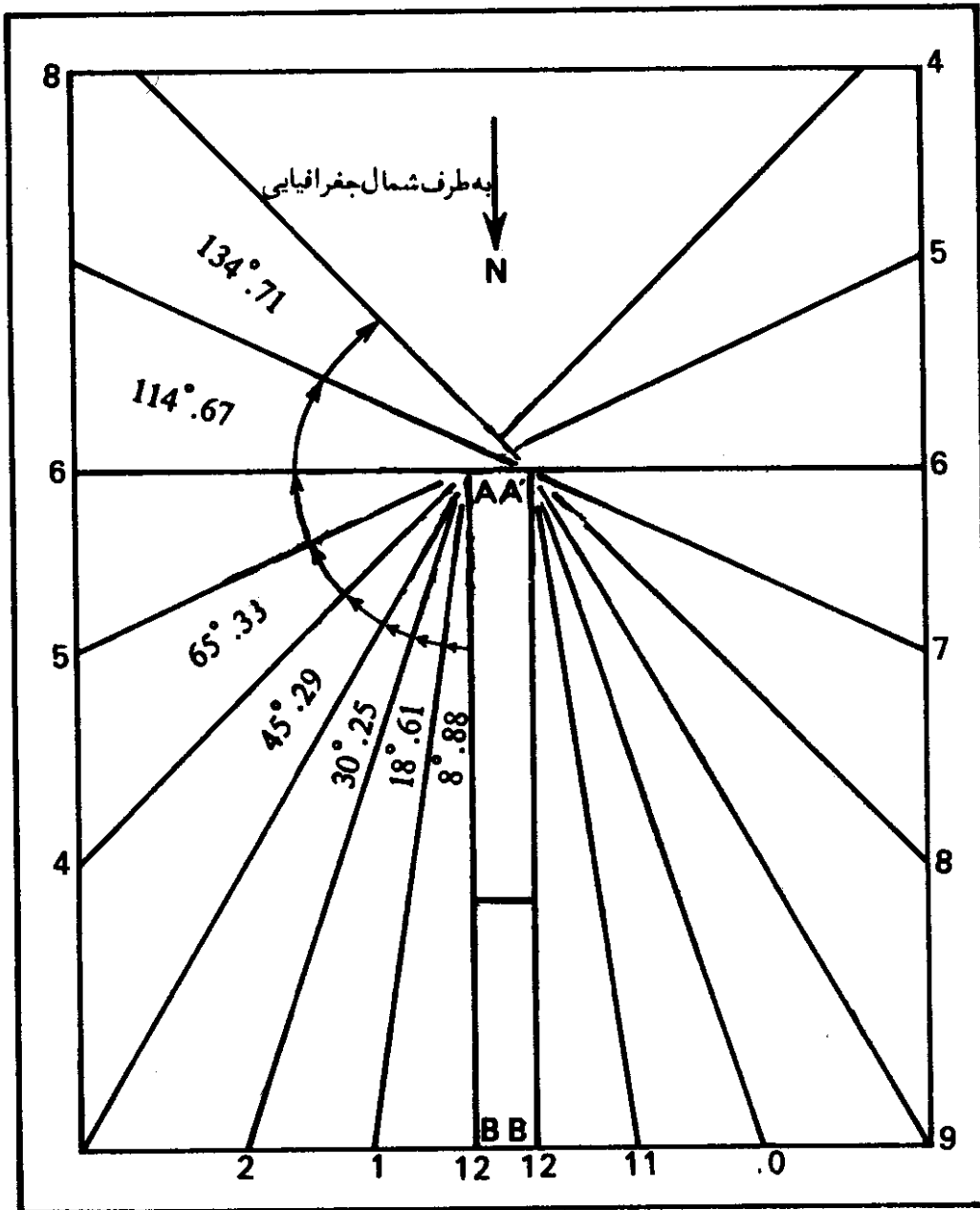
ساعت و الی آخر خواهد بود.

در شکل (۲-۳)، درجه بندی بدست آمده بعد از انتقال بر صفحه ساعت

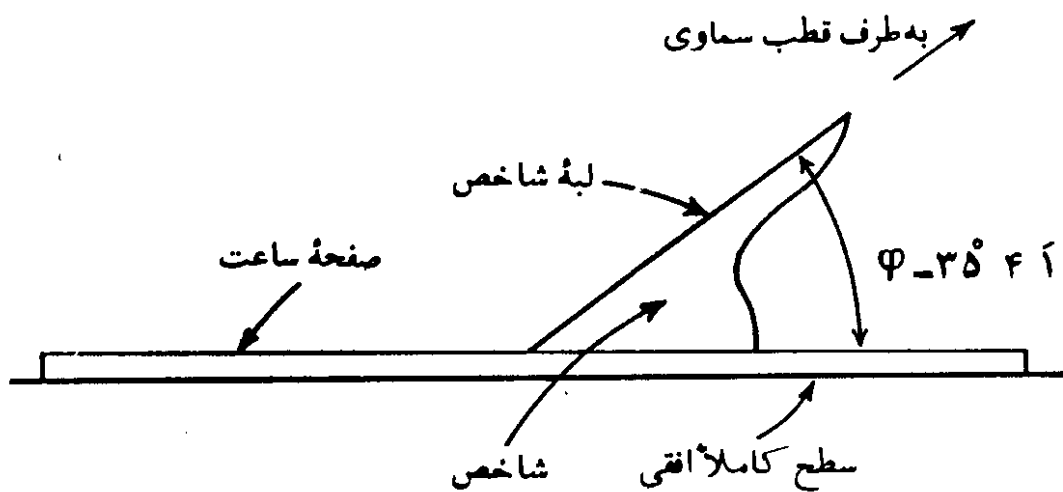
خورشیدی، نشان داده شده است.

در شکل (۳-۳) چگونگی قرار گرفتن ساعت خورشیدی نمایانده شده، که مربوط

به مقطع شمالی جنوبی آن است. طرز قرار گرفتن آن بدین گونه است که می‌بایست صفحه



شکل (۳-۲) - چگونه قرار گرفتن درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی افقی.



شکل (۳-۳) - چگونه قرار گرفتن ساعت خورشیدی افقی بر یک سطح تراز شده.

ساعت، کاملاً بصورت افقی بوده و امتداد لبه شاخص بسمت قطب شمال سماوی باشد، در اینصورت خط ساعت ۱۲ بر صفحه ساعت، در امتداد خط نصف النهار محل قرار خواهد داشت.

این ساعت، وقت شمسی حقیقی را در تمام طول سال، از طلوع تا غروب آفتاب (در عرض جغرافیایی مربوط به آن) نشان می‌دهد. بعداً در همین بخش، در مورد چگونگی استفاده از این ساعت در عرضهای جغرافیایی دیگر، توضیح داده خواهد شد.

۲-۱. روش محاسباتی

می‌توان درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی افقی را با استفاده از فرمول زیر

محاسبه کرد:

$$\tan X = \sin \phi \tan h$$

(۱-۳)

که در آن

X = فاصله زاویه‌ای درجات صفحه ساعت از قاعده شاخص.

ϕ = عرض جغرافیایی محل استقرار ساعت.

h = زاویه ساعتی خورشید بر حسب درجه.

قبلاً در مورد زاویه ساعتی خورشید و ارتباط آن با وقت شمسی حقیقی، در مطلب شماره (۹) در فصل دوم توضیح داده شده است. مقادیر زاویه X برای عرض جغرافیایی $35^{\circ} 41'$ از روی فرمول فوق، محاسبه شده و نتایج آن، در جدول (۱-۳) داده شده است. ادامه کار، ساده خواهد بود، چه، با استفاده از یک مقاله، خطوط ساعت، بسهولت قابل رسم است. البته برای کار دقیقتر، می‌توان بجای مقاله از مقادیر $\tan X$ استفاده کرد. کافی است که مقادیر تانژانت را بر روی خط عمود بر قاعده شاخص، جدا کرده، نقطه بدست آمده را به مرکز درجه بندی صفحه ساعت وصل کنیم. این، در صورتی است که مقدار زاویه X کمتر از 45° درجه باشد. برای مقادیر X بزرگتر از 45° درجه، کتانژانت زاویه X بر روی خط عمود بر خط ساعت ۶ صفحه ساعت، جدا می‌شود.

لازم است اشاره شود که فرمول (۱-۳) با فرض ثابت بودن اندازه میل خورشید در طول روز، بدست آمده است، بعبارت دیگر از تغییرات کم میل خورشید در طول روز صرف نظر شده است. علاوه بر این مطلب، سه نکته مهم دیگر در ارتباط با این نوع ساعت خورشیدی، در ذیل، بیان می‌گردد.

نکته اول اینکه، وقتی که درجه بندی بدست آمده (چه از روش ترسیمی و چه از

جدول (۳-۱) — فاصله زاویه ای خطوط درجه بندی صفحه ساعت از قاعده شاخص برای عرض جغرافیای ۳۵°۴۱

وقت شمسی حقیقی	زاویه X بر حسب درجه	وقت شمسی حقیقی
۱۲/—	۰	—
۱/—	۸°/۸۸	۱۱/—
۲/—	۱۸°/۶۱	۱۰/—
۳/—	۳۰°/۲۵	۹/—
۴/—	۴۵°/۲۹	۸/—
۵/—	۶۵°/۳۳	۷/—
۶/—	۹۰°/—	۶/—
۷/—	۱۱۴°/۶۷	۵/—
۸/—	۱۳۴°/۷۱	۴/—

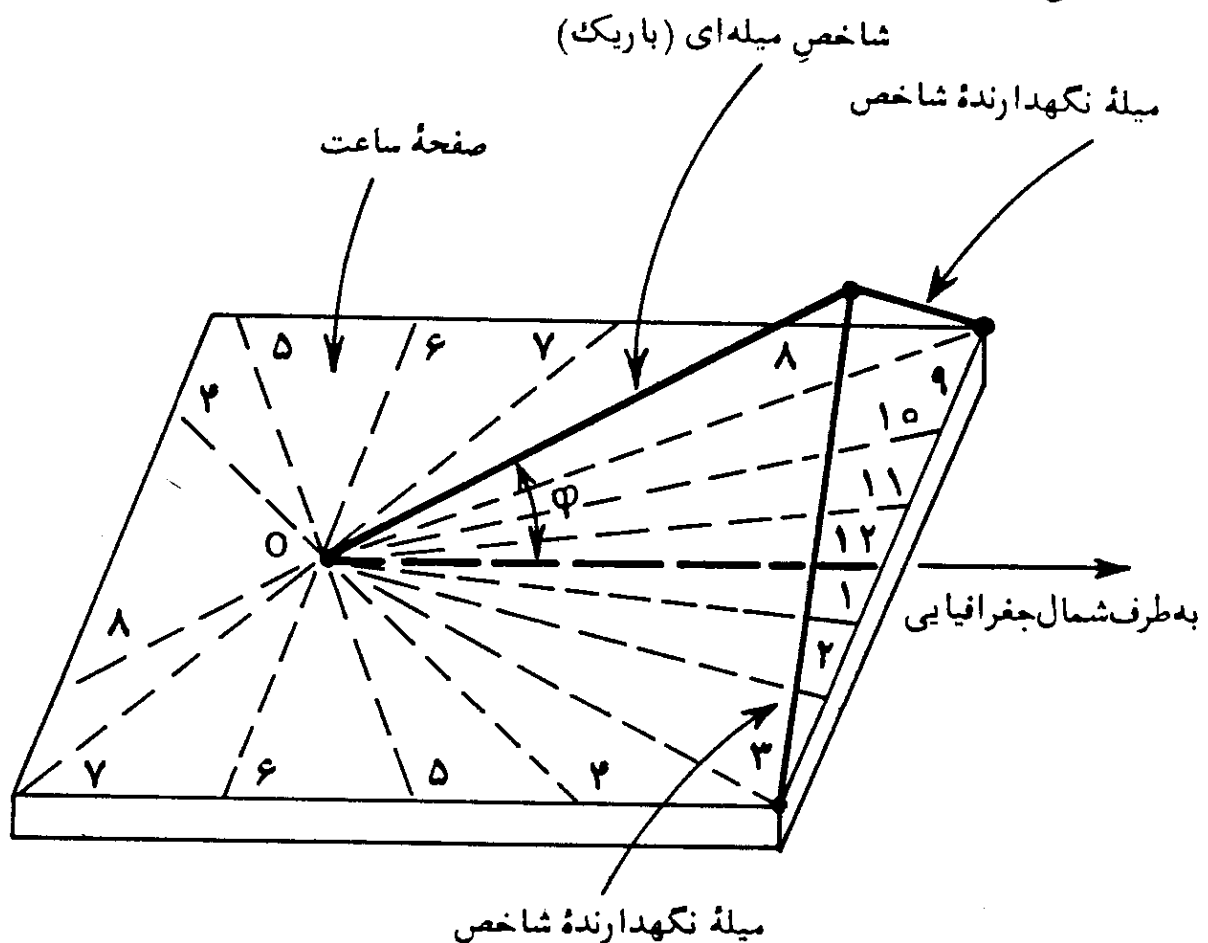
روش محاسباتی) بر صفحه ساعت منتقل می گردد، می بایست ضخامت شاخص در نظر گرفته شود. این مطلب در مورد انواع مختلف ساعتهای خورشیدی مصداق دارد. برای فهم این مطلب، در شکل (۳-۲) ضخامت شاخص بصورت اغراق آمیزی نشان داده شده است، بدین صورت که AA' و BB' نمایانگر ضخامت شاخص اند. همچنین باید توجه داشت که خطوط مربوط به ساعتهای ۷ و ۸ بعد از ظهر در همان امتداد خطوط ساعتهای ۷ و ۸ صبح اند و در مورد ساعتهای ۴ و ۵ صبح نیز وضع به همین منوال است. چه در این صورت است که شکل (۳-۲) از نظر امتداد خطوط ساعت با شکل (۳-۱) هماهنگی خواهد داشت.

نکته دوم اینکه، در اساس این نوع ساعتهای، فرض بر اینست که شاخص بصورت میله ای خیلی باریک باشد که سایه آن در لحظه انطباق آن با مرکز خورشید بر روی صفحه ساعت بیفتد. اما در اغلب موارد، همچنانکه در شکل (۳-۳) نمایانده شده، از یک صفحه، بعنوان شاخص استفاده شده و سایه لبه آن بر روی صفحه ساعت می افتد. در این صورت حد سایه، مربوط به نور قسمت کناری قرص خورشید بوده و به مرکز خورشید مربوط نمی باشد. در نتیجه، در ساعات قبل از ظهر، سایه باندازه یک دقیقه

وقت را کمتر و در ساعات بعد از ظهر باندازه یک دقیقه جلوتر نشان خواهد داد. توضیح این مطلب ساده است چه، قرص خورشید از دید ناظر با زاویه‌ای در حدود ۳۲ دقیقه دیده می‌شود و یا بعبارت دیگر فاصله زاویه‌ای قرص خورشید در حدود ۳۲ دقیقه است. بنابراین فاصله زاویه‌ای کناری‌ترین نقطه قرص خورشید تا مرکز آن، در حدود ۱۶ دقیقه زاویه‌ای است که چون به زمان تبدیل شود، همان نتیجه یک دقیقه حاصل می‌گردد:

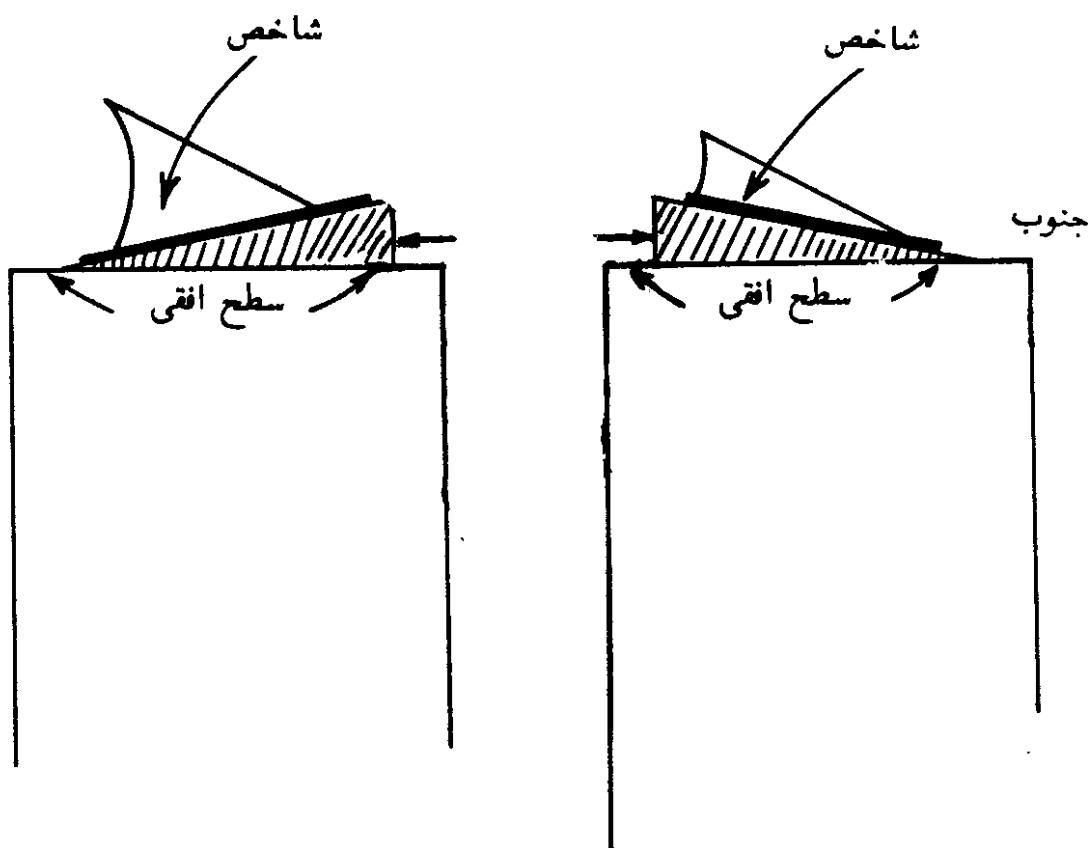
$$\left(\frac{16 \times 60}{60 \times 15} = 1/0.67 \text{ دقیقه} \right)$$

به همین دلیل، گاهی بجای اینکه شاخص را از یک صفحه مثلثی شکل بسازند. آن را از یک میله باریک سیم مانند که با صفحه ساعت، زاویه‌ای برابر عرض جغرافیایی محل می‌سازد، درست می‌کنند. در چنین صورتی، شاخص میله‌ای با دو میله نگه‌دارنده مطابق شکل (۳-۴)، در جای خود محکم نگهداشته می‌شود. این نوع شاخص را شاخص سیمی^۲ نیز می‌نامند.



شکل (۳-۴) - شمای ساعت خورشیدی افقی با شاخص میله‌ای (باریک). میله OP با صفحه ساعت، زاویه‌ای برابر عرض جغرافیایی محل (φ) می‌سازد.

نکته سوم اینکه، قبلا اشاره شد که چون صفحه این گونه ساعتها بصورت افقی قرار داده می شوند، آنها را ساعت‌های خورشیدی افقی می نامند. اگر قرار باشد که صفحه این ساعتها فقط بحالت افقی باشد، در این صورت تنها، در عرض جغرافیایی مربوط مورد استفاده دارند. اما می توان با شیب دادن صفحه یک ساعت خورشیدی افقی، آن را در عرض جغرافیایی دیگری نیز بکار برد. این مطلب در شکل (۳-۵) نشان داده شده است. کافی است که صفحه ساعت را باندازه تفاوت عرض جغرافیایی محل جدید و عرض جغرافیایی محلی که ساعت برای آن ساخته شده، شیب بدهیم. در این شکل، ناظر در سمت غربی ساعت قرار گرفته و ساعت خورشیدی دست چپ شکل، برای محلی با عرض جغرافیایی کمتر، بکار گرفته شده و لذا صفحه آن باندازه تفاوت عرضهای جغرافیایی به سمت شمال، شیب داده شده، درحالیکه ساعت خورشیدی دست راستی، در محلی با عرض جغرافیایی بیشتر، مورد استفاده قرار گرفته است و لذا صفحه آن باز باندازه تفاوت عرضهای جغرافیایی، توسط گوه به سمت جنوب، شیب داده شده است.



شکل (۳-۵) - بکار بردن ساعت خورشیدی افقی در عرض جغرافیایی متفاوت. ساعت دست راستی در عرض جغرافیایی بیشتر و سمت چپی در عرض جغرافیایی کمتر بکار گرفته شده است. در هر دو صورت اندازة شیب صفحه ساعتها برابر تفاوت عرضهای جغرافیایی است.

در هر دو صورت با شیب دار نمودن صفحه ساعت، لبه شاخص، در امتداد قطب سماوی قرار گرفته و زاویه آن با سطح افق محل، برابر عرض جغرافیایی آن شده است، و یا عبارت دیگر لبه شاخص به موازات محور زمین قرار گرفته است.

۲. درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی از نوع سمتی افقی^۱

چنانچه از اسم این نوع ساعت خورشیدی برمی‌آید، اساس کار آن بر سمت خورشید استوار بوده، صفحه آن طوری بحالت افقی قرار می‌گیرد که خط ساعت ۱۲ در امتداد نصف‌النهار محل قرار داشته باشد. شاخص آن از یک میله قائم تشکیل شده است. درجه بندی این ساعت، با استفاده از تاریخ قرار گرفتن خورشید در برجهای^۲ دوازده‌گانه منطقه البروج^۳ بدست می‌آید. در شکل (۳-۶) درجه بندی این ساعت برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه نشان داده شده است. این درجه بندی در طی مراحل ذیل بدست آمده است:

۱. خط عمودی PB بر صفحه ساعت رسم شده است.
۲. کمان CBE به مرکز P و شعاع PB رسم شده است. این کمان، نمایانگر ورود خورشید در برج سرطان^۳ و یا نقطه انقلاب تابستانی^۴ در روز اول تابستان (اول تیرماه و یا بیست و یکم ماه ژوئن) است.
۳. نقطه D بر روی خط PB طوری مشخص شده است که فاصله PD تقریباً برابر یک سوم طول PB است.
۴. کمان GDH به مرکز P و شعاع PD رسم شده است. این کمان نمایانگر ورود خورشید در نقطه انقلاب زمستانی^۵ در روز اول زمستان (اول دی‌ماه و یا بیست و دو ماه دسامبر) است.
۵. فاصله DB به شش قسمت برابر تقسیم شده است. سپس به مرکز P تعدادی کمان متحدالمرکز طوری رسم شده‌اند که از نقاط بدست آمده عبور کنند. این کمانها نمایانگر ورود خورشید در سایر برجهاست. کمان وسطی KL نمایانگر ورود خورشید در نقطه اعتدال بهاری^۶ در اول بهار (اول فروردین ماه و یا بیست و یکم ماه مارس) و نقطه اعتدال پاییزی^۸ در اول پاییز (اول مهرماه و یا بیست و سوم ماه سپتامبر) است.

1. Horizontal-Azimuth Dial

2. Signs

3. Zodiac

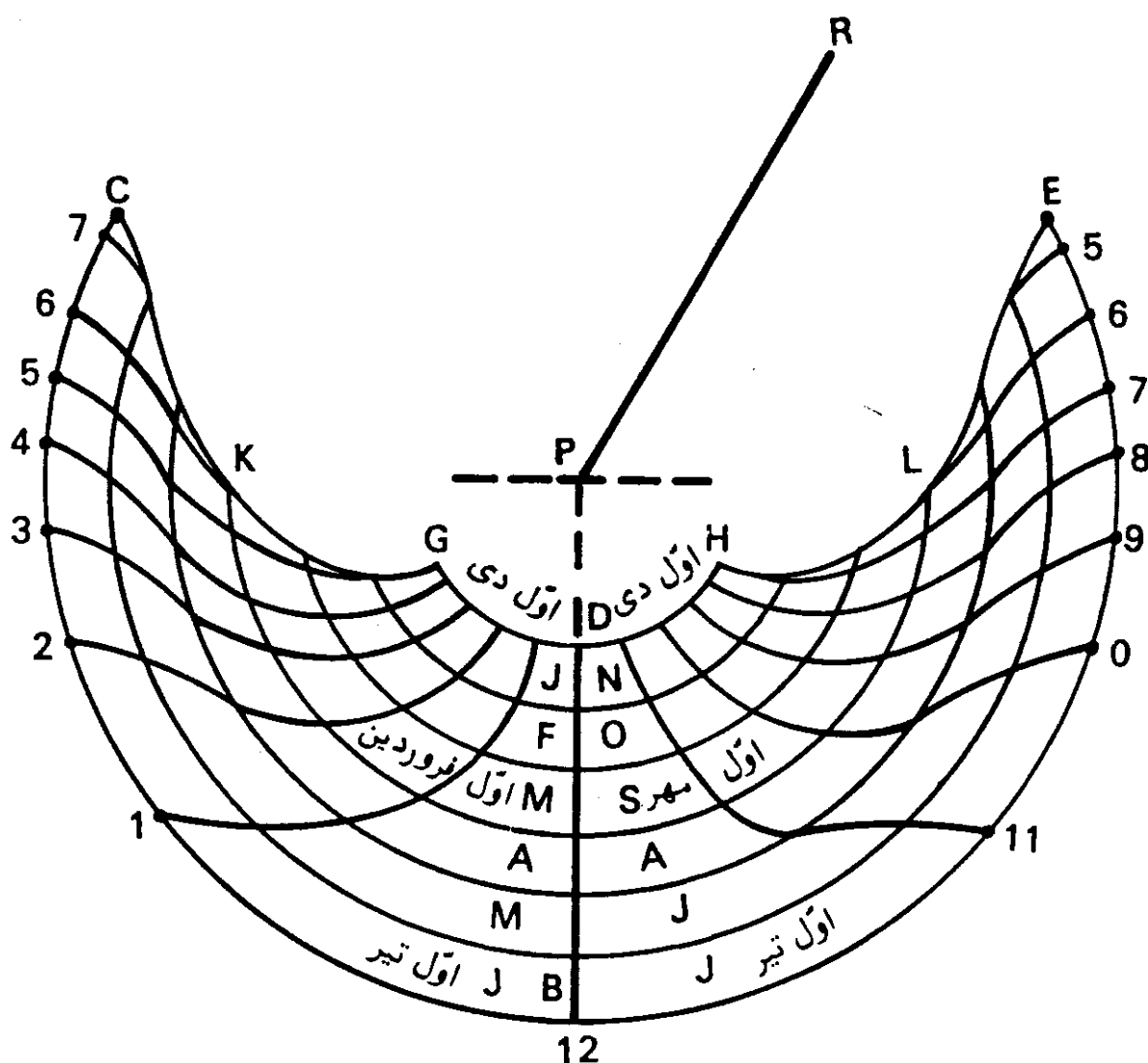
4. Sign of Cancer

5. Summer Solstice

6. Winter Solstice

7. Vernal Equinox

8. Autumnal Equinox



شکل (۳-۶) - چگونگی درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی از نوع سمتی افقی برای عرض جغرافیایی ۳۵° و ۴۱°.

۶. سپس با استفاده از فرمولهای (۲-۱) و (۲-۲)، که در فصل دوم داده شده، سمت خورشید برای ساعت‌های صبح و یا بعدازظهر، روز اول تیرماه، محاسبه شده است. آنگاه زوایای سمت بدست آمده، با استفاده از یک نقاله و به مرکز P، بر ضلع PB، بعنوان یک ضلع زاویه، رسم گشته است. اضلاع دوم زوایای رسم شده، کمان CBE را در نقاط نشان داده شده قطع می کنند. این نقاط، نشان دهنده ساعات صبح و بعدازظهر در روز اول تیرماه است. با فرض ثابت بودن میل خورشید در طول روز، نقاط مربوط به ساعات صبح و بعدازظهر، نسبت به خط PB دارای تقارن است. به همین علت محاسبه سمت خورشید فقط برای ساعات صبح و یا بعدازظهر صورت می گیرد.

به همین طریق که برای روز اول تیرماه بیان شد، سمت خورشید برای دیگر تاریخهای دخول خورشید در سایر برجهای باقیمانده محاسبه، و زوایای محاسبه شده بر روی ضلع PB و به مرکز P، توسط نقاله، رسم شده‌اند.

بدین ترتیب نقاط مربوط به ساعات صبح و بعدازظهر، بر روی هفت کمان، رسم شده، — که نمایانگر بروج دوازده‌گانه هستند — مشخص شده‌اند. ممکن است کمانهای بیشتری در بین این کمانها، برای تاریخ‌های معین، رسم شوند که ساعات روز، بر روی آنها مشخص گردند.

در مرحله بعد نقاط مربوط به ساعات شبانه‌روز بر روی کمانهای متحدالمرکز، توسط یک منحنی صاف، مطابق شکل، به همدیگر وصل شده‌اند. خطوط منحنی بدست آمده، خطوط درجه‌بندی صفحه این نوع ساعت خورشیدی است.

۷. در آخرین مرحله، میله‌ای باریک، بعنوان شاخص، بصورت قائم بر نقطه P نصب می‌گردد.

طول میله شاخص، بستگی باندازه صفحه ساعت دارد. طول مناسب آن برابر فاصله نقطه P تا کمان مربوط به اعتدال بهاره و پاییزه (کمان KL) انتخاب می‌گردد. در اینصورت سایه شاخص، تقریباً بین ساعت ۹ صبح و ۳ بعدازظهر به کمان بیرونی نخواهد رسید. این نقیصه در صورتی برطرف می‌شود که طول شاخص به نسبت ارتفاع خورشید در ساعت ۱۲ ظهر و یا یک بعدازظهر روز اول تیرماه انتخاب گردد. اما در چنین حالتی، طول میله شاخص، نسبت به اندازه‌های صفحه ساعت بسیار بلند بنظر خواهد آمد. لذا با انتخاب شاخص کوتاهتر، سایه آن تا کمانهایی که سایه به آنها نمی‌رسد، نظراً امتداد داده می‌شود.

در موقع استفاده از ساعت، صفحه ساعت طوری بصورت افقی قرار داده می‌شود که میله شاخص در طرف جنوب و خط ساعت ۱۲ صفحه ساعت در امتداد خط نصف‌النهار محل باشد. در اینحالت محل برخورد سایه شاخص با کمان مربوط بتاریخ روز، وقت را مشخص خواهد کرد. در بسیاری از صفحات این نوع ساعت، فواصل بین کمانهای مربوط بتاریخ، به سه قسمت برابر تقسیم می‌شوند. در چنین صورتی مشخص کردن تاریخ، بر صفحه ساعت، آسانتر خواهد بود. معمولاً کمانهای بدست آمده، بوسیله خطوط خط‌چین مشخص می‌شوند. حتی ممکن است برای مشخص کردن خطوط اصلی و فرعی، از دو رنگ مختلف استفاده کرد.

۳. تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی با مرکز متغیر^۱

در ساعت خورشیدی با مرکز متغیر، چنانکه از اسم آن پیداست، از شاخصی که محل آن را با توجه به تاریخ روز می بایست تغییر داد، استفاده می شود. اساس کار این نوع ساعت خورشیدی بر سمت خورشید استوار است.

دو گونه ساعت خورشیدی از این نوع وجود دارد: یکی ساعت خورشیدی آنالماتیک^۲ و دیگری ساعت خورشیدی لامبرت^۳ که از نام سازنده اش^۴ که آن را در سال ۱۷۷۷ ساخته، گرفته شده است. در ادامه مطلب چگونگی تعیین نقاط درجه بندی این ساعتها خواهد آمد.

۳-۱. تعیین نقاط درجه بندی ساعت خورشیدی آنالماتیک

نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالماتیک به دو صورت ترسیمی و محاسباتی بدست می آیند:

۳-۱-۱. روش ترسیمی

در شکل (۷-۳)، نقاط مربوط به ساعت‌های مختلف روز بر روی صفحه ساعت خورشیدی آنالماتیک برای عرض جغرافیایی 35° و 41° نشان داده شده است. این نقاط، در طی مراحل زیر بدست آمده است:

۱. محور افقی WX رسم شده و محور YZ در نقطه O عمود بر آن کشیده شده است. YZ نمایانگر خط ساعت ۱۲ صفحه ساعت و یا خط نصف النهار، و WX نمایانگر خط ساعت ۶ است.

۲. از نقطه ای مانند E بر روی WX، خطی مستقیم چنان رسم شده که با WX زاویه ای برابر عرض جغرافیایی محل ($35^\circ / 68^\circ$) بسازد. این خط YZ را در نقطه مربوط به ساعت ۱۲ ظهر خورشیدی قطع کرده است.

۳. دو دایره، یکی به مرکز O و شعاع ۱۲-0، و دیگری به مرکز O و شعاع E-12 رسم شده است.

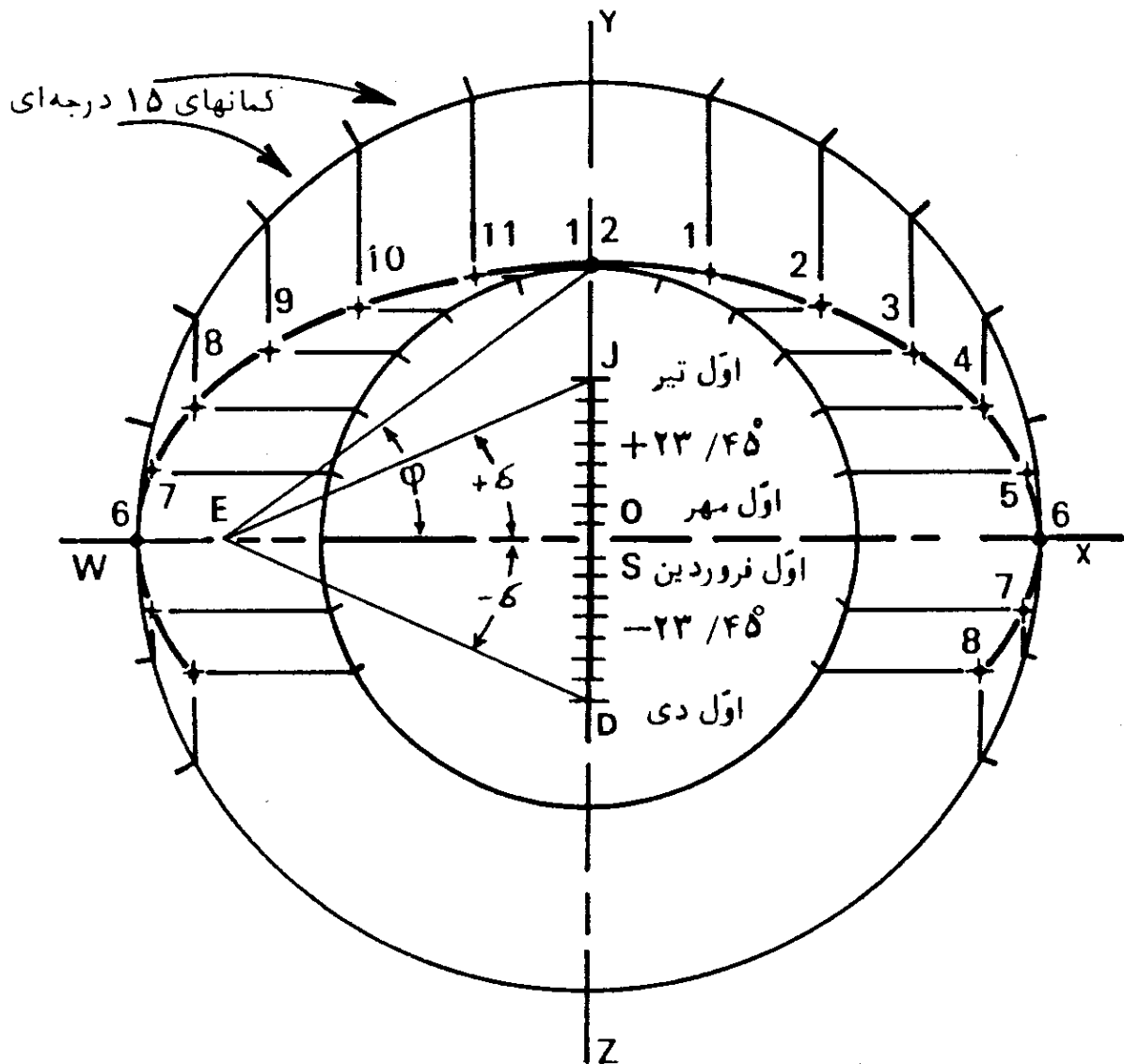
۴. مطابق آنچه که در شکل نشان داده شده، دو نیمدایره بالایی دو دایره،

1. Variable Center Dial

2. Analemmatic Dial

3. Lambert Dial

4. M. Lambert



شکل (۳-۷) - تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالما تیک با طریقه ترسیمی، برای عرض جغرافیایی $\varphi = 35^{\circ} 41'$.

به کمانهای ۱۵ درجه، تقسیم شده اند.

۵. از نقاط بدست آمده بر روی دایره بیرونی، خطوطی به موازات محور YZ رسم شده و همچنین از نقاط بدست آمده، بر روی دایره درونی، خطوطی به موازات محور WX کشیده شده است که محل برخورد دو دسته خطوط موازی رسم شده نقاط درجه بندی صفحه ساعت است. اگر این نقاط توسط منحنی صافی بهم وصل شوند، تشکیل یک بیضی را می دهند. ساعات روز مطابق آنچه که در شکل، نمایانده شده است، در مقابل نقاط بدست آمده ثبت شده است.

۶. با کمک یک تقاله و به مرکز E زوایایی برابر میل خورشید در روزهای

مختلف، بر روی خط WX — بعنوان یک ضلع زوایا — رسم شده است. اضلاع دوّم زوایا، محور YZ را در نقاط نشان داده شده، قطع کرده اند. این نقاط، محل استقرار شاخص در روزهای مختلف را مشخص می کنند. چنانکه در شکل، نمایانده شده، مقادیر مثبت میل خورشید بین نقاط O و 12 و مقادیر منفی آن بین O و Z تعیین شده است. نقطه J نمایانگر نقطه انقلاب تابستانی و نقطه D، نقطه انقلاب زمستانی است. نقاط M و S که بر نقطه O منطبق اند نمایانگر نقاط اعتدال بهاره و پاییزه هستند.

۷. در مرحله آخر با انتخاب شاخص، ساعت خورشیدی آنالماتیک تکمیل خواهد شد. شاخص این ساعت، از میله ای نازک انتخاب می گردد. این میله باید طوری باشد که بتوان آن را در نقاط مشخص شده فوق بحالت قائم مستقر ساخت. کافی است که در محل آن نقاط، سوراخهایی بصورت قائم تعبیه کرد که با در نظر گرفتن تاریخ روز مورد نظر، شاخص را بصورت قائم در سوراخ مربوط قرار داد. همچنین می توان در طراحی بهتر آن، شاخص را بر روی محور YZ بصورت کشویی (مانند یک خط کش محاسبه) مطابق تاریخ روز تغییر مکان داد.

طرز استقرار صفحه این ساعت، بهنگام استفاده، بدین صورت است که صفحه آن را بصورت افقی طوری قرار می دهیم که خط 0-12 در امتداد خط نصف النهار محل بوده و نقطه 12 بطرف شمال جغرافیایی باشد. سپس شاخص در محل مربوط به تاریخ روز، بر روی خطوط OJ و یا OD قرار داده می شود. محل تقاطع امتداد سایه، بر بیضی رسم شده، وقت را نشان خواهد داد. باید توجه داشت که وقف فقط بر روی بیضی نشان داده می شود.

۲-۱-۳. روش محاسبه

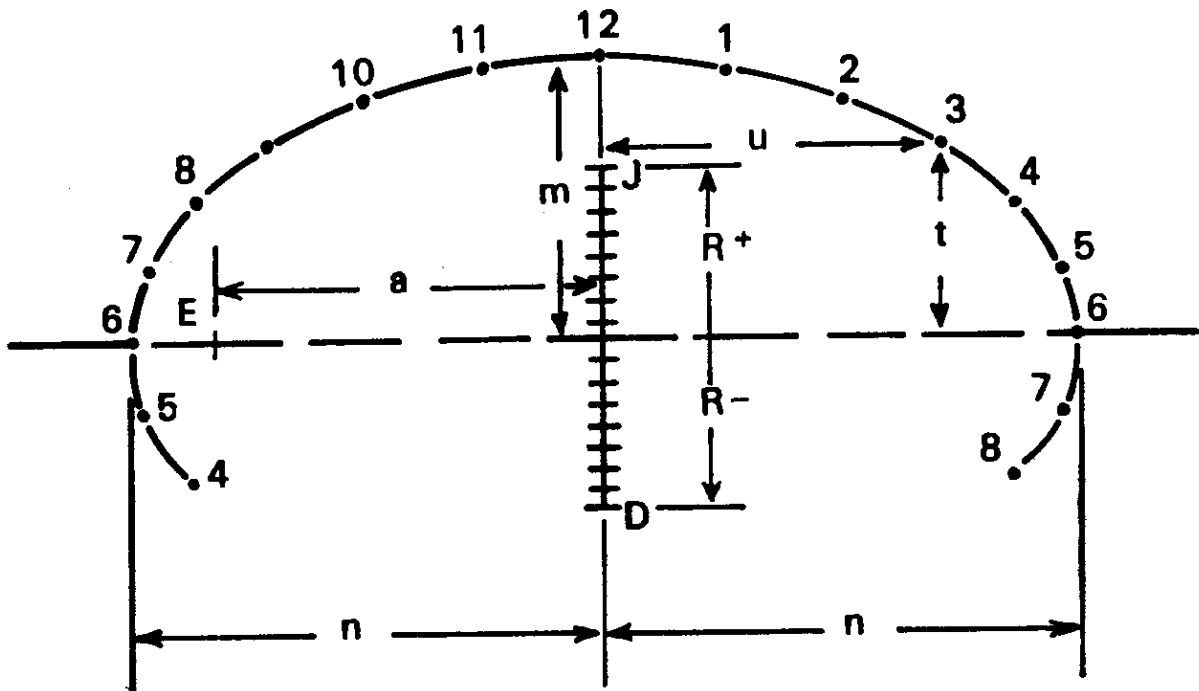
محل دقیق نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالماتیک را می توان از راه محاسبه، با توجه به شکل (۸-۳) بدست آورد. پارامترهای نشان داده شده در این شکل بقرار زیر است:

$$n = \text{نصف قطر اطول بیضی}$$

$$m = \text{نصف قطر اقصر بیضی}$$

$$a = \text{فاصله خارج از مرکز بیضی}$$

$$R + \text{ و } R - = \text{فاصله محل استقرار شاخص از نقطه O.}$$



شکل (۳-۸) - تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک با طریقه محاسباتی.

h = زاویه ساعتی خورشید بر حسب درجه

φ = عرض جغرافیایی

δ = میل خورشید.

اگر مقدار n معلوم باشد، رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$a = n \cos \varphi \quad (3-2)$$

اگر مقدار a معلوم باشد:

$$n = \frac{a}{\cos \varphi} \quad (3-3)$$

و یا

$$n = a \sec \varphi \quad (3-4)$$

$$m = a \tan \varphi \quad (3-5)$$

برای محاسبه محل نقاط درجه بندی صفحه ساعت، پارامترهای u و t را بشرح زیر مطابق شکل، در نظر می‌گیریم. u = فاصله شرقی و یا غربی نقطه درجه بندی از خط نصف النهار صفحه ساعت (DOJ-12)، t = فاصله شمالی و یا جنوبی نقطه درجه بندی صفحه ساعت از خط ساعت ۶ (6-0-6). در نتیجه رابطه زیر را خواهیم داشت:

$$u = a \sec \varphi \sinh \quad (3-6)$$

و با توجه به رابطه (۳-۴) فوق، خواهیم داشت:

$$u = n \sinh \quad (3-7)$$

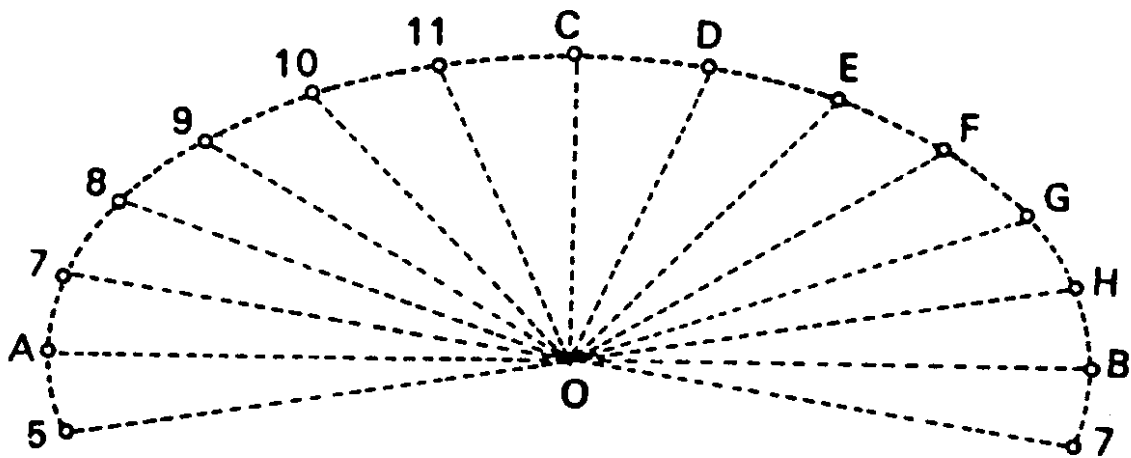
$$t = a \tan \varphi \cosh \quad (3-8)$$

و با توجه به رابطه (۳-۵):

$$t = m \cosh \quad (3-9)$$

بنابراین با معلوم بودن پارامترهای t و u ، محل دقیق نقاط درجه بندی صفحه ساعت، محاسبه می گردد.

علاوه بر این روش، که از راه محاسبه پارامترهای t و u صورت می گیرد، می توان نقاط درجه بندی صفحه ساعت را با محاسبه زوایای مرکزی ایجاد شده در نقطه O ، که از اتصال نقاط درجه بندی بر روی بیضی، به این نقطه ایجاد می گردند، تعیین کرد. برای این کار، ابتدا یک بیضی با ابعاد دلخواه با یکی از روشهایی که در بخش بعدی خواهد آمد، رسم می کنیم. سپس محل نقاط درجه بندی را با محاسبه زوایای مرکزی بدست می آوریم. مراحل کار با توجه به شکل (۳-۹)، به شرح زیر است:



شکل (۳-۹) - تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک با محاسبه زوایای مرکزی برای عرض جغرافیایی 35° و 41° .

۱. در یک بیضی با قطر اطول $2n$ و قطر اقصر $2m$ خواهیم داشت:

$$m = n \sin \varphi \quad (3-10)$$

چون در مثال، $\varphi = 35^\circ / 68$ پس:

$$m = 0.583n$$

بنابراین در شکل (۳-۹) طول OC برابر OB 0.583 است.

۲. مقادیر زوایای مرکزی (ω) از فرمول زیر محاسبه می شوند:

$$\tan \omega = \frac{\tanh}{\sin \varphi} \quad (3-11)$$

مقادیر محاسبه شده برای مثال مورد نظر در جدول شماره (۲-۳) داده شده است.

۳. سپس از نقطه تقاطع دو قطر بیضی در نقطه O، زوایای محاسبه شده را با کمک یک نقاله بصورتی جدا می‌کنیم که همه زوایا، در ضلع CO مشترک باشند. اضلاع دوم این زوایا، بیضی را در نقاط درجه بندی صفحه ساعت، قطع خواهند کرد.

بدین ترتیب که زاویه $\widehat{COD} = 24^\circ/7$ و نقطه D مربوط به ساعت یک بعدازظهر؛ و زاویه $\widehat{COE} = 44^\circ/7$ و نقطه E مربوط به ساعت دو بعدازظهر و الی آخر خواهد بود. زوایای جدا شده در طرف دیگر خط CO مربوط به نقاط درجه بندی ساعات قبل از ظهر است. البته بر صفحه ساعت، نیازی به نشان دادن خطوط OC، OD، OE و غیره نیست و در این شکل فقط برای روشنتر شدن موضوع، آمده‌اند. بعبارت دیگر برخلاف درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی افقی، در صفحه ساعت خورشیدی آنالما تیک خطوط درجه بندی وجود نداشته و فقط نقاط درجه بندی بر روی محیط بیضی، مشخص می‌شوند.

جدول (۲-۳) — زوایای مرکزی نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالما تیک برای عرض جغرافیایی 35° و 41°

ساعت خورشیدی حقیقی		زاویه ساعتی خورشید بر حسب درجه	ω بر حسب درجه
قبل از ظهر	بعد از ظهر		
۱۱	۱ یا	15°	$24^\circ/7$
۱۰	» ۲	30°	$44^\circ/7$
۹	» ۳	45°	$59^\circ/7$
۸	» ۴	60°	$71^\circ/4$
۷	» ۵	75°	$81^\circ/1$
۶	» ۶	90°	$90^\circ/-$

برای محاسبه محل استقرار شاخص، یعنی پارامترهای $(R+)$ و $(R-)$ ، از

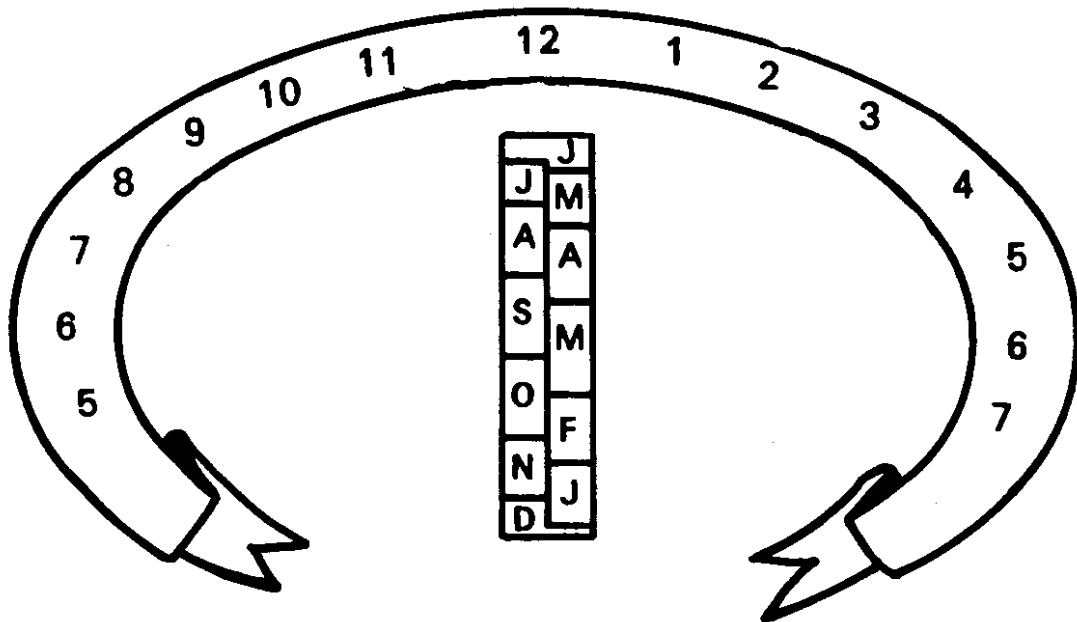
فرمول زیر استفاده می شود:

$$R_{\pm} = a \tan \delta \quad (3-12)$$

که مقادیر میل خورشید را می توان از جدول (۱-۶) برای روزهای مختلف سال بدست آورد. صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک در فرم نهایی آن، بصورت شکل (۱۰-۳) می باشد.

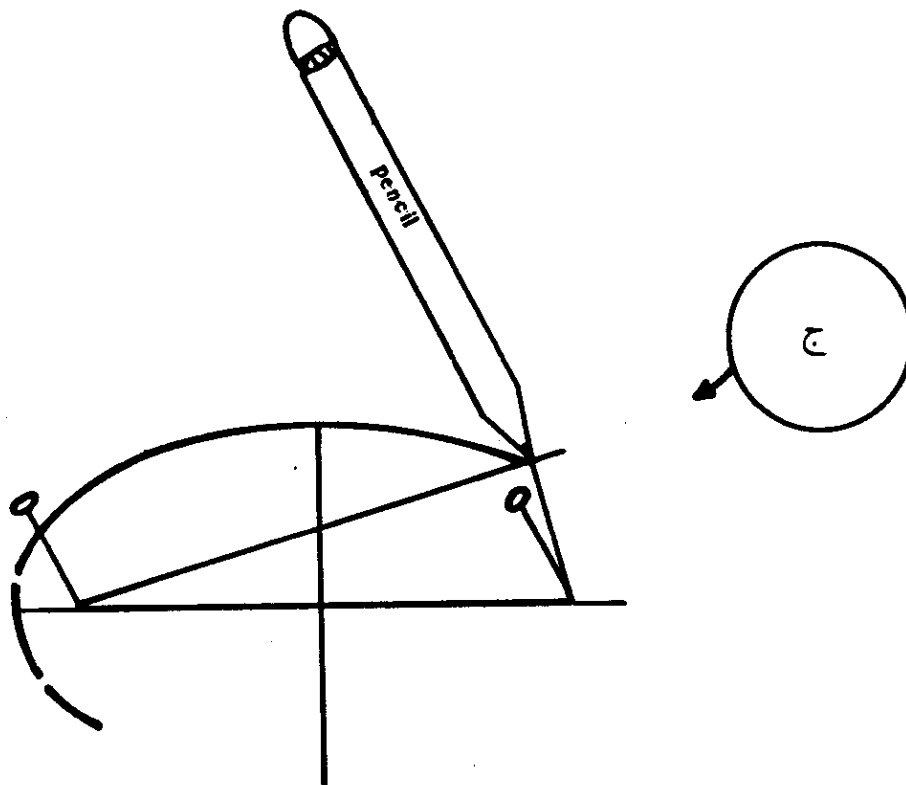
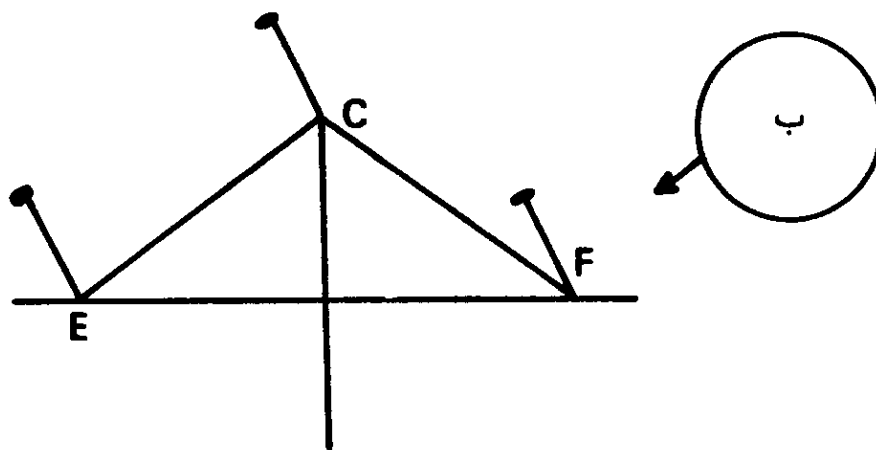
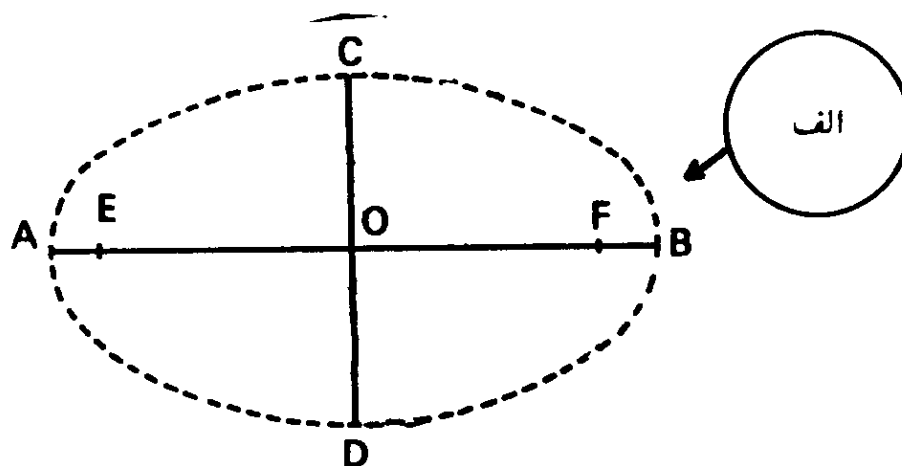
۳-۱-۳. طریقه رسم بیضی

در بخش قبلی دیدیم که برای بدست آوردن نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک، به ترسیم بیضی، نیاز می باشد. بیضی را می توان با یکی از طرق زیر، رسم کرد:



شکل (۱۰-۳) - صفحه ساعت خورشیدی آنالمتیک در فرم نهایی آن.

۱. می توان آن را مطابق شکل (۱۱-۳) به شرح زیر رسم کرد: در این شکل، در قسمت (الف)، AB و CD دو قطر بیضی هستند که همدیگر را در نقطه O قطع کرده اند. به مرکز C و شعاع OA (نصف قطر اطول بیضی) کمانی رسم می کنیم تا قطر AB را در دو نقطه E و F قطع کند. نقاط E و F کانونهای بیضی می باشند. سپس مطابق شکل، در قسمت (ب)، سه عدد سنجاق، بصورت قائم در نقاط E و F فرو می نماییم. آنگاه یک حلقه نخ، بحالت کشیده، از دور سه سنجاق عبور می دهیم. در مرحله بعد، سنجاق مستقر در نقطه C را برداشته و مطابق شکل، در قسمت

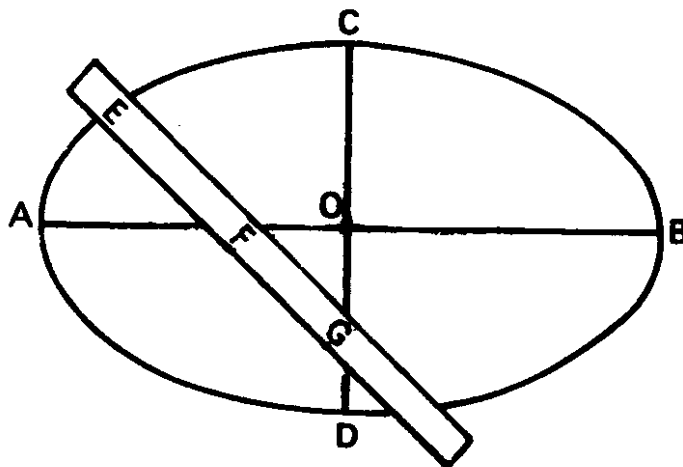


شکل (۱۱-۳) - رسم بیضی با استفاده از حلقه نخ و سنجاق.

(ج)، یک مداد از حلقه نخ عبور می‌دهیم؛ آنگاه مداد را طوری بر روی صفحه کاغذ

دوران می دهیم، که حلقه نخ همیشه بصورت کشیده، باقی بماند. در اینصورت نوک مداد، یک بیضی با قطرهای معلوم (AB و CD) بر صفحه کاغذ خواهد کشید.

۲. بیضی را می توان با استفاده از وسیله ترسیم بیضی کشید. این وسیله در فرم ساده آن در شکل (۱۲-۳) نشان داده شده است. در این شکل AB و CD، دو قطر بیضی هستند که همدیگر را در نقطه O قطع کرده اند. برای رسم بیضی، از یک خط کش و یا یک نوار مقوایی صاف، می توان استفاده کرد. نقاط E، F و G طوری بر لبه خط کش مشخص شده اند که طول EG برابر نصف قطر اطول (OA) و طول EF برابر نصف قطر اقصر (OD) است. آنگاه خط کش را طوری بر روی صفحه کاغذ می چرخانیم که نقطه F همیشه بر روی قطر اطول و نقطه G بر روی قطر اقصر، قرار داشته باشد. در اینصورت نقطه E مسیر بیضی را خواهد پیمود.



شکل (۱۲-۳) - رسم بیضی با استفاده از وسیله رسم بیضی.

۲-۳. تعیین نقاط درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی لامبرت^۱

درجه بندی صفحه این نیز به دو روش ترسیمی و محاسباتی ممکن است:

۱-۲-۳. روش ترسیمی

در شکل (۱۳-۳)، صفحه مدرج شده ساعت خورشیدی لامبرت برای عرض جغرافیایی 35° و 41° داده شده و این شکل در طی مراحل زیر بدست آمده است:

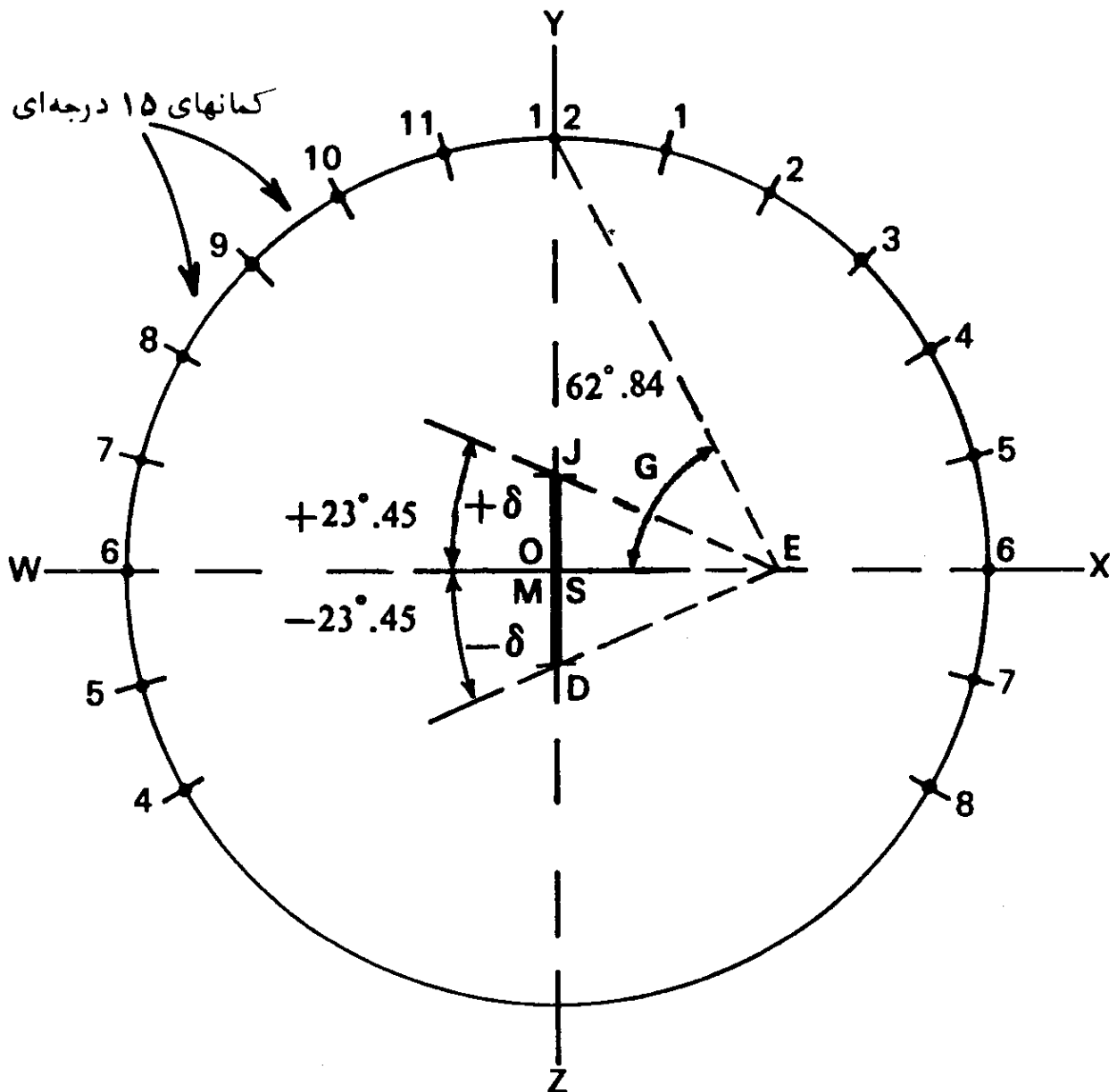
۱. دو خط WX و YZ عمود بر هم رسم شده اند. محل تقاطع آنها نقطه O است.

۲. از نقطه مناسبی مانند E بر روی WX، خطی مستقیم چنان رسم شده که با WX

زاویه‌ای برابر G ساخته و خط YZ را در نقطه (12) قطع کرده است. زاویه G که در مورد مثال انتخاب شده، برابر $۶۲/۸۴$ است، از فرمول زیر بدست می‌آید:

$$G = \frac{\varphi + 90^\circ}{2} \quad (3-13)$$

۳. به مرکز O و شعاع (0-12) دایره‌ای رسم گردیده و سپس این دایره، به کمانهای ۱۵ درجه‌ای تقسیم شده است. نقاط بدست آمده، نقاط درجه‌بندی صفحه ساعت است.

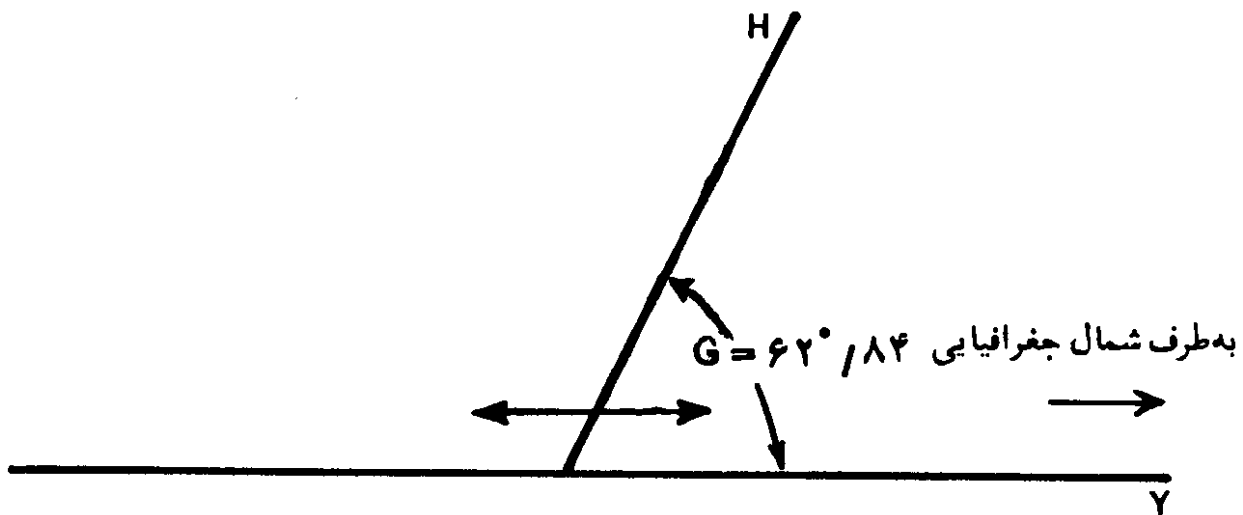


شکل (۳-۱۳) - تعیین نقاط درجه‌بندی صفحه ساعت خورشیدی لامبرت با روش ترسیمی برای عرض جغرافیایی ۳۵° و ۴۱°

۴. برای مشخص شدن محل نصب شاخص، زوایای میل خورشید، توسط یک

نقاله به مرکز E بر روی ضلع EO جدا شده‌اند. محل تقاطع اضلاع دوّم این زوایا با خط YZ، محل نصب شاخص در روزهای سال را مشخص کرده‌اند. نقطه R معرف انقلاب تابستانی، نقطه D نمایانگر انقلاب زمستانی و نقاط M و S که بر نقطه O منطبق‌اند، محل نصب شاخص، در اعتدال بهاره و پاییزه می‌باشند.

۵. در مرحله آخر با ساخت شاخص، کار ساختن ساعت خورشیدی لامبرت پایان می‌رسد. شاخص این ساعت (PH) عمودی نبوده بلکه مطابق شکل (۱۴-۳) با خط YZ (خط نصف‌النهار) زاویه‌ای برابر $G = 62^\circ / 84$ دارد. بنابراین، بهنگام تغییر محل شاخص در روزهای مختلف، می‌بایست زاویه آن با خط نصف‌النهار، همیشه ثابت بماند.



شکل (۱۴-۳) - شاخص ساعت خورشیدی لامبرت.

بهنگام استفاده از ساعت، صفحه آن طوری بصورت افقی قرار می‌گیرد که خط YZ در امتداد نصف‌النهار محل قرار داشته و نقطه ساعت (12) بطرف شمال جغرافیایی باشد. پایه شاخص (نقطه P) در محل مربوط بتاریخ روز قرار داده می‌شود. در نتیجه، محل برخورد سایه شاخص و دایره رسم شده، وقت شمسی حقیقی را نشان خواهد داد.

۲-۲-۳. روش محاسباتی

با توجه به پارامترهای زیر، می‌توان شعاع دایره و محل استقرار شاخص را

محاسبه کرد:

e = فاصله خارج از مرکز

C = شعاع دایره (E-12)

φ = عرض جغرافیایی محل

δ = میل خورشید

R = فاصله شمالی و یا جنوبی محل استقرار روزانه شاخص بر خط YZ از خط WX .

G = زاویه شاخص با خط YZ .

در نتیجه فاصله R از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$R = e \tan \delta \quad (3-14)$$

و اگر شعاع دایره را معلوم فرض کنیم:

$$e = C \tan(90^\circ - G) \quad (3-15)$$

و یا

$$e = C \cot G \quad (3-16)$$

۴. درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی

صفحه این نوع ساعت نیز بصورت افقی است و وقت را براساس اندازه‌گیری ارتفاع خورشید تعیین می‌کند. نظریه اینکه ارتفاع خورشید در نزدیکیهای غروب و کمی بعد از طلوع آن، خیلی کم است، لذا در این اوقات، نمی‌توان از این نوع ساعت برای تعیین وقت استفاده کرد. شاخص این ساعت، بصورت میله‌ای نازک است که بر صفحه ساعت، بصورت قائم نصب می‌گردد و محل نوک سایه بر صفحه ساعت نمایانگر وقت خواهد بود. درجه بندی صفحه این ساعت نیز به دو شکل ترسیمی و محاسباتی صورت می‌گیرد:

۴-۱. روش ترسیمی

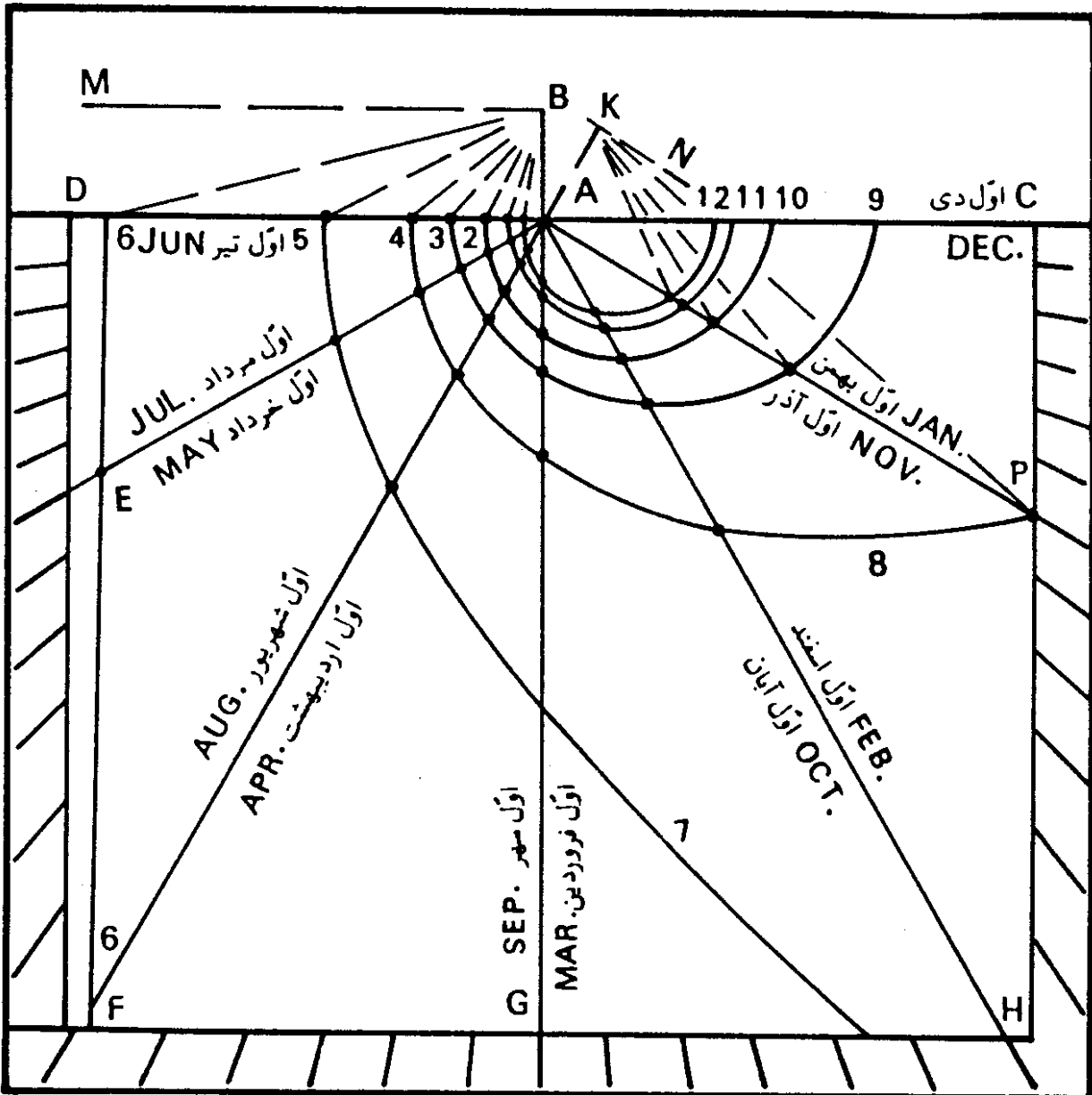
در شکل (۳-۱۵)، درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی ارتفاعی، برای عرض جغرافیایی 35° و $41'$ آمده است. این شکل، در طی مراحل زیر رسم شده است:

۱. خط افقی DC رسم شده است که نقطه A بر روی آن، محل استقرار شاخص است. ارتفاع شاخص در این مثال $1/55$ سانتیمتر گرفته شده است.

۲. خط AG در نقطه A عمود بر DC ، ترسیم گشته است.

۳. زاویه 180° درجه‌ای \widehat{DAC} به شش زاویه 30° درجه‌ای تقسیم گردیده است.

بدین ترتیب خطوط AE ، AF ، AH ، AP رسم شده‌اند. این خطوط به همراه خطوط DAC و AC نمایانگر دخول خورشید در برجهای دوازده‌گانه است. خط AC نمایانگر



شکل (۱۵-۳) - درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی با روش ترسیمی برای عرض جغرافیایی 35° و 41° .

نقطه انقلاب زمستانی در اول دی ماه (۲۲ ماه دسامبر)، AP مربوط به اوایل ماههای آذر و بهمن (۲۲ نوامبر و ۲۰ ژانویه)، AH مربوط به اوایل ماههای آبان و اسفند (۲۳ اکتبر و ۱۹ فوریه)، AG نمایانگر اعتدال پاییز و بهار در اوایل ماههای مهر و فروردین (۲۳ سپتامبر و ۲۱ مارس)، AF مربوط به اوایل ماههای شهریور و اردیبهشت، (۲۳ اوت و ۲۰ آوریل)، AE مربوط به اوایل ماههای مرداد و خرداد (۲۳ ژوئیه و ۲۱ مه) و بالاخره AD نمایانگر انقلاب تابستانی در اول تیر ماه (۲۱ ژوئن) است.

۴. خط AG تا نقطه B بنحوی امتداد داده شده، که طول AB برابر طول انتخاب شده شاخص (۱/۵۵ سانتیمتر) است.

۵. خط BM به موازات AD رسم شده است. سپس با کمک یک نقاله و به مرکز B، زوایای ارتفاع خورشید، در ساعات مختلف روز اول تیر ماه (۲۱ ژوئن)، جدا شده‌اند. اضلاع دوم این زوایا، خط AD را در نقاط مربوط به ساعات مختلف روز، مطابق شکل، قطع می‌کنند. همین عمل برای خط AC مربوط به انقلاب زمستانی در اول دی ماه (۲۲ دسامبر) تکرار شده است.

ارتفاع خورشید در هر ساعت روز، از فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$\tan a = \cot(\varphi - N) \cos A \quad (3-17)$$

در این فرمول a نمایانگر ارتفاع خورشید بر حسب درجه و پارامترهای N و A قبلاً در فرمولهای (۲-۱) و (۲-۲) در فصل دوم داده شده‌اند.

۶. خط AK با طول برابر طول شاخص (۱/۵۵ سانتیمتر) عمود بر خط AP، کشیده شده است. از نقطه K خط KN به موازات AP ادامه داده شده، سپس همانند مرحله پنجم—مذکور در فوق—زوایای ارتفاع خورشید در ساعات مختلف روز تاریخ مربوط، بر روی خط KN جدا شده‌اند. محل برخورد اضلاع دوم زوایا، با خط AP، نمایانگر ساعات مختلف همان روز است. این عمل، برای خطوط AE، AF، AG، AH و تکرار گشته و نقاط مربوطه مشخص شده‌اند.

۷. در مرحله بعد، ساعات مشابه، بر روی خطوط AC، AP، AH، AG، AF، AE و AD توسط خطوط منحنی صاف، مطابق شکل، بهم وصل شده‌اند. بدین ترتیب با نوشتن تاریخهای مربوط و ساعات مختلف روز بر صفحه ساعت، درجه بندی آن، تکمیل گشته است.

۸. در مرحله آخر یک میله نازک بعنوان شاخص و با طول معین شده (۱/۵۵ سانتیمتر) در نقطه A، بر صفحه ساعت، بصورت قائم نصب می‌گردد.

برای بکار بردن ساعت، صفحه آن را طوری به طریق افقی قرار می‌دهیم که شاخص آن بطرف آفتاب بوده، سایه شاخص، بر امتداد تاریخ روز بیفتد. در نتیجه، نوک سایه شاخص بر روی صفحه ساعت، وقت شمسی حقیقی روز را مشخص خواهد کرد.

در شکل (۳-۱۵) فقط خطوط مربوط به تاریخ اول هر ماه نشان داده شده‌اند. اما در محیط صفحه درجه بندی شده ساعت، فواصل بین ماههای مختلف، به تقسیمات ۵ درجه‌ای منقسم گشته‌اند که هر ۵ درجه تقریباً معادل ۶ روز است. با توجه به این درجه بندی، می‌توان بسادگی سایه شاخص را در امتداد تاریخ روز قرار داد. البته ممکن است خطوط مربوط به تاریخهای بیشتری را نیز بر روی صفحه ساعت رسم کرد.

۲-۴. روش محاسباتی

با استفاده از روابط مثلثاتی، می توان صفحه این ساعت را از راه محاسبه درجه بندی کرد. در شکل (۳-۱۵)، فواصل نقطه A (پای شاخص) از نقاط مربوط به ساعات مختلف روز، نقاط ۱، ۲، ۳... و ۱۱، ۱۲، ۱۰... را می توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$L = HS \cos a \quad (3-18)$$

که در آن

HS = ارتفاع شاخص

L = فاصله پای شاخص از نقاط مختلف مربوط به ساعات روز

a = ارتفاع خورشید

بدین ترتیب تا بحال درجه بندی صفحه چند نوع ساعت خورشیدی را برای عرض جغرافیایی ۳۵ درجه و ۴۱ دقیقه بدست آورده ایم. در ادامه مطلب، چگونگی استفاده از ساعت های خورشیدی، در جهت یابی را مورد بحث قرار می دهیم:

۵. ساخت قطب نمای خورشیدی با استفاده از دو ساعت خورشیدی

قبلا اشاره شد که اساس کار ساعت های خورشیدی بر سه پارامتر ارتفاع، سمت و زاویه ساعتی خورشید استوار است. از ترکیب دو ساعت خورشیدی که هر کدام بر یکی از این سه پارامتر استوارند، می توان قطب نمای خورشیدی ساخت. بدین ترتیب سه نوع ترکیب می تواند وجود داشته باشد. برای این کار دو ساعت انتخاب شده، طوری بر یک صفحه افقی قرار داده می شوند که هر دو ساعت، یک وقت را نشان دهند. در نتیجه، خط مربوط به ساعت دوازده ظهر خورشیدی، امتداد شمال و جنوب جغرافیایی را مشخص خواهد کرد. مجموعه دو ساعت خورشیدی به نام ساعت خورشیدی ترکیبی موسوم است و بصورت جهت یاب و یا قطب نمای خورشیدی می توان از آن استفاده کرد. بدین ترتیب مجموعه دو ساعت را علاوه بر تعیین وقت شمسی حقیقی، می توان در جهت یابی نیز بکار گرفت. در ادامه مطلب، چگونگی انتخاب در ترکیب دو ساعت، مورد بررسی قرار می گیرد.

یک جهت یاب خورشیدی که بدین ترتیب ساخته می شود، می بایست قابل حمل باشد و لذا باید از ساعت هایی استفاده کرد که صفحه آنها در ابعاد کوچک هم، خوانا و

واضح باشد. بعلاوه باید از ساعت‌هایی استفاده شود که بتوانند وقت خورشیدی را در تمام طول روز نشان دهند. با توجه به این نکات، ساعت‌های مدرج شده قبلی را مورد بررسی قرار می‌دهیم:

ساعت خورشیدی افقی نشان داده شده در شکل‌های (۱-۳) و (۲-۳)، برای این کار مناسب است. صفحه این ساعت، به آسانی درجه بندی شده و در ابعاد کوچک هم خوانا و واضح است. اما فواصل درجه بندی، برای فواصل یکساعت در طول روز، بشکل خطی نیستند. البته بعلت سادگی روش درجه بندی، می‌توان درجه بندی برای اجزاء ساعت را نیز بر صفحه آن مشخص کرد.

ساعت خورشیدی سمتی افقی، نشان داده شده در شکل (۳-۶)، ممکن است انتخاب مناسبی نباشد.

چنانکه قبلاً توضیح داده شد، اساس درجه بندی صفحه این ساعت خورشیدی بر مبنای دخول خورشید در برج‌های دوازده گانه استوار است. تاریخ تقریبی ورود خورشید در هر برج، بصورت زیر است:

فصل	نام برج	تاریخ تقریبی ورود خورشید در برج
بهار	حمل ^۱ (بره)	حدود اوّل فروردین (۲۱ مارس)
	ثور ^۲ (گاو)	» » اردیبهشت (۲۰ آوریل)
	جوزا ^۳ (دوپیکر)	» » خرداد (۲۱ مه)
تابستان	سرطان ^۴ (خرچنگ)	» » تیر (۲۱ ژوئن)
	اسد ^۵ (شیر)	» » مرداد (۲۳ ژوئیه)
	سنبله ^۶ (خوشه)	» » شهریور (۲۳ اوت)
پاییز	میزان ^۷ (ترازو)	» » مهر (۲۳ سپتامبر)
	عقرب ^۸ (کژدم)	» » آبان (۲۳ اکتبر)
	قوس ^۹ (کمان)	» » آذر (۲۲ نوامبر)

1. Ram (Aries) 2. Bull (Taurus) 3. Twins (Gemini) 4. Crab (Cancer)
 5. Lion (Leo) 6. Virgin (Vigro) 7. Balance (Libra) 8. Scorpion (Scorpio)
 9. Archer (Sagittarius)

جَدی ^۱ (بز)	»	»	دی (۲۲ دسامبر)
دلو ^۲ (دول)	»	»	بهمن (۲۰ ژانویه)
حوت ^۳ (ماهی)	»	»	اسفند (۱۹ فوریه)

چنانکه در مراحل درجه بندی صفحه این ساعت شرح داده شد، دیدیم که برای بدست آوردن تاریخ ورود خورشید در برجهای دوازده گانه، خط DB به شش قسمت برابر تقسیم شد. این بدان معنی است که فواصل زمانی ورود خورشید در برجهای دوازده گانه برابر است. اما با توجه به تاریخهای داده شده در فوق، دیده می شود که این فواصل زمانی کاملاً برابر نیستند.

باید توجه داشت که ساخت ساعتهای خورشیدی به زمانهای گذشته تعلق داشته و خیلی پیش از رواج ساعتهای مکانیکی مورد استفاده بوده است. در آن روزگار، مردم برای دخول خورشید در برجهای دوازده گانه اهمیت زیادی قائل بودند. بهمین جهت هفت خط موجود بر صفحه بیشتر ساعتهای خورشیدی، نمایانگر دخول خورشید در برجهای منطقه البروج است. تاریخ ورود خورشید در هر برج، از روی طول خورشید بر حسب درجه، بر روی دایرة البروج نسبت به نقطه اعتدال بهاری بطرف مشرق تعیین می گردد و در اینجا دایرة استوای سماوی، مبنای کار نیست. خورشید تقریباً بعد از هر ۳۰ روز وارد برج جدیدی می شود. با فرض برابری فواصل زمانی دخول خورشید در برجهای مختلف، هفت خط مذکور موازی هم بوده و دارای فواصل مساوی از یکدیگرند. چنانکه ترتیب جدول قبلی را عوض کرده و میل خورشید را نیز در آن وارد کنیم، خواهیم داشت:

نام برج	تاریخ ورود خورشید به برج	میل خورشید	میل خورشید متوسط	میل خورشید	تاریخ ورود خورشید به برج	نام برج
قوس	۲۲ نوامبر	۱۹° ۵۹' -	۲۰° ۸' -	۲۳° ۲۷' -	۲۲ دسامبر	جدی
عقرب	۲۳ اکتبر	۱۱° ۹' -	۱۱° ۲۰' -	۱۱° ۳۱' -	۱۹ فوریه	حوت
میزان	۲۳ سپتامبر	۰° ۰'	۰° ۰'	۰° ۰'	۲۱ مارس	حمل
سنبله	۲۳ اوت	۱۱° ۴۱' +	۱۱° ۲۹' +	۱۱° ۱۷' +	۲۰ آوریل	ثور
اسد	۲۳ ژوئیه	۲۰° ۱۳' +	۲۰° ۸' +	۲۰° ۲' +	۲۱ مه	جوزا
سرطان	۲۱ ژوئن	۲۳° ۲۷' +				

با توجه به این جدول، دیده می‌شود که جز در مورد برج‌های جدی و سرطان، میل خورشید، بهنگام دخول خورشید در هر دو برج، تقریباً برابر است. مثلاً میل خورشید در برج‌های دلو در بهمن ماه (ژانویه) و قوس در آذرماه (نوامبر) تقریباً برابرند. بعلاوه ترتیب جدول، تقارن موجود بین برج‌های واقع در طرفین، انقلاب تابستانی و زمستانی را نشان می‌دهد.

تفاوت زمانی بین برج‌های مختلف، در حدود یک روز می‌تواند باشد. مثلاً فاصله زمانی از اوّل آذرماه (۲۲ نوامبر) تا اوّل دی ماه (۲۲ دسامبر) در حدود سی روز است. اما از ۲۲ دسامبر تا ۲۰ ژانویه ۲۹ روز است. از این تفاوت یک روزه صرف‌نظر شده و فقط یک خط برای دو تاریخ و یا برج‌های مربوط در نظر گرفته شده است. همچنین در این جدول دیده می‌شود که مقادیر متوسط میل، در دو طرف اعتدالین تا حد زیادی قرینه‌اند. زیرا چنانکه سروکار ما با ساعت‌های جیبی کوچکی باشد، می‌توان مقادیر میل خورشید را با تقریب اضافی و یا نقصانی ۳۰ دقیقه‌ای در نظر گرفت.

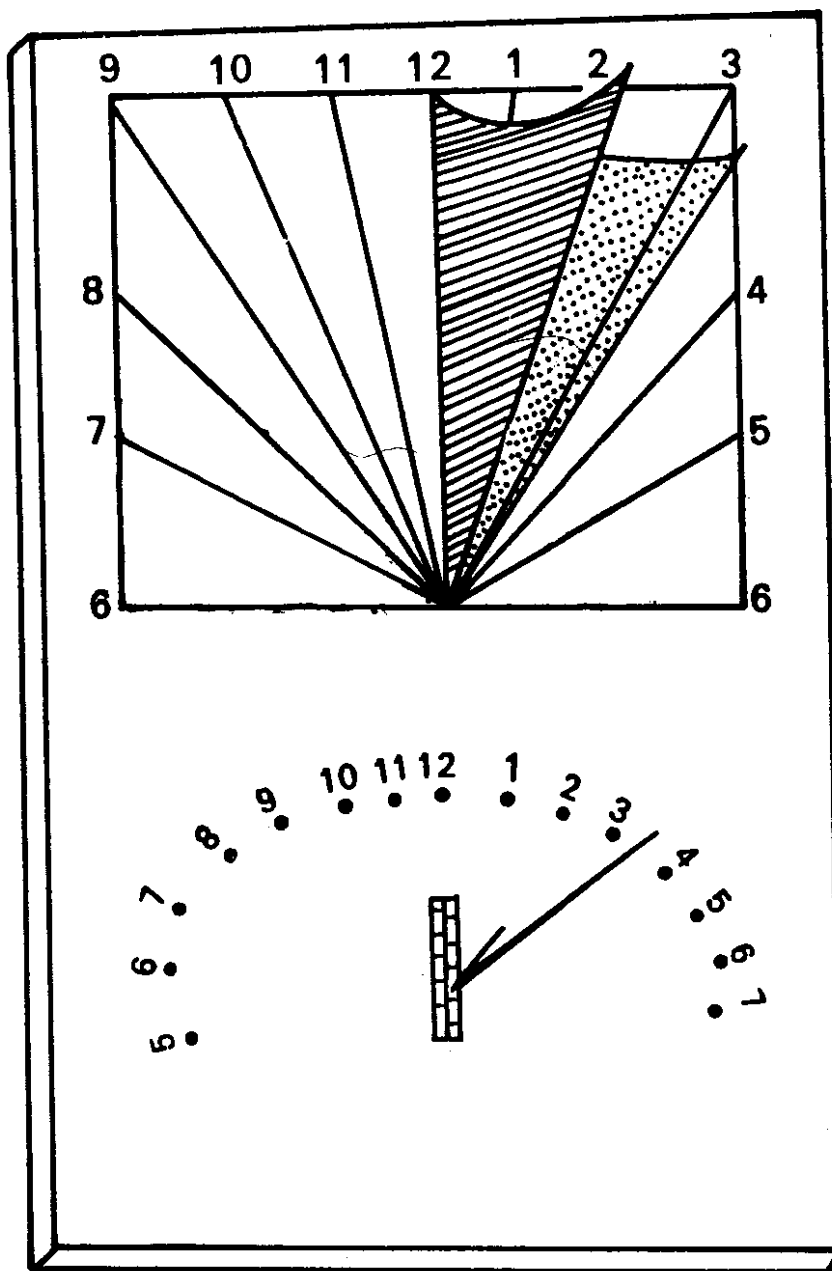
برعکس، اگر تاریخ‌های دقیق، مورد محاسبه قرار گیرند، خطوط بیشتری بر صفحه ساعت ترسیم شده و در نتیجه، به صفحه بزرگتری برای نشان دادن درجه‌بندی ساعت، نیاز خواهد بود.

ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی، نشان داده شده در شکل (۱۵-۳)، نیز انتخاب مناسبی نیست. بحث قبلی در مورد فرض فواصل زمانی مساوی در بین برج‌های مختلف، در این مورد هم صادق است. بعلاوه این ساعت را نمی‌توان در نزدیکی‌های زمان طلوع و غروب خورشید بکار برد. با وجود این، مسلمین از این نوع ساعت، در جهت یابی، در قرن چهاردهم، استفاده کرده‌اند. بدین ترتیب که با بکار بردن ساعت خورشیدی ارتفاعی افقی، وقت روز را تعیین کرده، سپس با بکار بردن یک ساعت جهتی، سمت شمال جغرافیایی را معین می‌کردند. یعنی ساعت جهتی را بر یک صفحه افقی طوری قرار می‌دادند که همان وقت ساعت ارتفاعی را نشان دهد. مجموعه دو ساعت، تشکیل یک جهت یاب خورشیدی را می‌دهد که می‌تواند در قبله یابی بکار گرفته شود. چنانکه می‌دانیم، بعدها عقربه مغناطیسی بکار گرفته شد که معایب آن، پیش از این بیان شده است.

تنها ساعت خورشیدی باقی مانده، ساعت خورشیدی، با مرکز متغیر است. هر دو نوع آن یعنی ساعت خورشیدی آنالما تیک و ساعت خورشیدی لامبرت مناسب هستند. درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی لامبرت، بصورت خطی یعنی با فواصل مساوی

است که در نتیجه، خواندن کسر ساعت بر روی آن ساده تر است. تنها عیب این ساعتها، شاخص آنهاست که محل آن می بایست مطابق تاریخ روز، تغییر داده شود. این مشکل در صورتیکه شاخص بتواند بصورت کشویی حرکت کند، قابل حل است.

با توجه به آنچه که گفته شد، بهترین ساعت خورشیدی ترکیبی، از مجموعه یک ساعت خورشیدی افقی و یک ساعت خورشیدی با مرکز متغیر، بدست می آید. این نوع ساعت خورشیدی ترکیبی، در شکل (۱۶-۳) نشان داده شده است. تنها عیب این ابزار در اینست که فقط در محوطه ای با عرض جغرافیایی مشخص، که برای آن طراحی شده است، قابل استفاده است. دقت این وسیله، بستگی به دقت بکار رفته در ساخت آن دارد.



شکل (۱۶-۳) — طرز قرار گرفتن ساعت‌های خورشیدی افقی و آنالاماتیک بر یک صفحه افقی. صفحه افقی طوری قرار داده می‌شود که هر دو ساعت خورشیدی، یک وقت را نشان دهند.

۶. بکار بردن یک ساعت خورشیدی، بعنوان جهت یاب خورشیدی

می‌توان یک ساعت خورشیدی، از نوع جهتی را که بدقت ساخته شده باشد، در جهت یابی بکار گرفت. البته این کار نیازمند انجام دادن مقدار کمی محاسبه و در دسترس داشتن ساعتی دقیق است.

در آغاز قرن هیجدهم، ساعت‌های مکانیکی، بیشتر مورد توجه قرار گرفتند، اما با وجودی که ممکن است عجیب بنظر برسد، رواج ساعت‌های مکانیکی موجب عقب-ماندگی ساعت‌های خورشیدی نشد، بلکه سبب پیشرفت آنها گردید. بیشتر ساعت‌های مکانیکی این دوره زیاد دقیق نبودند، لذا ساعت‌های خورشیدی برای کنترل و میزان کردن آنها بکار می‌رفتند.

سیستم دقیق زمان‌سنجی امروزه را می‌توان در کاربرد ساعت خورشیدی بعنوان جهت یاب، بکار گرفت. می‌دانیم که ساعت‌های معمولی وقت شمسی متوسط را برای نصف‌النهار استاندارد منطقه مورد نظر تعیین می‌کنند. اما ساعت‌های خورشیدی، وقت شمسی حقیقی را برای نصف‌النهار محلی که ساعت خورشیدی برای آن طراحی شده و در آنجا بکار برده می‌شود، معلوم می‌کنند. با بکار بردن پارامتر تعدیل زمان و تصحیح مربوط به اختلاف طول جغرافیایی، به طریقی که قبلاً بیان شد، می‌توان با استفاده از رابطه‌های (۱-۳) و (۱-۴)، وقت شمسی متوسط را به وقت شمسی حقیقی تبدیل کرد. لذا با در دست داشتن یک ساعت میزان شده، می‌توان وقتی را که آن ساعت نشان می‌دهد، به وقت شمسی حقیقی تبدیل کرد. سپس ساعت خورشیدی جهتی را طوری بر یک صفحه افقی قرار می‌دهیم، که همان وقت شمسی حقیقی محاسبه شده را نشان دهد. در اینصورت خط مربوط به ساعت دوازده ظهر شمسی حقیقی، امتداد نصف‌النهار محلی را که ساعت خورشیدی برای آن ساخته شده، معین خواهد کرد. دقت این روش بستگی به دقت ساخت ساعت خورشیدی و دقت در قرار دادن آن خواهد داشت. تنها عیب این روش، نیاز به دانستن مختصات جغرافیایی محل است که از قبل می‌بایست معلوم شده باشد.

۷. بکار بردن کرونومتر خورشیدی^۱ بعنوان جهت یاب خورشیدی

زمانی برای میزان کردن ساعت‌های مکانیکی از ساعت‌های خورشیدی استفاده

می‌شد. اما ممکن است با استفاده از وقت نشان داده شده توسط ساعت‌های متداول؛ کرونومترهای خورشیدی را در جهت یابی بکار گرفت. بدینصورت که کرونومتر خورشیدی به صورتی قرار داده می‌شود که همان وقت ساعت‌های معمولی را نشان دهد. کرونومتر و یا زمان‌سنج خورشیدی، چنانکه از اسم آن پیداست، اوج تکامل ساعت‌های خورشیدی است. ساختمان آنها معمولاً پیچیده است و در نهایت ظرافت ساخته می‌شوند. از سیمی نازک بعنوان شاخص استفاده شده و به منظور نشان دادن تقسیمات کوچکتر وقت، از قبیل دقیقه و حتی ثانیه، از چرخ دنده‌ها استفاده می‌شود. پایه آنها، مجهز به پیچهای تنظیم و تراز است. معمولاً برای ساخت آنها از انواعی از ساعت‌های خورشیدی استفاده می‌شود که درجات مربوط به صفحه ساعت خورشیدی، دارای فواصل مساوی هستند و بیشتر، از نوع ساعت خورشیدی استوایی^۱ و یا ساعت خورشیدی به شکل چند حلقه‌ای^۲ استفاده می‌گردد. گاهی کرونومتر خورشیدی بشکل نیم‌استوانه^۳ نیز ساخته می‌شود. در کرونومترهای خورشیدی، برای خواندن دقیقتر درجات صفحه ساعت، از ورنیه^۴ نیز استفاده می‌شود. ورنیه وسیله‌ای است که برای خواندن کسری از کوچکترین درجه یک درجه بندی، بکار برده می‌شود.

بدین ترتیب یک کرونومتر خورشیدی، بسیار دقیق ساخته می‌شود و دقیقترین نوع ساعت خورشیدی است که وقت را با تقریب چند ثانیه تعیین می‌کند. یک کرونومتر خورشیدی را می‌توان طوری تنظیم کرد که وقت ساعت‌های مکانیکی و یا وقت رسمی را نشان دهد. نوعی از کرونومترهای خورشیدی برای میزان کردن ساعت‌های مکانیکی ایستگاههای قطار در فرانسه، تا سال ۱۹۰۰ میلادی بکار می‌رفت. اگر امروزه انواعی از اینگونه ساعت‌های خورشیدی ساخته شوند، موجب رواج دوباره آنها خواهد شد و چنانکه در ساختمان کرونومترهای خورشیدی دقت و ظرافت لازم بکار رود، دقت کار آنها موجب حیرت خواهد شد.

کرونومترهای خورشیدی را می‌توان بنحوی ساخت که قابل تنظیم در عرضهای جغرافیایی مختلف باشند. بنابراین از یک کرونومتر خورشیدی، که وقت رسمی را نشان دهد، می‌توان در جهت یابی استفاده کرد. کافی است که کرونومتری خورشیدی را طوری قرار داد که همان وقت ساعت معمولی را نشان دهد. در اینصورت خطوط مربوط به ساعت دوازده ظهر شمسی حقیقی، جهت شمال و جنوب جغرافیایی را مشخص خواهد

1. Equatorial Dial

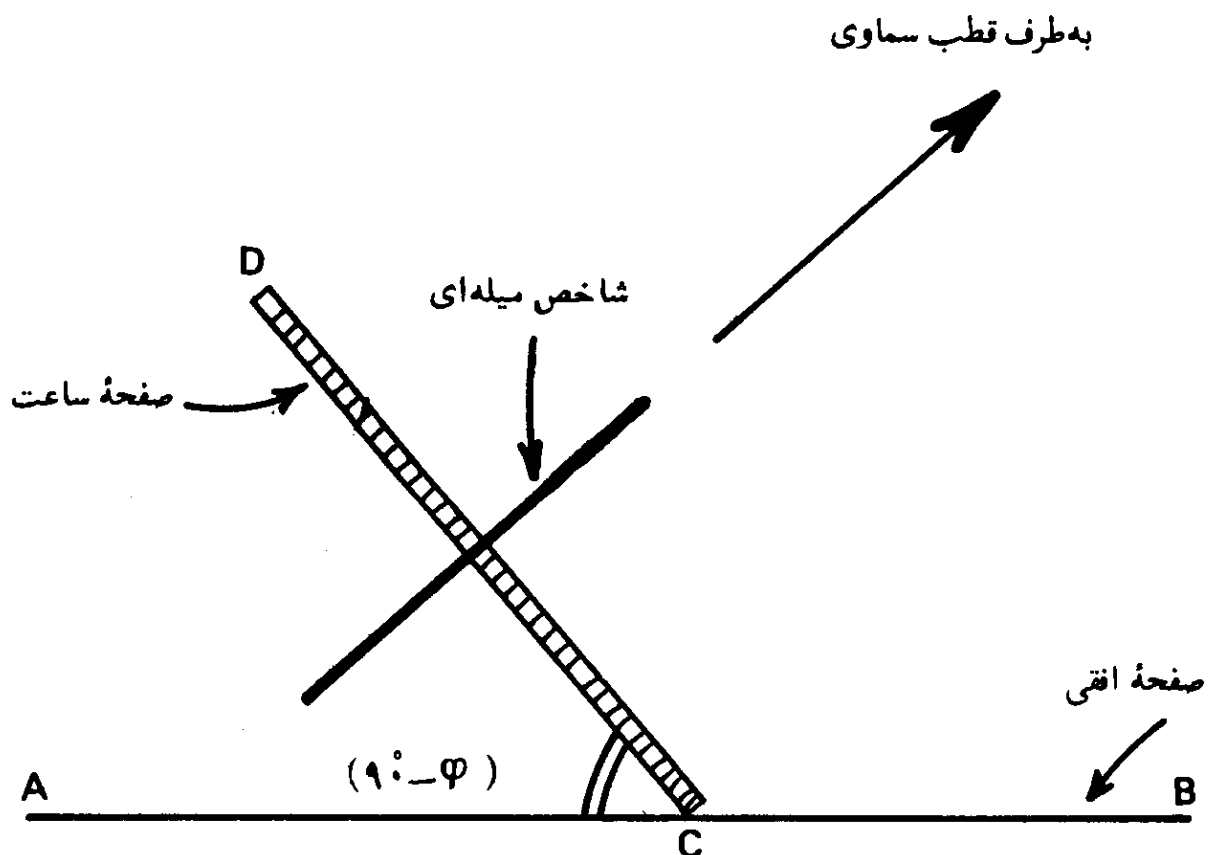
2. Armillary Dial

3. Half Cylinder

4. Vernier

کرد. اما در چنین صورتی اطلاع از طول و عرض جغرافیایی محل ضروری است. در بالا اشاره شد که از ساعت خورشیدی نوع استوایی، می توان برای ساختن زمانسنج خورشیدی استفاده کرد. نام استوایی از آنجا ناشی شده است که صفحه این نوع ساعت خورشیدی به موازات صفحه استوای زمین قرار می گیرد. شاخص آن از یک میله که عمود بر صفحه ساعت است، تشکیل شده است و در نتیجه، شاخص به موازات محور زمین و بسوی قطب سماوی قرار می گیرد. درجه بندی صفحه این ساعت، بستگی به عرض جغرافیایی محل ندارد، بنابراین صفحه درجه بندی شده آن در هر عرض جغرافیایی قابل استفاده است.

از آنجاییکه خورشید در نیمی از سال (بهار و تابستان) در بالای صفحه استوا و در نیمی دیگر (پاییز و زمستان) در زیر آن قرار دارد، لذا صفحه این ساعت خورشیدی از یک صفحه کم ضخامت تشکیل می شود که خطوط درجه بندی صفحه ساعت بر دو سوی آن رسم می گردد. این ساعت خورشیدی جالب بوده و بسادگی قابل ساختن است. در شکل (۳-۱۷) نیمرخ این ساعت خورشیدی، بهنگام قرار گرفتن، نشان داده شده است. زاویه ACD که صفحه ساعت با صفحه افق می سازد برابر متمم عرض جغرافیایی محل است $(90^\circ - \varphi)$.



شکل (۳-۱۷) - نیمرخ ساعت خورشیدی استوایی بهنگام قرار گرفتن بر صفحه افقی.

حل چند مثال در مثلثات کروی

چنانکه در فصل پنجم مشاهده خواهد شد، محاسبه جهت قبله، نیازمند اطلاعات مختصری درباره مثلثات کروی^۱ است. لذا در این فصل، مطالبی چند در مورد مثلثات کروی داده شده و با حل چند مسئله مطلب را پی می‌گیریم. حل این مسائل، فهم فصل پنجم کتاب را آسان می‌کند.

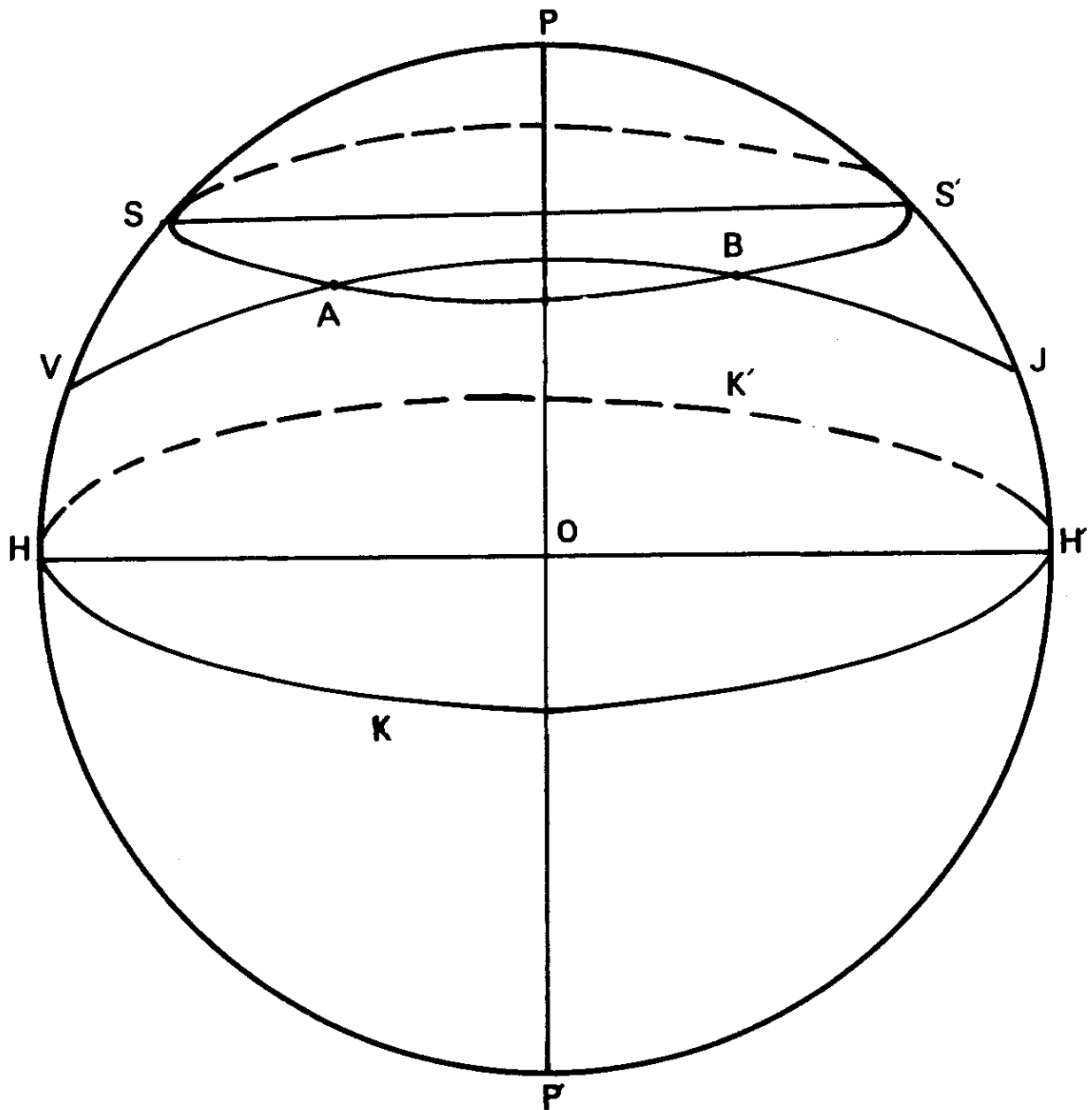
۱. دایره عظیمه^۲

اگر بر روی سطح یک کره، دایره‌هایی رسم شوند که صفحات آنها از مرکز کره بگذرند، آنها را دوائر عظیمه می‌نامند. سایر دایره‌ها که صفحات آنها از مرکز کره نمی‌گذرند، دوائر صغیره^۳ نامیده می‌شوند. برای مثال، اگر شکل کره زمین را یک کره کامل فرض کنیم، دایره استوا و دوائر نصف‌النهار، دایره‌های عظیمه هستند. در حالیکه دایره‌های مدارات، دوائر صغیره‌اند.

کوتاهترین فاصله بین دو نقطه بر روی سطح یک کره، قوسی از دایره عظیمه‌ای است که بر آن دو نقطه، می‌گذرد. مثلاً اگر دو نقطه، مانند A و B بر روی یک مدار قرار داشته باشند، یعنی دارای عرضهای جغرافیایی برابر باشند، کوتاهترین فاصله بین آنها، در امتداد دایره صغیره مدار مربوط نبوده بلکه قوسی از دایره عظیمه‌ای است که از نقاط A و B می‌گذرد.

در شکل (۴-۲)، با فرض کروی بودن زمین، دایره HKHK، دایره عظیمه‌ای

است که از مرکز ثقل کره زمین در نقطه O می‌گذرد. نقاط A و B بر روی مدار $SAB'S'$ قرار دارند. کوتاه‌ترین فاصله بین نقاط A و B بر روی قوس $VABJ$ اندازه‌گیری می‌شود که این قوس قسمتی از دایره عظیمه‌ای است که از نقاط A و B می‌گذرد.



شکل (۴-۱) - کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه A و B بر روی یک کره. این فاصله بر روی کمان $VABJ$ اندازه‌گیری می‌شود. این کمان قسمتی از دایره عظیمه‌ای است که از این دو نقطه می‌گذرد.

موضوع کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه، بر روی یک کره، در محاسبه جهت قبله بر روی کره زمین، حایز اهمیت است. بعداً در این فصل، با ذکر چند مثال، مطلب،

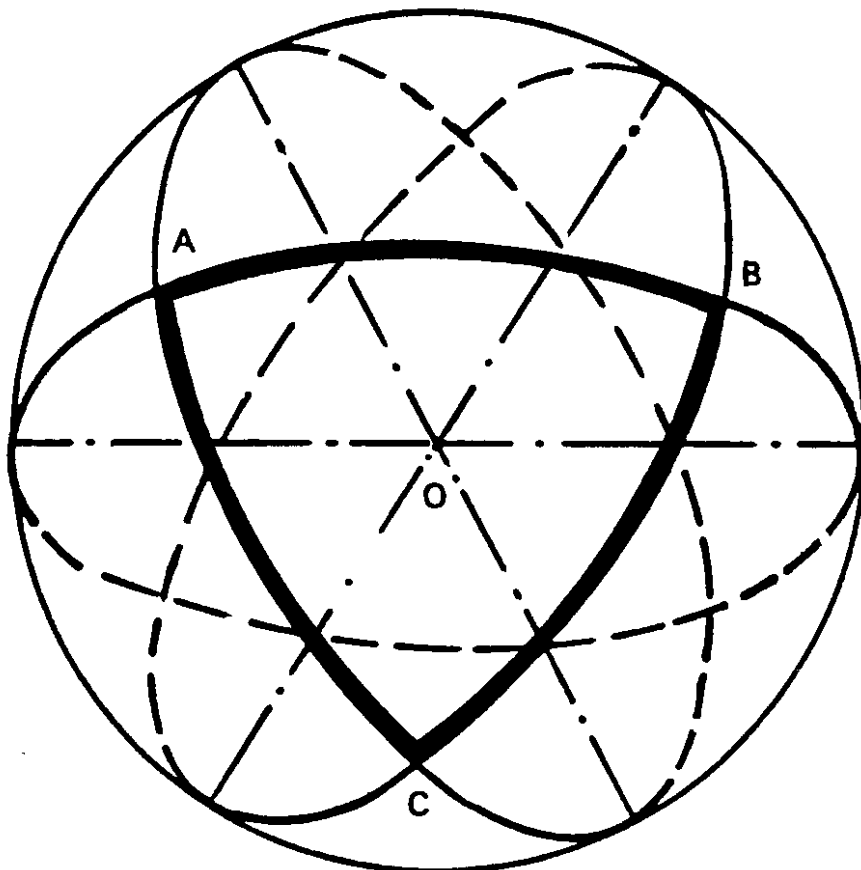
بیشتر مورد بررسی قرار گرفته است.

۲. زاویه کروی

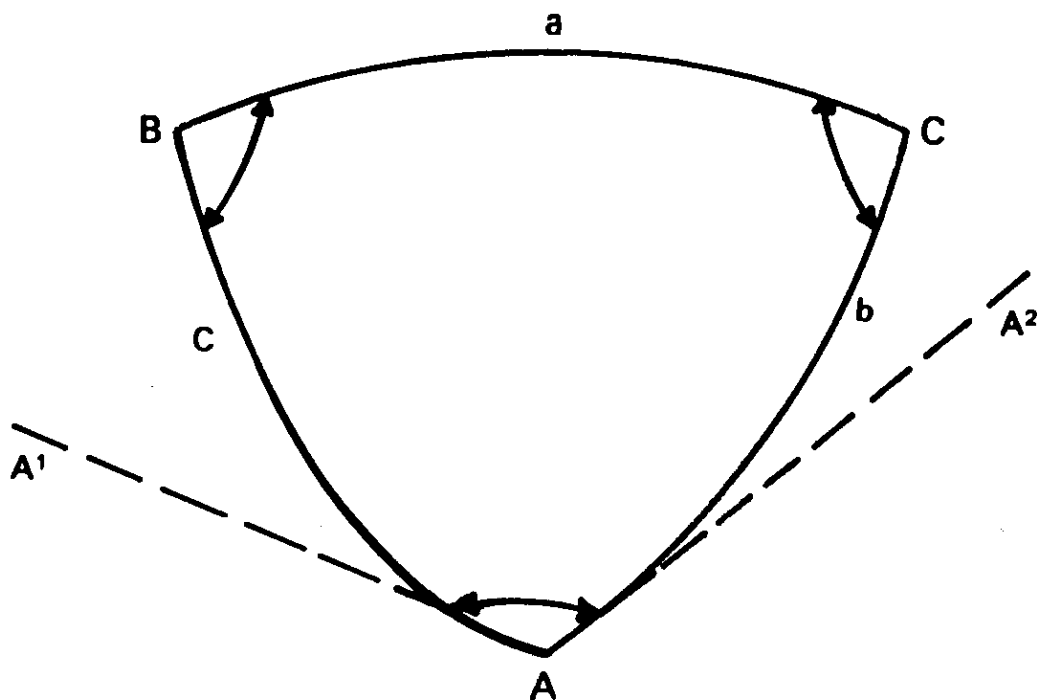
زاویه‌ای که از تقاطع صفحات دو دایره عظیمه بدست می‌آید، زاویه کروی، نام دارد. همچنین اگر از نقطه برخورد دو دایره عظیمه بر روی یک کره، دو خط مماس بر دو دایره، بصورتی رسم شوند که هر خط در صفحه دایره عظیمه مربوط قرار داشته باشد، زاویه بین دو خط مماس، اندازه زاویه کروی بین دو دایره عظیمه را مشخص خواهد کرد.

۳. مثلث کروی

یک مثلث کروی^۲ شکلی است که بر روی سطح یک کره از تقاطع سه کمان از سه دایره عظیمه بدست می‌آید و زوایایی که توسط سه کمان در سه رأس مثلث کروی بوجود می‌آیند، به نام زوایای مثلث، موسوم‌اند، شکل (۴-۲). در شکل (۴-۳)،



شکل (۴-۲) — تشکیل یک مثلث کروی بر روی سطح یک کره.



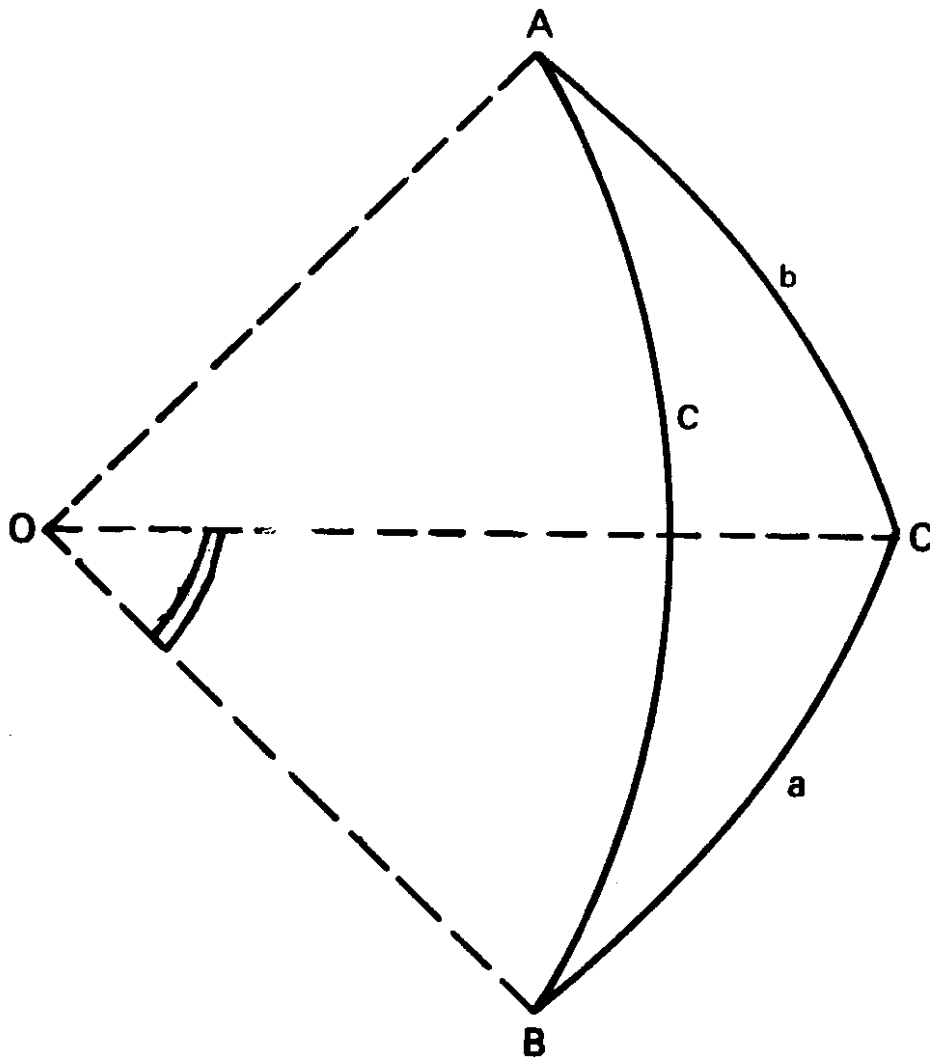
شکل (۴-۳) - اضلاع و زوایای مثلث کروی.

کمانهای \widehat{AB} ، \widehat{BC} و \widehat{CA} قوسهایی از سه دایره عظیمه اند که یکدیگر را در نقاط A ، B و C قطع کرده اند. معمولاً زوایای مثلث کروی با حروف بزرگ A ، B و C ، و اضلاع مقابل آنها با حروف کوچک a ، b و c مشخص می شوند. چون اضلاع یک مثلث کروی کمانهایی از دایره عظیمه اند، بنابراین اندازه آنها بر حسب درجه بیان شده و برابر با زوایایی اند که این کمانها در مرکز کره، می سازند. بعبارت دیگر چنانکه شعاعهای کره در دو سر هر ضلع رسم شود، زاویه بین هر دو شعاع برابر اندازه زاویه ای ضلع مربوط است. بنابراین مطابق شکل (۴-۴) وقتی که نوشته می شود $\sin a$ ، منظور سینوس زاویه بین شعاعهای رسم شده در نقاط B و C (زاویه \widehat{BOC}) است.

همچنین در شکل (۴-۳) زاویه کروی مثلث کروی در رأس A ، برابر زاویه $\widehat{A^1AA^2}$ بین دو خط AA^1 و AA^2 است که به ترتیب بر کمانهای AB و AC در نقطه A ، بصورت مماس رسم شده اند که خود این کمانها قسمتی از دایره های عظیمه مربوط بوده و خطوط مماس شده، در صفحات آنها قرار دارند.

۴. خواص مثلث کروی

خواص یک مثلث کروی به شرح زیر است:



شکل (۴-۴) — برابری اندازه اضلاع مثلث کروی با زوایای مربوط در مرکز کره. اندازه کمان BC برابر با زاویه \hat{BOC} است.

۱. اندازه هر زاویه یک مثلث کروی از 180° (2π) کمتر است.
۲. مجموع سه زاویه یک مثلث کروی از 180° بیشتر و از 270° (3π) کمتر است.
۳. مجموع اندازه‌های هر دو ضلع یک مثلث کروی از اندازه ضلع سوم بیشتر است.
۴. اگر مجموع دو ضلع یک مثلث کروی برابر 180° باشد، مجموع زوایای روبروی آنها نیز برابر 180° خواهد بود.
۵. زاویه کوچکتر در یک مثلث کروی روبروی ضلع کوچکتر قرار دارد و برعکس زاویه بزرگتر مقابل ضلع بزرگتر است.

۵. فرمولهای یک مثلث کروی

شش مشخصه یک مثلث کروی، سه زاویه A ، B و C و سه ضلع a ، b و c می باشند. اگر در یک مثلث کروی سه پارامتر از این شش پارامتر معلوم باشد، با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، می توان سه مشخصه دیگر را محاسبه کرد. این فرمولها به شرح زیرند:

۱. فرمول سینوس:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin c}{\sin C} \quad (۴-۱)$$

۲. فرمول کسینوس:

$$\cos A = \frac{\cos a - \cos b \cos c}{\sin b \sin c} \quad (۴-۲)$$

$$\cos a = \cos b \cos c + \sin b \sin c \cos A \quad \text{و یا،}$$

همچنین،

$$\cos A = -\cos B \cos C + \sin B \sin C \cos a \quad (۴-۳)$$

۳. فرمولهای محاسبه نصف یک زاویه:

$$\sin \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-b) \sin(s-c)}{\sin b \sin c}} \quad (۴-۴)$$

$$\cos \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin s \sin(s-a)}{\sin b \sin c}} \quad (۴-۵)$$

$$\tan \frac{A}{2} = \sqrt{\frac{\sin(s-b) \sin(s-c)}{\sin s \sin(s-a)}} \quad (۴-۶)$$

که در آنها،

$$s = \frac{1}{2}(a+b+c)$$

۴. فرمولهای مشابه فرمولهای قبلی برای محاسبه نصف یک ضلع:

$$\sin \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{-\cos S \cos(S-A)}{\sin B \sin C}} \quad (۴-۷)$$

$$\cos \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{\cos(S-B) \cos(S-C)}{\sin B \sin C}} \quad (۴-۸)$$

$$\tan \frac{a}{2} = \sqrt{\frac{-\cos S \cos(S-A)}{\cos(S-B) \cos(S-C)}} \quad (۴-۹)$$

که در آنها،

$$S = \frac{1}{2}(A+B+C)$$

۵. فرمولهای محاسبه نصف مجموع و یا تفاضل دو ضلع:

$$\tan \frac{a+b}{2} = \frac{\cos \frac{A-B}{2}}{\cos \frac{A+B}{2}} \tan \frac{c}{2} \quad (۴-۱۰)$$

$$\tan \frac{a-b}{2} = \frac{\sin \frac{A-B}{2}}{\sin \frac{A+B}{2}} \tan \frac{c}{2} \quad (۴-۱۱)$$

۶. فرمولهای محاسبه نصف مجموع و یا تفاضل دو زاویه:

$$\tan \frac{A+B}{2} = \frac{\cos \frac{a-b}{2}}{\cos \frac{a+b}{2}} \cot \frac{C}{2} \quad (۴-۱۲)$$

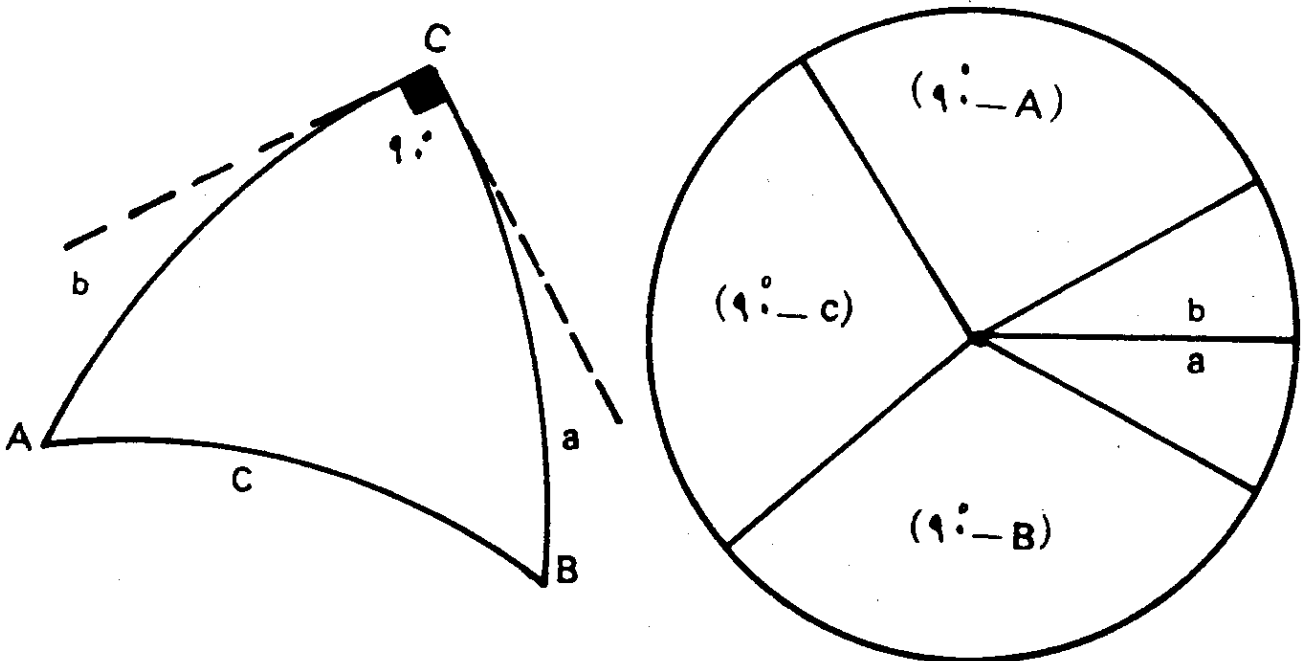
$$\tan \frac{A-B}{2} = \frac{\sin \frac{a-b}{2}}{\sin \frac{a+b}{2}} \cot \frac{C}{2} \quad (۴-۱۳)$$

۶. مثلث کروی قائم الزاویه

چنانکه یکی از زوایای یک مثلث کروی برابر با 90° درجه باشد، مثلث کروی مربوط، قائم الزاویه است. روابط مثلث کروی قائم الزاویه را می توان با استفاده از قائده نپر در مورد قطعات محصور در یک دایره، بدست آورد. در شکل (۴-۵)، مثلث کروی ABC قائم الزاویه است که در آن $\hat{C} = 90^\circ$ می باشد. نپر قطعات محصور در یک دایره را، مطابق شکل، به ترتیب زیر تعریف کرده است:

۱. ضلع a ، یکی از اضلاع زاویه قائمه مثلث کروی.
۲. ضلع b ، ضلع دیگر زاویه قائمه مثلث کروی.
۳. متمم زاویه A (زاویه روبروی ضلع a) یعنی $(90^\circ - A)$.
۴. متمم ضلع c (ضلع مقابل زاویه قائمه \hat{C}) یعنی $(90^\circ - c)$.
۵. متمم زاویه B (زاویه مقابل ضلع b) یعنی $(90^\circ - B)$.

پنج قطعه مذکور در فوق، به ترتیبی که در مثلث قائم الزاویه مربوط، قرار گرفته اند، در یک دایره، قرار داده شده اند. لذا اگر با ضلع a شروع کنیم، سایر قطعات، به ترتیب عبارتند از b ، $(90^\circ - A)$ ، $(90^\circ - c)$ و $(90^\circ - B)$. سپس چنانکه هر قطعه ای را بعنوان قطعه وسطی در نظر بگیریم، دو قطعه، مجاور آن و دو قطعه، مقابل



شکل (۴-۵) - قاعده نپر در مورد قطعات محصور در یک دایره در رابطه با مشخصات یک مثلث کروی.

آن قرار دارند و روابط نپر به شرح زیر خواهد بود:

حاصلضرب تانژانتهای قطعات مجاور = سینوس هر قطعه وسطی
حاصلضرب کسینوسهای قطعات مقابل = سینوس هر قطعه وسطی

مثلا یعنی،

$$\sin b = \tan a \tan(90^\circ - A) \quad (4-14)$$

$$\sin b = \cos(90^\circ - B) \cos(90^\circ - C) \quad (4-15)$$

با در نظر گرفتن هر قطعه‌ای بعنوان قطعه وسطی، می‌توان همه روابط ممکن، بین اضلاع و زوایای یک مثلث کروی قائم الزاویه، را بدست آورد.

۷. کاربرد بعضی از فرمولهای مثلثات کروی

چنانکه قبلا نیز توضیح داده شد، اطلاعاتی در موضوع مثلثات کروی برای محاسبه جهت قبله، لازم است. لذا در این بخش با ارائه چند مثال، طرز استفاده از بعضی از فرمولهای مثلثات کروی را بیان کرده، ادامه مطلب را در بخش پنجم پی می‌گیریم.
مثال (۴-۱) - کوتاه‌ترین فاصله بین دو نقطه A و B با مختصات جغرافیایی زیر را بر روی زمین (بعنوان یک کره کامل) محاسبه کنید.

$$\varphi_A = 21^\circ N \quad \lambda_A = 40^\circ E$$

$$\varphi_B = 36^\circ N \quad \lambda_B = 51^\circ E$$

شعاع کره زمین را ۶۳۷۰ کیلومتر در نظر بگیرید.

راه حل - وضعیت نقاط A و B بر روی کره زمین، در شکل (۴-۶) نمایانده شده است. اگر نقطه P، قطب شمال جغرافیایی زمین باشد، در مثلث کروی ABP خواهیم داشت:

$$b = \widehat{AP} = 90^\circ - \varphi_A = 90^\circ - 21^\circ = 69^\circ$$

$$a = \widehat{BP} = 90^\circ - \varphi_B = 90^\circ - 36^\circ = 54^\circ$$

$$P = \widehat{APB} = \lambda_B - \lambda_A = 51^\circ - 40^\circ = 11^\circ$$

کوتاهترین فاصله بین دو نقطه A و B در امتداد کمان AB از دایره عظیمه‌ای

است که از دو نقطه A و B گذری کند. در مثلث کروی ABP، دو ضلع و یک زاویه آن معلوم است، لذا با استفاده از فرمول کسینوس، یعنی فرمول (۴-۲)، می توان اندازه ضلع (AB = P) را با استفاده از ماشین حساب، محاسبه کرد:

$$\cos P = \frac{\cos p - \cos a \cos b}{\sin a \sin b}$$

$$\cos p = \cos P \sin a \sin b + \cos a \cos b$$

$$\cos p = \cos 11^\circ \sin 52^\circ \sin 69^\circ + \cos 52^\circ \cos 69^\circ$$

$$\cos p = 0.74141 + 0.21064 = 0.95205$$

$$p = 17^\circ / 81$$

اما با توجه به دایره عظیمه ای که کمان AB قسمتی از آن است، خواهیم داشت:

$$\text{طول کمان AB} = \frac{2 \times (\text{شعاع دایره عظیمه}) \times \pi}{360^\circ} \times (17^\circ / 81)$$

$$\widehat{AB} \text{ طول} = \frac{6370 \times 17^\circ / 81 \times \pi}{180^\circ}$$

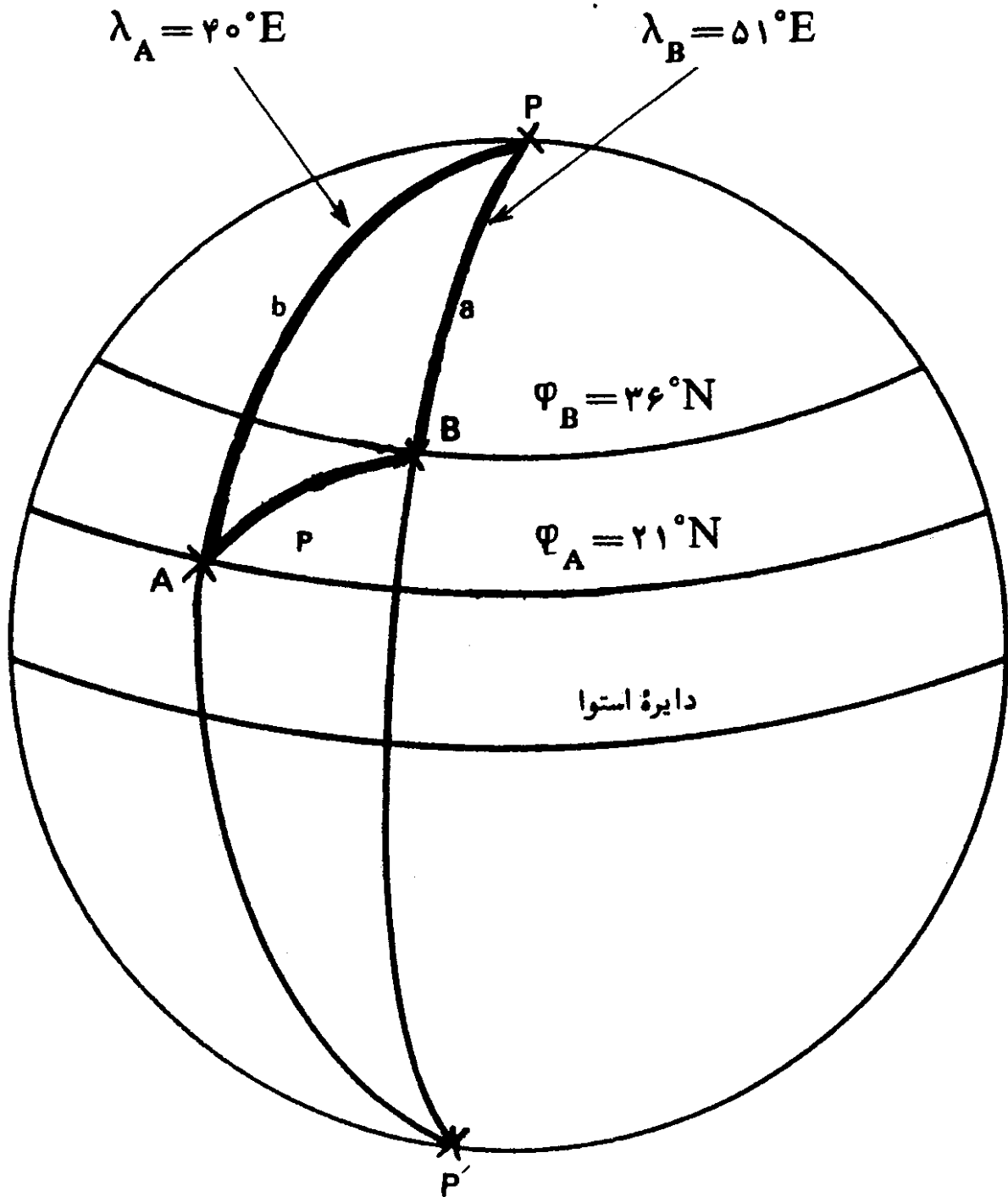
$$\widehat{AB} \text{ طول} = 1980.07 \text{ کیلومتر}$$

در نتیجه، کوتاه ترین فاصله بین دو نقطه A و B برابر ۱۹۸۰/۰۷ کیلومتر است.
 مثال (۴-۲) — جهت نقطه A از نقطه B و جهت نقطه B از نقطه A را در امتداد دایره عظیمه ای که از آنها می گذرد، برای مثال (۴-۱) محاسبه کنید.

راه حل — جهت نقطه A از نقطه B عبارت از زاویه B و جهت نقطه B از نقطه A برابر زاویه A است. زوایای A و B را می توان از فرمولهای محاسبه نصف مجموع و یا تفاضل دو زاویه، یعنی فرمولهای (۴-۱۲) و (۴-۱۳) محاسبه کرد:

$$\tan \frac{(A+B)}{2} = \frac{\cos \frac{(a-b)}{2}}{\cos \frac{(a+b)}{2}} \cot \frac{P}{2}$$

$$\tan \frac{(A-B)}{\gamma} = \frac{\sin \frac{(a-b)}{\gamma}}{\sin \frac{(a+b)}{\gamma}} \cot \frac{P}{\gamma}$$



شکل (۴-۶) - مثال (۴-۱)، محاسبه طول کوتاهترین فاصله بین نقاط A و B بر روی کره زمین.

در این مثال داریم:

$$\frac{(a-b)}{2} = \frac{(54^\circ - 69^\circ)}{2} = -7^\circ/5$$

$$\frac{(a+b)}{2} = \frac{54^\circ + 69^\circ}{2} = 61^\circ/5$$

$$\frac{P}{2} = \frac{11^\circ}{2} = 5^\circ/5$$

$$\tan \frac{(A+B)}{2} = \frac{\cos(-7^\circ/5)}{\cos(61^\circ/5)} \cot(5^\circ/5)$$

در نتیجه

$$\frac{(A+B)}{2} = 87^\circ/34672$$

$$\tan \frac{(A-B)}{2} = \frac{\sin(-7^\circ/5)}{\sin(61^\circ/5)} \cot(5^\circ/5)$$

و

$$\frac{(A-B)}{2} = -57^\circ/044539$$

که در نتیجه

لذا جواب صحیح بصورت زیر است:

$$B \text{ از } A \text{ جهت } \hat{=} B = 144^\circ/39125$$

$$A \text{ از } B \text{ جهت } \hat{=} A = 30^\circ/302181$$

می توان صحت جواب را با استفاده از رابطه سینوسی و یا فرمول (۴-۱)، امتحان کرد:

$$\frac{\sin a}{\sin A} = \frac{\sin b}{\sin B} = \frac{\sin p}{\sin P}$$

$$\frac{\sin(54^\circ)}{\sin(30^\circ/30)} = \frac{\sin(69^\circ)}{\sin(144^\circ/39)} = \frac{\sin(17^\circ/81)}{\sin 11^\circ}$$

که خواهیم داشت

$$\frac{\sin(54^\circ)}{\sin(30^\circ/30)} = 1/60$$

$$\frac{\sin(17^\circ/81)}{\sin(11^\circ)} = 1/60 \quad \text{و}$$

$$\frac{\sin(69^\circ)}{\sin(144^\circ/39)} = 1/60 \quad \text{و}$$

این بدان معنی است که محاسبات درست است.

مثال (۴-۳) - فاصله دو نقطه A و B را با مختصات جغرافیایی زیر در امتداد مدار مشترک آنها ($\varphi = 21^\circ N$) محاسبه کنید:

$$\varphi_A = 21^\circ N \quad \lambda_A = 40^\circ E$$

$$\varphi_B = 21^\circ N \quad \lambda_B = 106^\circ E$$

راه حل - با توجه به مطالبی که در بخش (۲-۵)، در فصل اول کتاب داده شد، فاصله دو نقطه A و B در امتداد مدار 21° شمالی به شرح زیر محاسبه می شود:

$$\widehat{AB} \text{ طول} = \frac{(B \text{ و } A \text{ جغرافیایی طول تفاوت}) \times \pi \times 6370 \times \cos \varphi}{108^\circ}$$

$$\widehat{AB} \text{ طول} = \frac{(106^\circ - 40^\circ) \times \pi \times 3670 \times \cos 21^\circ}{180^\circ}$$

$$\widehat{AB} \text{ طول} = 6850/34 \text{ کیلومتر}$$

مثال (۴-۴) - دو نقطه M و H بر روی کره زمین، دارای عرض جغرافیایی برابر بوده و اختلاف طول جغرافیایی آنها، مساوی λ است. یعنی،

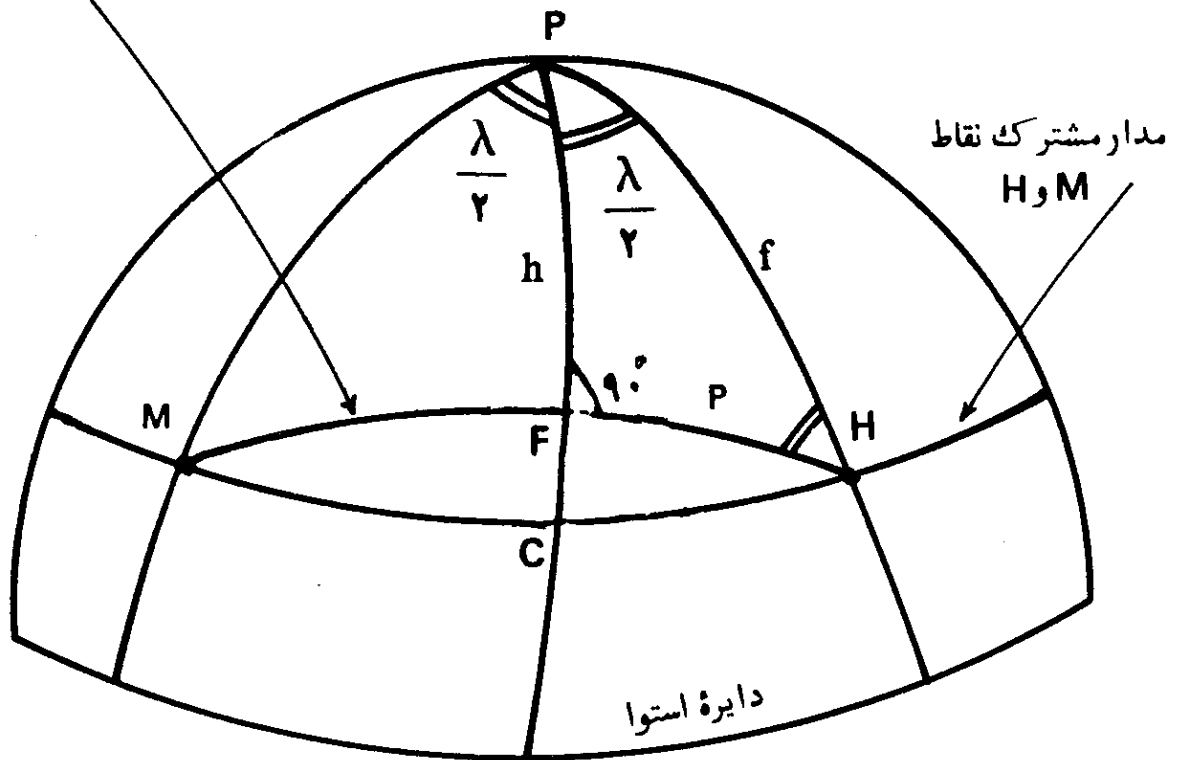
$$\varphi_H = \varphi_M = \varphi$$

$$\lambda_H - \lambda_M = \lambda$$

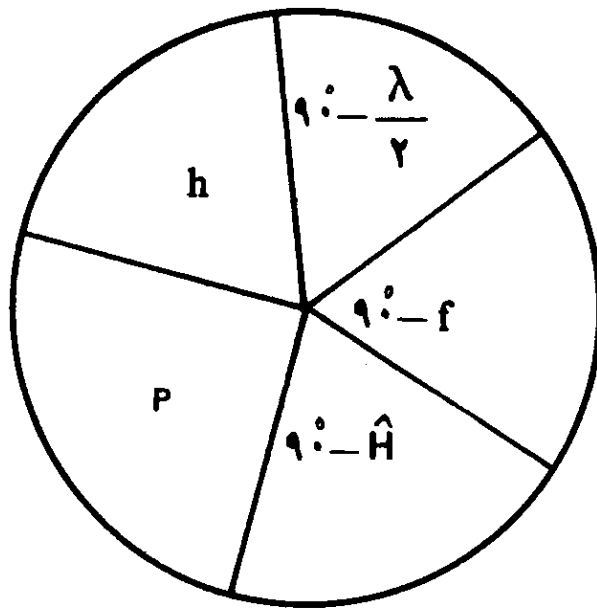
کوتاهترین فاصله دو نقطه H و M را محاسبه کنید. سپس با استفاده از فرمول بدست آمده، کوتاهترین فاصله دو نقطه A و B، داده شده در مثال (۴-۳) را محاسبه کرده، نتیجه را با فاصله محاسبه شده در امتداد مدار مشترک دو نقطه ($\varphi_A = \varphi_B = 21^\circ N$) مقایسه کنید. شعاع متوسط کره زمین را با R مشخص سازید.

راه حل - در شکل (۴-۷، الف)، نقاط H و M دارای عرض جغرافیایی برابرند،

کمانی از دایره عظیمه



(الف)



(ب)

شکل (۴-۷) - محاسبه کوتاهترین فاصله بین دو نقطه با عرض جغرافیایی برابر، با استفاده از قاعده نیپر.

کمان \widehat{MFH} قسمتی از دایرهٔ عظیمه‌ای است که از این دو نقطه، می‌گذرد و نقطهٔ F وسط این کمان است $(\widehat{MF} = \widehat{FH})$. در نتیجهٔ $\widehat{MFP} = \widehat{HFP} = 90^\circ$. کمان \widehat{MCH} دایرهٔ مدار مشترک دو نقطه M و H است و \widehat{MP} و \widehat{HP} نصف النهارهای دو نقطه است. \widehat{FP} نیز نصف النهار نقطهٔ وسط کمان \widehat{MFH} است. بنابراین مثلث‌های کروی MPF و HPF قائم‌الزاویه‌اند. در مثلث قائم‌الزاویه HFP خواهیم داشت:

$$\widehat{PH} = f = 90^\circ - \varphi_H = 90^\circ - \varphi$$

$$\widehat{PF} = h$$

$$\widehat{FPH} = \frac{\lambda}{2}$$

طول کمان $\widehat{FH} = p$ را می‌توان با استفاده از قاعدهٔ نیپر محاسبه کرد: در شکل (۷-۴، ب) قطعات مربوط، در دایره، برای مثلث کروی قائم‌الزاویهٔ HPF نشان داده شده است. در نتیجه خواهیم داشت:

$$\sin p = \cos\left(90^\circ - \frac{\lambda}{2}\right) \cos(90^\circ - f)$$

$$= \sin \frac{\lambda}{2} \sin f$$

$$= \sin \frac{\lambda}{2} \sin(90^\circ - \varphi) = \sin \frac{\lambda}{2} \cos \varphi$$

$$\widehat{FH} = p = \sin^{-1}\left(\sin \frac{\lambda}{2} \cos \varphi\right) \quad \text{بر حسب درجه}$$

$$\widehat{MFH} = 2 \times \widehat{FH} = 2p \quad \text{اما،}$$

$$\widehat{MFH} = 2 \sin^{-1}\left(\sin \frac{\lambda}{2} \cos \varphi\right) \quad \text{پس، بر حسب درجه}$$

و طول کمان \widehat{MFH} بصورت زیر خواهد بود:

$$\text{طول } \widehat{MFH} = \frac{2\pi R}{360^\circ} \times 2 \sin^{-1}\left(\sin \frac{\lambda}{2} \cos \varphi\right)$$

بدون استفاده از قاعدهٔ نیپر، می‌توان همین نتیجه را با استفاده از روابط مثلثاتی نیز بدست آورد. در شکل (۴-۸) نقاط H و M بر روی کره، نشان داده شده است. نقطهٔ M توسط خطی مستقیم به نقطهٔ H وصل شده است که نقطهٔ D وسط آنست ($MD = DH$)

در نتیجه $M\hat{D}O = 90^\circ$ و $H\hat{O}D = M\hat{O}D = \frac{\lambda}{2}$. سپس می‌توان نوشت،

$$\sin \hat{M}O D = \sin \frac{\lambda}{2} = \frac{MD}{OM} = \frac{MD}{R \cos \varphi}$$

$$MD = R \cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2}$$

اگر دایرهٔ عظیمه‌ای بر دو نقطهٔ M و H مرور دهیم، زاویهٔ $M\hat{O}H$ در مقابل کمانی از آن که بین این دو نقطه واقع است، قرار خواهد گرفت. لذا برای محاسبهٔ طول کمان مربوط، کافی است زاویهٔ $M\hat{O}H$ را محاسبه کنیم. اما،

$$M\hat{O}'H = 2 \times M\hat{O}'D \quad \text{و}$$

$$M\hat{O}'D = 90^\circ \quad \text{لذا،}$$

$$\sin \hat{M}O'D = \frac{MD}{R}$$

$$\sin \hat{M}O'D = \frac{R \cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2}}{R}$$

$$\hat{M}O'D = \sin^{-1} \left(\cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2} \right)$$

$$M\hat{O}'H = 2 \sin^{-1} \left(\cos \varphi \sin \frac{\lambda}{2} \right)$$

و بسادگی می‌توان دریافت که این نتیجه، با حاصل روش قبلی، یکی است. در مرحلهٔ بعد، با استفاده از فرمول بدست آمده با شمارهٔ (۴-۱۶)، کوتاه‌ترین فاصلهٔ بین دو نقطه A و B در مثال (۴-۳) را محاسبه می‌کنیم:

$$\text{فاصله } AB \text{ در امتداد دایره عظیمه} = \frac{\pi R}{90^\circ} \sin^{-1} \left(\sin \frac{\lambda}{2} \cos \varphi \right)$$

$$\text{فاصله } AB \text{ در امتداد دایره عظیمه} = \frac{\pi \times 6370}{90^\circ} \sin^{-1} \left[\sin \left(\frac{106^\circ - 40^\circ}{2} \right) \cos 21^\circ \right]$$

کیلومتر $6795/52 =$ کوتاهترین فاصله A و B

اما قبلا فاصله بین دو نقطه A و B در امتداد مدار مشترک آنها را در مثال

(۴-۳) محاسبه کردیم که نتیجه آن (۶۸۵۰/۳۴) کیلومتر بود. لذا دیده می شود که

کوتاهترین فاصله بین دو نقطه A و B با اندازه

$$\text{کیلومتر } 6850/34 - 6795/52 = 54/82$$

از فاصله مداری آنها کمتر است.

بنابراین دیده می شود که بین دو نقطه، مانند A و B با عرض جغرافیایی برابر،

می توان دو مسیر مختلف را طی کرد: یکی که کوتاهترین مسیر است و در امتداد دایره

عظیمه ای قرار دارد که از این دو نقطه می گذرد، و دیگری با طول بیشتر، در امتداد

مدار مشترک آنهاست. در طی مثال بعدی بزرگترین فاصله نصف النهاری بین این دو

مسیر را محاسبه می کنیم:

مثال (۴-۵) - بزرگترین فاصله نصف النهاری بین دو مسیر \widehat{MFH} (در امتداد دایره

عظیمه) و \widehat{MCH} (در امتداد مدار مشترک) مربوط به شکل (۴-۷) در مثال (۴-۴) را

محاسبه کنید؛ سپس فاصله مربوط را برای مقادیر عددی مثال (۴-۳) بدست آورید.

راه حل - در شکل (۴-۷)، بزرگترین فاصله نصف النهاری بین مسیر دایره

عظیمه و مسیر مدار مشترک، در امتداد کمان \widehat{CF} است ($\widehat{PFM} = \widehat{PFH} = 90^\circ$). طول \widehat{CF} به شرح زیر است:

$$\widehat{CF} = \widehat{PC} - \widehat{PF} = (90^\circ - \varphi) - h$$

طول $\widehat{PF} = h$ را می توان با استفاده از قاعده نپر در مثلث کروی قائم الزاویه \widehat{PFH} محاسبه کرد،

$$\sin \left(90^\circ - \frac{\lambda}{2} \right) = \tan h \tan (90^\circ - f)$$

و یا،

$$\cos \frac{\lambda}{2} = \tan h \cot f = \tan h \cot (90^\circ - \varphi)$$

$$\cos \frac{\lambda}{\varphi} = \tan h \tan \varphi$$

$$\tan h = \cos \frac{\lambda}{\varphi} \cot \varphi$$

$$\widehat{PF} = h = \tan^{-1} \left(\cos \frac{\lambda}{\varphi} \cot \varphi \right) \quad \text{پس،}$$

$$\widehat{CF} = (90^\circ - \varphi) - \tan^{-1} \left(\cos \frac{\lambda}{\varphi} \cot \varphi \right) \quad \text{ولذا،}$$

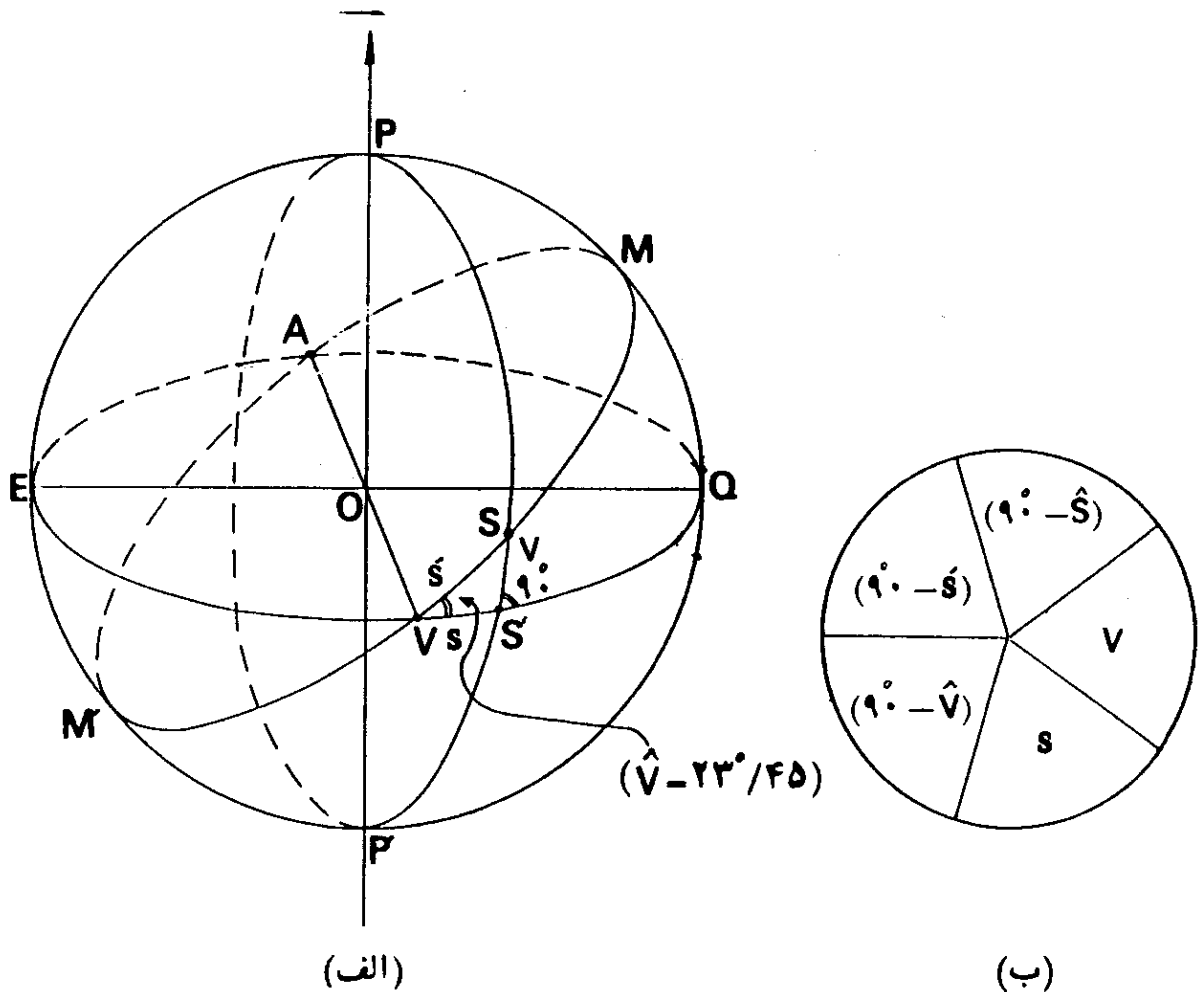
$$\widehat{CF} \text{ طول کمان} = \frac{\pi R \left[(90^\circ - \varphi) - \tan^{-1} \left(\cos \frac{\lambda}{\varphi} \cot \varphi \right) \right]}{180^\circ} \quad \text{و در نتیجه،} \quad (4-17)$$

سپس با استفاده از این فرمول، می توان این فاصله را برای مثال عددی (۴-۳) حساب کرد:

$$\widehat{CF} \text{ طول} = \frac{\pi \times 6370 \times \left[(90^\circ - 21^\circ) - \tan^{-1} \left(\cos \frac{66^\circ}{\varphi} \cot 21^\circ \right) \right]}{180^\circ}$$

کیلومتر ۳۹۹/۵۵ = فاصله نصف النهاری دو مسیر چنانکه این فاصله را با اختلاف طول دو مسیر که برابر ۵۴/۸۲ کیلومتر است، مقایسه کنیم دیده می شود که فاصله نصف النهاری دو مسیر خیلی بیشتر از اختلاف طول دو مسیر است. این مطلب از نظر تعیین جهت قبله نقاطی که عرض جغرافیایی آنها برابر عرض جغرافیایی مکه معظمه است، حائز اهمیت می باشد و در فصل پنجم، در این باره توضیح بیشتری داده خواهد شد.

مثال (۴-۶) — در شکل (۴-۹، الف) گره ای با مرکز O نشان داده شده است. دو دایره عظیمه EVQA و MVMA بر روی آن بصورتی رسم شده اند که زاویه بین صفحات آنها برابر ۲۳° و ۲۷° است. فرض کنید که نقطه S با سرعتی یکنواخت، از نقطه V بر روی دایره MVMA شروع به حرکت کند. همچنین فرض کنید که نقطه S تصویر



شکل (۴-۹) — شکل مربوط به مثال (۴-۶).

نقطه S بر روی دایره عظیمه EVQA در امتداد دایره عظیمه Psp باشد، که صفحه خود این دایره بر صفحه دایره EVQA عمود است. حال اگر نقطه S با اندازه یک درجه از نقطه V بر روی دایره عظیمه MVMA حرکت کند، محاسبه کنید که اندازه زاویه ای کمان VS چند است.

راه حل — مثلث کروی VSS قائم الزاویه است و لذا اندازه کمان VS را می توان با استفاده از قاعده نیپر حساب کرد. با توجه به شکل (۴-۹، ب)، داریم:

$$\sin(90^\circ - \hat{V}) = \tan \tan(90^\circ - s')$$

$$\cos \hat{V} = \tan s \cot s'$$

$$\cos(23^\circ / 45) = \tan s \cot 1^\circ$$

$$\tan s = 0.0160133$$

$$s = 0.917416 \text{ درجه}$$

$$\widehat{VS'} = s = 55' \text{ و } 2''/7$$

بنابراین طی یک درجه از نقطه V بر روی دایره عظیمه MVMA ، برابر طی ۵۵ دقیقه و ۲/۷ ثانیه توسط نقطه S' بر روی دایره عظیمه EVQA خواهد بود. از نتیجه این مثال در فصل ششم استفاده خواهد شد.

روشهای قبله یابی

تا اینجای مطلب، چگونگی تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و مختصات جغرافیایی یک محل، مورد بررسی قرار گرفت و همچنین مثالهایی در مثلثات کروی داده شد. این اطلاعات در قبله یابی مورد لزوم اند و در این فصل از آنها استفاده خواهد شد. مطالب این فصل، خواننده را برای درک هرچه بیشتر فصول بعدی، در مورد تحقیقات لازم در قبله یابی، آماده خواهد کرد.

در این فصل، روشهای مختلف قبله یابی مورد بررسی قرار می گیرد. ابتدا شرح مختصری راجع به قبله داده می شود، سپس روشهای مورد نظر، بررسی می گردد.

۱. قبله

کلمه قبله عربی است (قبلة) و به معنای آنچه که پیش روی گیرند و جهت و سمت را گویند. قبله عبارت از جهتی است که بسوی کعبه— خانه خدا در مکه معظمه— قرار دارد. مسلمین بهنگام نماز رو به قبله قرار می گیرند

بعلاوه دانستن جهت قبله، در بسیاری دیگر از مراسم مذهبی مسلمین، مورد لزوم است. جهت قبله در کلیه مساجد که محل عبادت مسلمانان است، مشخص می باشد. در صحن مساجد، محراب بسوی قبله ساخته می شود. بنابراین جهت قبله در طرح و بنای مساجد حایز اهمیت است. مسلمین در خانه های خود نیز نیازمند تعیین جهت قبله هستند. بهنگام ذبح و قربانی، دانستن جهت قبله نیز لازم است. همچنین در محوطه گورستانها، جهت قبله را تعیین می کنند.

هزاران مسجد، در هر کشور اسلامی دارای جهت مشخص قبله‌اند و همچنین دانستن جهت قبله در معماری اسلامی، از ضروریات است. تمام این نکات، حاکی از آنست که جهت قبله در میان مسلمین دارای اهمیت زیادی است.

۲. کعبه

کعبه نیز عربی است (کعبه) و بمعنای خانه چهارگوش و غرفه است. کعبه یک ساختمان کوچک مکعبی شکل است که در مسجد بزرگ در مکه معظمه، قرار دارد. خانه کعبه بارها تجدید بنا شده است و ساختمان فعلی منسوب به حضرت ابراهیم (ع) و حضرت اسماعیل (ع) است. کعبه رایبیت الله (خانه خدا) و یایبیت الحرام نیز می نامند. اصطلاح بیت الحرام از آنجا ناشی شده که داخل شدن در آن، برای مشرکان حرام بوده است.

۳. مکه

مقدس ترین شهر مسلمین، شهر مکه است که در کشور عربستان سعودی قرار دارد. مکه مرکز منطقه حجاز و در حدود ۷۲ کیلومتری شرق بندر جده که در کنار دریای سرخ است، قرار دارد.

پیروان حضرت محمد (ص) آن را (ام القری) به معنای مادر شهرهای نامیدند. اهمیت این شهر از آنجا ناشی شده، که محل تولد حضرت محمد (ص) است. اما این شهر قبل از میلاد آخرین پیغمبر خدا، نیز محل زیارت بوده است.

مسجد بزرگ مکه با حیاط مرکزی و ستونهای متعدد آن، در سطح یک میدان مرکزی قرار گرفته است. صحن این مسجد در فواصل بین ایام حج، بعنوان محل تدریس علوم، و علوم اسلامی بکار گرفته می شود. کعبه در حیاط مرکزی این مسجد قرار دارد که در حقیقت مقدس ترین محل مکه معظمه است و دقیقاً محلی است که جهت قبله در هر جای کره زمین، بسوی آن قرار می گیرد.

شهر مکه علاوه بر اینکه کعبه، مقدس ترین محل مسلمین را در بر دارد، از نظر مراسم حج و زیارت نیز حائز اهمیت زیادی است. حج یکی از ارکان دین اسلام است

ویر هر مسلمانی، انجام یک بار آن، در صورت توانایی جسمی و مالی، از واجبات است. مراسم حج سالی یک بار در ماه ذی حجه صورت می گیرد.

۴. مختصات جغرافیایی کعبه

در فصل چهارم دیدیم که برای بدست آوردن جهت نقطه‌ای مانند A، از نقطه‌ای مانند B، می بایست مختصات جغرافیایی آنها را داشته باشیم. لذا برای بدست آوردن جهت قبله در هر نقطه‌ای بر روی کره زمین، می بایست مختصات جغرافیایی کعبه و محل مورد نظر را بدانیم. این مطلب در بیشتر روشهای قبله یابی مصداق دارد.

متأسفانه مختصات جغرافیایی کعبه در اطلسهای جغرافیایی، داده نشده است. اما مختصات جغرافیایی شهر مکه در اطلسهای مختلف، با اندکی اختلاف داده شده است. مختصات جغرافیایی مکه که در این کتاب بکار رفته، از اطلس زیر گرفته شده است:

Emrys Jones, "The Atlas of World Geography," Sundial Books Limited, 59 Grosvenor Street, London, W1, 1977.

در این کتاب، مقادیر داده شده برای طول و عرض جغرافیایی مکه معظمه به شرح زیر است:

$$\varphi_M = 21^{\circ} 30' = \text{عرض جغرافیایی مکه}$$

$$\lambda_M = 39^{\circ} 54' = \text{طول جغرافیایی مکه}$$

از آنجاییکه در این کتاب، فقط به بیان روشها، اکتفا شده است، لذا این مختصات، بعنوان مختصات جغرافیایی کعبه فرض شده است و این فرض، در نتیجه بعضی از روشها، تأثیر چندانی ندارد. البته چنانکه در فصل نهم کتاب خاطر نشان شده است، در مورد کارهای دقیق، دانستن مختصات دقیق کعبه لازم است. شاید مختصات دقیق این مکان مقدس، تا بحال تعیین شده باشد که نگارنده نتوانسته باشد به آن دست یابد. بهر صورت تعیین مختصات جغرافیایی این محل با روشهای نجومی لازم است.

۵. روشهای تعیین قبله

جهت قبله تا سال دوم هجرت بسوی بیت المقدس بود. در ماه رجب سال دوم هجرت، به سوی کعبه تعیین شد. از این تاریخ به بعد، جهت خانه خدا اهمیت پیدا کرد. شاید در اوایل رواج اسلام، اهمیت مطلب، چندان نبوده، اما بعدها، بعلت اشاعه اسلام در سرزمینهای دورتر، جهت یابی قبله، دارای اهمیت فراوانی شد. امروزه، بعلت کثرت تردد و مسافرت، مسلمین در اقصی نقاط دنیا زندگی می کنند و لذا جهت یابی قبله از اهمیت بیشتری برخوردار است.

هزاران مسجد قدیمی از قرون گذشته، در ممالک اسلامی پراکنده اند. شاید تحقیق جالبی باشد که دریابیم گذشتگان، چگونه جهت قبله را تعیین می کردند. قطعاً از اسطرلاب بدین منظور استفاده می شده است. همچنین ممکن است بکمک دانش نجوم، و نقشه برداری که امروزه بسیار زیاد پیشرفت کرده است، دقت کار گذشتگان را بررسی کرد. در موارد بسیار دقیقتر، ممکن است علم زمین پیمایی (ژئودزی)^۱ را که در آن شکل واقعی زمین مورد بررسی قرار می گیرد، بکار گرفت—شکل زمین در فصل هشتم به صورت مختصر مورد بررسی قرار گرفته است—بعلاوه امروزه با کمک قمرهای مصنوعی و دانش نجوم و عکس برداری هوایی^۲، می توان وضعیت نقاط با فواصل زیاد را بر روی کره زمین، دقیقاً تعیین کرد.

در ایران فعالیتهایی در مورد قبله یابی در دهه های اخیر صورت گرفته است. در سال ۱۳۷۱ هجری قمری، سرتیپ مهندس عبدالرزاق خان بغایری، کتابی تحت عنوان «معرفة القبلة» که حاوی طول و عرض جغرافیایی و جهت قبله شهرهای زیادی در دنیاست، ارائه داده است که این کتاب تحت شماره (۱۳۸۱۲) در کتابخانه ملی ایران در تهران ثبت شده است.

تیمسار سرتیپ حسینعلی رزم آرا، رساله خود را تحت عنوان «قبله نمای رزم آرا» در سال ۱۳۳۴ هجری شمسی منتشر ساخت، اختراع قبله نمای رزم آرا در سال ۱۳۳۱ هجری شمسی توسط ایشان به ثبت رسیده است. رساله آقای رزم آرا در کتابخانه ملی، تحت شماره (۱۴۶۰۷) ثبت شده است. بعداً در این فصل راجع به قبله نمای مغناطیسی توضیح بیشتری داده خواهد شد.

دکتر عباس ریاضی کرمانی، چند روش قبله یابی را در کتاب خود تحت عنوان

«مقدمه‌ای بر نجوم عالی» آورده است. این کتاب از انتشارات دانشگاه تهران است که با شماره (۱۳۲۵) در سال ۱۳۵۰ منتشر گردیده است. در این کتاب، مختصات جغرافیایی و جهت قبله تعداد زیادی از شهرهای ایران و جهان ذکر شده است. مسلماً آثار دیگری در موضوع قبله یابی موجود است که نگارنده از وجود آنها بی اطلاع است.

نگارنده، درباره فعالیت‌های انجام شده در مورد قبله یابی، در زمانهای قبل از دهه‌های اخیر، تحقیقی انجام نداده است. در این مورد آثار ارزشمندی به زبان عربی موجود است و شاید زمینه جالبی باشد که درباره روشهای قبله یابی در ایران و سایر کشورهای اسلامی، در زمانهای پیشین، تحقیق جامعی صورت گیرد. البته موضوع قبله یابی در آثار بجا مانده از دانشمند بزرگ جهانی، ابوریحان محمد بن احمد بیرونی خوارزمی (۳۶۲ هجری قمری - ۴۴۰ هجری قمری) از ارزش والایی برخوردار است و خود می‌تواند موضوع تحقیق گسترده‌ای باشد.

در ادامه این بخش، به روشهای مختلف قبله یابی می‌پردازیم:

۱-۵. محاسبه جهت قبله با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی

درحقیقت اساس این روش در مثال (۲-۴) در فصل چهارم، نمایانده شده است. در درجه اول می‌بایست طول و عرض جغرافیایی محل مورد نظر را تعیین و سپس با در دست داشتن مختصات جغرافیایی کعبه، جهت قبله را محاسبه کرد. در مرحله بعدی چهار جهت اصلی محل را مشخص ساخته، آنگاه جهت قبله را نسبت به آن توجیه کرد. در اینجا خواننده درخواهد یافت که چرا موضوعهای فصول قبلی به آن صورت انتخاب، و ارائه شده است.

روش محاسبه جهت قبله، با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، در طی یک مثال، داده می‌شود:

مثال (۱-۵) - جهت قبله در تهران، روش محاسباتی: جهت قبله را در نقطه‌ای در تهران با مختصات جغرافیایی زیر محاسبه کنید.

$$\varphi_T = 35^\circ 41' \text{ شمالی} \quad \lambda_T = 51^\circ 27' \text{ شرقی}$$

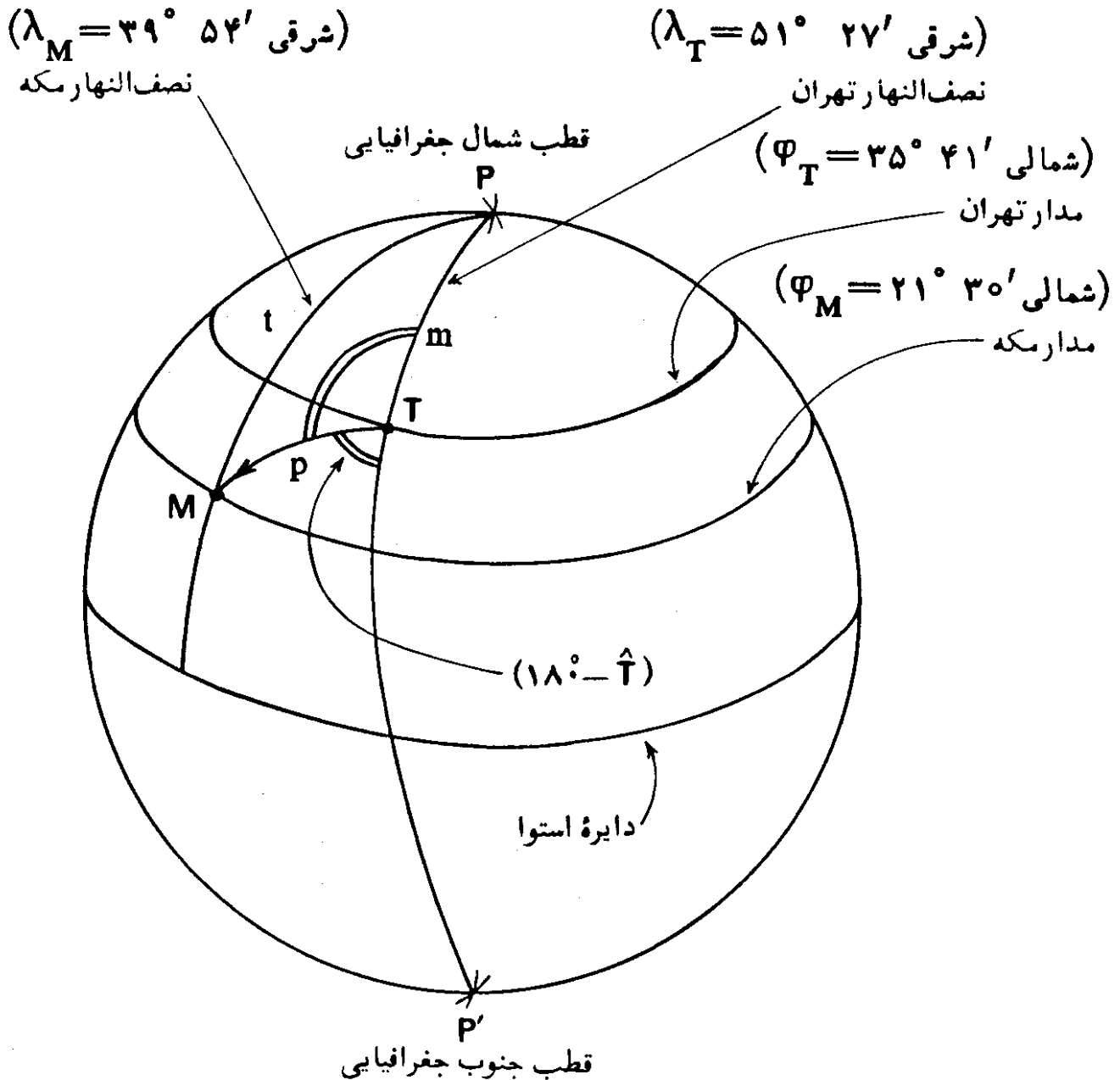
فرض می‌شود که مختصات جغرافیایی کعبه بصورت زیر باشد:

$$\varphi_M = 21^\circ 30' \text{ شمالی} \quad \lambda_M = 39^\circ 54' \text{ شرقی}$$

راه حل — چون در این روش، از روابط مثلثات کروی استفاده می شود، بناچار فرض می شود که شکل زمین کاملاً کروی است، و مختصات جغرافیایی داده شده را بر روی چنین کره ای منطبق می کنیم. در فصول بعدی راجع به تأثیر شکل واقعی زمین در اساس این روش، بحث خواهد شد.

با قبول فرض کروی بودن زمین، چنانکه در شکل (۵-۱) نشان داده شده، مسئله بصورت تعیین جهت نقطه M ، در مکه، از نقطه T ، در تهران، درمی آید، که این دقیقاً همان مثال (۴-۲)، مذکور در فصل چهارم است.

در شکل (۵-۱)، جهت نقطه M بعنوان کعبه، از نقطه T ، در تهران، عبارت از



شکل (۵-۱) — نمایش جهت قبله در تهران بر روی کره زمین، مثال (۵-۱).

زاویه کروی $(\hat{T} = \hat{PTM})$ است. اما چنانکه مشاهده می شود، زاویه T نسبت به امتداد شمال جغرافیایی، سنجیده شده است و لذا زاویه جهت قبله نسبت به امتداد جنوب جغرافیایی برابر است با:

$$\hat{MTP}' = 180^\circ - \hat{T}$$

با بکار بردن فرمولهای مناسب مثلثات کروی، می توان زاویه کروی \hat{T} را به شرح زیر محاسبه کرد:

$$\tan \frac{T+M}{2} = \frac{\cos \frac{(t-m)}{2}}{\cos \frac{(t+m)}{2}} \cot \frac{P}{2}$$

$$\tan \frac{T-M}{2} = \frac{\sin \frac{(t-m)}{2}}{\sin \frac{(t+m)}{2}} \cot \frac{P}{2}$$

که در آنها،

$$m = \widehat{PT} = 90^\circ - \varphi_T = 90^\circ - (35^\circ 41') = 54^\circ 19'$$

$$m = 54^\circ / 31667$$

$$t = \widehat{PM} = 90^\circ - \varphi_M = 90^\circ - (21^\circ 30') = 68^\circ / 5$$

$$\frac{t-m}{2} = \frac{68^\circ / 5 - (54^\circ 19')}{2} = 7^\circ 5' / 5 = 7^\circ / 09167$$

$$\frac{t+m}{2} = \frac{68^\circ / 5 + (54^\circ 19')}{2} = 61^\circ 22' / 5 = 61^\circ / 40833$$

(لازم است تذکر داده شود که در این محاسبات از ماشین حساب الکترونیکی که در درسالهای اخیر در سطح وسیعی رواج یافته، استفاده شده است.)

$$\hat{P} = \widehat{MPT} = \lambda_T - \lambda_M = (51^\circ 27') - (39^\circ 54')$$

$$\hat{P} = 11^{\circ}33' = 11^{\circ}/55$$

$$\frac{\hat{P}}{2} = \frac{11^{\circ}33'}{2} = 5^{\circ}46'/5 = 5^{\circ}/775$$

در نتیجه با بکاربردن مقادیر مربوطه در فرمولهای فوق، داریم:

$$\tan \frac{(T+M)}{2} = \frac{\cos(7^{\circ}5'/5)}{\cos(61^{\circ}24'/5)} \cot(5^{\circ}46'/5)$$

$$\tan \frac{(T+M)}{2} = 20/503193$$

$$\frac{T+M}{2} = 87^{\circ}/207732$$

$$\tan \frac{(T-M)}{2} = \frac{\sin(7^{\circ}5'/5)}{\sin(61^{\circ}24'/5)} \cot(5^{\circ}46'/5)$$

$$\tan \frac{(T-M)}{2} = 1/3902481$$

$$\frac{T-M}{2} = 54^{\circ}/272684$$

$$\hat{M} = 32^{\circ}/935048$$

که در نتیجه

$$\hat{T} = 141^{\circ}/48041$$

لذا جهت قبله در نقطه مورد نظر در تهران نسبت به جهت جنوب جغرافیایی

برابر است با:

$$\begin{aligned} (180^{\circ} - \hat{T}) &= 180^{\circ} - 141^{\circ}/48041 = 38^{\circ}/51959 \\ &= 38^{\circ} \quad 31' \quad 10''/52 \end{aligned}$$

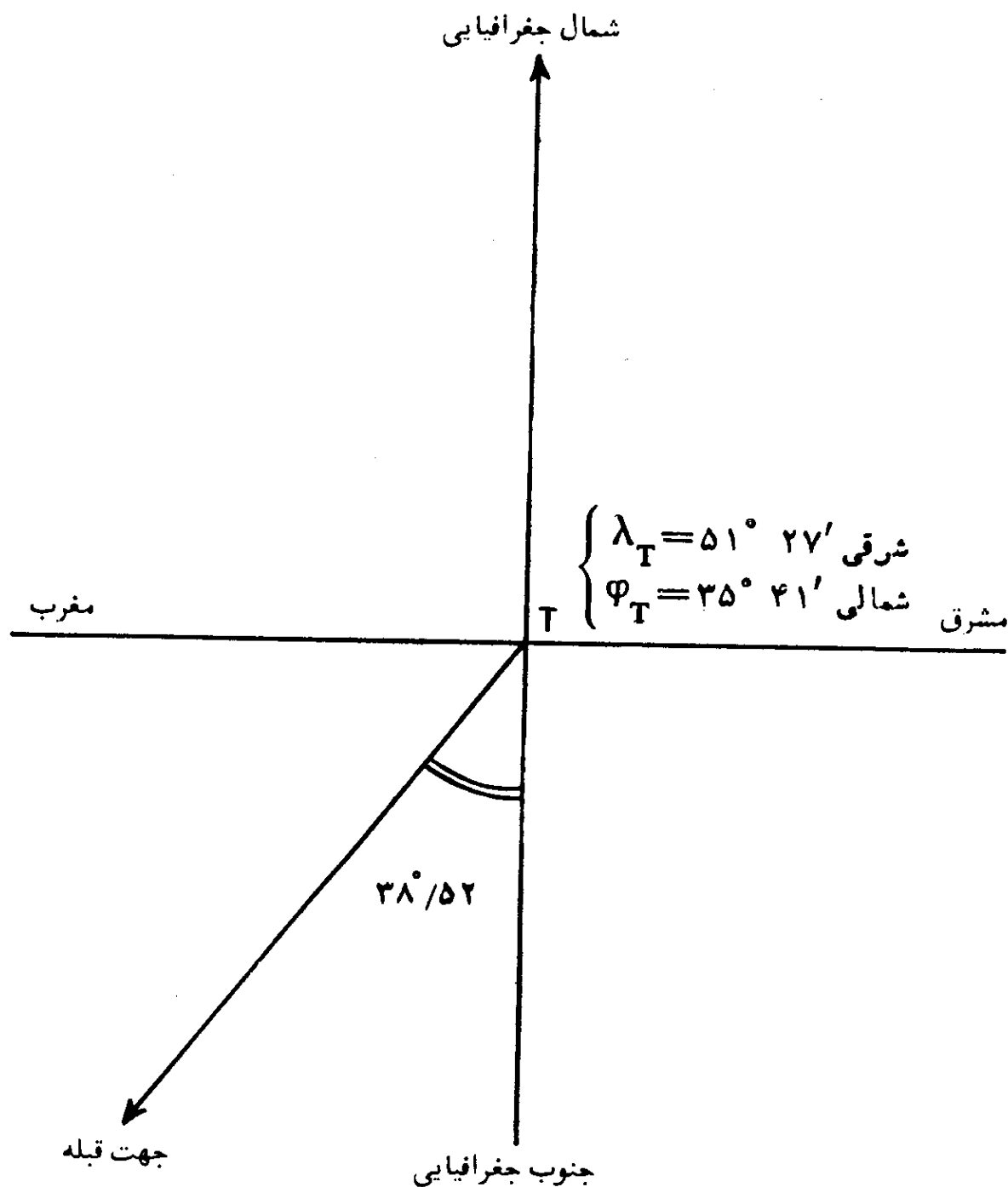
$$\frac{\sin t}{\sin T} = \frac{\sin M}{\sin M}$$

نتیجه محاسبه را می شود بصورت ذیل کنترل کرد:

$$\frac{\sin t}{\sin T} = \frac{\sin(68^\circ/5)}{\sin(141^\circ/48041)} = 1/4939695$$

$$\frac{\sin M}{\sin M} = \frac{\sin(54^\circ 19')}{\sin(32^\circ/935048)} = 1/4939696$$

که برابری روابط فوق نشانگر صحت محاسبات قبلی است. با اندکی دقت در شکل (۵-۱)، دریافته می شود که جهت قبله در تهران در جهت جنوب غربی است و لذا چنانکه در شکل (۵-۲) نمایانده شده است، جهت قبله



شکل (۵-۲) - جهت قبله در نقطه ای در تهران نسبت به امتداد جنوب جغرافیایی.

در این نقطه در تهران، با فرض کروی شکل بودن زمین، نسبت به جهت جنوب جغرافیایی، $۳۸/۵۲^\circ$ به سمت مغرب است.

در اینجا، لازم است، مجدداً به مثال (۲-۴) در فصل چهارم کتاب، برگردیم. مختصات انتخاب شده برای نقاط A و B در تهران، به ترتیب در حدود مختصات جغرافیایی مکه و تهران، عمداً در نظر گرفته شدند. یعنی مختصات جغرافیایی نقاط A و B با تقریب حدود $۳۰'$ به ترتیب، برابر مختصات جغرافیایی مکه و تهران است. اما

اندازه زاویه کروی \widehat{ABP} ، در شکل (۶-۴)، برابر $(۳۵/۶۱)^\circ$ است. با مقایسه این

نتیجه، با حاصل زاویه کروی $(۳۸/۵۲)^\circ = \widehat{MTP}$ ، در شکل (۱-۵)، درمی یابیم که نتیجه محاسبه تا چه حد بستگی به دقت در مقادیر مربوط به طول و عرض جغرافیایی دارد. نتیجه آنکه در روش محاسبه جهت قبله، با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، می بایست مختصات جغرافیایی محل مورد نظر و خانه کعبه، دقیقاً معلوم باشند.

۲-۵. تعیین جهت قبله با روش ترسیمی

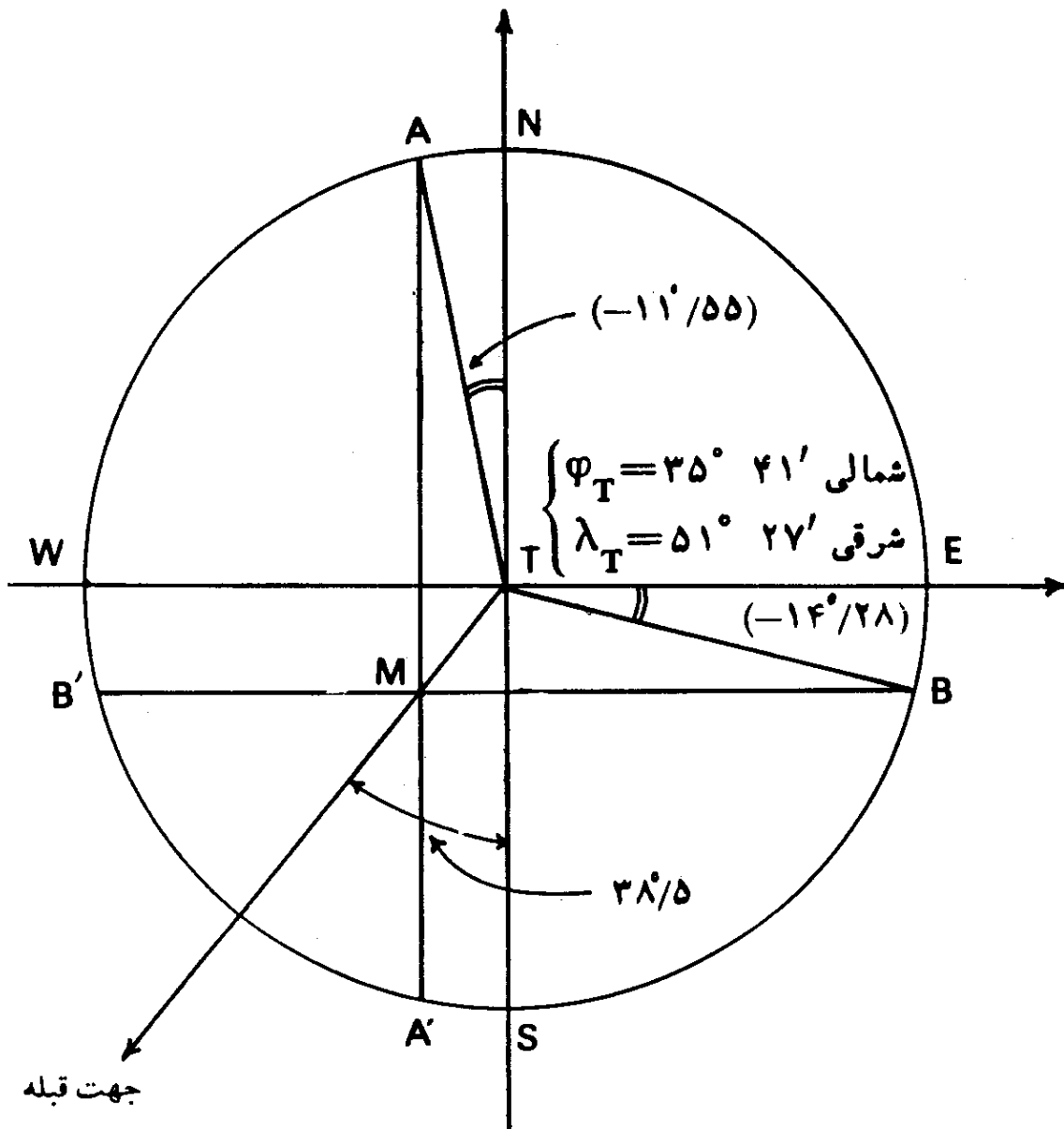
شاید انجام محاسبات قبلی در مواردی برای همه افراد، ممکن نباشد. اگر چه کاربرد ماشینهای حساب الکترونیکی در سطح وسیعی توسعه یافته و دیگر نیازی به استفاده از جدول لگاریتم، برای محاسبات مثلثاتی، نیست، اما با استفاده از روش ترسیمی، می توان در بعضی نقاط به نتایج خوبی رسید. روش ترسیمی را نیز با ذکر مثالی پی می گیریم:

مثال (۲-۵) — جهت قبله در تهران، روش ترسیمی: جهت قبله را برای مقادیر مثال (۱-۵)، با استفاده از روش ترسیمی تعیین کنید.

راه حل — با توجه به شکل (۳-۵)، مراحل کار به شرح زیر است:

الف — دایره ای مانند دایره NESW رسم کنید و فرض کنید که نقطه مورد نظر (T) در مرکز آن باشد. شعاع این دایره اختیاری است، اما دایره ای بزرگتر جواب دقیقتری را بدست می دهد.

ب — فرض کنید که قطر NS امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و قطر عمود بر آن در نقطه T، یعنی EW امتداد مشرق مغرب جغرافیایی باشد. یعنی نقاط N، E، S و W تشکیل چهار جهت اصلی را داده اند. سپس قطرهای NS و EW را بعنوان محورهای



شکل (۵-۳) - تعیین جهت قبله در نقطه‌ای در تهران با روش ترسیمی.

مختصات دستگاه مختصات دکارتی^۱ در نظر بگیرید.

ج - کمان \widehat{EB} را برابر اختلاف جبری عرضهای جغرافیایی نقاط T و M جدا

کنید:

$$\widehat{EB} = \widehat{ETB} = ۲۱^{\circ}/۵ - ۳۵^{\circ}/۶۸ = -۱۴^{\circ}/۱۸$$

این مقدار در حقیقت فاصله زاویه‌ای^۲ بین دو مدار دو نقطه است. سپس خط BB' را موازی محور WE رسم کنید.

1. Cartesian Co-Ordinate System

2. Angular Distance

د- کمان \widehat{NA} را برابر اختلاف جبری طولهای جغرافیایی نقاط M و T جدا

کنید:

$$\widehat{NA} = \widehat{NTA} = ۳۹^\circ/۹ - ۵۱^\circ/۴۵ = -۱۱^\circ/۵۵$$

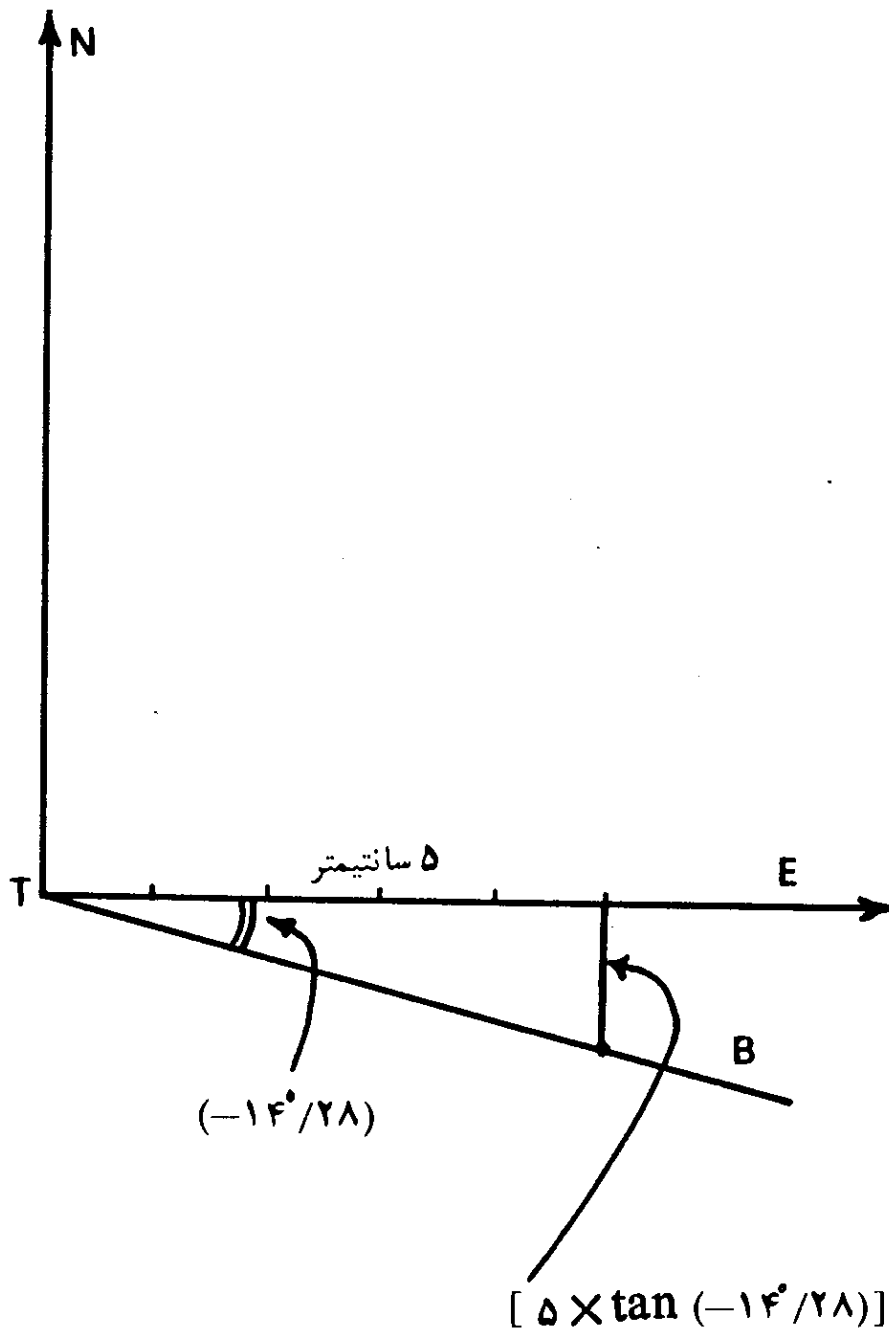
درحقیقت این مقدار برابر با فاصله زاویه‌ای بین نصف‌النهارهای دو نقطه است. سپس خط AA' را به موازات محور NS رسم کنید.

زوایای \widehat{ETA} و \widehat{NTA} را ممکن است با استفاده از یک نقاله جدا کرد. اما برای دقت بیشتر می‌توان تانژانت زاویه را محاسبه کرده، از طریق ترسیم با استفاده از تانژانت زاویه، زاویه را جدا کرد. بدین ترتیب که: طول مشخصی را از مبدأ مختصات بر روی محور مورد نظر جدا کرده، آنگاه اندازه طول آن را در تانژانت زاویه مربوط ضرب می‌کنیم. سپس از انتهای طول جدا شده، خطی عمود بر محور، برابر با حاصلضرب بدست آمده، در جهت مورد نظر، رسم می‌کنیم. از اتصال انتهای این خط به مبدا مختصات، زاویه مورد نظر رسم می‌گردد. این روش برای رسم زاویه $\widehat{ETA} = -۱۴^\circ/۲۸$ در شکل (۴-۵) نشان داده شده است.

ه- خط AA'، خط BB' را در نقطه‌ای مانند M قطع می‌کند. از اتصال نقطه M، به نقطه T جهت قبله بدست می‌آید. یعنی خط TM جهت قبله در نقطه مورد نظر است. زاویه \widehat{MTS} انحراف قبله نسبت به امتداد جنوب جغرافیایی را به طرف مغرب نشان می‌دهد.

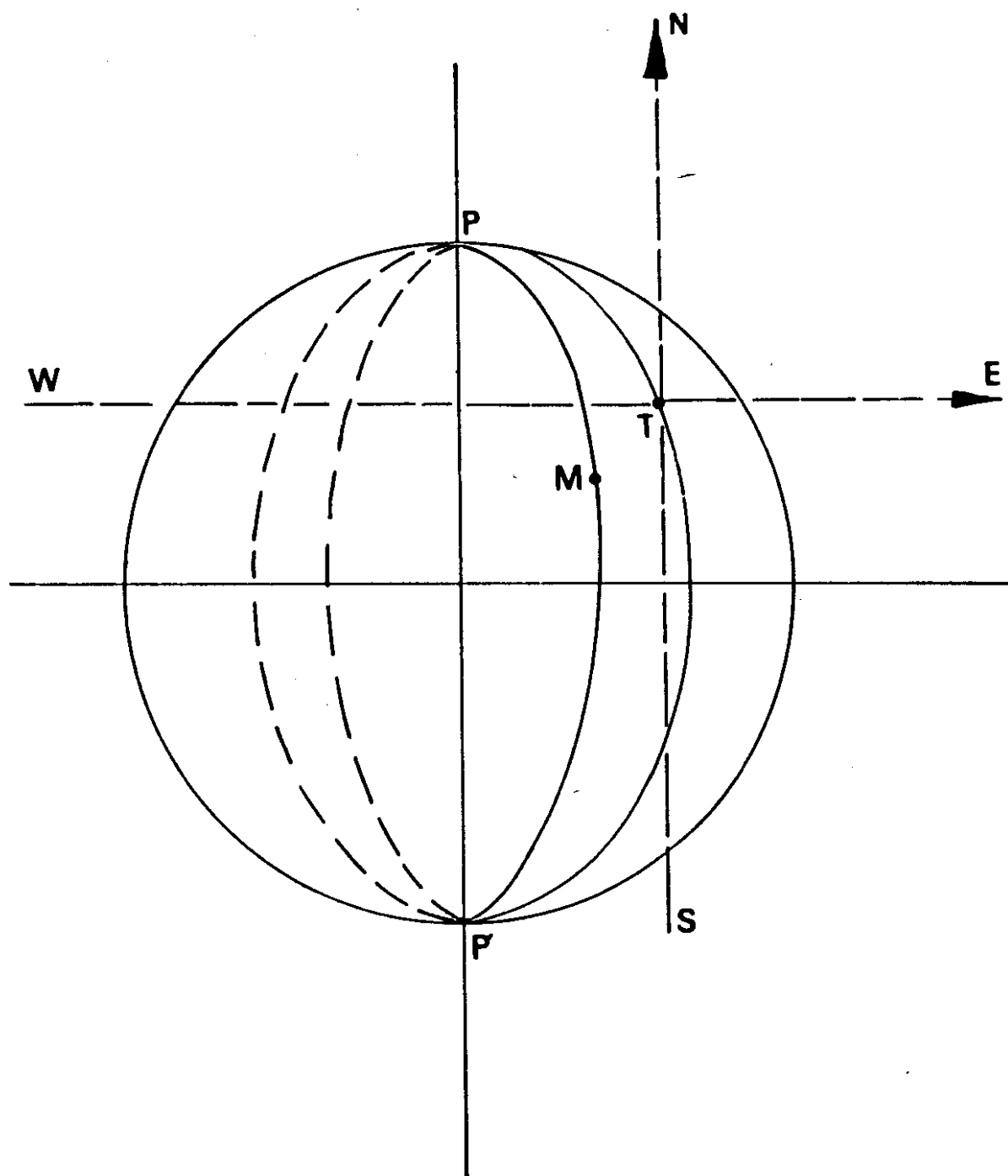
اندازه زاویه \widehat{MTS} در این مثال تقریباً برابر با $۳۸^\circ/۵$ است (اندازه‌گیری با نقاله) که تقریباً با نتیجه محاسبه ($۳۸^\circ/۵۲$) برابر است. اما چنانکه در مثالهای بعد خواهیم دید، همیشه نتیجه روش ترسیمی، با نتیجه روش محاسبه از راه مثلثات کروی، یکی نیست و گاهی میزان اختلاف خیلی زیاد است. هرچه فاصله محل مورد نظر بر روی زمین، از مکه معظمه بیشتر باشد، اختلاف نتیجه دو روش، بیشتر خواهد بود.

اساس کار این روش در شکل (۵-۵) نمایانده شده است، بدین ترتیب که: دو محور مختصات عمود بر هم در نقطه مورد نظر یعنی نقطه T، طوری رسم شده است که محور عمودی آن در امتداد شمال و جنوب جغرافیایی و محور افقی آن در امتداد مشرق-مغرب جغرافیایی محل قرار دارند. بنابراین با توجه به این دو محور مختصات، مختصات نقطه T صفر بوده و وضعیت مکه معظمه (نقطه M)، با توجه به جهتهای مربوط، از راه



شکل (۵-۴) - رسم زاویه با طریقه ترسیمی.

تفاوت جبری مختصات جغرافیایی نقطه T و نقطه M بدست می آیند. به بیانی دیگر، در این روش، سطح زمین بین نقاط T و M بصورت مسطح فرض می شود، که فرض درستی نیست. این مطلب در فواصل کمتر، ممکن است خطای زیادی را موجب نگردد. اما در فواصل زیادتر میزان خطا بیشتر بوده، نتیجه روش ترسیمی با نتیجه محاسبه از راه مثلثات کروی اختلاف بیشتری را نشان خواهد داد. فاصله محل مورد نظر از مکه معظمه را می توان با اختلاف طول و عرض جغرافیایی آنها بیان کرد. اگر این تفاوت زیاد باشد، میزان اختلاف نتیجه ها، بیشتر و اگر کم باشد کمتر خواهد شد.



شکل (۵-۵) - اساس بدست آوردن جهت قبله با روش ترسیم.

یک محدودیت دیگر این روش اینست که فاصله زاویه ای محل مورد نظر، و مکه معظمه، از نظر طول و عرض جغرافیایی، نباید از ۹۰ درجه بیشتر باشد. برای درک بیشتر محدودیت این روش، چند محل، با وضعیت های مختلف را بر روی زمین انتخاب می کنیم و جهت قبله را برای آنها، با دو روش مزبور، بدست آورده، نتیجه ها را مقایسه می کنیم. شهرهای مربوط، در جهت های مختلف نسبت به مکه معظمه انتخاب شده اند.

همچنین در طی یک مثال، اثر خطای یک درجه نسبت به جهت صحیح قبله را مورد بررسی قرار می دهیم.

مثال (۵-۳) — جهت قبله در بمبئی، در هندوستان: جهت قبله را در نقطه ای از بمبئی در هندوستان، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست می آوریم:

$$\varphi_B = 18^\circ 55' \text{ شمالی} \quad \lambda_B = 72^\circ 50' \text{ شرقی}$$

مختصات جغرافیایی کعبه را، مانند مثالهای قبلی را در نظر بگیرید.
راه حل — اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکه معظمه و بمبئی به شرح زیر است:

$$\varphi_M - \varphi_B = 21^\circ / 5 - 18^\circ / 92 = +2^\circ / 58$$

$$\lambda_M - \lambda_B = 39^\circ / 9 - 72^\circ / 83 = -32^\circ / 93$$

نتیجه روش ترسیمی که در شکل (۵-۶) نشان داده شده است، جهت قبله را (۸۵°/۵) درجه در مغرب امتداد شمال جغرافیایی بدست می دهد. درحالیکه نتیجه محاسبه از راه مثلثات کروی، (۷۹°/۵۲) درجه است.

دیده می شود که کاربرد روش ترسیمی، در این مثال قابل قبول نیست و میزان خطا زیاد است. در اینگونه موارد، برای اجتناب از محاسبات، می توان روش استفاده از کره جغرافیایی را که در بخش بعدی خواهد آمد، بکار گرفت.

مثال (۵-۴) — جهت قبله در صنعا: جهت قبله را در نقطه ای در شهر صنعا^۱ در یمن^۲، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید:

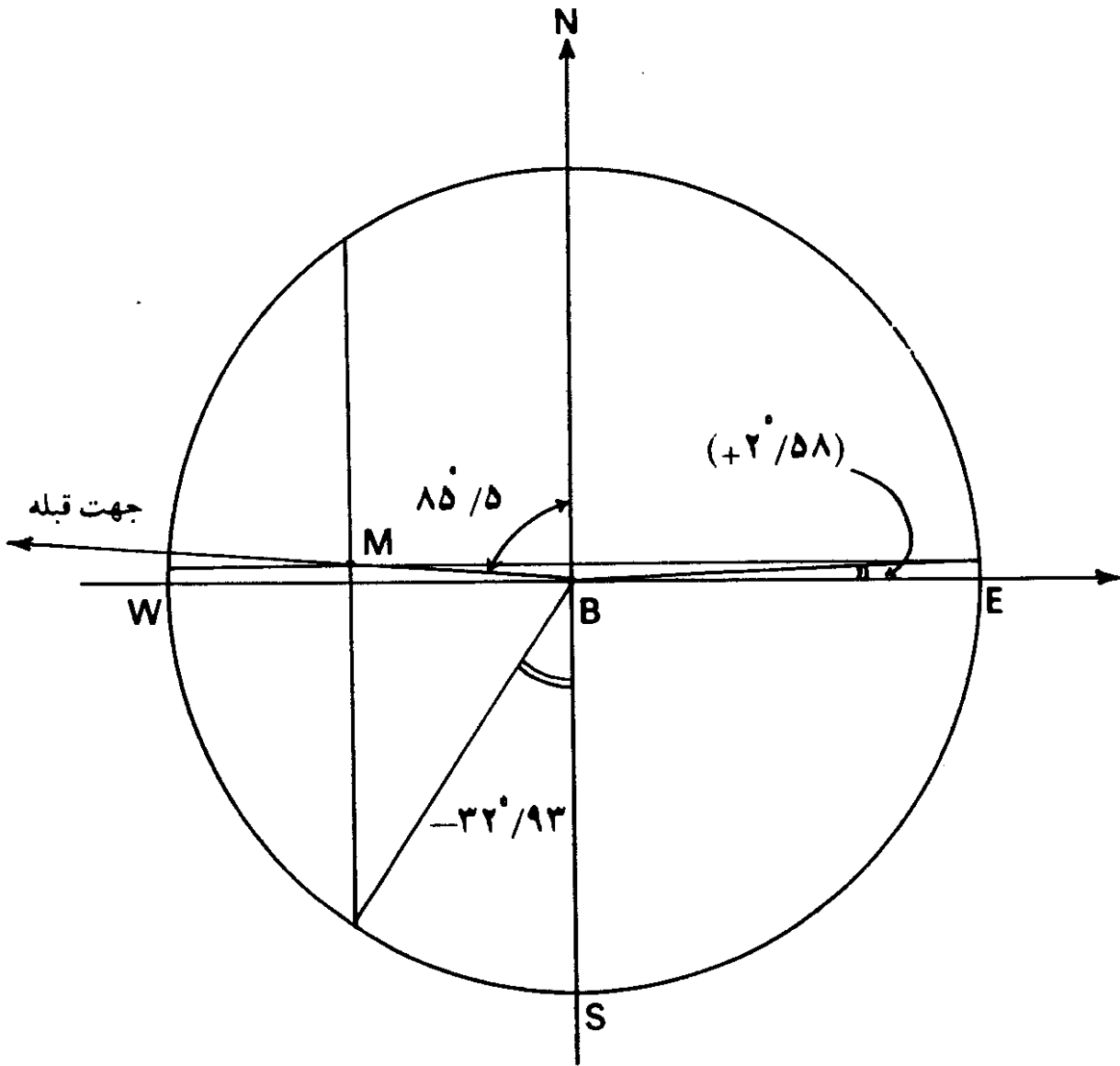
$$\varphi_S = 15^\circ 27' \text{ شمالی} \quad \lambda_S = 44^\circ 12' \text{ شرقی}$$

راه حل — اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکه و صنعا به شرح زیر است:

$$\varphi_M - \varphi_S = 21^\circ / 5 - 15^\circ 27' = +6^\circ / 55$$

$$\lambda_M - \lambda_S = 39^\circ / 9 - 44^\circ 12' = -4^\circ / 3$$

نتیجه روش ترسیمی، با توجه به شکل (۵-۷)، (۳۴°/۳) در مغرب جنوب جغرافیایی است، درحالیکه نتیجه روش مثلثات کروی (۳۳°/۳۳) درجه است. تفاوت دو روش در حدود یک درجه است.



شکل (۵-۶) - جهت قبله در نقطه‌ای در شهر بمبئی در هندوستان، با روش ترسیمی.

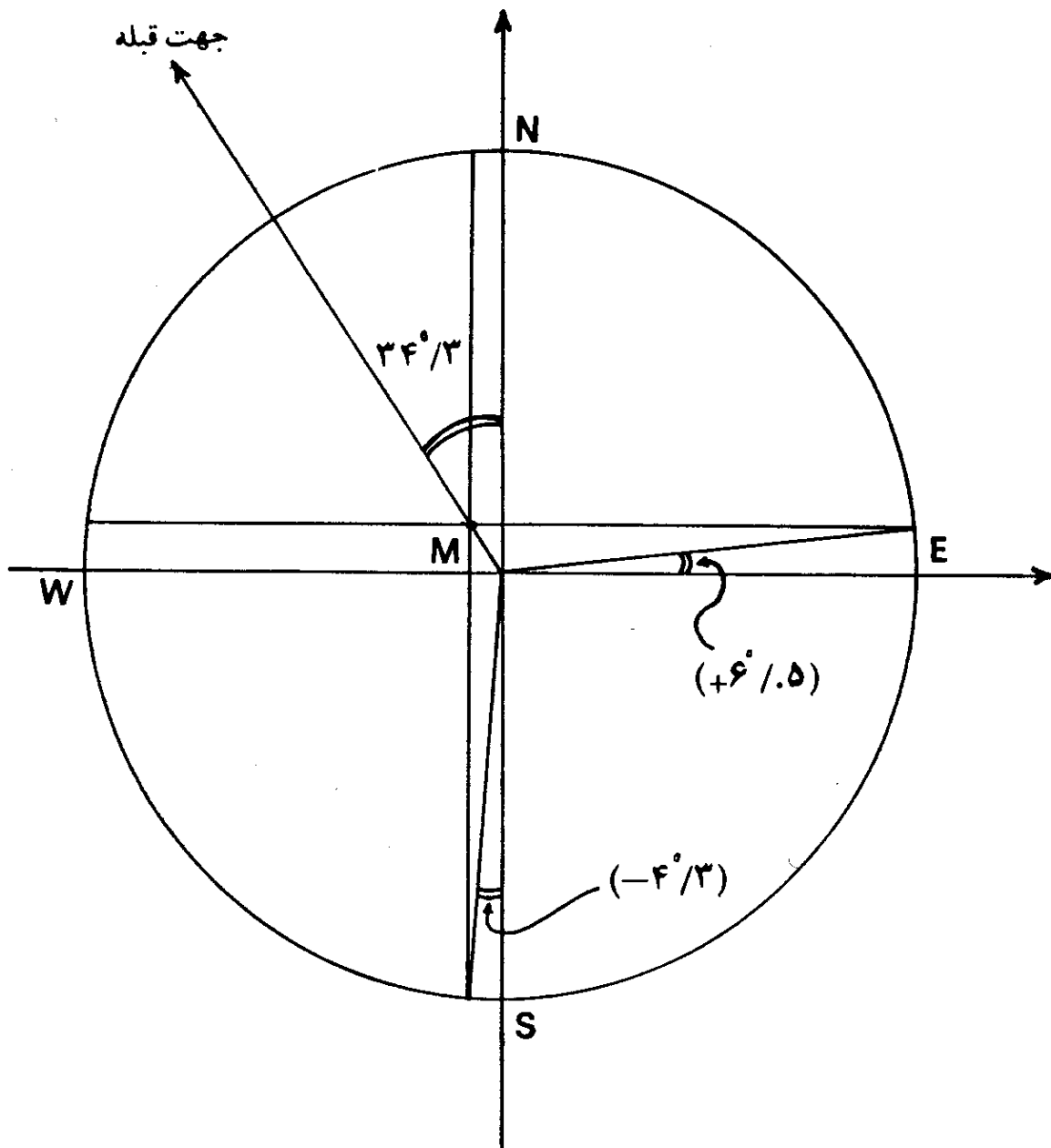
مثال (۵-۵) - جهت قبله در مانیل، در فیلیپین: جهت قبله را در نقطه‌ای از شهر مانیل^۱ در کشور فیلیپین^۲، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید:

$$\varphi_{\text{Man.}} = ۱۴^{\circ}۴۰' \text{ شمالی} \quad \lambda_{\text{Man.}} = ۱۲۱^{\circ}۳' \text{ شرقی}$$

راه حل - اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکه و مانیل به شرح زیر است:

$$\varphi_M - \varphi_{\text{Man.}} = ۲۱^{\circ}/۵ - ۱۴^{\circ}۴۰' = +۶^{\circ}/۸۳$$

$$\lambda_M - \lambda_{\text{Man.}} = ۳۹^{\circ}/۹ - ۱۲۱^{\circ}۳' = -۸۱^{\circ}/۱۵$$

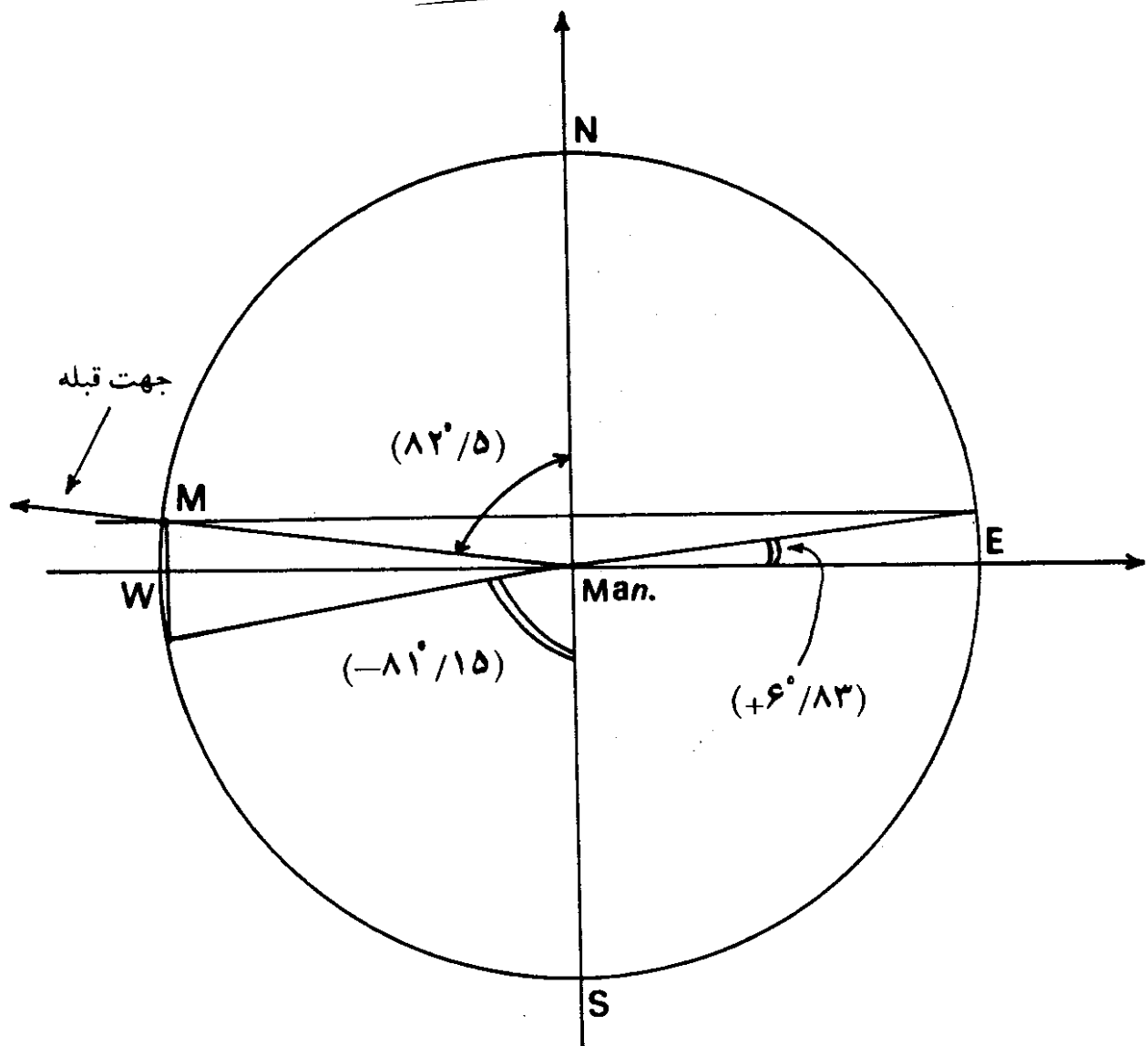


شکل (۵-۷) - جهت قبله در نقطه‌ای در صناعا در یمن، با روش ترسیمی.

نتیجه روش ترسیمی، شکل (۵-۸)، (۸۲°/۵) درجه در مغرب شمال جغرافیایی است، در حالیکه نتیجه روش مثلثات کروی (۷۰°/۹) درجه است. دیده می‌شود که تفاوت نتیجه دو روش زیاد است و روش ترسیمی را نباید بکار برد.

مثال (۵-۶) - جهت قبله در خرطوم: جهت قبله را در نقطه‌ای از شهر خرطوم در سودان^۲، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

$$\varphi_K = ۱۵^{\circ}۳۱' \text{ شمالی} \quad \lambda_K = ۳۲^{\circ}۳۵' \text{ شرقی}$$



شکل (۵-۸) - جهت قبله در نقطه‌ای در مانیل در فیلیپین، با روش ترسیمی.

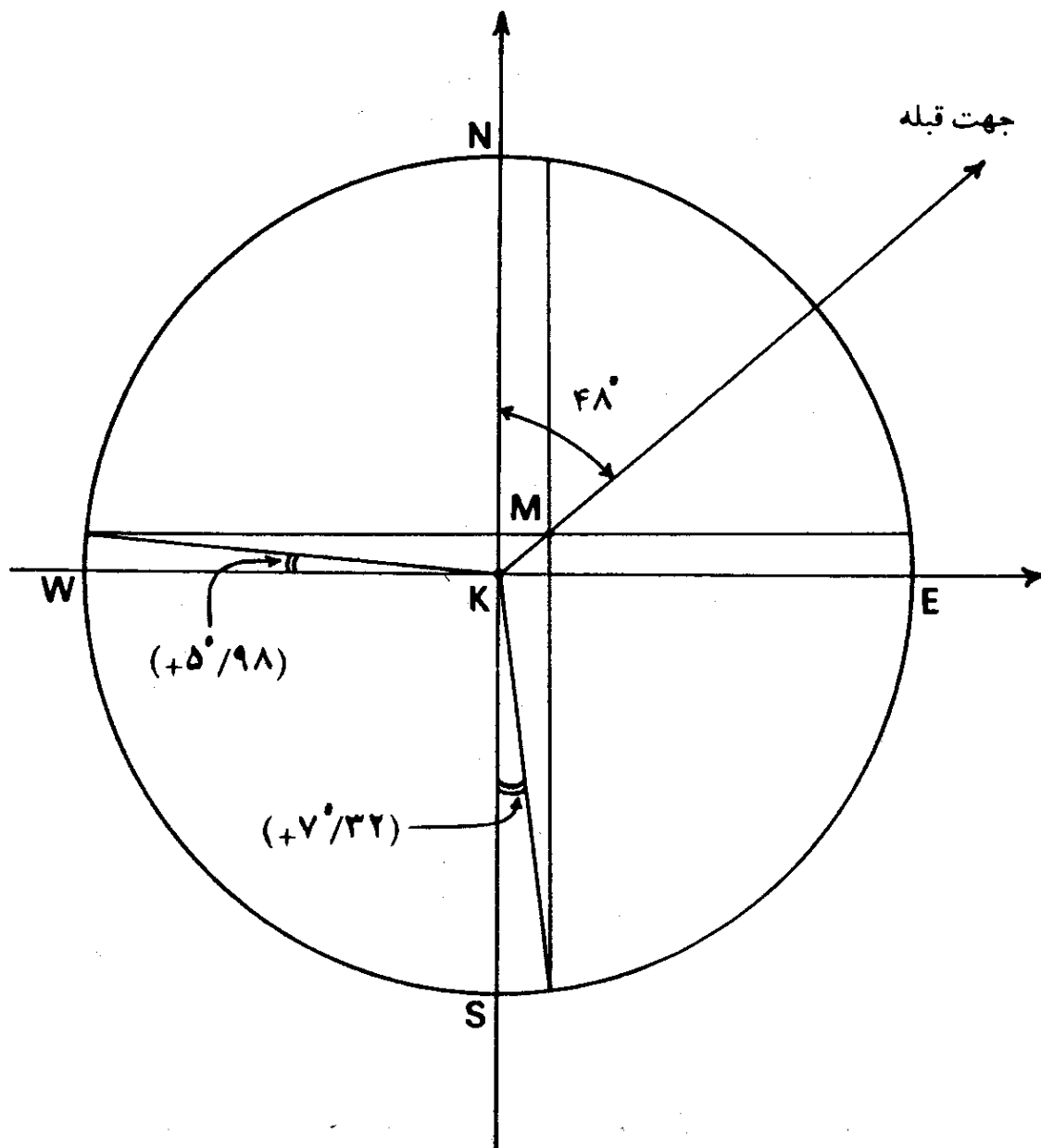
راه حل - اختلاف طول و عرض جغرافیایی مکه و خرطوم به شرح زیر است:

$$\varphi_M - \varphi_K = ۲۱^\circ/۵ - ۱۵^\circ ۳۱' = +۵^\circ/۹۸$$

$$\lambda_M - \lambda_K = ۳۹^\circ/۹ - ۳۲^\circ ۳۵' = +۷^\circ/۳۲$$

با روش ترسیمی، شکل (۵-۹)، جهت قبله ۴۸° درجه در مشرق شمال جغرافیایی است، در حالیکه نتیجه محاسبه از راه مثلثات کروی، (۴۸°/۱۱) درجه است. دیده می‌شود که اختلاف نتیجه دو روش کم است.

مثال (۵-۷) - جهت قبله در آتن: جهت قبله را در نقطه‌ای در آتن در یونان،



شکل (۵-۹) - جهت قبله در نقطه‌ای در خرطوم در سودان، با روش ترسیم.

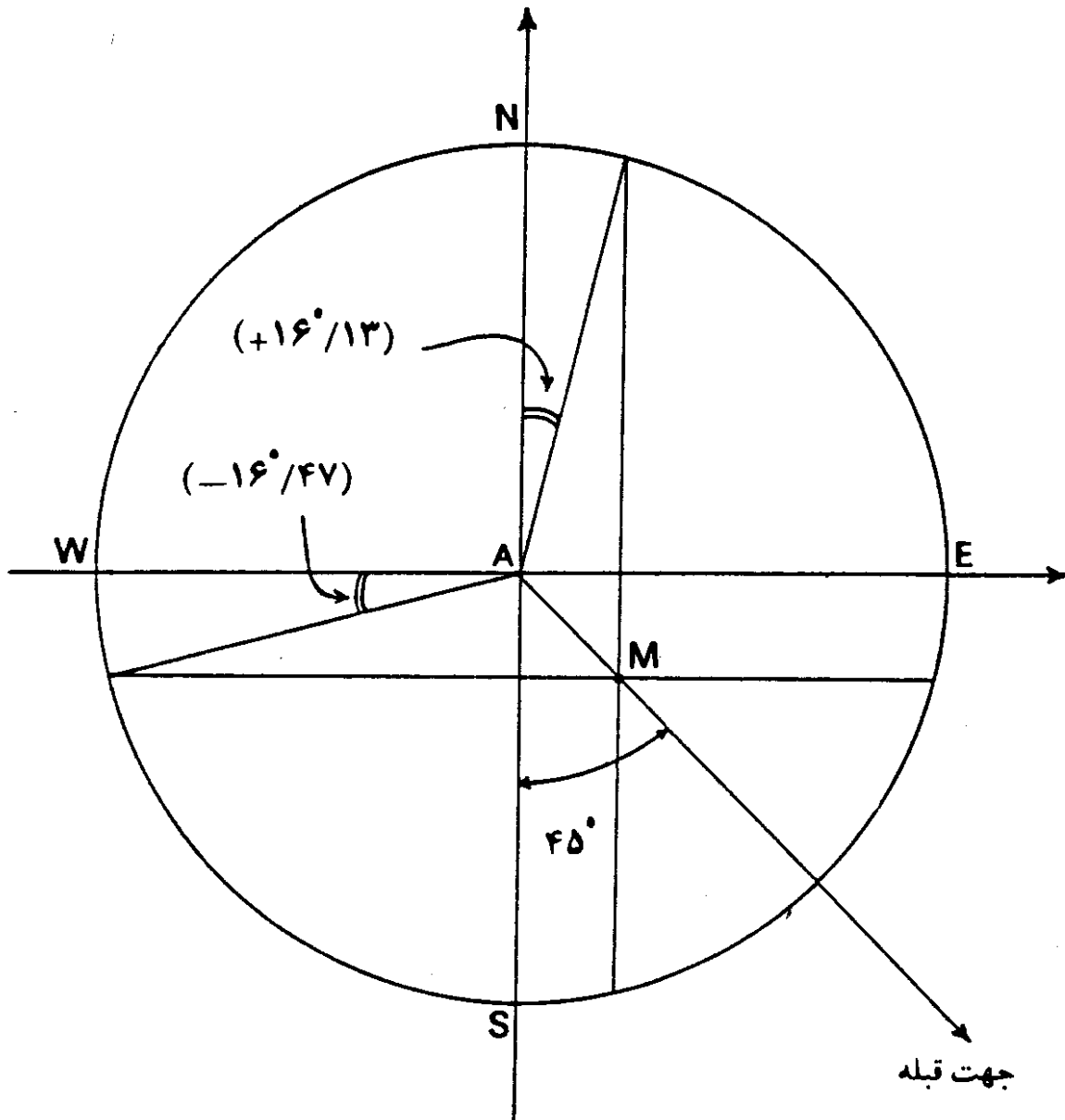
با مختصات جغرافیایی زیر بدست آورید:

$$\varphi_A = ۳۷^{\circ}۵۸' \text{ شمالی} \quad \lambda_A = ۲۳^{\circ}۴۶' \text{ شرقی}$$

راه حل -

$$\varphi_M - \varphi_A = -۱۶^{\circ}/۴۷$$

$$\lambda_M - \lambda_A = +۱۶^{\circ}/۱۳$$



شکل (۵-۱۰) - جهت قبله با روش ترسیمی در نقطه‌ای در آتن در یونان.

با روش ترسیمی، شکل (۵-۱۰)، جهت قبله (۴۵°) درجه در مشرق جنوب جغرافیایی است، درحالی‌که نتیجه محاسبه از راه مثلثات کروی، (۴۴°/۷۴) درجه است. دیده می‌شود که اختلاف دو نتیجه کم است.

مثال (۵-۸) - جهت قبله در استکهلم: جهت قبله را در نقطه‌ای در استکهلم^۱ درسوئد^۲، با مختصات جغرافیایی زیر بدست آورید:

$$\varphi_{St.} = ۵۹^{\circ}۱۷' \text{ شمالی} \quad \lambda_{St.} = ۱۸^{\circ}۳' \text{ شرقی}$$

1. Stockholm

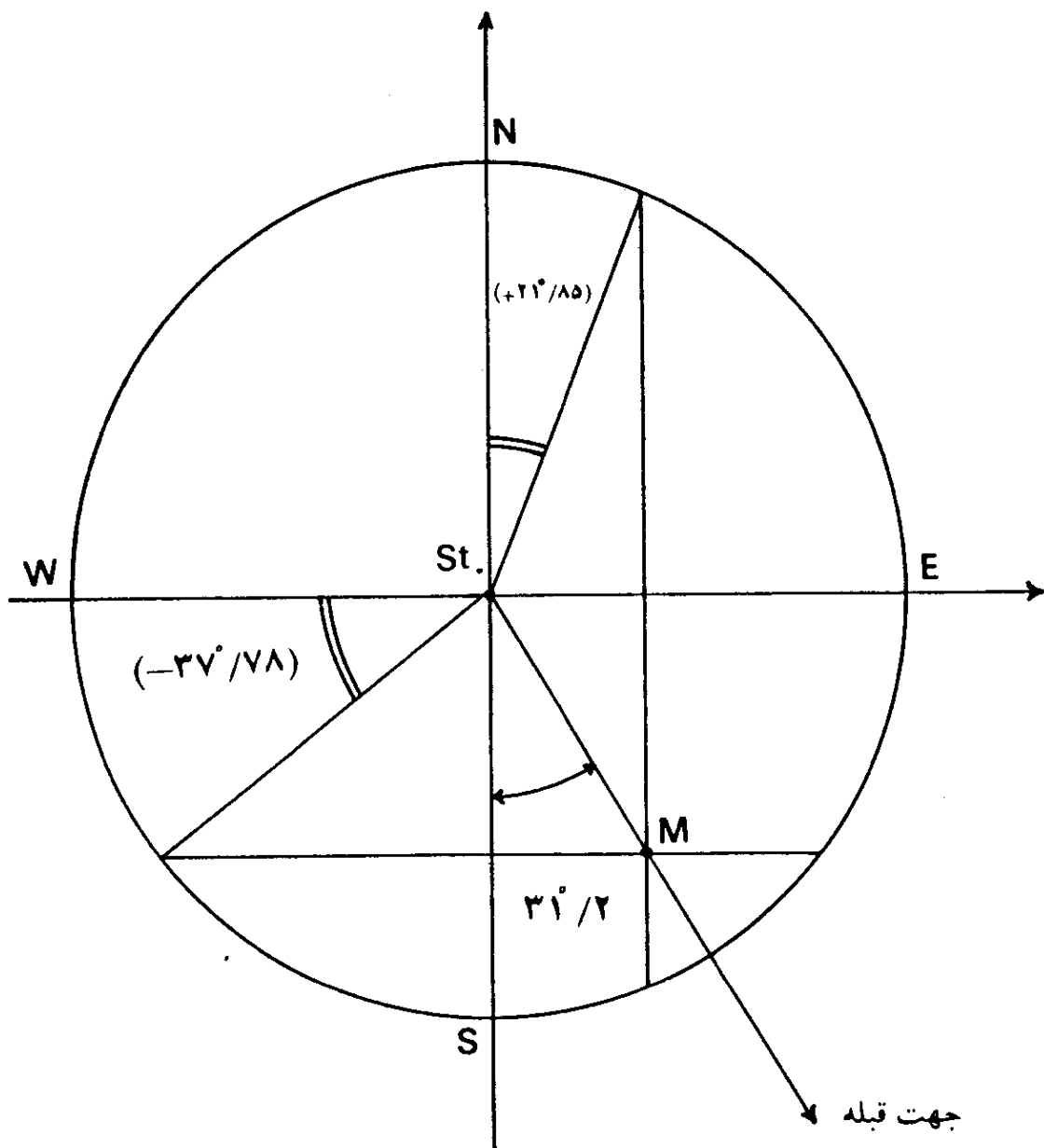
2. Sweden

$$\varphi_M - \varphi_{St.} = -37^\circ/78$$

راه حل -

$$\lambda_M - \lambda_{St.} = +21^\circ/85$$

با روش ترسیمی، شکل (۵-۱۱)، جهت قبله (۳۱°/۲) درجه در مشرق جنوب جغرافیایی است، در حالیکه نتیجه محاسبه از راه مثلثات کروی ۳۱°/۹۵ است که اختلاف دو نتیجه، کمتر از یک درجه است.



شکل (۵-۱۱) - جهت قبله با روش ترسیمی، در نقطه‌ای در استکهلم در سوئد.

مثال (۵-۹) - جهت قبله در سانفرانسیسکو: جهت قبله را در نقطه‌ای در

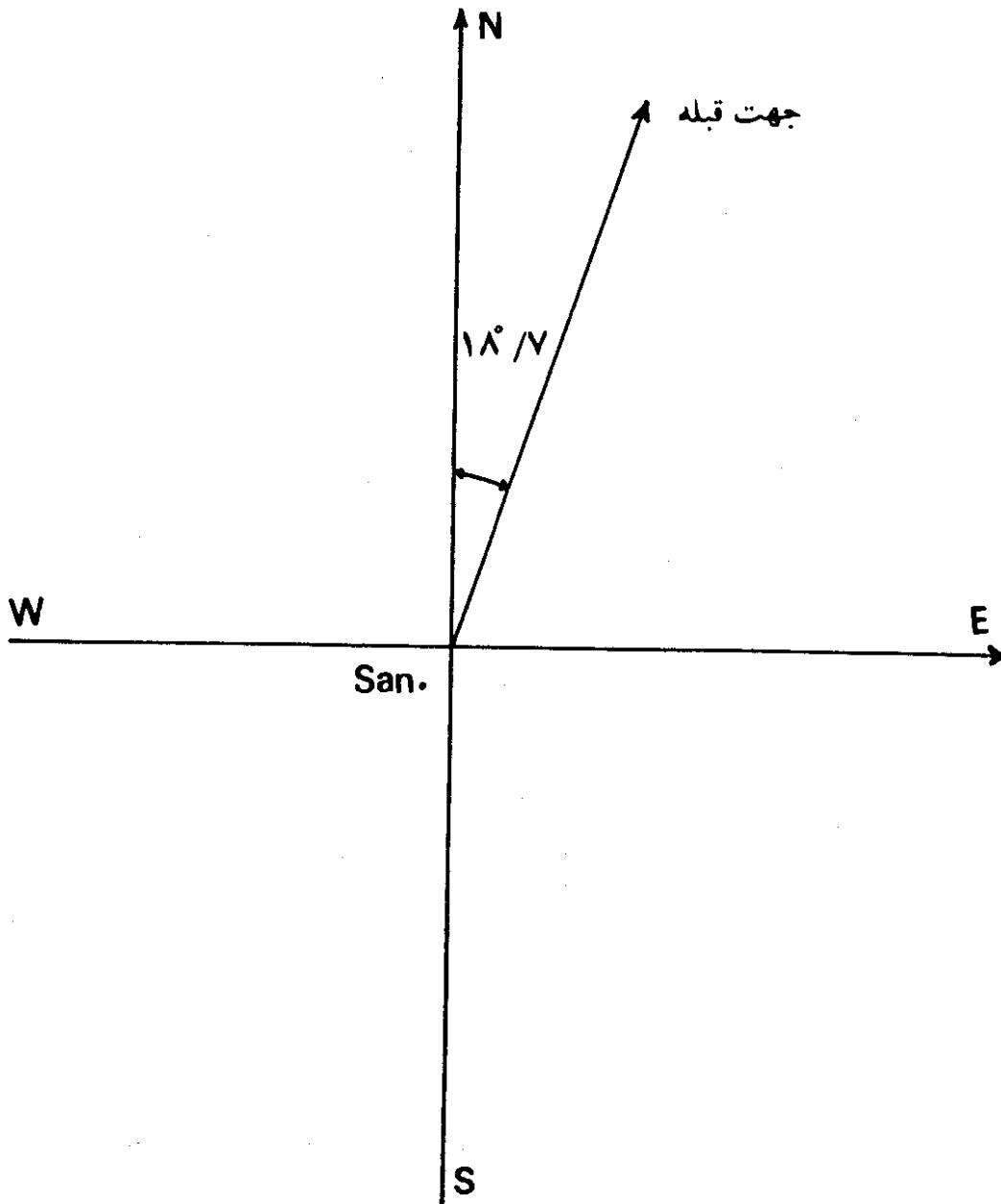
سانفرانسیسکو در آمریکا، با مختصات زیر بدست آورید.

$$\varphi_{San.} = 37^{\circ}35' \text{ شمالی} \quad \lambda_S = 122^{\circ}30' \text{ غربی}$$

$$\varphi_M - \varphi_{San.} = 21^{\circ}/5 - 37^{\circ}/58 = -16^{\circ}/58 \quad \text{راه حل -}$$

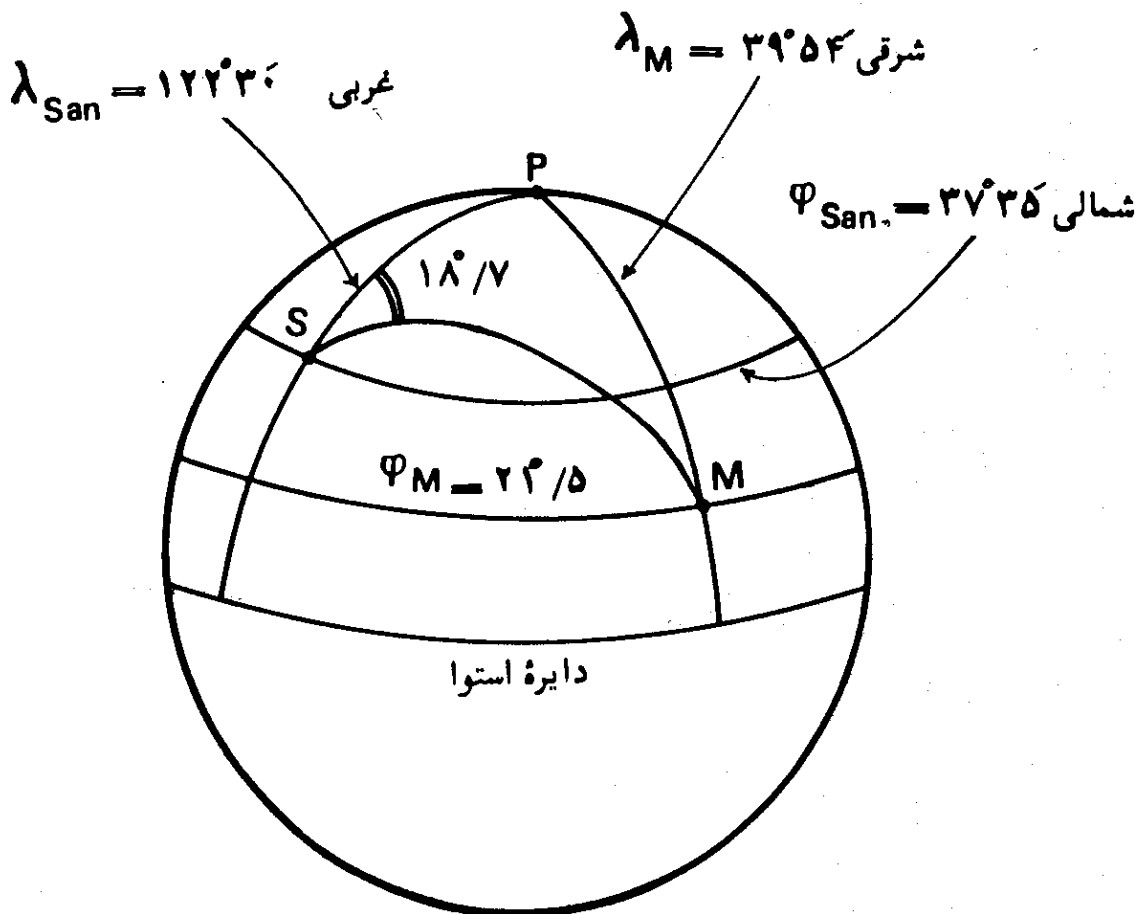
$$\lambda_M - \lambda_{San.} = +39^{\circ}/9 - (-122^{\circ}/5) = 162^{\circ}/4$$

در این مثال دیده می شود که فاصله محل و مگه معظمه، از نظر طول جغرافیایی، از ۹۰ درجه بیشتر است و روش ترسیمی نمی تواند کاربرد داشته باشد. با روش محاسباتی، جهت قبله در سانفرانسیسکو، $18^{\circ}/7$ در مشرق شمال جغرافیایی است، شکل (۵-۱۲).



شکل (۵-۱۲) - جهت قبله در نقطه ای در سانفرانسیسکو. این جهت با روش محاسبه از راه

جهت بدست آمده در سانفرانسیسکو در آمریکا، جالب توجه است. چه با مقایسه طول و عرض جغرافیایی سانفرانسیسکو و مکه معظمه، با توجه به اینکه مدار سانفرانسیسکو (شمالی $\varphi_{San.} = 37^{\circ}35'$) در شمال مدار مکه معظمه (شمالی $\varphi_M = 21^{\circ}/5$) قرار دارد، ممکن است تصور شود که جهت قبله در سانفرانسیسکو می بایست در مشرق جنوب جغرافیایی باشد و نه در مشرق شمال جغرافیایی. اما چنین تصویری درست نیست و نتیجه محاسبه، صحیح است. این اشتباه از آنجا ناشی می شود که با مقایسه عرضهای جغرافیایی، زمین، بصورت مسطح تصور می شود، و این نکته که فاصله زاویه ای سانفرانسیسکو و مکه معظمه در حدود $162^{\circ}/4$ است، فراموش می گردد. چنانکه قبلاً توضیح داده شد، برای یافتن جهت قبله یک محل، می بایست مسیر کوتاهترین فاصله بین آن و مکه معظمه، یعنی مسیر دایره عظیمه را در نظر گرفت. شکل (۱۳-۵)، صحت نتیجه محاسبه را آشکار می سازد. دیده می شود که در این شکل، دایره عظیمه ای که از مکه معظمه و سانفرانسیسکو می گذرد، در محل سانفرانسیسکو (نقطه S) در شمال مدار آن (شمالی $\varphi = 37^{\circ}35'$) قرار می گیرد و بنابراین جهت قبله در آنجا در مشرق شمال



شکل (۱۳-۵) - جهت قبله در سانفرانسیسکو، نشان داده شده بر روی کره. این جهت در مشرق شمال جغرافیایی قرار دارد.

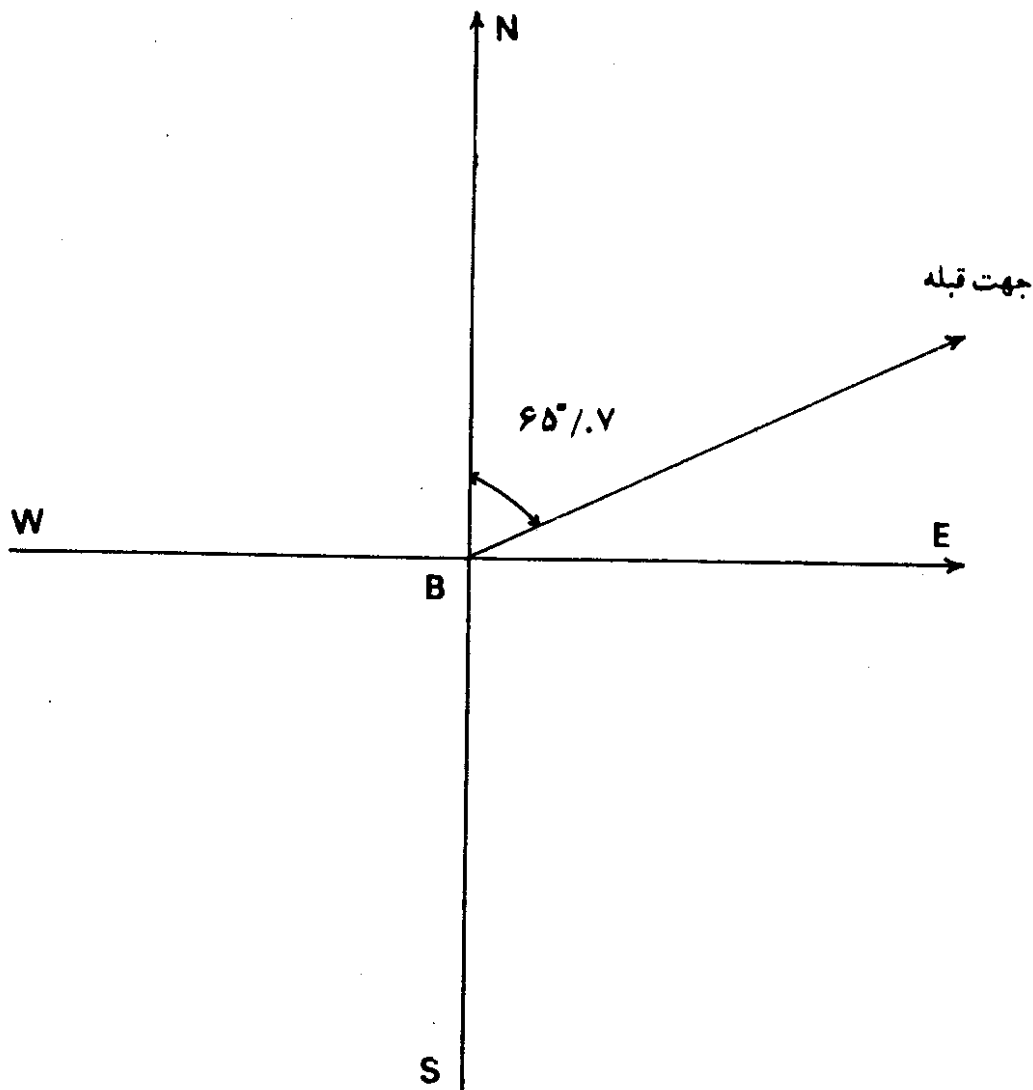
جغرافیایی است. در اینگونه موارد استفاده از روش کره جغرافیایی، که بعداً بیان می شود، نتیجه را بهتر مشخص می کند.
 مثال (۵-۱۰) — جهت قبله در بوگوتا: جهت قبله را در نقطه ای در بوگوتا در کلمبیا، با مختصات جغرافیایی زیر بدست آورید.

$$\varphi_B = 4^{\circ}34' \text{ شمالی} \quad \lambda_B = 74^{\circ} \text{ غربی}$$

$$\varphi_M - \varphi_B = 16^{\circ}/93 \quad \text{راه حل -}$$

$$\lambda_M - \lambda_B = 39^{\circ}/9 - (-74^{\circ}) = 113^{\circ}/9$$

دیده می شود که فاصله نقطه مورد نظر و مکه، از نظر طول جغرافیایی بیشتر از ۹۰ درجه است و لذا نمی شود روش ترسیمی را بکار گرفت. با روش محاسبه از راه مثلثات کروی، جهت قبله (۶۵°/۰۷) در مشرق شمال جغرافیایی قرار دارد، شکل (۵-۱۴).



شکل (۵-۱۴) — جهت قبله در نقطه ای در بوگوتا، محاسبه شده از راه مثلثات کروی.

1. Bogota

2. Colombia

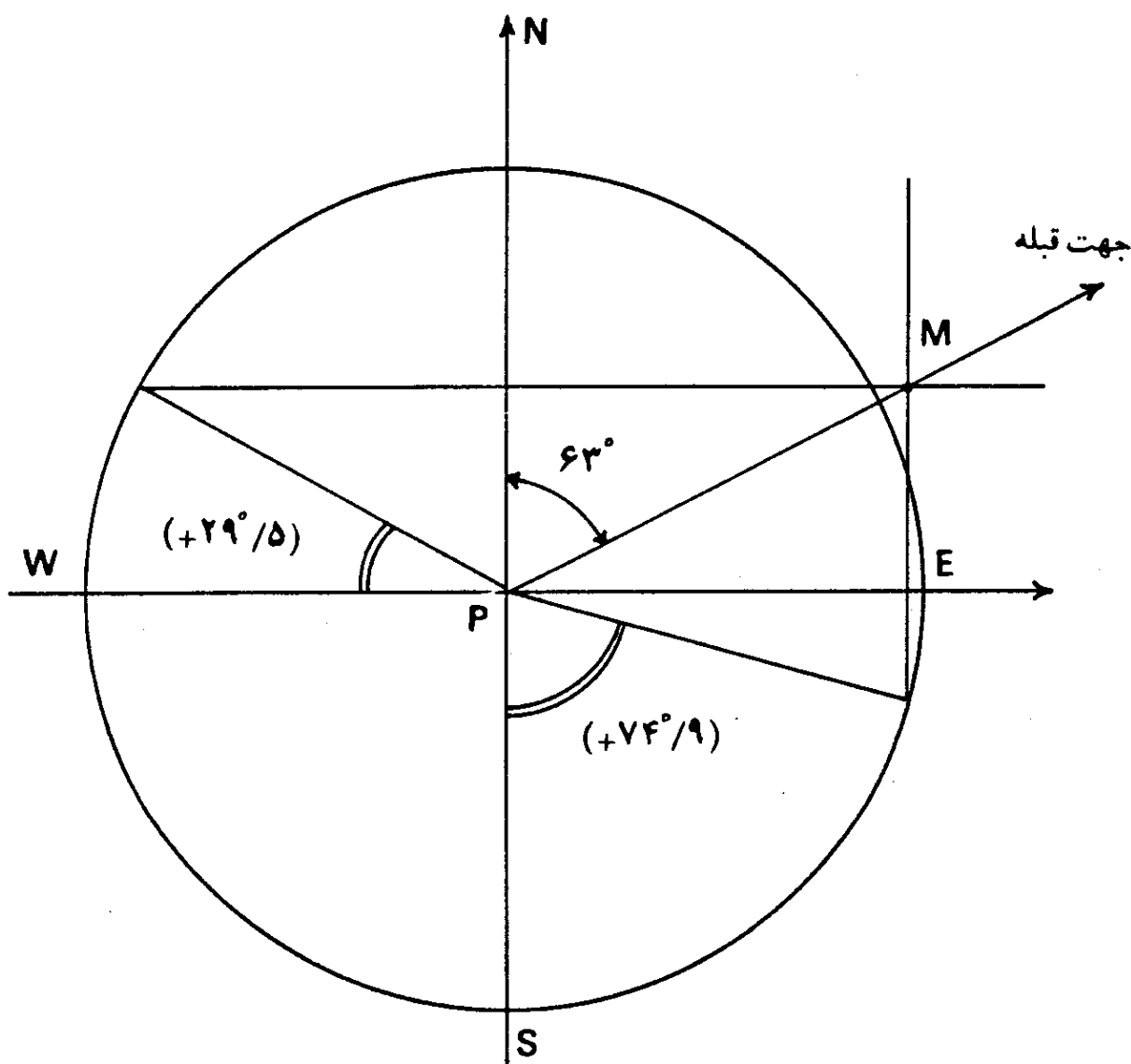
مثال (۵-۱۱) - جهت قبله در پرنامبوکو: جهت قبله را در نقطه‌ای در پرنامبوکو (رسایف) در برزیل^۲، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید:

$$\varphi_P = 8^{\circ} 0' \text{ جنوبی} \quad \lambda_P = 35^{\circ} 0' \text{ غربی}$$

$$\varphi_M - \varphi_P = 21^{\circ} / 5 - (-8^{\circ}) = 29^{\circ} / 5 \quad \text{راه حل -}$$

$$\lambda_M - \lambda_P = 39^{\circ} / 9 - (-35^{\circ}) = 74^{\circ} / 9$$

با روش ترسیمی، (شکل ۵-۱۵)، جهت قبله، (63°) درجه در مشرق امتداد شمال جغرافیایی است، درحالیکه با محاسبه از راه مثلثات کروی، $(66^{\circ} / 17)$ درجه بوده و میزان اختلاف در حدود 3° است.



شکل (۵-۱۵) - جهت قبله در نقطه‌ای در پرنامبوکو، با روش ترسیمی.

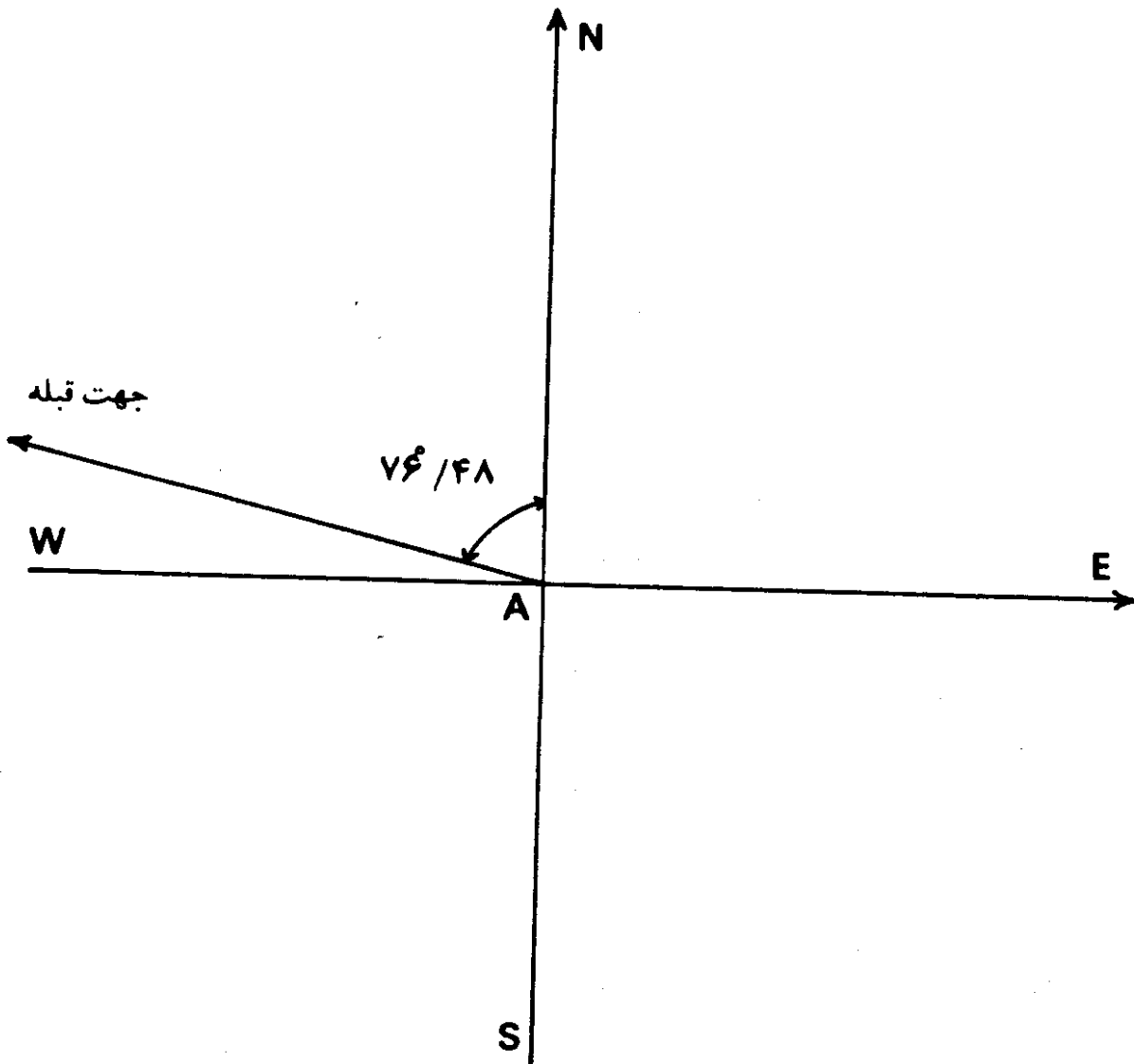
مثال (۵-۱۲) - جهت قبله در آدلاید: جهت قبله را در نقطه‌ای در آدلاید در استرالیا، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

$$\varphi_A = 34^{\circ}52' \text{ جنوبی} \quad \lambda_A = 138^{\circ}30' \text{ شرقی}$$

$$\varphi_M - \varphi_A = 21^{\circ}/5 - (-34^{\circ}/86) = +56^{\circ}/37 \quad \text{راه حل -}$$

$$\lambda_M - \lambda_A = 39^{\circ}/9 - 138^{\circ}/5 = -98^{\circ}/6$$

تفاوت زاویه‌ای بین دو نصف‌النهار از 90° بیشتر است و لذا روش ترسیمی را نمی‌توان بکار برد. اما از راه محاسبه با روش مثلثات کروی، جهت قبله، $76^{\circ}/48$ در مغرب شمال جغرافیایی است، شکل (۵-۱۶).



شکل (۵-۱۶) - جهت قبله در آدلاید، بدست آمده از راه محاسبه با مثلثات کروی.

1. Adelaide
2. Australia

مثال (۵-۱۳) - جهت قبله در طرابوزان: جهت قبله را در نقطه‌ای در طرابوزان در ترکیه، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

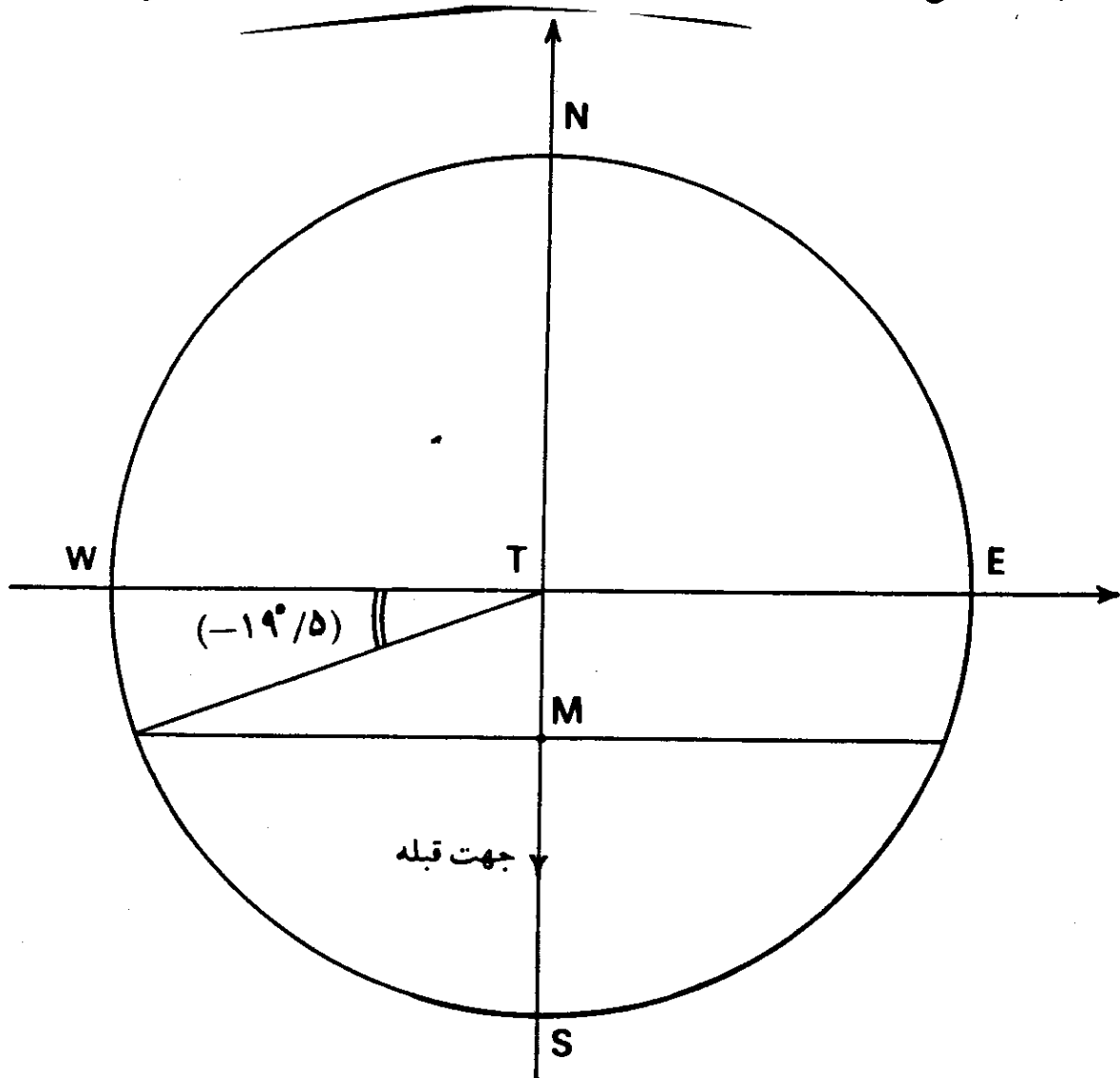
$$\varphi_T = 41^{\circ}0' \text{ شمالی} \quad \lambda_T = 39^{\circ}45' \text{ شرقی}$$

راه حل - در این مثال طول جغرافیایی (شرقی $\lambda_T = 39^{\circ}45'$) تقریباً برابر با طول جغرافیایی مکه (شرقی $\varphi_M = 39^{\circ}09'$) است. بنابراین طرابوزان و مکه تقریباً بر روی یک نصف‌النهار قرار دارند.

$$\lambda_M - \lambda_T = 39^{\circ}09' - 39^{\circ}45' = -0^{\circ}36' \text{ درجه}$$

$$\varphi_M - \varphi_T = 39^{\circ}09' - 41^{\circ}00' = -1^{\circ}51'$$

با روش، ترسیمی، شکل (۵-۱۷)، جهت قبله در امتداد جنوب جغرافیایی است، در



شکل (۵-۱۷) - جهت قبله در نقطه‌ای در طرابوزان، با روش ترسیمی.

حالیکه با روش مثلثات کروی، (۴۱/۰ درجه) در مشرق جنوب جغرافیایی قرار دارد، که تقریباً نتیجه دو روش برابر است.

در حالتی که طول جغرافیایی محلی دقیقاً برابر طول جغرافیایی مکه معظمه باشد، امتداد قبله در آنجا بر امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل خواهد افتاد. چنانکه محل مورد نظر، در شمال مکه واقع باشد، جهت قبله در امتداد جنوب جغرافیایی و اگر محل در جنوب مکه قرار گرفته باشد، جهت قبله، در امتداد شمال جغرافیایی قرار خواهد داشت. علت این امر، از آنجا ناشی می‌شود که در چنین حالتی، دایره عظیمه‌ای که از محل مورد نظر و مکه معظمه گذر می‌کند بر دایره نصف النهار محل منطبق می‌گردد.

این مطلب برای مناطق واقع بر نصف النهار (غربی $6' 140^\circ = \lambda$) نیز صادق است. این نصف النهار مکمل درجه‌ای نصف النهار مکه است $(39^\circ 54' - 180^\circ)$ ($6' 140^\circ$) که در اقیانوس آرام^۱ قرار داشته و از منتهی‌الیه شمال غربی کشور کانادا می‌گذرد. جهت قبله برای مناطق واقع بر نصف النهار 140° درجه و $6'$ دقیقه غربی بر امتداد شمال و جنوب جغرافیایی منطبق است. برای نقاط واقع بر این نصف النهار که در شمال مدار ($5/21^\circ$ جنوبی) قرار دارند، جهت قبله در امتداد شمال جغرافیایی، و برای نقاطی که در جنوب این مدار واقع شده‌اند، جهت قبله در امتداد جنوب جغرافیایی است.

مثال (۱۴-۵) — جهت قبله در هانویی: جهت قبله را در نقطه‌ای در هانویی^۲ در ویتنام^۳، با مختصات جغرافیایی زیر، بدست آورید.

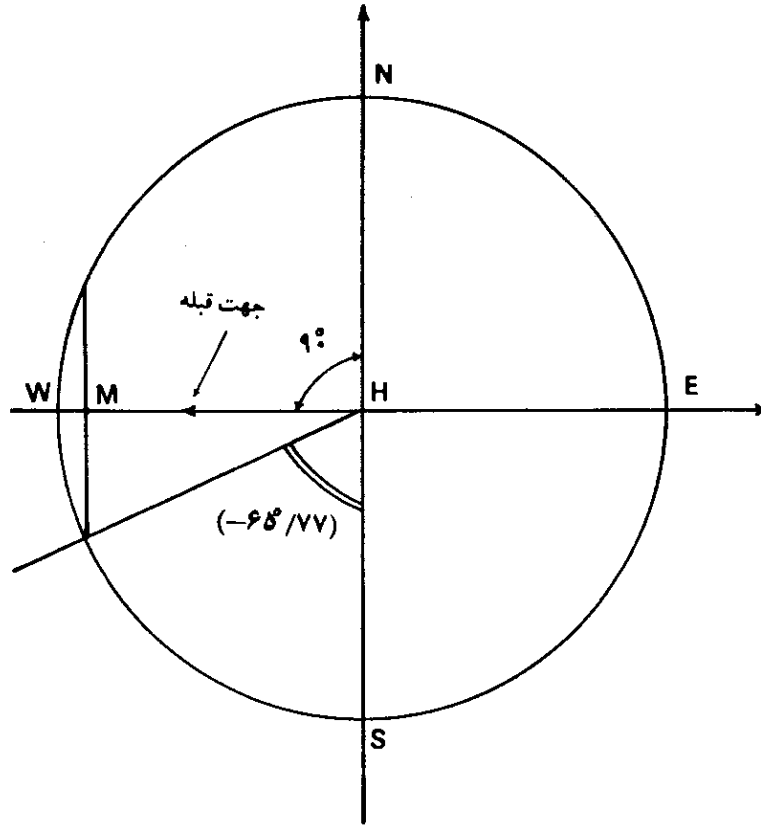
$$\varphi_H = 21^\circ 5' \text{ شمالی} \quad \lambda_H = 105^\circ 40' \text{ شرقی}$$

راه حل — عرض جغرافیایی این نقطه تقریباً برابر با عرض جغرافیایی مکه است:

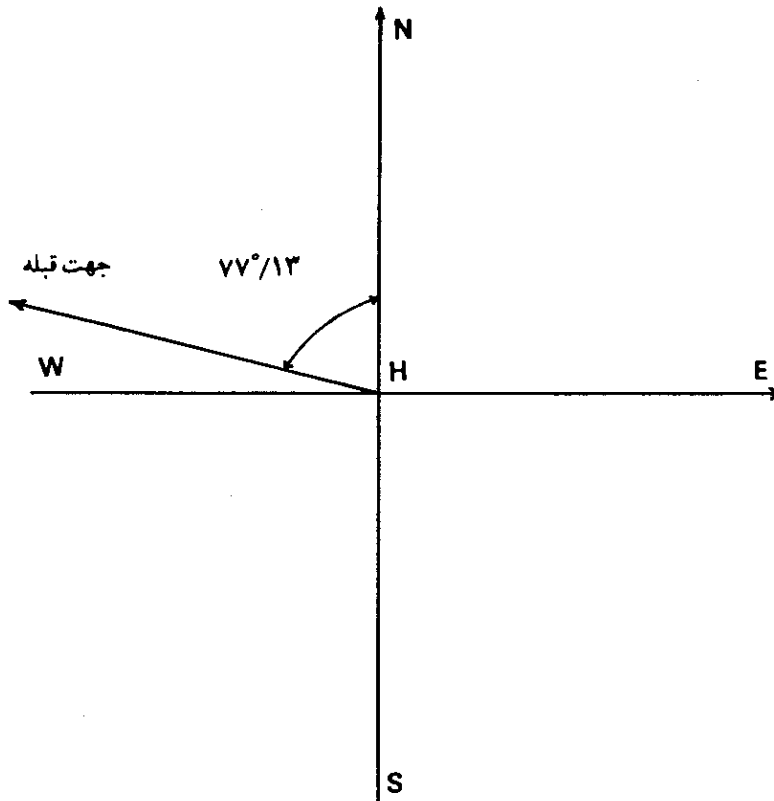
$$\varphi_M - \varphi_H = 21^\circ / 5 - 21^\circ / 083 = 0 / 417 \text{ درجه}$$

$$\lambda_M - \lambda_H = 39^\circ / 9 - 105^\circ / 47 = -65^\circ / 77$$

با روش ترسیمی، شکل (۱۸-۵)، جهت قبله در امتداد مغرب جغرافیایی است، در حالیکه با روش محاسبه با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، ($13/77^\circ$) در مغرب شمال جغرافیایی است، شکل (۱۹-۵). بنابراین اختلاف نتیجه دو روش، بسیار زیاد است و روش ترسیمی قابل قبول نیست.



شکل (۵-۱۸) — جهت قبله در نقطه‌ای در هانوتی، با روش ترسیمی.



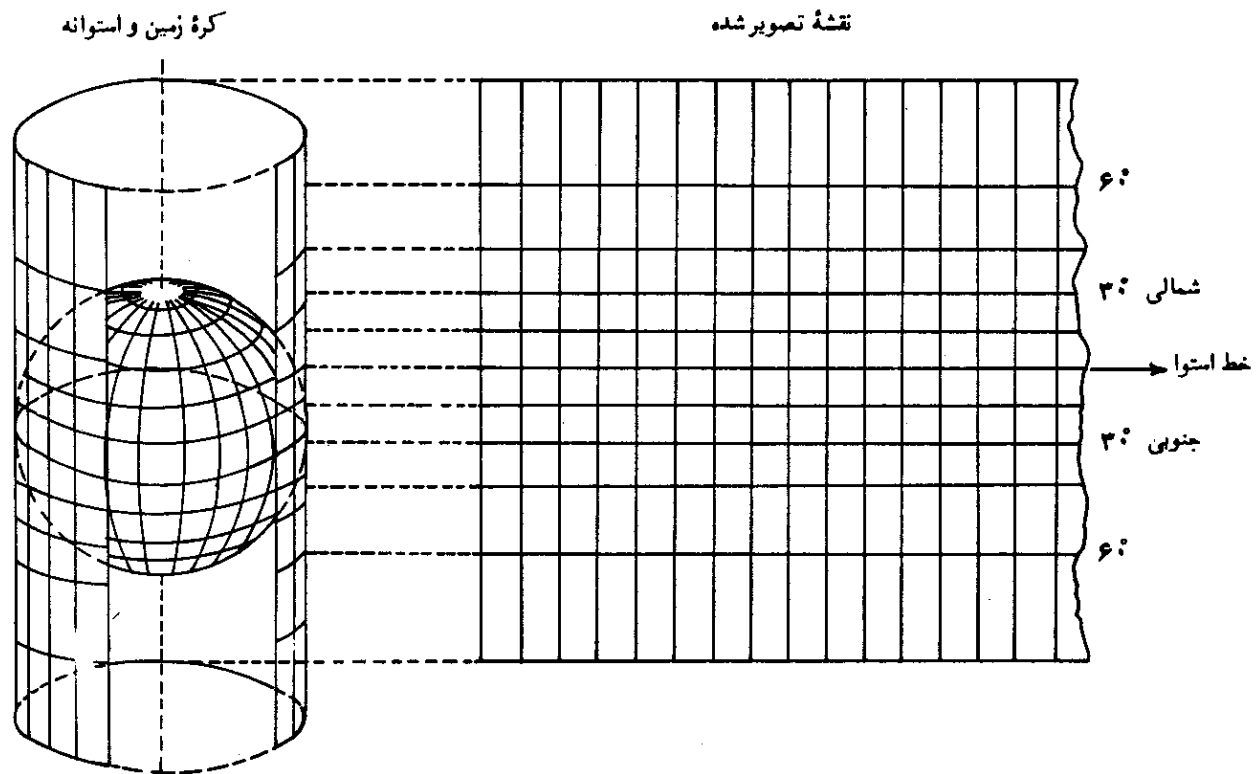
شکل (۵-۱۹) — جهت قبله در هانوتی، بدست آمده از راه محاسبه با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی.

برای درک بهتر علت زیادی اختلاف نتیجه دو روش، به مثالهای (۳-۴) و (۴-۴) در فصل چهارم برمی گردیم. این مثالها قبلاً به منظور استفاده در همین قسمت داده شده اند. مختصات نقاط مذکور در آن دو مثال، تقریباً برابر با مختصات جغرافیایی این مثال اند. در آن دو مثال، کوتاهترین فاصله بین دو نقطه، محاسبه شد که در امتداد دایره عظیمه ای که از آنها می گذرد، قرار داشت و مسیر مدار مشترک دو نقطه دارای طول بیشتری است. همچنین در مثال (۵-۴) دیدیم که بیشترین فاصله نصف النهاری دو مسیر (مسیر دایره عظیمه و مسیر مدار مشترک) در حدود ۴۰۰ کیلومتر است. مسیر مدار مشترک، همان جهت شرقی غربی را نشان می دهد که نتیجه روش ترسیمی است. لذا با توجه به این نکات، بعلت بعد مسافت هانویی و مکه معظمه که تقریباً بر روی یک مدار مشترک ($\varphi = 21^\circ 5'$) قرار دارند، نتیجه روش ترسیمی، صحیح نیست.

این مطلب برای تمام مکانهای دیگری که بر روی مدار مکه معظمه واقع اند نیز صحت دارد و در این گونه موارد جهت قبله در امتداد مدار مشترک و یا خط شرقی غربی قرار نداشته، بلکه می بایست با روش محاسبه از راه مثلثات کروی در امتداد دایره عظیمه مربوط، محاسبه گردد. البته اگر محل مورد نظر بر روی مدار مکه معظمه، در نزدیکی مکه قرار داشته باشد و یا فاصله زاویه ای مربوط به طولهای جغرافیایی آنها کم باشد، در این صورت، جهت قبله به امتداد خط شرقی غربی نزدیکتر خواهد شد.

ممکن است بعضی از نقشه های جغرافیایی که در آنها مکه معظمه در مغرب هانویی قرار دارد، این نتیجه را بدست دهد که جهت قبله، در هانویی در سمت مغرب است. این اشتباه، بعلت سیستم تصویر نقشه است. نقشه هایی که با دستگاه تصویر استوانه ای و یا مرکاتور کشیده می شوند، موجب این اشتباه، می گردند. در این روش تصویر، کره زمین را در امتداد دایره استوا، درون استوانه ای محاس می کنند و عمل تصویر از مرکز زمین بر روی استوانه، صورت می پذیرد، سپس استوانه تصویر در امتداد یکی از یالها بریده و بصورت یک نقشه مسطح نمایانده می شود، شکل (۲۰-۵).

در این روش تصویر، دایره استوا بصورت خطی مستقیم و افقی در وسط نقشه درمی آید و مدارات نیز بصورت خطوط مستقیم و موازی بصورتی نمایانده می شوند که هرچه از خط استوا دورتر می شوند بر فاصله آنها از یکدیگر افزوده می گردد و نصف النهارها نیز بصورت خطوطی موازی و با فاصله مساوی، عمود بر خط استوا نشان داده می شوند.



شکل (۵-۲۰) - سیستم تصویر مرکاتور و یا استوانه‌ای.

مناطق که پیرامون دایره استوا قرار دارند، پس از تصویر، شکل واقعی خود را تا اندازه‌ای حفظ می‌کنند و هرچه از مناطق استوایی دور شویم، شکل تصویر شده، از شکل واقعی آن بر روی کره زمین فاصله می‌گیرد، تا جایی که دو قطب زمین که در بی‌نهایت تصویر شده‌اند بکلی شکل واقعی خود را از دست داده، بصورت خطی مستقیم درمی‌آیند.

در مقایسه این سیستم تصویر با کره جغرافیایی که نمودار شکل واقعی زمین است، کافی است کوتاهترین فاصله بین توکیو و نیویورک را در نظر بگیریم. کوتاهترین فاصله بین این دو شهر از نزدیکیهای قطب شمال عبور می‌کند، درحالی‌که بر روی نقشه‌های جهان‌نمای مسطح که با روش استوانه‌ای تصویر شده‌اند، راه مزبور تقریباً مسیری شرقی-غربی و به موازات خط استواست.

با این توضیحات مشاهده می‌شود که اساس سیستم تصویر استوانه‌ای بر این نکته متکی است که خطوط مدارات (خطوط شرقی غربی) و نصف‌النهارات (خطوط شمالی جنوبی) بصورت خطوط مستقیم و عمود بر هم رسم می‌شوند. لذا دو محل با

عرضهای جغرافیایی برابر بر امتداد خط شرقی غربی قرار می گیرند. به همین علت هانویی و مکه معظمه در چنین نقشه هایی بر امتداد خط شرقی غربی (مدار مشترک آنها) قرار دارند و دیدیم که کوتاهترین فاصله بین آنها در این امتداد نبوده و بلکه در امتداد دایره عظیمه ای است که از آنها عبور می کند. بنابراین جهت قبله در نقطه مربوط، در هانویی در امتداد خط شرقی غربی نبوده و با توجه به نتیجه محاسبه ($77^\circ/13$) در مغرب شمال جغرافیایی و یا ($22^\circ/87$) در شمال امتداد مغرب جغرافیایی واقع است.

با توجه به مثالهای داده شده، بسادگی می توان دریافت که روش ترسیمی، همیشه نتیجه درستی را بدست نمی دهد و فقط در موارد خاصی که فاصله محل مورد نظر و یا فاصله زاویه ای مربوط به طول و عرض جغرافیایی آن از مکه معظمه، نسبتاً زیاد نباشد، می تواند کاربرد، داشته باشد.

همچنین در این مثالها، اختلاف نتیجه دو روش با درجه، بیان می شد، در بخش بعدی میزان خطایی که یک درجه اشتباه در جهت قبله می تواند بوجود آورد، مورد بحث قرار می گیرد:

۳-۵. خطای ناشی از اشتباه یک درجه در جهت قبله

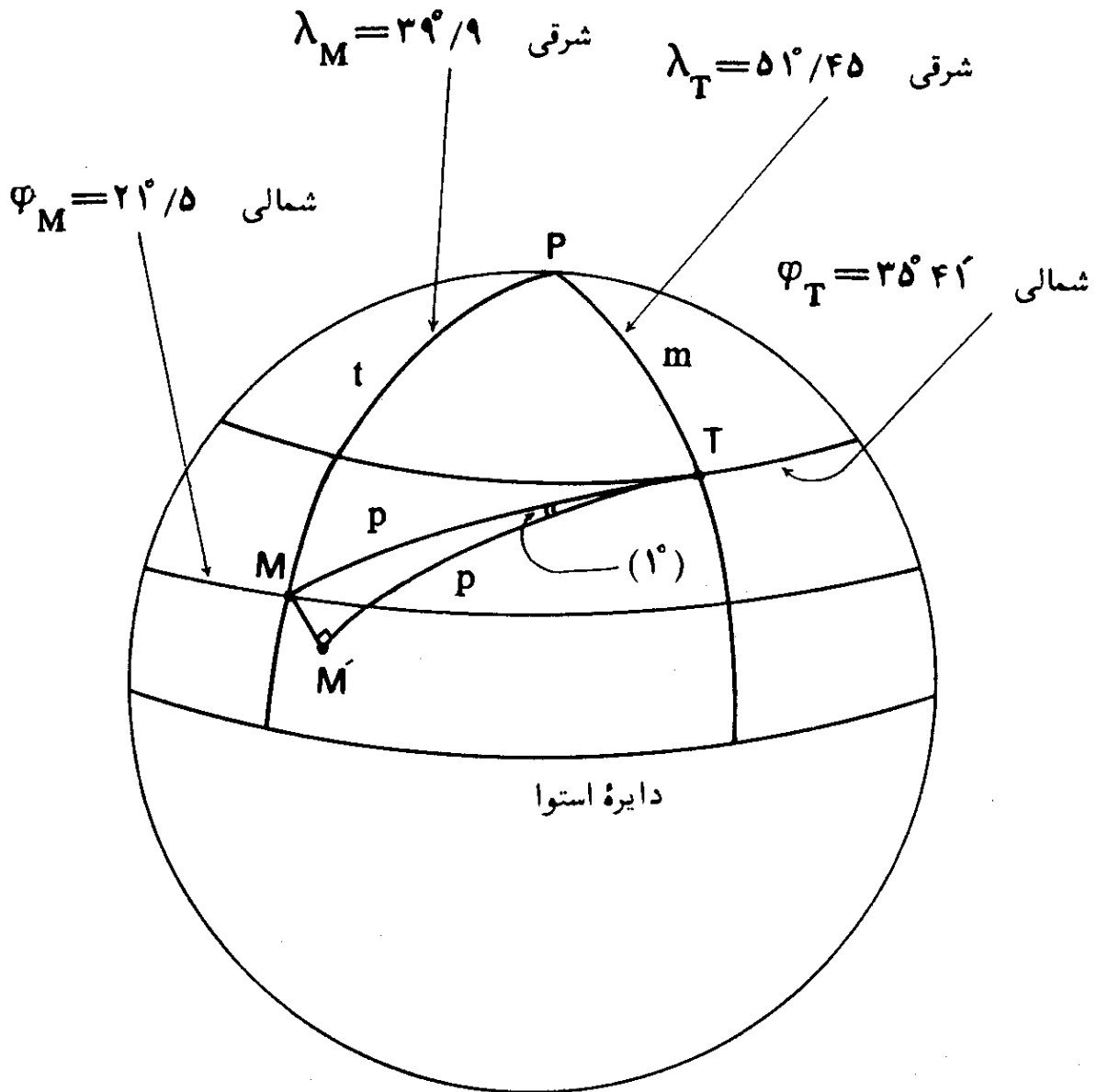
تا اینجا، مطلب، چگونگی بدست آوردن جهت قبله از راه محاسبه و ترسیم را دیدیم و همچنین چگونگی برابری نتیجه دو روش، ملاحظه شد. در طی مثال بعدی، میزان خطای یک درجه در جهت قبله مورد بررسی قرار می گیرد:

مثال (۵-۱۵) - اشتباه یک درجه در جهت قبله: اگر جهت قبله در نقطه ای در تهران با مختصات جغرافیایی زیر، یک درجه اشتباه باشد، اثر آن چیست؟

$$\lambda_T = 51^\circ 27' \text{ شرقی} \quad \varphi_T = 35^\circ 41' \text{ شمالی}$$

راه حل - در شکل (۵-۲۱)، نقطه M نمایانگر محل مکه معظمه و نقطه T نمایانگر تهران است. کمان \widehat{MT} قسمتی از دایره عظیمه ای است که از این دو نقطه می گذرد. فرض می کنیم که جهت امتداد کمان \widehat{MT} ، جهت صحیح قبله در تهران باشد و جهت کمان \widehat{MT} به سوی نقطه ای مانند M در نزدیکی مکه معظمه باشد، بصورتی

که زاویه \widehat{MTM}' برابر یک درجه بوده، $\widehat{MT} = p$ و $\widehat{TMM}' = 90^\circ$ باشد. در اینصورت اگر اندازه کمان \widehat{MM}' در مثلث کروی قائم الزاویه \widehat{MMT} محاسبه شود، جواب مسئله بدست می آید.



شکل (۵-۲۱) - اثر خطای یک درجه در جهت قبله تهران.

در مثلث کروی PMT، می‌توانیم رابطه زیر را بنویسیم:

$$\cos P = \frac{\cos p - \cos t \cos m}{\sin t \sin m}$$

$$P = \lambda_T - \lambda_M = ۵۱^\circ/۴۵ - ۳۹^\circ/۹ = ۱۱^\circ/۵۵$$

اما

$$m = ۹۰^\circ - \varphi_T = ۹۰^\circ - (۳۵^\circ ۴۱') = ۵۴^\circ/۳۱۶۶۶۷$$

$$t = ۹۰^\circ - \varphi_M = ۹۰^\circ - ۲۱^\circ/۵ = ۶۸^\circ/۵$$

$$\cos(۱۱^\circ/۵۵) = \frac{\cos p - \cos(۶۸^\circ/۵) \cos(۵۴^\circ/۳۹۶۶۶۷)}{\sin(۶۸^\circ/۵) \sin(۵۴^\circ/۳۱۶۶۷)}$$

$$\cos p = ۰/۹۵۴۲۱۳$$

$$p = ۱۷^\circ/۴۰۵۲۳۵$$

در مثلث کروی قائم الزاویه MMT با استفاده از روابط نپرو خواهیم داشت:

$$\sin \widehat{MM'} = \cos(90^\circ - \widehat{MT}) \cos(90^\circ - \widehat{MTM'})$$

$$\sin \widehat{MM'} = \cos(90^\circ - ۱۷^\circ/۴۰۵۲۳۵) \cos ۸۹^\circ$$

$$\widehat{MM'} = ۰/۲۹۹۱۱۳۴ \text{ درجه}$$

$$\widehat{MM'} \text{ طول} = \frac{\pi \times (۶۳۷۰) \times ۰/۲۹۹۱۱۳۴}{۱۸۰}$$

$$\widehat{MM'} \text{ طول} = ۳۳/۲۵۴۶۷ \text{ کیلومتر}$$

این بدان معنی است که چنانکه نمازگزاری در تهران، فقط با یک درجه اشتباه در امتداد قبله بایستد، او به سمت محلی در $(۳۳/۲۵)$ کیلومتری مکه قرار گرفته است. به همین ترتیب می توان میزان اثر خطای یک درجه را برای محل‌های دیگر محاسبه کرد. این مقدار خطا برای تهران است و میزان اثر خطا، بستگی به اندازه کمان دایره عظیمه‌ای که از نقطه مورد نظر و مکه معظمه می‌گذرد، دارد. طول کمان دایره عظیمه، بسادگی با محاسبه طول کمان (p) بدست می‌آید، که در مورد تهران در این مثال، طول آن $(۱۹۳۵/۰۷)$ کیلومتر است.

۴-۵. تعیین امتداد قبله، با استفاده از کره جغرافیایی

با استفاده از یک کره جغرافیایی دقیق که منقوش به دوائر مدارات و نصف‌النهارات باشد، می‌توان سمت قبله یک محل را تعیین کرد. در مرحله اول باید دقت کره جغرافیایی را سنجید. برای این کار کافی است که کنترل کنیم که آیا مختصات جغرافیایی محل مورد نظر و مکه معظمه بر روی کره صحیح است و یا خیر. همچنین می‌توانیم مختصات جغرافیایی چند محل شناخته شده را که طول و عرض جغرافیایی آنها مشخص است، بر روی کره جغرافیایی، کنترل کنیم.

این بدان جهت است که بعضی از کره‌های جغرافیایی موجود، دارای دقت لازم نیستند. روش استفاده از کره جغرافیایی برای جهت‌یابی قبله، چنانکه با مهارت انجام شود، سریع بوده و احتمال اشتباه در آن، کم است. وسایل مورد لزوم در این روش یک رشته نخ نازک و محکم و یا یک صفحه کاغذ با لبه صاف و مستقیم، یک کره جغرافیایی دقیق و یک نقاله است. بعد از مطمئن شدن از دقیق بودن کره جغرافیایی، محل مکه معظمه و شهر مورد نظر را بر روی آن مشخص می‌کنیم. آنگاه نخ نازک و محکم را بین شهر مورد نظر و مکه معظمه از دوسر، محکم بر روی کره می‌کشیم. زاویه نخ، با امتداد نصف‌النهار شهر مورد نظر، جهت قبله را معین می‌کند. می‌توان زاویه را مستقیماً بر روی کره، توسط نقاله، اندازه‌گیری کرد و یا زاویه مربوط را بر روی یک صفحه کاغذ منتقل کرده، سپس آن را اندازه‌گیری نمود. نلغزیدن نخ در این روش، عامل مهمی است، بخصوص اگر فاصله شهر مورد نظر و مکه معظمه زیاد باشد، یعنی انحنای بیشتری بر روی کره داشته باشیم، نخ می‌تواند بسادگی بر روی کره، لغزیده و در نتیجه کار، تولید اشتباه کند. چه، باید توجه داشت که نخ کشیده شده بر روی کره، باید قسمتی از دایره عظیمه عبور داده شده بر شهر مورد نظر و مکه معظمه باشد و لذا لغزیدن نخ، آن را از اینحالت خارج می‌سازد و تولید اشتباه می‌کند. برای اینکه دریابیم که آیا نخ کشیده شده بر دایره عظیمه مربوط، منطبق است یا خیر، کافی است که از طرف شهر مورد نظر، امتداد نخ را با یک چشم نشانه کنیم؛ در صورتی که کمان نخ در یک راستا و یا صفحه، بصورت مستقیم دیده شود، نخ بر دایره عظیمه مربوط منطبق است.

بجای نخ، می‌توان از لبه صاف و مستقیم یک صفحه کاغذ استفاده کرد. بدین ترتیب که لبه مستقیم و صاف کاغذ را در راستای محل مورد نظر و مکه معظمه قرار داده و دوسر آن را محکم می‌کشیم. زاویه بین لبه کاغذ و دایره نصف‌النهار محل، جهت قبله را مشخص می‌کند.

این روش با وجود ساده بودن، نتایج خوبی را بدست می‌دهد. در حقیقت این طریقه، روش عملی محاسبه، با استفاده از روابط مثلثات کروی است. لذا در این روش نیز فرض بر اینست که زمین کاملاً به شکل کره باشد.

۵-۵. تعیین جهت قبله از راه سایه یک میله قائم و یا نخ یک شاقول در

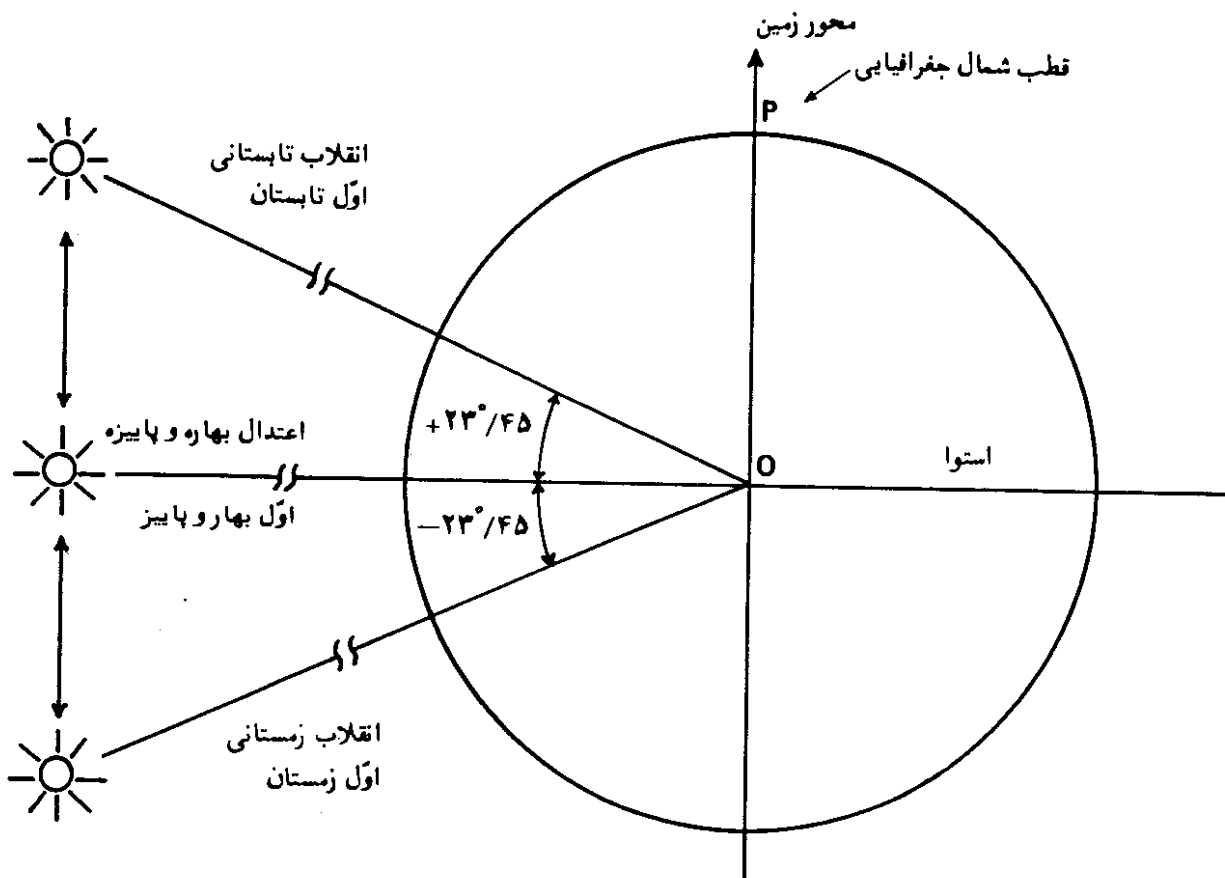
اوقات معین

این روش تعیین قبله، بر اندازه میل خورشید استوار است. میل خورشید در

فصل ششم این کتاب به تفصیل آمده است. در این بخش، ابتدا بصورت مختصر راجع به میل خورشید و تغییرات آن در طول سال توضیح داده می‌شود. بعلت حرکت انتقالی زمین به دور خورشید، خطی که مرکز زمین را به مرکز خورشید وصل می‌کند، همیشه در سطح دایره اکلیپتیک^۱ و یا دایره البروج حرکت می‌کند.

میل خورشید عبارتست از زاویه‌ای که خط واصل بین مرکز زمین و مرکز خورشید با سطح دایره استوا، در مرکز زمین، می‌سازد و با حرف یونانی دلتا^۲ (δ) نمایانده می‌شود. چنانکه خط مزبور در شمال دایره استوا باشد علامت (δ) مثبت و اگر در جنوب آن باشد، علامت میل خورشید منفی است. مقادیر میل خورشید از ($23^\circ/45$) در اوّل زمستان و یا انقلاب زمستانی^۳ تا ($23^\circ/45$) در اوّل تابستان و یا انقلاب تابستانی^۴ متغیر است و در اوّل بهار و پاییز و یا اعتدال بهاری و پاییزی^۵ اندازه آن، صفر است، شکل (۵-۲۲).

بنابراین میل خورشید یک کمیت متغیر بوده و اندازه آن، حتی در طول روز هم متفاوت است.



شکل (۵-۲۲) — تغییرات میل خورشید در طول سال.

1. Ecliptic
2. Delta
3. Winter Solstice
4. Summer Solstice
5. Spring and Autumn Equinoxes

با توجه به مقادیر میل خورشید که برای روزهای سال میلادی در جدول شماره (۱-۶)، در فصل ششم، داده شده است، می‌بینیم که در روز بیست‌ونهم ماه مه (روز هشتم خرداد ماه در سال ۱۳۶۴ هجری شمسی) میل خورشید ($\delta = 21^\circ 31'$) و در روز شانزدهم ماه ژوئیه (بیست‌وپنجم تیرماه در سال ۱۳۶۴) میل خورشید ($\delta = 21^\circ 28'$) است. اگر عرض جغرافیایی مکه معظمه را ($\varphi = 21^\circ / 5$) فرض کنیم، می‌بینیم که دوبار در سال، در تاریخهای مذکور در فوق، میل خورشید تقریباً برابر با عرض جغرافیایی مکه است ($\delta = \varphi = 21^\circ / 5$). یک‌بار بهنگامی است که خورشید از نقطه اعتدال بهاری بسوی انقلاب تابستانی می‌رود و بار دیگر وقتی است که از نقطه انقلاب تابستانی، دوباره بسوی نقطه اعتدال پاییزی برمی‌گردد.

از طرفی دیگر فرمول شماره (۱-۱) در فصل اول بصورت زیر بیان شد:

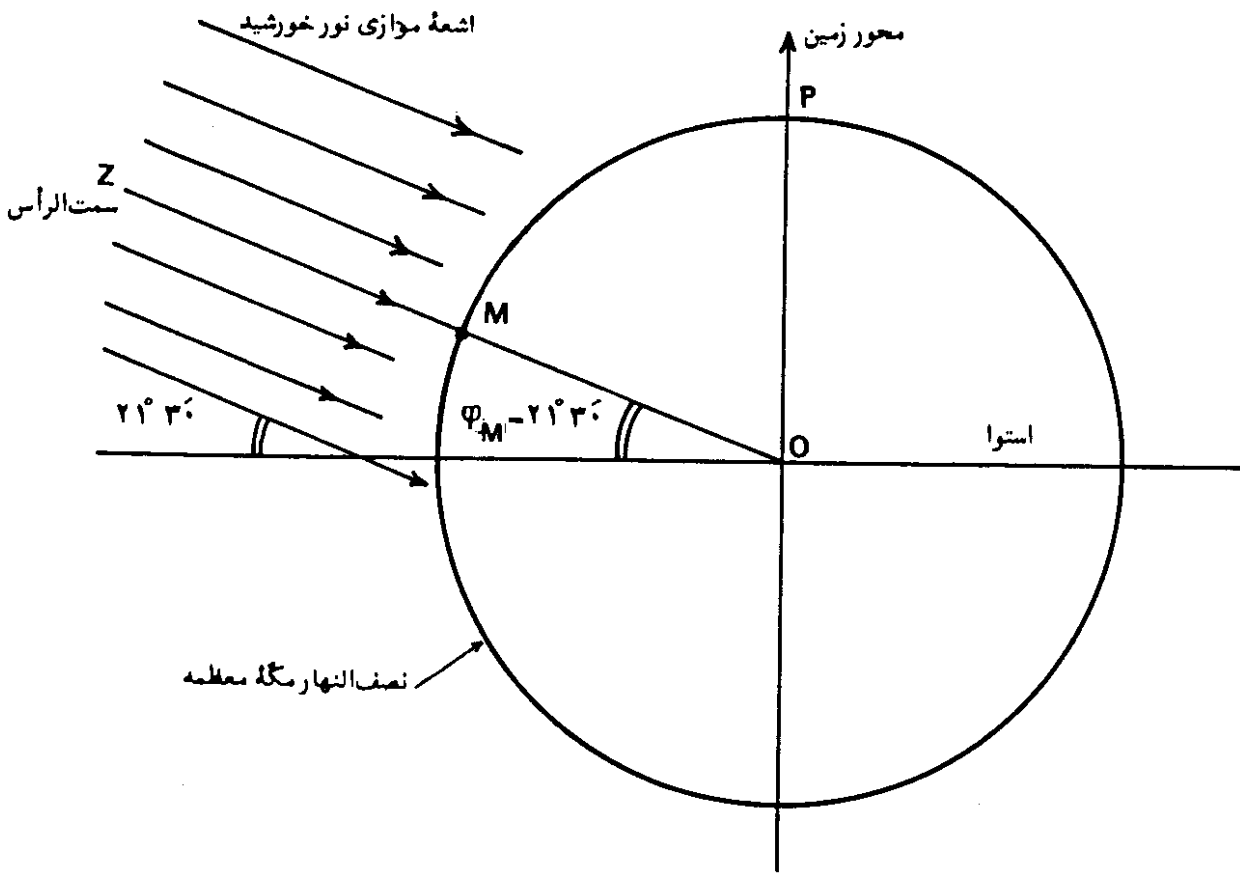
$$a = 90^\circ - \varphi \pm \delta$$

پارامتر (a) ارتفاع خورشید در لحظه عبور از نصف‌النهار و یا ارتفاع نصف‌النهاری آنست. بنابراین وقتی که در مکه معظمه ($\varphi_M = \delta$) باشد، در نتیجه ($a = 90^\circ$) است. این بدان معنی است که وقتی که میل خورشید برابر عرض جغرافیایی مکه باشد، خورشید در سمت الرأس مکه قرار خواهد داشت. بنابراین دوبار در سال، در تاریخهای مذکور در فوق، خورشید تقریباً در سمت الرأس مکه معظمه قرار می‌گیرد، شکل (۲۳-۵).

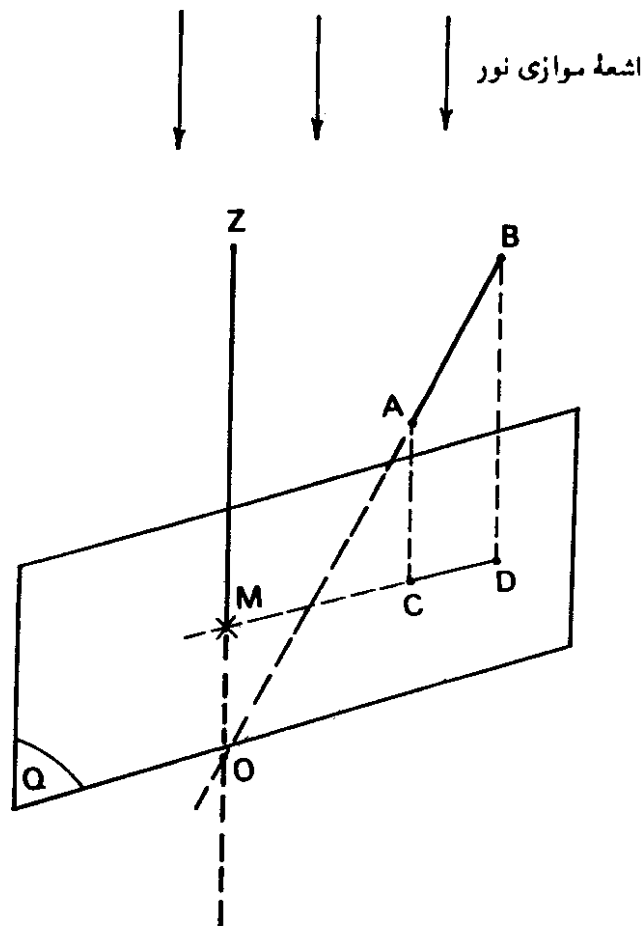
نکته قابل توجه اینکه در فرمول فوق، از اثر شکست نور در اتمسفر کره زمین صرف‌نظر شده است. البته در مورد تصحیح مربوط به شکست نور^۲ در فصل ششم توضیح داده شده است و در فرمول فوق، هنگامی که ارتفاع خورشید ۹۰ درجه است، شکست نور، دیگر اثری ندارد. در این مورد در فصل هشتم کتاب نیز بحث خواهد شد.

در ادامه مطلب، به بحث درباره چگونگی روش، می‌پردازیم. اساس کار بر این نکته مبتنی است که به علت دوری فاصله زمین از خورشید، اشعه نور خورشید بصورت موازی بر زمین می‌تابد و این امر، مستقل از محل مورد نظر بر روی کره زمین است. فرض موازی بودن اشعه خورشید در بیشتر موارد عملی، و از جمله روش مورد بحث ما، صادق است.

در شکل (۲۴-۵)، فرض کنید که خط (MZ) موازی یکدسته اشعه موازی نور باشد و خط (AB) بصورتی قرار گرفته باشد که امتداد آن، امتداد (MZ) را در



شکل (۵-۲۳) - وضعیت خورشید در سمت الرأس مکه معظمه.



شکل (۵-۲۴) - اساس روش تعیین قبله از روی امتداد سایه یک میله قائم در اوقات معین.

(MZ) و (TZ') همدیگر را در نقطه (O) قطع می کنند. حال با توجه به آنچه که در مورد شکل (۲۴-۵) بیان شد، فرض می کنیم که اشعه موازی نور خورشید در نقطه (M)، در امتداد خط (MZ) باشد، عبارت دیگر خورشید در سمت الرأس مکه قرار گیرد. در این صورت نیز تصویر امتداد (TZ') بر روی صفحه P (صفحه افق در نقطه T) یعنی خط (TF)، خط (MZ) را در نقطه ای مانند (E) قطع خواهد کرد. در نتیجه، امتداد (TE) جهت قبله در نقطه (T) خواهد بود که جهت آن، در خلاف جهتی است که امتداد سایه میله قائم در نقطه (T) قرار می گیرد. دیده می شود که وقتی ناظری در نقطه (T) بسوی مکه معظمه می ایستد، در حقیقت بسوی نقطه ای مانند (E) قرار می گیرد و نه بسوی خود مکه معظمه. نقطه (E) محل تلاقی امتداد خط قائم در مکه معظمه و امتداد صفحه افق در نقطه (T) است. این بدان سبب است که خط (TE) خط (MZ) را در نقطه ای در بالای سر نقطه (M) قطع می کند و انحنای زمین مانع می شود که امتداد خط (ETF) از نقطه (M) بگذرد.

بنابراین جهت عکس امتداد سایه یک میله قائم و یا نخ یک شاقول در اوقات معین، در تاریخهای داده شده قبلی، جهت قبله را خواهد داد. در نتیجه، مطلب بصورت تعیین وقت قرار گرفتن خورشید در سمت الرأس مکه معظمه بر حسب وقت رسمی و یا ساعت محل دیگر، درمی آید.

لحظه ای را که خورشید در سمت الرأس مکه معظمه قرار می گیرد، می توان بر حسب وقت رسمی هر محلی با استفاده از فرمولهای شماره (۳-۱) و (۴-۱)، داده شده در فصل اول، محاسبه کرد. چگونگی روش محاسبه در طی چند مثال مورد بحث قرار می گیرد:

مثال (۵-۱۶)— محاسبه کنید، لحظه ای که خورشید در هشتم خردادماه ۱۳۶۴ (بیست و نهم ماه مه ۱۹۸۵) تقریباً در سمت الرأس مکه معظمه قرار می گیرد، در تهران در نقطه ای با طول جغرافیایی (شرقی $27^{\circ} 51' = \lambda_T$)، ساعت چه وقتی را نشان می دهد.

راه حل— نصف النهار وقت استاندارد^۱ در ایران، (شرقی $52^{\circ} / 5 = \lambda_I$) است و چون طول جغرافیایی مکه معظمه (شرقی $39^{\circ} / 9 = \lambda_M$) است، بنابراین نصف النهار آن در مغرب نصف النهار وقت استاندارد در ایران، قرار دارد و در نتیجه، علامت (LA)

منفی در نظر گرفته می‌شود. مقدار (LA) از فرمول (۴-۱) محاسبه می‌شود:

$$LA = (52^\circ/5 - 39^\circ/9) \times 4 = 50/4 \text{ دقیقه}$$

اندازهٔ تعدیل زمان (EOT) در روز بیست‌ونهم ماه مه از جدول (۳-۷)، برابر با (ثانیه ۴۹، دقیقه ۲ + EOT) است و لحظه‌ای که خورشید بر نصف‌النهار مکه معظمه قرار می‌گیرد، (LAT = ۱۲) است، بنابراین با استفاده از فرمول شماره (۳-۱) داریم:

$$LAT = ST + EOT - LA$$

$$12 = ST + 2/82 - 50/4$$

$$ST = 12 \text{ ساعت، } 47/58 \text{ دقیقه}$$

$$ST = 47/58 \text{ دقیقه بعد از ظهر}$$

پس وقتی که در تهران، ساعت ۴۷/۵۸ دقیقه بعد از ظهر را در روز هشتم خرداد ماه نشان می‌دهد، خورشید تقریباً در سمت الرأس مکه قرار می‌گیرد.

چنانکه از محاسبات فوق پیداست، طول جغرافیایی محل (شرقی $\lambda_T = 51^\circ 27'$) در محاسبه، تأثیری ندارد و فقط طول جغرافیایی مکه معظمه و نصف‌النهار وقت رسمی، در محاسبه، وارد می‌شود.

زمان مربوط به روز بیست‌وپنجم تیرماه ۱۳۶۴ (شانزدهم ژوئیه ۱۹۸۵)، بطور قطع با آنچه که برای هشتم خردادماه محاسبه شد، تفاوت دارد که در مثال بعدی محاسبه می‌شود.

مثال (۵-۱۷) — محاسبه کنید که در چه ساعتی به وقت رسمی ایران در روز بیست‌وپنجم تیرماه ۱۳۶۴ (شانزدهم ژوئیه ۱۹۸۵ میلادی)، خورشید در سمت الرأس مکه معظمه قرار خواهد گرفت.

راه حل — اندازهٔ تعدیل زمان در روز شانزدهم ژوئیه برابر (ثانیه ۵۲، دقیقه ۵ - EOT) است، بنابراین:

$$12 = ST - 5/87 - 4 \times (52^\circ/5 - 39^\circ/9)$$

$$ST = 12 \text{ ساعت، } 56/27 \text{ دقیقه}$$

$$ST = 56/27 \text{ دقیقه بعد از ظهر}$$

در نتیجه در ایران در روز بیست‌وپنجم تیرماه در ۵۶/۲۷ دقیقه بعد از ظهر خورشید تقریباً در سمت الرأس مکه معظمه قرار خواهد داشت.

از دو مثال قبلی چنین نتیجه‌گیری می‌شود که جهت عکس امتداد سایهٔ یک میلهٔ قائم یا نخ یک شاقول در ایران در ساعت (۴۷/۵۸) دقیقه بعد از ظهر در روز هشتم

خرداد ماه و یا در ساعت (۵۶/۲۷) دقیقه بعد از ظهر در روز بیست و پنجم تیرماه، تقریباً جهت قبله را معین می کند. البته این نتیجه، براساس مقادیر میل خورشید داده شده در جدول (۱-۶) و مقادیر تعدیل زمان در جدول (۳-۷) و فرض اینکه طول و عرض جغرافیایی کعبه (شرقی $\lambda_M = 39^\circ/9$ و شمالی $\varphi_M = 21^\circ/5$) است، می باشد. برای نتایج دقیقتر می بایست از جداول نجومی مربوط به سال مورد نظر و اندازه های دقیق مختصات جغرافیایی خانه خدا استفاده کرد.

در مثال بعدی، اوقات مربوط، برحسب وقت گرینیچ (GMT) محاسبه شده است.

مثال (۱۸-۵) — محاسبه کنید که در چه ساعتی به وقت گرینیچ، در روز هشتم خردادماه و بیست و پنجم تیرماه، خورشید در سمت الرأس مکه معظمه قرار خواهد گرفت.

راه حل — نصف النهار وقت استاندارد گرینیچ صفر درجه و در نتیجه نصف النهار مکه (شرقی $39^\circ/9$) در مشرق آن قرار دارد و لذا علامت (LA) مثبت است. برای روز هشتم خرداد ماه خواهیم داشت:

$$12 = GMT + 2/82 + 4 \times (39^\circ/9 - 0)$$

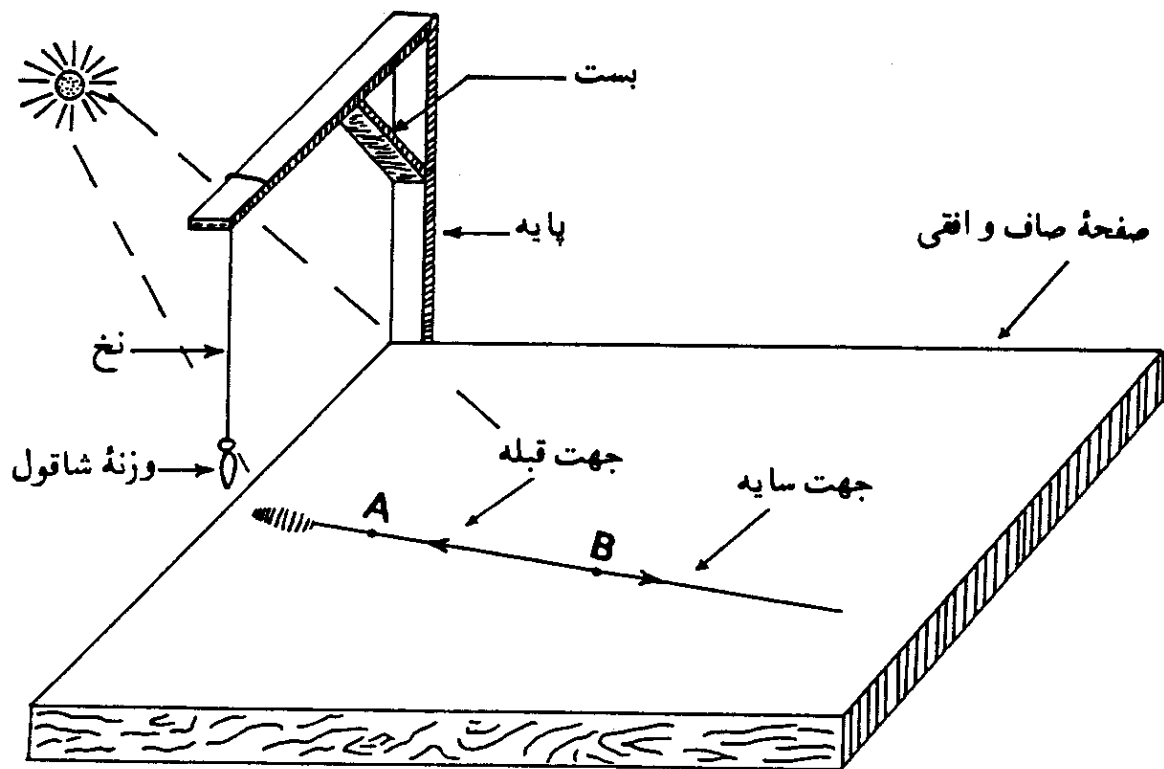
$$GMT = \text{ساعت } 9 \text{ و } (17/58) \text{ دقیقه صبح}$$

و برای روز بیست و پنجم تیرماه:

$$12 = GMT - 5/87 + 4 \times 39^\circ/9$$

$$GMT = \text{ساعت } 9 \text{ و } (26/27) \text{ دقیقه صبح}$$

به همین ترتیب می توان لحظه قرار گرفتن خورشید در سمت الرأس مکه معظمه را برای محل های دیگر با توجه به نصف النهار وقت رسمی آنها محاسبه کرد. در مرحله بعد می توان مطابق شکل (۲۶-۵) با استفاده از یک شاقول، امتداد قبله را مشخص ساخت. برای این کار، صفحه ای کاملاً صاف و با رنگ روشن انتخاب و آن را در وضعیت کاملاً افقی قرار می دهیم. سپس یک شاقول را مطابق شکل، توسط یک پایه در کنار آن نصب می کنیم. باید توجه داشت که در هنگام کار، وزنه شاقول می بایست کاملاً بی حرکت باشد. برای این کار می توان وزنه شاقول را از نوع سنگین آن انتخاب کرد که نوساناتش زودتر گرفته شود. سپس ساعت و یا زمان سنج (کرونومتر) خود را دقیقاً با وقت رسمی منطقه میزان کرده، چند دقیقه قبل از لحظه محاسبه شده روبروی خورشید



شکل (۲۶-۵) - تعیین جهت قبله با استفاده از سایه نخ شاقول در اوقات و روزهای معین شده.

در کنار شاقول قرار می‌گیریم. آنگاه درست در لحظه محاسبه شده، بر روی امتداد سایه نخ شاقول، دو نقطه مانند A و B را با مداد مشخص می‌کنیم. سپس دو نقطه A و B را با یک خط مستقیم به همدیگر وصل می‌سازیم. جهت از نقطه B به نقطه A (در خلاف جهت سایه از A به B) جهت قبله را مشخص می‌کند.

مشخص بودن سایه، خود نکته مهمی است و رنگ صفحه افقی مربوط، در این امر دخالت دارد. سایه بر روی صفحه با رنگ روشن مانند رنگ کرم روشن، خاکستری روشن و سفید، بهتر مشخص می‌شود. به همین دلیل رنگ صفحه انتخابی، بهتر است از رنگهای روشن برگزیده شود.

البته باز لازم است توضیح داده شود که این روش با فرض کروی شکل بودن زمین بدست آمده است. در فصل هشتم، راجع به شکل زمین بحث می‌شود و آنگاه روش مورد نظر در فصل نهم بیشتر تشریح خواهد شد. لذا نتایج بدست آمده در بالا را فقط می‌توان در موارد محدودی بکار گرفت و اجرای این روش در سطح بین‌المللی نیازمند تحقیقات و مطالعات بیشتری است که در فصل نهم به پاره‌ای از آنها اشاره خواهد شد. همچنین از آنجاییکه همیشه نصف کره زمین در تاریکی شب و نصف دیگر در

روشنی روز و در زیر تابش خورشید قرار دارد، لذا اوقات و تاریخهای بدست آمده فقط برای نصف کره زمین کاربرد دارد. اما خوشبختانه روش را می توان در نصف دیگر کره زمین نیز بکار گرفت. البته این مطلب در اوقات و تاریخهای دیگری که خورشید در سمت القدم 'مکه' معظمه قرار می گیرد، ممکن می شود و چگونگی آن در فصل نهم کتاب برای اولین بار آمده است.

۵-۶. تعیین جهت قبله با استفاده از قبله‌نمای رزم‌آرا

یکی از کارهای شایان توجهی که در مورد تعیین جهت قبله صورت گرفته، قبله‌نمای رزم‌آرا^۱ است که در سال ۱۳۳۱ هجری شمسی توسط تیمسار سرتیپ حسینعلی رزم‌آرا ابتکار شده است. رساله‌ای در این مورد در کتابخانه ملی موجود است:

رزم‌آرا، ح. رساله قبله‌نمای رزم‌آرا، چاپ ششم، شماره ثبت در کتابخانه ملی، ۱۴۶۰۷، ۱۳۳۴.

قبله‌نمای رزم‌آرا در مسافرت و موارد فوری و برای شهرهایی که در آن مشخص شده است، وسیله بسیار خوبی است. اما در مواردی که به دقت بیشتری نیاز است، می بایست نتیجه را با روشهای دقیقتر سنجید. در بخش (۴-۲) در فصل دوم در باره قطبهای شمال و جنوب مغناطیسی بحث شد و دیدیم که عقربه مغناطیسی در امتداد میدان مغناطیسی یک محل قرار می گیرد که لزوماً با امتداد شمال و جنوب جغرافیایی آن، یکی نیست. همچنین در این رابطه میل مغناطیسی تعریف شد.

در قبله‌نمای رزم‌آرا از یک عقربه مغناطیسی و یک صفحه مدرج حاوی جهت قبله در شهرهای مختلف، استفاده شده است. البته در محاسبات مربوطه، مسئله میل مغناطیسی منظور شده است. اما علاوه بر میل مغناطیسی، خود عقربه مغناطیسی می تواند تحت سایر عوامل، تولید خطا کند. ساختمانهای فلزی، معادن زیرزمینی، میدان مغناطیسی حاصل از خطوط انتقال نیرو و ماشینهای الکتریکی، از جمله عواملی هستند که می توانند جهت میدان مغناطیسی زمین را در یک محل تغییر دهند و در نتیجه عقربه مغناطیسی جهت واقعی قطبهای مغناطیسی را نشان ندهد. امروزه هم بعلت کثرت عواملی از قبیل ساختمانهای فلزی، وسایل فلزی، ماشینهای برقی و خطوط انتقال نیرو، جلوگیری از خطای مذکور در مواردی عملاً بسیار مشکل و یا غیر ممکن است. به همین دلیل است که روشهای دیگر قبله یابی را نیز می بایست در نظر داشت.

در اینجا اظهار نظر دانشگاه تهران به نقل از رساله مذکور آورده می‌شود:
دانشگاه تهران، شماره ۲۴۵۹۴، تاریخ ۳۰/۱۰/۳۲.

تیمسار سرتیپ حسین علی رزم‌آرا

پاسخ نامه مورخ ۲۵ آبان ۱۳۳۲ با قبله‌نمای مغناطیسی، که طرح آن بوسیله جنابعالی تهیه شده بود، در کمیسیون مرکب از استادان دانشکده علوم، مورد بررسی قرار گرفت. اینک مفاد گزارش کمیسیون مزبور برای استحضار جنابعالی اشعار می‌شود:
تیمسار سرتیپ رزم‌آرا، زاویه بین امتداد قبله و شمال مغناطیسی را از روی جداول و نقشه‌های موجود، با در نظر گرفتن میل مغناطیسی، طبق آخرین نقشه‌های خارجی، تعیین نموده و در تهیه قطب‌نمای مغناطیسی بنحوی دخالت داده‌اند که بجز در مواردی که وجود مواد آهنی یا معادن ترکیبات آهن سبب انحراف غیرعادی عقربه مغناطیسی می‌گردد، در نقاط دیگر، این اسباب، امتداد قبله را برای اقامه صلوة مسلمین با دقت لازم نشان می‌دهد.

البته انحراف مغناطیسی نقاط مختلف، علاوه بر تغییرات متناوب و ناچیز روزانه، بطور دائمی نیز تغییر می‌کند و تغییر عادی سالیانه برای نقاط مختلف، از چند دقیقه تجاوز نمی‌کند. بالتیجه انحرافهای منظور شده در قبله‌نمای مغناطیسی، برای مدت زیادی که تغییر انحراف مغناطیسی از حدود چند درجه تجاوز نکند معتبر خواهد بود.
بطور خلاصه، توجه تیمسار سرتیپ رزم‌آرا به تهیه چند صفحه، متضمن انحراف امتداد قبله از امتداد شمال و جنوب مغناطیسی برای بلاد مختلف و بکار بردن این صفحات در قبله‌نمای مغناطیسی قابل تقدیر است و قبله‌نمای ایشان در نقاط دور از آهن و معادن آهن و برای مدتی که تغییر فوق‌العاده در اندازه انحراف مغناطیسی یک نقطه رخ ندهد، امتداد قبله را نشان می‌دهد.

از طرف رئیس دانشگاه-دکتر خانابا بیانی

قبلا در این فصل در بخش (۳-۵)، اثر خطای ناشی از اشتباه یک درجه در جهت قبله در نقطه‌ای در تهران، در طی مثال (۱۵-۵) آمده است.

رساله قبله‌نمای رزم‌آرا در مهرماه ۱۳۴۴ هجری شمسی توسط دارالکتب-الاسلامیه تهران تجدید چاپ شده است (چاپ هفتم). در اینجا برای روشنتر شدن مطلب، شرح چند مورد درباره قبله‌نمای رزم‌آرا، به نقل از این رساله، ضمن تشکر و سپاس از جناب رزم‌آرا، آورده می‌شود:

قبله نمای مغناطیسی

۱. مقدمه

قبله‌شناسی از مقدمات نماز بوده، بر هر مسلمانی، شناختن جهت کعبه از مکان خود در حضر و سفر لازم است. بدین لحاظ علمای عالیقدر هیئت و نجوم در قدیم و سنوات اخیر، از شیخ بهائی علیه‌الرحمه تا مرحوم سرتیپ مهندس عبدالرزاق بغا پری برای استخراج قبله، مساعی دقیقی بعمل آورده و قبله بلاد را نسبت به جهات جغرافیایی تعیین کرده‌اند که برای یافتن قبله هر محل، بایستی قبلاً جهت یابی کرد ولی این امر همیشه و برای هر کس بسهولت و سرعت مقدور نیست. مثلاً مسافری که به یکی از شهرهای خارج کشور یا اماکن جدیدی برسد و بخواهد فوراً نماز بخواند، نمی‌تواند دستور قبله یابی را بطوری که در کتب قدیمه یا تقاویم به شرحی که در پانوشته آمده و صحیح است فوراً اجرا کند.

این دستور قدیمی طبق اصول علمی است ولی انجام آن برای همه کس و در همه حال و بسرعت، مقدور نیست، کسانی که هندسه ندانند، نمی‌توانند از آن استفاده کنند.

بنده سابقاً در موقع مسافرت بوسیله یک نقشه پنج قطعه‌ای عالم و قطب‌نمای معمولی، جهت تقریبی مکه را در هر شهر پیدا می‌کردم ولی تابستان ۱۳۳۱ در آمریکا بر آن شدم که قبله‌نمای مغناطیسی تعبیه کنم که قبله یابی را تسهیل و برای همه کس

۱. دستور قدیم قبله یابی: برای سهولت، طالبین را دستور می‌دهم که انحراف قبله هر شهری را که خواهند، دایره‌ای بر زمین مسطح رسم کنند و بر مرکز آن که وسط حقیقی است شاخص نصب نمایند تا دو فایده بخشد یکی آنکه چون سایه معدوم شود یا به‌منتهای کمی رسد، بحسب آفاق وقت زوال است. دیگر آنکه بر سطح دایره دو خط عمودی رسم کنند که در نقطه مرکز با هم تقاطع کنند، بطوریکه یکی از آن دو خط استداد سایه شاخص باشد که از دو طرف تا محیط دایره رسد و خط دیگر از وسط این خط، دو طرف مرکز دایره کشیده شود تا به محیط دایره منتهی شود. پس نقطه طرف طلوع آفتاب را مشرق و نقطه مقابل آن را مغرب دانند و اگر خود بجای شاخص بایستد و نقطه مشرق را بدست راست خود قرار دهد، نقطه پیش رویش، شمال و پشت سرش جنوب است. پس بین هر دو نقطه را نود قسمت کرده خط بکشد، هر خط یک درجه می‌شود. آن وقت انحراف قبله آن شهر را از جدول این تقویم پیدا کرده ببیند چند درجه است، به همان اندازه از نقطه جنوب شماره کند تا خط قبله معلوم شود.

حتی بیسوادها ممکن سازد. گرچه از قدیم عوام الناس قطب‌نما را به نام قبله‌نما می‌خواندند، ولی بر اهل معرفت پوشیده نیست که قطب‌نما جهت قطبین مغناطیسی زمین را نشان می‌دهد و چون حساب قبله سابقاً نسبت به جهات جغرافیایی بعمل آمده بود و انحراف مغناطیسی، که بعداً توضیح داده می‌شود، در نظر گرفته نشده بود، لذا قطب‌نما، نمی‌توانست قبله را صحیحاً نشان دهد.

برای انجام منظور فوق در مدت ۱۵ ماه، قسمت زیادی از ساعات تعطیل و فراغت از کار اداری را وقف استخراج و محاسبات مربوط به قبلهٔ قریب یک‌هزار شهر کردم که اکنون نتیجه، در چند نوع قبله‌نمای مغناطیسی به معرض استفاده گذارده می‌شود.

۲. محاسبات

محاسبات این قبله‌نما شامل دو قسمت است یکی استخراج قبله نسبت به نصف‌النهار هر محل و دیگری محاسبهٔ انحراف مغناطیسی هر مکان:

الف— استخراج را به طرق متعددی می‌توان انجام داد، بوسیلهٔ دایرهٔ هندیه یا اسطرلاب و یا سمت خورشید در ۸ خرداد و ۲۲ تیر و غیره، ولی چون بحث در کلیهٔ آنها طولانی خواهد بود، لذا دو طریقه، ذیلاً ذکر می‌شود:

۱. پس از تعیین طول و عرض جغرافیایی دقیق مکه و شهر منظور، بوسیلهٔ دستورهای حل مثلثات کروی، جهت قبله تعیین می‌شود. این طریقه، خیلی دقیق است و می‌توان، درجه‌ها، دقیقه‌ها و ثانیه‌ها را نیز تعیین کرد، ولی محتاج به محاسبات طولانی و استعمال لگاریتم است و وقت زیادی می‌گیرد و برای اشخاص غیر ورزیده، احتمال اشتباهات کلی می‌رود و بایستی بازنگری کرد.

البته امروزه با دسترسی به ماشینهای دقیق حساب الکترونیکی، مشکل محاسبات طولانی و استعمال لگاریتم تا حد زیادی حل شده است. (مؤلف)

۲. اندازه‌گیری جهت مکه روی کره: این طریقه چنانچه با مهارت انجام شود سریع بوده، احتمال اشتباهات کمتری می‌رود و دقت آن در حدود نیم درجه است.

برای ساختن قبله‌نمای مغناطیسی، دقت طریقهٔ دوم کافی است معه‌ذا با نتیجهٔ طریقهٔ اول و محاسبات استخراج کنندگان سابق، تطبیق شده است.

ب— محاسبهٔ انحراف مغناطیسی هر مکان: چون منظور بنده استفاده از عقربهٔ مغناطیسی بود، لذا لازم گردید که انحراف مغناطیسی یعنی تفاوت بین شمال جغرافیایی

و شمال مغناطیسی هر شهر تعیین شود.

از آنجاییکه قطبین جغرافیایی زمین بر قطبین مغناطیسی آن منطبق نیست، مثلاً قطب شمال مغناطیسی متجاوز از یک هزار میل، با قطب شمال جغرافیایی فاصله دارد و محل فعلی آن تقریباً در ۷۳ درجه عرض شمالی و صد درجه طول غربی گرینویچ واقع شده، در نتیجه در نقاط مختلف زمین انحرافات، بمقدار صفر تا ۱۸۰ درجه شرقی یا غربی بین دو جهت جغرافیایی و مغناطیسی موجود است، بنابراین ملاحظه میشود که این اختلاف تا چه حد در جهت یابی یا قطب نما مؤثر می باشد، لذا بنده، نتیجه استخراج قبله هر شهر را با انحراف مغناطیسی شهر مزبور، با در نظر گرفتن شرقی یا غربی بودن انحراف، ترکیب کردم که نتیجه، در ساختن این قبله نما بکار رفته است.

توضیحاً عرض می شود که انحراف مغناطیسی دارای تغییرات سالیانه و حتی روزانه ای می باشد، ولی چون این تغییرات در حدود دقیقه است لذا، برای کار ما قابل توجه نیست.

۳. ساختمان قبله نما

قبله نما جعبه ای است مدور، از فلز یا پلاستیک که در قسمت فوقانی آن یک عقربه مغناطیسی و در قسمت تحتانی یک یا چند صفحه قرار دارد. روی هر صفحه، نام تعدادی از شهرها، براساس محاسبه دقیق جهت مکه و انحراف مغناطیسی محل، نوشته شده است.

قبله نمای خود کار محلی، علاوه بر عقربه مغناطیسی، عقربه دیگری به رنگ قرمز یا برنجی یا شب نما دارد. در قبله نمای با صفحه گردان، که جدیدترین نوع و خود کار برای همه جا، به حساب می آید، عقربه دیده نمی شود، خود صفحه فلزی می گردد و توجیه می شود.

صفحات قبله نما بطور کلی، دو نوع است. در صفحات اولیه که هنوز در قبله نماها نصب می شود، مکه معظمه در خارج صفحه در نظر گرفته شده، ولی در صفحات جدید محل کعبه در وسط صفحه فرض شده است، لذا با یک مرتبه توجیه صفحه به وسیله گرداندن قبله نما (یا بطور خود کار در نمونه های با صفحه گردان) خطی که جلو هر شهر رسم شده، جهت قبله آن است بطرف مرکز صفحه.

در قبله نماهایی که دارای یک صفحه هستند و نمونه های با صفحه گردان، صفحه عمومی گذارده شده که نام شهرهای مهم را دارد. غیر از صفحه عمومی، قریب

۲۰ صفحه دیگر برای کشورهای مختلف به زبان فارسی و عربی یا انگلیسی وجود دارد، صفحه مخصوص دلیل الحاج و صفحه ای با درجات، مثل صفحه قطب نما تهیه شده است.

۴. دستور قبله یابی

الف—قبله نمای با عقربه

۱. اگر داخل قبله نما، برگهای متعددی است، برگی که نام شهر مطلوب را دارد رو قرار دهید.

۲. قبله نما را روی میز یا سطحی افقی (دور از آهن آلات و ادوات برقی) بگذارید.

۳. عقربه مغناطیسی پس از نوسان، یک نوک آن معمولا نوک سیاه یا شب نما، بسوی شمال خواهد ایستاد.

۴. بملایمت، قبله نما را بگردانید تا شعاع شهر مطلوب، زیر نوک شمالی عقربه قرار گیرد. خط قبله که روی صفحه رسم شده، جهت مکه را نشان می دهد.

در قبله نماهای خود کار محلی، نوک سیاه عقربه، شمال، نوک سفید، جنوب و نوک اضافی— که به رنگ قرمز یا شب نما یا برنجی می باشد— بطور خود کار قبله شهرستانهایی را نشان می دهد که در صفحه قبله نما با علامت قرمز مشخص گشته یا روی جعبه آن قید شده است.

برای قبله یابی با صفحات جدید که مکه معظمه در وسط صفحه فرض شده، باید قبله نما را بطور افقی گرداند تا شمال صفحه، زیر نوک شمالی عقربه مغناطیسی قرار گیرد. در این وضعیت خطی که مجاور هر شهر، رو به مرکز کشیده شده، جهت قبله همان شهر است.

ب—نمونه های خود کار با صفحه گردان

هر موقع قبله نما را در سطحی افقی (دور از آهن آلات) بگذارید، صفحه پس از قدری نوسان بی حرکت می شود و شعاع هر شهر قبله آن را بطور خود کار نشان خواهد داد.

مکه معظمه در مرکز صفحه فرض شده و محاسبات زاویه قبله هر محل، روی این فرض بعمل آمده است.

برای اشخاص بی سواد یا بخاطر سهولت قبله یابی، می توان شعاع شهر مورد نظر را با رنگی مشخص ساخت. سمت شمال محل را علامت کوچکی روی صفحه، نشان می دهد.

برای یافتن قبله اما کنی که در صفحه درج نشده، جداول مخصوص برای هر ناحیه یا کشور تهیه شده است.

۵. توضیحات

تبصره ۱. عقربه مغناطیسی، شمال و جنوب مغناطیسی را نشان می دهد نه قبله را، لذا با قطب نماهای معمولی قدیم، نمی توان بدون محاسبات مخصوص قبله یابی کرد. بیسوادها را آگاه فرمایید که گمراه نشوند.

تبصره ۲. موقع قبله یابی باید شعاع مربوط به هر شهر را مورد استفاده قرار داد نه نام شهر را، بطوریکه در دو مثال زیر نموده شده است:

مثال اول: در شهر کلمبو (در جزیره سیلان، جنوب شرقی هندوستان) چنانچه نوک سیاه عقربه مطابق شکل (۱) - شکل (۲۷-۵) در این کتاب - قرار گیرد، سهم، قبله آن شهر را نشان می دهد.

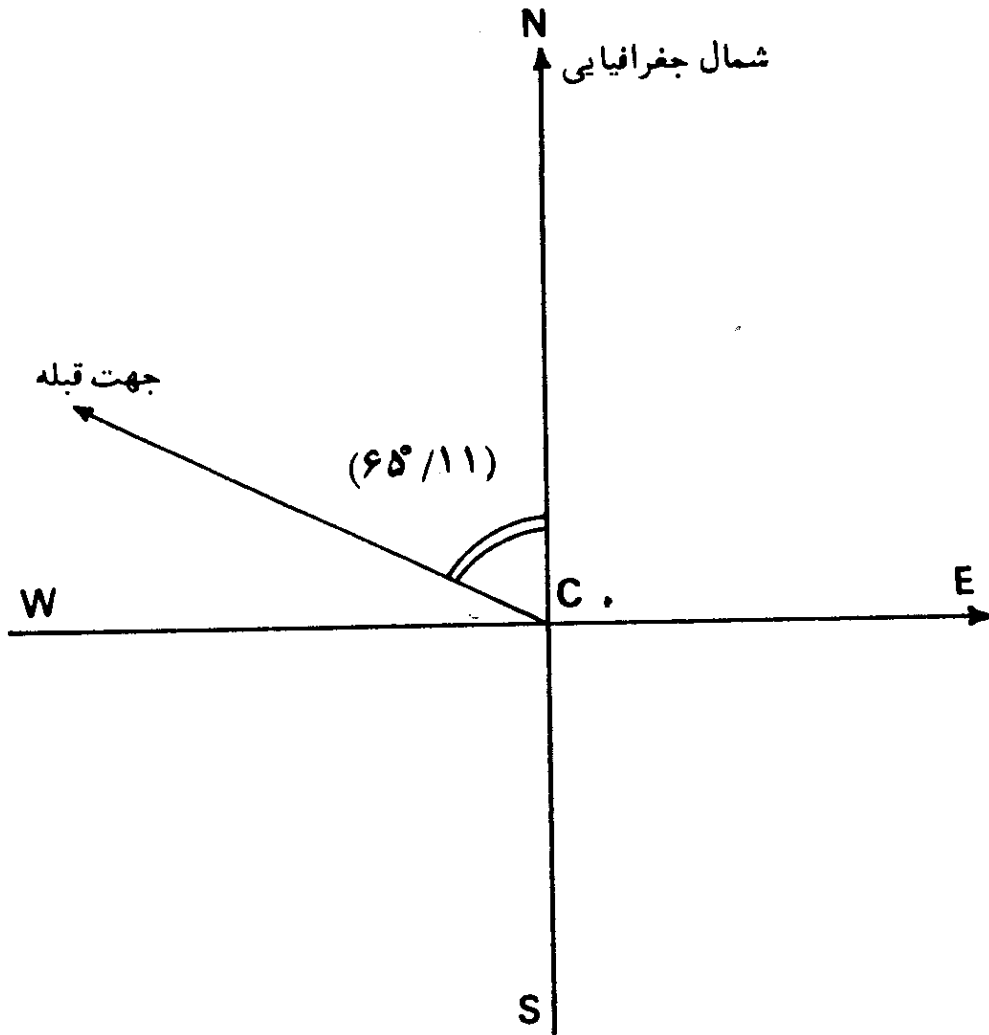
در اینجا توضیحات را قطع کرده و اندکی در مورد مثال اول، تحقیق و بررسی



شکل (۲۷-۵) - جهت قبله در کلمبو در جزیره سیلان، جنوب شرقی هندوستان (این شکل از رساله آقای رزم آرا اخذ شده است).

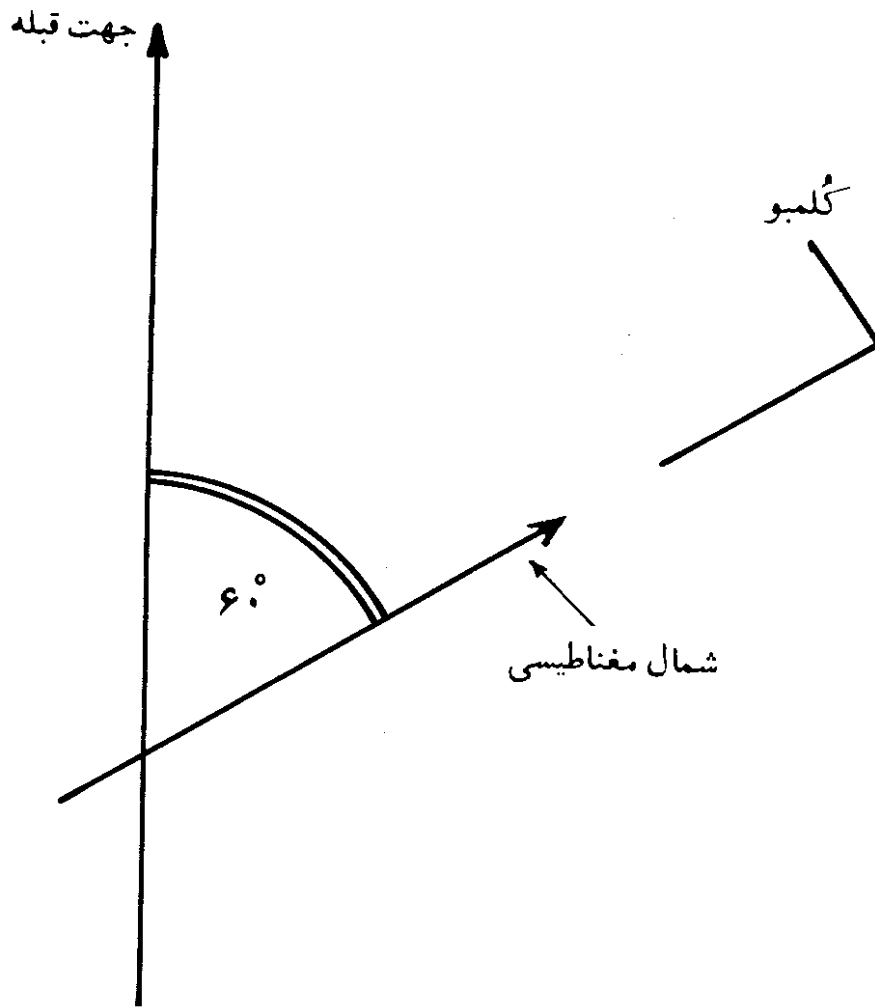
می‌کنیم. (مؤلف)

چنانکه مختصات جغرافیایی کلمبو در جزیره‌ی سری لانکا (سیلان)، $(\varphi_{Co} = 6^{\circ} 56')$ شمالی) و (شرقی $(\lambda_{Co} = 79^{\circ} 58')$) باشد، جهت قبله در این شهر از راه مثلثات کروی، $(65^{\circ}/11)$ در مغرب شمال جغرافیایی قرار می‌گیرد، شکل (۵-۲۸).



شکل (۵-۲۸) - جهت قبله در نقطه‌ای در کلمبو در جزیره‌ی سری لانکا، نسبت به امتداد شمال جغرافیایی از راه مثلثات کروی.

شکل (۵-۲۹)، از انتقال شکل (۵-۲۷) بدست آمده است. زاویه بین جهت قبله و امتداد شمال مغناطیسی در کلمبو در حدود 65° به طرف مغرب است. از تفاوت حاصل محاسبه و آنچه که از شکل (۵-۲۷) بدست آمده است، نتیجه می‌شود که جهت شمال مغناطیسی در کلمبو، در حدود $(5^{\circ} - 60^{\circ} - 65^{\circ})$ در مغرب شمال جغرافیایی است، عبارتی دیگر میل مغناطیسی در کلمبو در حدود 5° غربی در نظر گرفته شده



شکل (۵-۲۹) - زاویه بین جهت قبله و امتداد شمال مغناطیسی در شهر کلمبو به نقل از شکل (۵-۲۷).

است. با مراجعه به شکل (۸-۲)، در فصل دوم، دیده می‌شود که جزیره سری لانکا در جنوب شرقی هندوستان، در ناحیه‌ای با میل مغناطیسی از صفر درجه تا 10° غربی قرار دارد و فرض اینکه میل مغناطیسی کلمبو در حدود 5° غربی باشد، با توجه به اطلاعات داده شده در این شکل، تا حدی درست است. البته نقشه مربوط به سال ۱۹۶۵ است و اینکه در حال حاضر هم میل مغناطیسی کلمبو همان 5° غربی است، معلوم نمی‌باشد. این مطلب که میل مغناطیسی، سالیانه به مقدار کمی تغییر می‌کند، درست است، اما تعیین تغییرات میل مغناطیسی در کلمبو، از سال ۱۹۶۵ تا بحال - سال ۱۹۸۵ - نیازمند دسترسی به نقشه‌های مغناطیسی فعلی جهان و یا اندازه‌گیری موضعی آن، در کلمبو است.

از آنچه که آمد، معلوم می‌شود در مواردی که تعیین دقیق جهت قبله مورد نظر

است؛ مانند ایجاد ابنیه اسلامی و یا مساجد، توسل به نتایج قبله‌نمای مغناطیسی به تنهایی کافی نیست و می‌بایست نتایج روشهای دیگر را نیز در نظر داشت. (مؤلف)
ادامه توضیحات به نقل از رساله آقای رزم‌آرا:

تبصره ۳. در صفحات کشورها چون قبله شهرها غالباً در قسمت کوچکی از محیط دایره قرار می‌گیرد و نمی‌توان در این قسمت کوچک اسامی تعداد زیادی از شهرها را نوشت، لذا در این قسمت طبق محاسبه، یک سلسله اشعه، رسم شده که هر شعاع متعلق به یک یا چند شهر است.

مثال دوم: در هریک از شهرهای آبدان، اهواز، خرمشهر، مسجدسلیمان، شوشتر، کاشان الی دامغان چنانچه نوک سیاه عقربه، بوضعی که در شکل ۲- شکل (۳۰-۵) در این کتاب-نموده شده، قرار گیرد، در این صورت، سهم، قبله شهرهای مزبور را نشان خواهد داد.

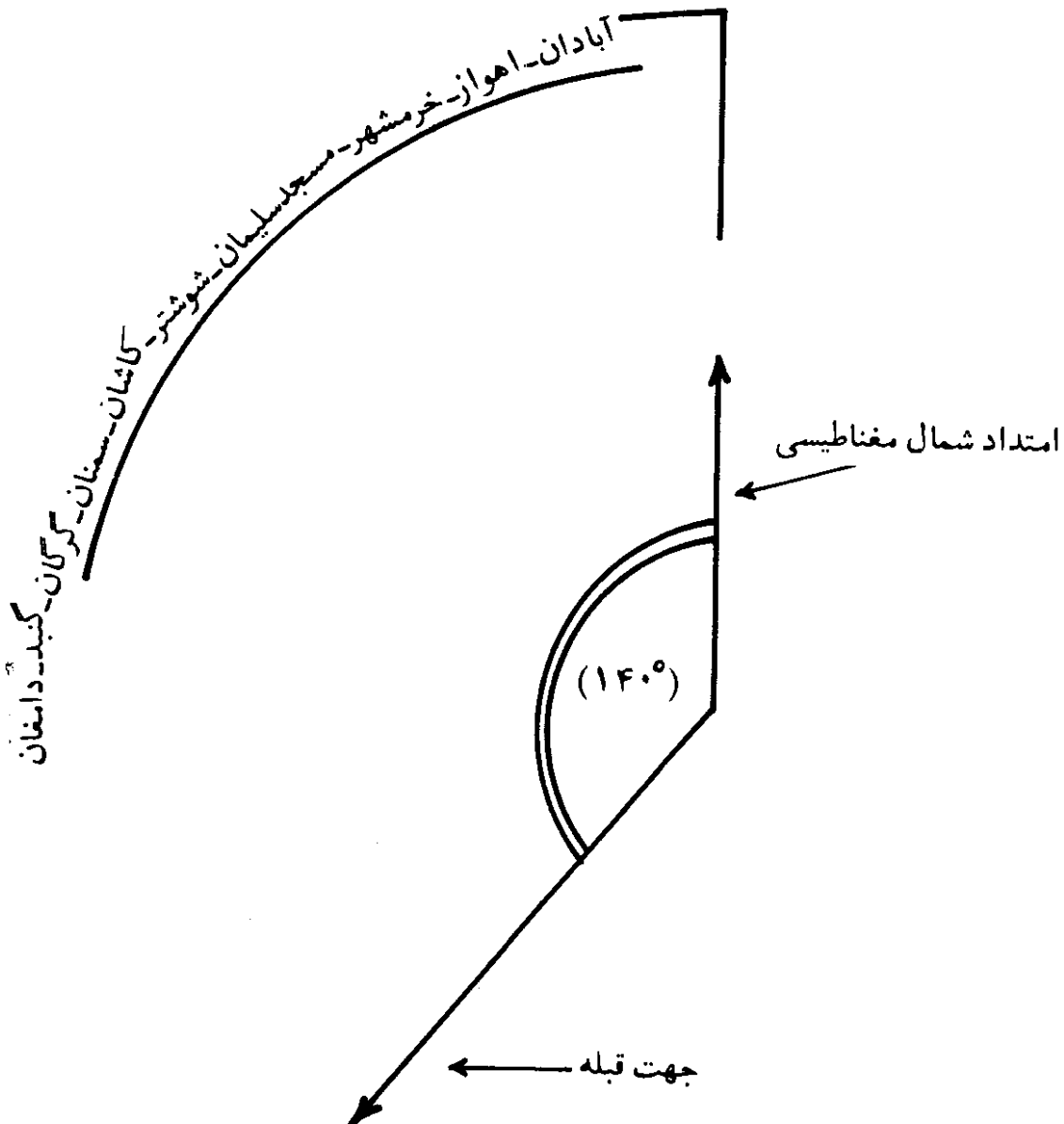


شکل (۳۰-۵) - قرار گرفتن امتداد قبله چند شهر بر روی یک شعاع (این شکل از رساله آقای رزم‌آرا گرفته شده است).

تبصره ۴. قبله قراء با قبله مرکز شهرستان تفاوت محسوسی ندارد.
تبصره ۵. در صفحات جدید که مکه در مرکز آنها فرض شده، موقعی که شمال صفحه، زیر نوک شمالی عقربه قرار گیرد، خطی که مجاور هر شهر، به مرکز کشیده شده، قبله همان شهر است. لذا با دو شکل فوق (۱ و ۲)، دارای اختلاف است.

تبصره ۶. برای استفاده بیسوادها، یا برای اینکه شعاع شهری را بتوان فوراً در صفحه پیدا کرد، در قبله‌نماهای دارای صفحات متعدد، روی صفحه تعلق حامل پایه عقربه، خط رنگینی رسم شده که موسوم است به خط نشانه. چنانچه موقع گذاردن صفحه، شعاع شهر مطلوب را زیر خط نشانه قرار دهند و در موقع بستن قبله‌نما هم تغییر محل ندهد، پیدا کردن شعاع، موقع قبله‌یابی تسهیل می‌شود، اشخاص بیسواد یا کسانی که چشمشان ضعیف است نیز می‌توانند از آن استفاده کنند.

در اینجا لازم است درباره مثال دوم هم اندکی تحقیق و بررسی کنیم (مؤلف): زاویه بین امتداد شمال مغناطیسی و جهت قبله، به نقل از شکل (۵-۳۰)، در شهرهای آبادان، اهواز، خرمشهر، مسجدسلیمان، شوشتر، کاشان، سمنان، گرگان، گنبد و دامغان، در حدود 140° به طرف مغرب است، شکل (۵-۳۱). حال بعنوان مثال در



شکل (۵-۳۱) - زاویه بین جهت قبله و امتداد شمال مغناطیسی در شهرهای آبادان، اهواز، خرمشهر الی دامغان، به نقل از شکل (۵-۳۰).

مورد سه شهر به شرح زیر نتیجه بدست آمده را بررسی می کنیم. البته در اینجا به مقادیر مختصات جغرافیایی و میل مغناطیسی که شکل (۵-۳۰) از آنها بدست آمده است، دسترسی نیست، لذا در هر مورد مختصات جغرافیایی معمول این شهرها و مقادیر میل مغناطیسی که توسط مؤسسه ژئوفیزیک دانشگاه تهران در سال ۱۳۴۲ هجری شمسی اندازه گیری شده، بکار رفته است:

$$\text{سمنان: } \varphi_S = 35^{\circ} 33' \text{ شمالی} \quad \lambda_S = 53^{\circ} 24' \text{ شرقی}$$

جهت قبله از طریق محاسبه با فرمولهای مثلثات کروی، $136^{\circ} / 37$ در مغرب امتداد شمال جغرافیایی است، و چون میل مغناطیسی در سمنان در سال ۱۳۴۲ هجری شمسی، $3^{\circ} / 69$ شرقی بوده است، بنابراین جهت قبله نسبت به امتداد شمال مغناطیسی برابر است با:

$$136^{\circ} / 37 + 3^{\circ} / 69 = 140^{\circ} / 06$$

که با نتیجه حاصل از شکل (۵-۳۰)، تقریباً برابر است.

$$\text{گنبد قابوس: } \varphi_G = 37^{\circ} 15' \text{ شمالی} \quad \lambda_G = 55^{\circ} 9' / 5 \text{ شرقی}$$

جهت قبله از طریق محاسبه با فرمولهای مثلثات کروی، $135^{\circ} / 78$ در مغرب امتداد شمال جغرافیایی است، و چون میل مغناطیسی در گنبد، $4^{\circ} / 17$ شرقی بوده است، بنابراین جهت قبله نسبت به امتداد شمال مغناطیسی برابر است با:

$$135^{\circ} / 78 + 4^{\circ} / 17 = 139^{\circ} / 95$$

که با نتیجه حاصل از شکل (۵-۳۰)، تقریباً برابر است.

$$\text{اهواز: } \varphi_A = 31^{\circ} 29' \text{ شمالی} \quad \lambda_A = 48^{\circ} 42' \text{ شرقی}$$

جهت قبله از طریق محاسبه با فرمولهای مثلثات کروی، $139^{\circ} / 67$ در مغرب امتداد شمال جغرافیایی است و چون میل مغناطیسی در اهواز $2^{\circ} / 82$ شرقی بوده است، بنابراین جهت قبله نسبت به امتداد شمال مغناطیسی، برابر است با:

$$139^{\circ} / 67 + 2^{\circ} / 82 = 142^{\circ} / 49$$

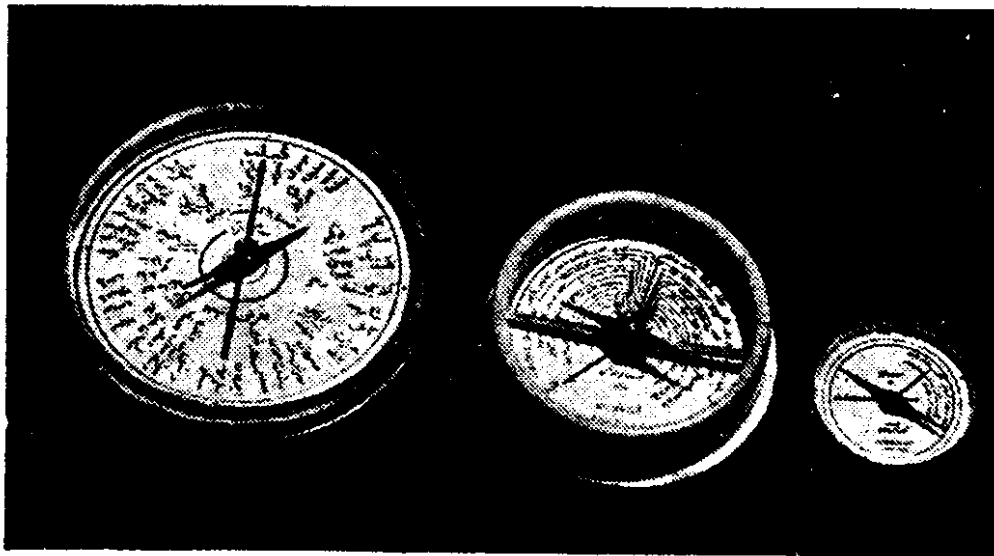
می بینیم که این نتیجه، در حدود $2^{\circ} / 5$ با نتیجه حاصل از شکل (۵-۳۰)

اختلاف دارد. حال چنانکه با استفاده از روش ارائه شده در بخش (۵-۳) و

مثال (۵-۱۵)، میزان خطای ناشی از این اختلاف را محاسبه کنیم، می بینیم که $۲/۴۹^\circ$ اختلاف، سبب می شود که ناظر، روبروی نقطه ای در حدود ۶۱ کیلومتری مکه معظمه قرار داشته باشد. اندازه کمان دایره عظیمه گذرکننده بر اهواز و مکه، در حدود $۱۲/۷^\circ$ و طول آن حدود $۱۴۱۲/۴۴$ کیلومتر است.

با توجه به آنچه که مورد بررسی قرار گرفت، چنین نتیجه می شود که برای تعیین جهت دقیق قبله، خصوصاً به منظور بنای ابنیه و مساجد، می بایست نتایج بدست آمده از قبله نمای مغناطیسی را با روشهای دقیقتر سنجید. اما در حضر و سفر، قبله نمای مغناطیسی وسیله مناسبی است، چه در اینگونه موارد، فرصتی برای دقت مورد لزوم، باقی نمی ماند. البته در اینصورت همیشه خطای ناشی از اصطکاک عقربه مغناطیسی و میدانهای مغناطیسی مزاحم، موجود است.

در شکل (۵-۳۲)، چند نمونه از قبله نمای مغناطیسی رزم آرا و در شکل (۵-۳۳) تصور چگونگی استقرار قبله نمای مغناطیسی بر روی زمین، نمایانده شده است. این شکلها، با تشکر از آقای رزم آرا، از رساله ایشان گرفته شده است.



شکل (۵-۳۲) - چند نمونه از قبله نمای رزم آرا.

۷-۵. تعیین جهت قبله در نقاط خاص

گاهی تعیین جهت قبله در نقطه ای بر روی کره زمین که در مقابل محل مکه معظمه قرار گرفته، و همچنین در نقطه قطب شمال، مورد توجه قرار می گیرد. گرچه امکان بودن، در چنین نقاطی نادر است، اما برای فهم بهتر روشهای این فصل، در این



شکل (۵-۳۳) - تصور چگونگی استقرار قبله نمای مغناطیسی بر روی زمین. (باتشکر از آقای رزم آرا).

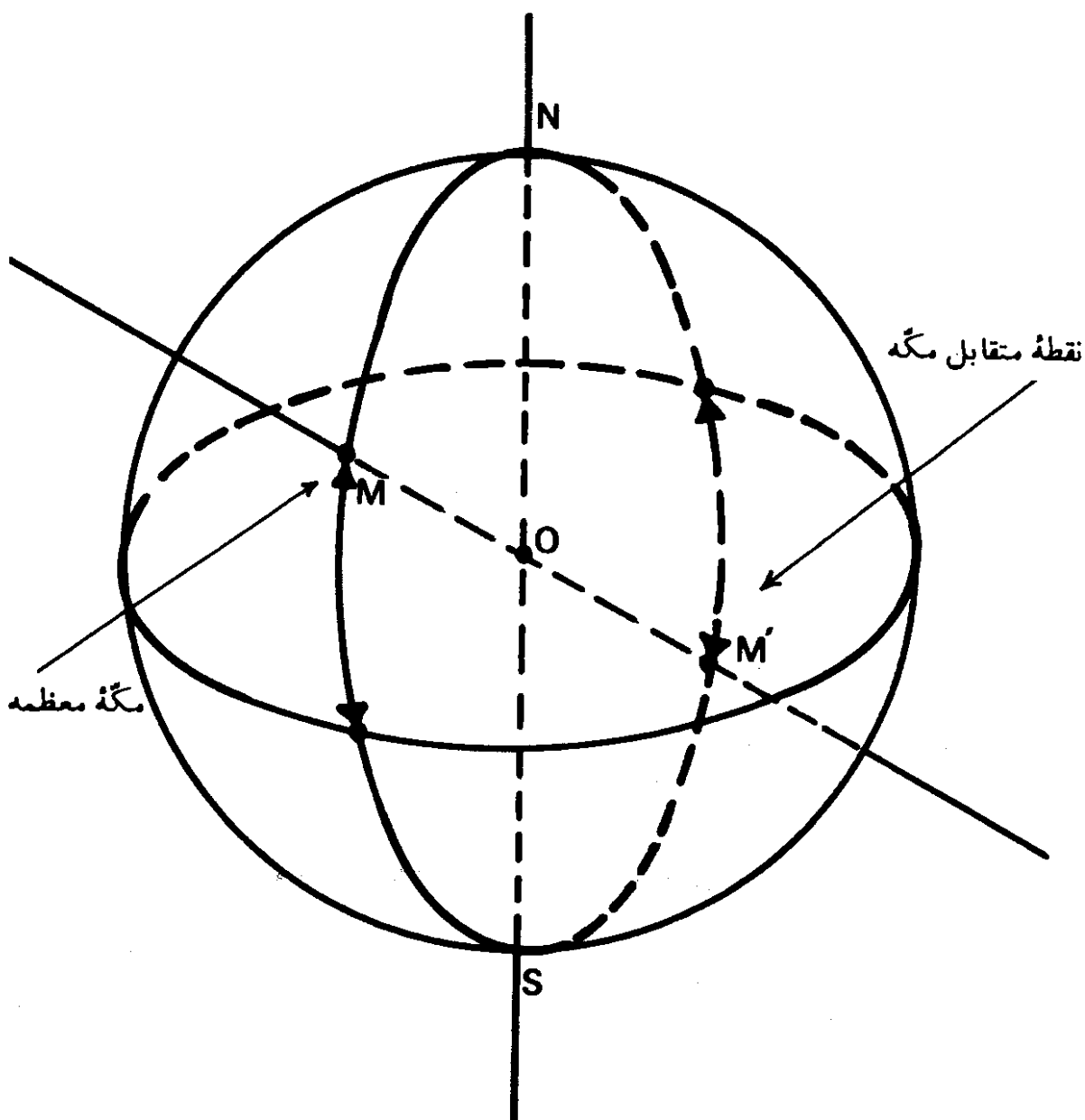
بخش چگونگی تعیین جهت قبله در چنین نقاطی بیان می شود:

۱-۷-۵. تعیین جهت قبله در نقطه متقابل مکه بر روی کره زمین
قبلا فرض شد که مختصات جغرافیایی مکه معظمه به شرح زیر باشد:

$$\varphi_M = 21^{\circ}30' \text{ شمالی} \quad \lambda_M = 39^{\circ}54' \text{ شرقی}$$

چنانکه فرض کنیم که شکل زمین کاملاً کروی باشد، محوری که از مکه معظمه و مرکز زمین می‌گذرد، سطح کره زمین را در طرف دیگر آن، در نقطه‌ای، متقابل با مکه معظمه، با مختصات جغرافیایی زیر قطع می‌کند، نقطه (M') شکل (۵-۳۴):

$$\varphi_{M'} = 21^{\circ}30' \text{ جنوبی} \quad \lambda_{M'} = 140^{\circ}6' \text{ غربی}$$



شکل (۵-۳۴) — نقطه متقابل مکه معظمه بر روی کره زمین، نقطه (M) است.

چنین مختصاتی بر روی کره زمین، در جنوب شرقی جزیره تاهیتی^۱، در میان مجمع‌الجزایر تواموتو^۲، در اقیانوس آرام^۳، قرار دارد.

نظر به اینکه این نقطه در تواموتو و مگه معظمه بر روی یک قطر از کره زمین قرار دارد، لذا هر دایره عظیمه‌ای که در نقطه متقابل مگه (M) در هر جهتی رسم شود، از مگه معظمه خواهد گذشت. بنابراین در نقطه متقابل مگه در تواموتو، جهت قبله بهر سویی می‌تواند باشد، بعبارت دیگر در این نقطه بهر سویی که بایستیم، جهت قبله است.

در فصل نهم کتاب، دوباره درباره نقطه متقابل مگه معظمه بر روی کره زمین، بحث خواهد شد.

۲-۷-۵. تعیین جهت قبله در نقاط قطب شمال و جنوب جغرافیایی

در بیشتر روشهایی که تا بحال مورد بررسی قرار گرفته است، تعیین جهت قبله در رابطه با امتداد شمال و جنوب جغرافیایی صورت می‌گیرد. وضعیت تابش خورشید در نقاط قطب شمال و جنوب، به وضعی که در مناطق معتدله^۴ می‌بینیم، نیست و لذا بیشتر، روشهایی که در جهت یابی و قبله‌یابی بیان شد، در نقطه‌های قطب شمال و جنوب کاربرد ندارد. لذا قبل از بیان روشهای تعیین جهت قبله در نقاط قطب شمال و جنوب زمین، ابتدا چگونگی وضعیت تابش خورشید و یا حرکت ظاهری روزانه خورشید در نقاط قطبی را مورد بررسی قرار می‌دهیم.

البته وضعیت حرکت ظاهری خورشید در سایر مناطق کره زمین، قبلا در مطلب شماره (۶) در فصل دوم آمده است.

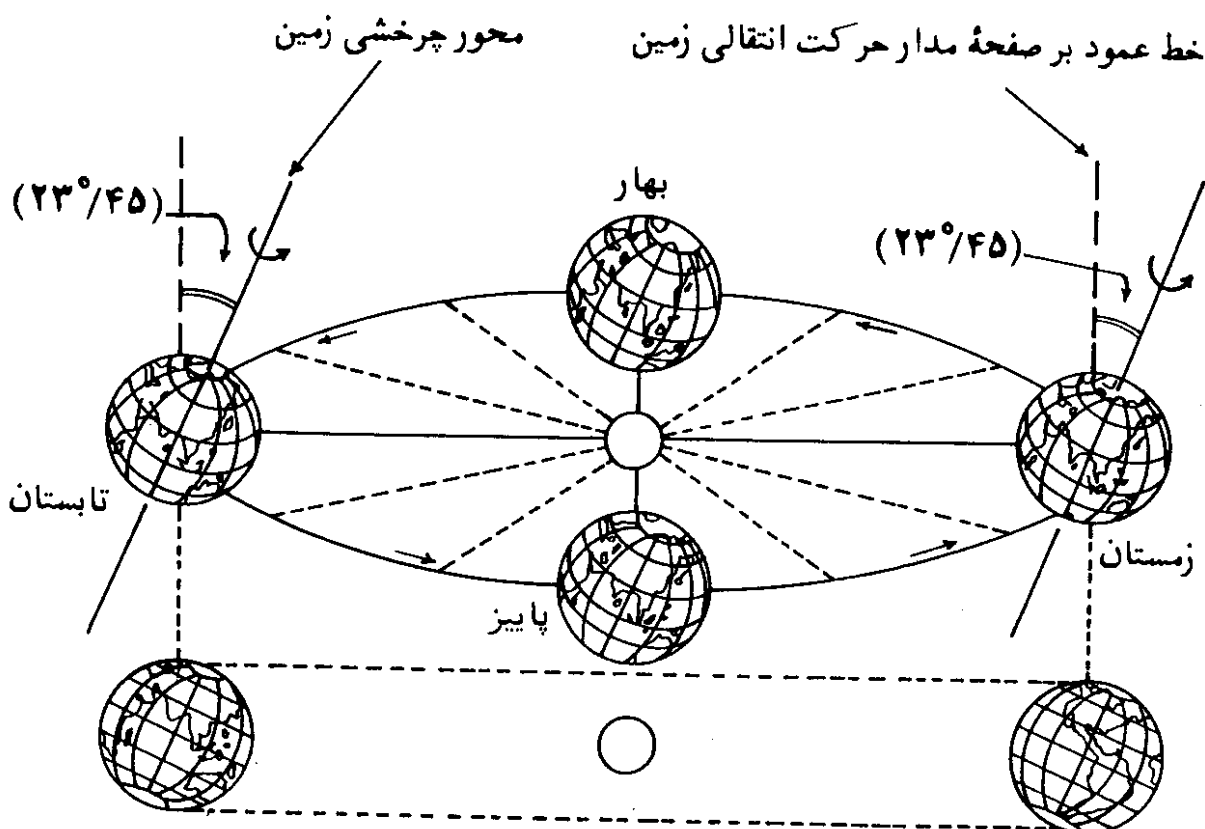
در شکل (۳۵-۵)، مدار حرکت انتقالی زمین به دور خورشید، نشان داده شده است. زمین در طول یک سال شمسی، یک بار این مدار را به دور خورشید می‌پیماید. محور چرخشی زمین نسبت به سطح مدار حرکت انتقالی آن متمایل است و با خط عمود بر آن، زاویه‌ای برابر $23^{\circ}/45$ می‌سازد. امتداد این محور چرخشی عملاً در طول سال به موازات خود باقی می‌ماند. متمایل بودن محور چرخشی زمین نسبت به سطح مدار آن به دور خورشید و همچنین حرکت انتقالی آن، موجب ایجاد فصول چهارگانه بر روی زمین است. همچنین متمایل بودن محور چرخشی زمین باعث گشته‌است که حرکت ظاهری روزانه

1. Tahiti
2. Tuamotu Archipelago
3. Pacific Ocean
4. Temperate zones

خورشید در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی، بصورت بخصوصی درآید. بدین صورت که در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی، آفتاب تقریباً شش ماه از سال در بالای افق و شش ماه دیگر در زیر افق قرار می گیرد، بعبارت دیگر قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی دارای شبانه روزی بطول یکسال است که طول شب آن در حدود شش ماه و طول روز آن نیز تقریباً شش ماه است. البته هنگامیکه در قطب شمال، روز طولانی شش ماهه در جریان است، در قطب جنوب شب طولانی شش ماهه ادامه می یابد و برعکس.

علت اینکه شبانه روز قطبی یکسال طول می کشد، می توان با دقت در شکل (۵-۳۵) بسادگی فهمید.

در این شکل می بینیم که با شروع بهار، قطب شمال زمین کم کم روبروی خورشید قرار می گیرد و در اول تابستان، نواحی قطب شمال، همیشه بطرف خورشید است که این حالت تا پایان فصل تابستان و اول پاییز بطول می انجامد. با شروع فصل پاییز، دیگر آفتابی بر نقطه قطب شمال نمی تابد و این وضع در طول فصلهای پاییز و زمستان ادامه دارد و تا اول فصل بهار، طول می کشد. در هر کدام از این دو حالت، حرکت وضعی زمین، یعنی چرخش آن به دور خود در طول بیست و چهار ساعت، موجب



شکل (۵-۳۵) — حرکت انتقالی زمین به دور خورشید در طول یک سال شمسی.

طلوع و غروب خورشید نمی‌شود، چه، مناطق حوالی قطب شمال یا همیشه رو به خورشید است و یا همیشه بدور از آن.

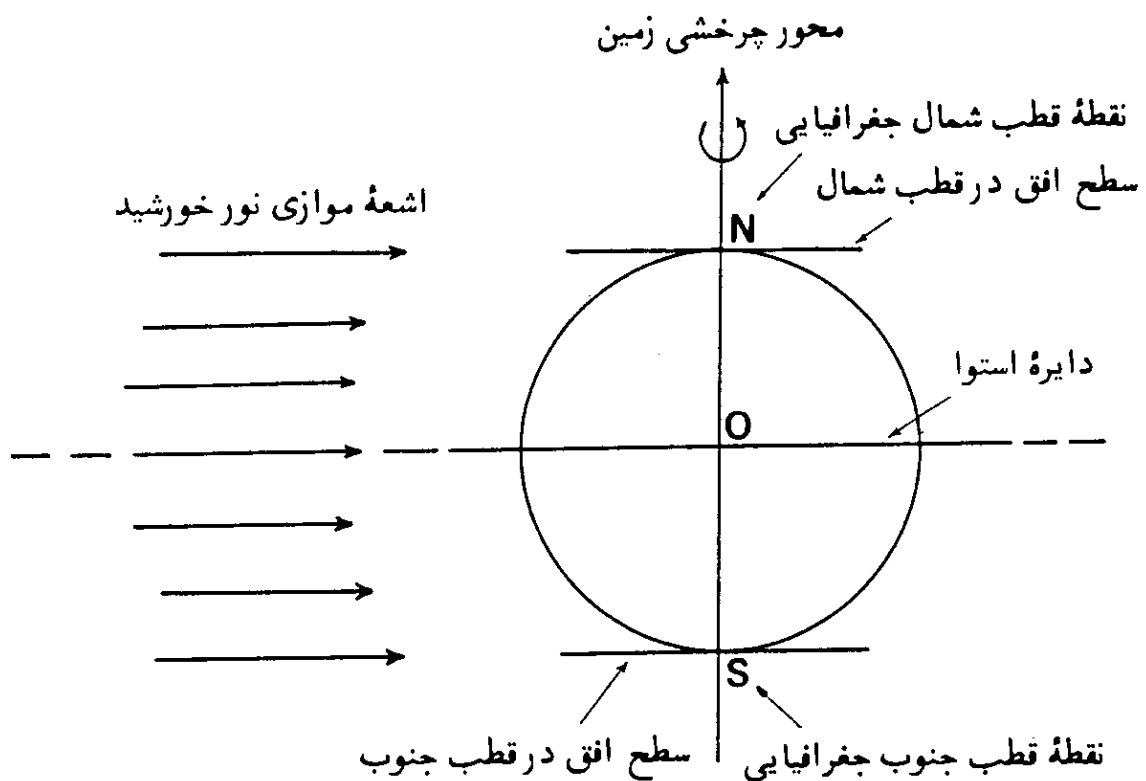
به همین ترتیب می‌توان دید که در شش ماهی که قطب شمال بطرف خورشید قرار می‌گیرد (بهار و تابستان)، قطب جنوب، بدور از خورشید است و شب طولانی آن ادامه دارد و برعکس.

حال که چگونگی شبانه روز طولانی قطبی روشن شد، باید دید که در شش ماهی که خورشید همیشه بالای افق در پهنه آسمان است، حرکت ظاهری آن در طول بیست و چهار ساعت به چه صورتی است.

برای درک بهتر مطلب، می‌بایست میل خورشید را که در شکل (۵-۲۲) نمایانده شد، دوباره مورد توجه قرار داد. اصولاً تغییرات زاویه اشعه موازی خورشید با سطح دایره استوای زمین، بعلت حرکت انتقالی زمین و متمایل بودن محور چرخشی آنست.

در ادامه مطلب با توجه به مقادیر میل خورشید در فصول مختلف—شکل (۵-۲۲)—مطالب گفته شده قبلی را پی می‌گیریم و آنگاه حرکت ظاهری روزانه خورشید در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی را تشریح می‌کنیم.

ابتدا از اعتدال بهاری و پاییزی شروع می‌کنیم. مطابق شکل (۵-۳۶)، خورشید

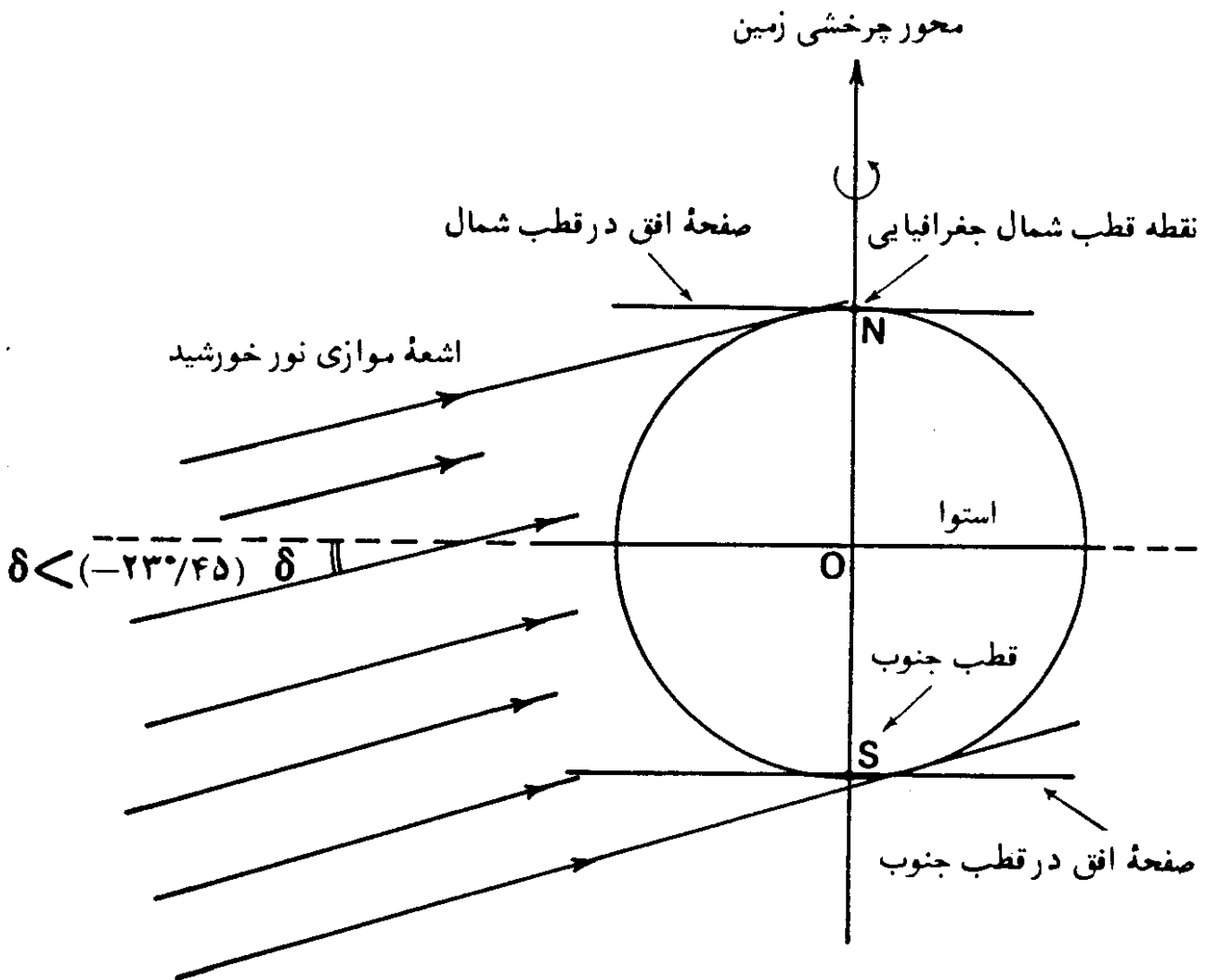


شکل (۵-۳۶) — وضعیت تابش نور خورشید بر کره زمین، در اول فصلهای بهار و پاییز.

در اعتدالین بر امتداد سطح دایره استوا قرار می‌گیرد و در نتیجه، اشعه موازی نور خورشید به موازات سطح دایره استوای زمین، بر آن می‌تابد.

چنانکه در این شکل دقت شود، دیده می‌شود که در اعتدالین، خورشید در افقهای نقاط قطب شمال و جنوب جغرافیایی قرار می‌گیرد؛ بدینصورت که در اعتدال بهاره، آغاز طلوع خورشید در روز طولانی قطب شمال، و غروب خورشید در قطب جنوب و شروع شب طولانی، در آن مکان است، و در اعتدال پاییزه غروب روز طولانی قطب شمال و شروع شب طولانی آن و آغاز طلوع خورشید در روز طولانی قطب جنوب است.

از اول پاییز به بعد، با توجه به شکل (۳۷-۵)، میل خورشید تدریجاً از صفر درجه در اعتدال پاییزه به $23^{\circ}/45$ - در انقلاب زمستانی نزول می‌کند و درحقیقت

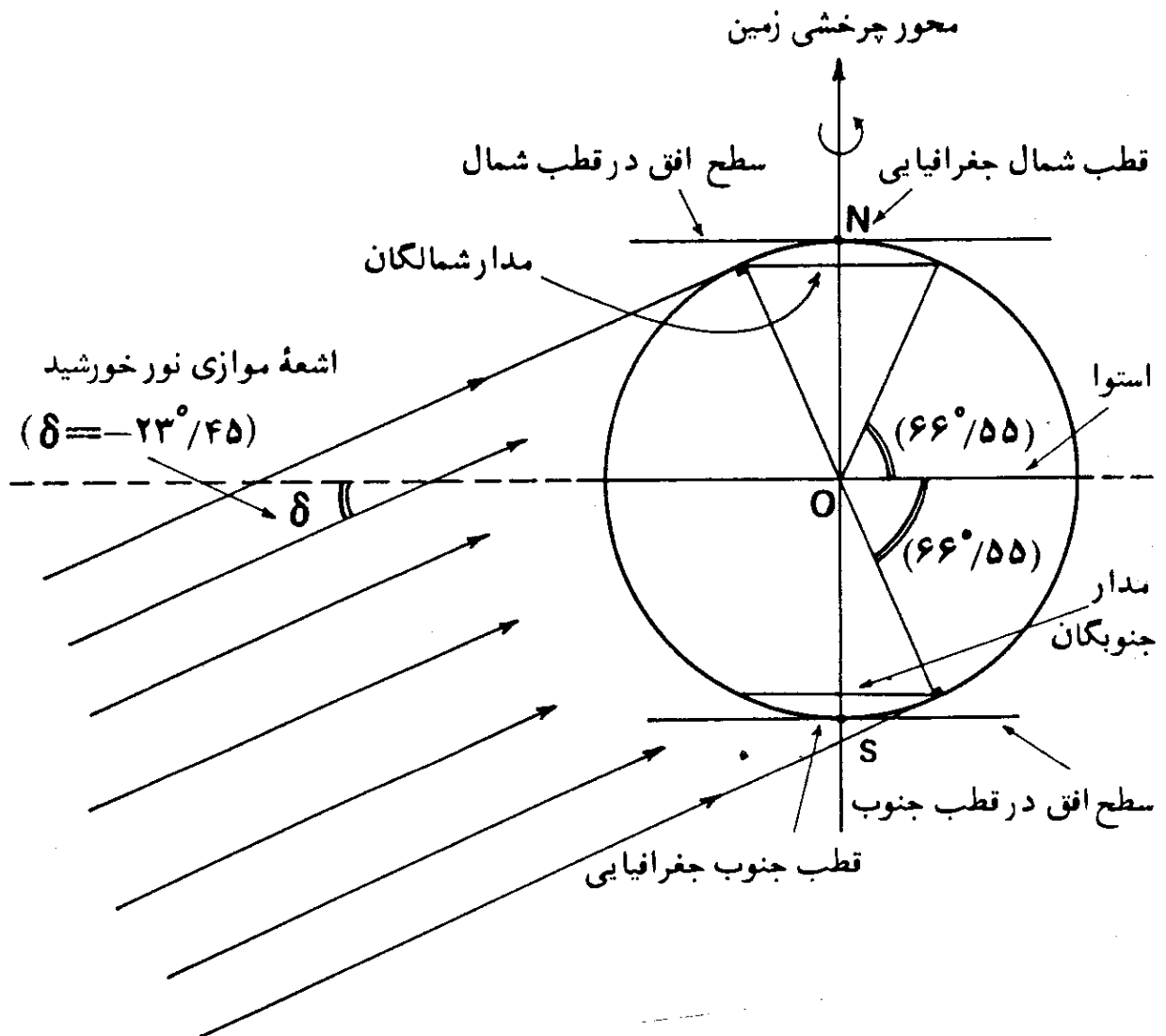


شکل (۳۷-۵) - وضعیت تابش نور خورشید بر کره زمین از اول پاییز به بعد و از اول زمستان به بعد.

خورشید در زیر دایره استوا قرار می گیرد. در نتیجه، از اول پاییز به بعد به مرور، مناطق بیشتری از اطراف قطب شمال در تاریکی فرومی رود و برعکس مناطق وسیعتری در اطراف قطب جنوب، در روشنی دائمی خورشید قرار می گیرد. در این حالت علی رغم حرکت وضعی زمین، مناطق اطراف قطب شمال در تاریکی و مناطق اطراف قطب جنوب در روشنی خورشید قرار دارند.

در اول زمستان، خورشید در منتهی الیه وضعیت خود در زیر امتداد سطح دایره استوا واقع است، بعبارت دیگر میل خورشید، به کمترین مقدار خود یعنی $(\delta = -23^\circ/45)$ می رسد، شکل (۵-۳۸).

در این شکل مداری شمالی با اندازه $90^\circ - 23^\circ/45 = 66^\circ/55$ به نام مدار شمالگان (مدار قطب شمال) نشان داده شده است. در اول زمستان بیشترین مساحت ممکنه از مناطق



شکل (۵-۳۸) - وضعیت تابش نور خورشید بر کره زمین در اول زمستان.

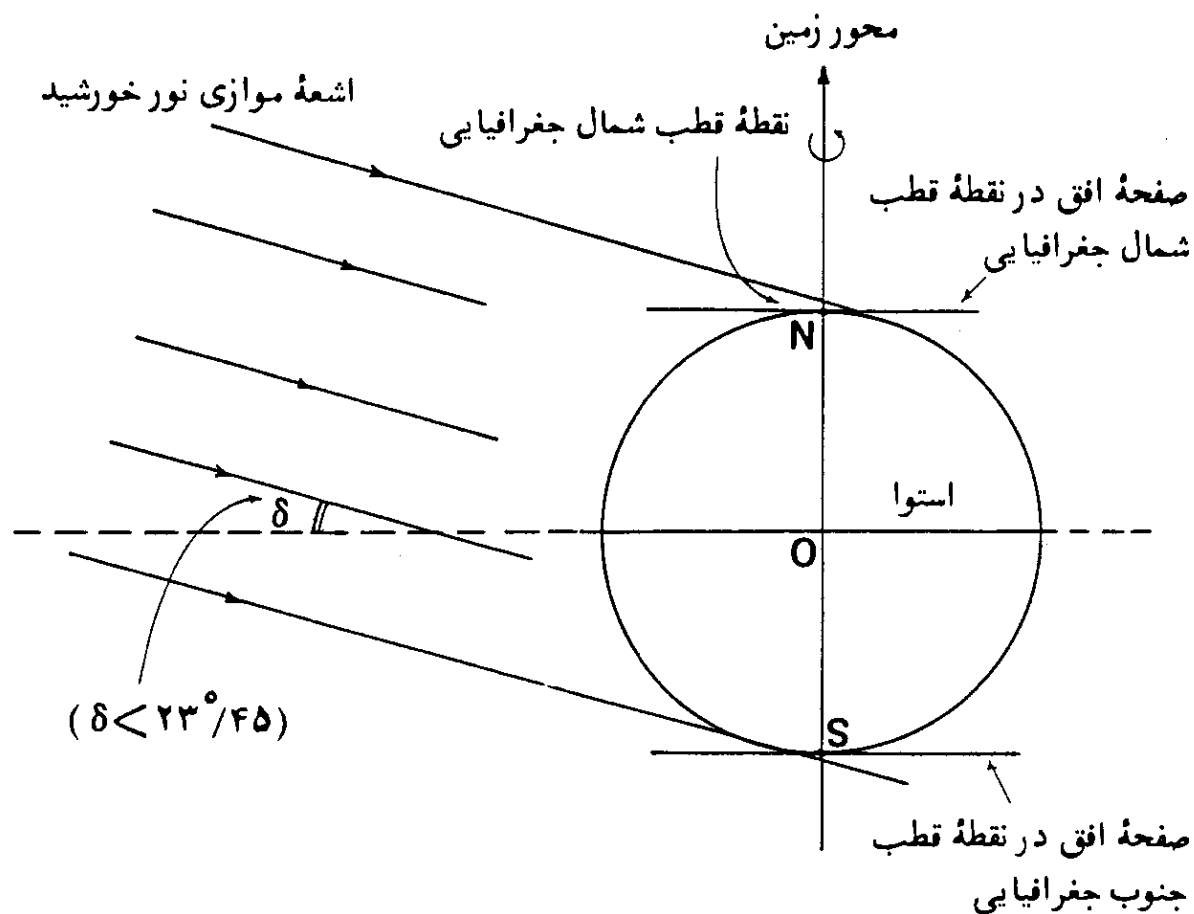
اطراف قطب شمال جغرافیایی در تاریکی فرو می رود، بعبارت دیگر کلیه مناطق واقع در شمال مدار شمالگان (منطقه منجمده شمالی^۱) در تاریکی شب قرار می گیرند و برای تمام نقاطی که بر روی مدار قطب شمال قرار دارند، خورشید در طول بیست و چهار ساعت شبانه روز در سطح افق قرار خواهد داشت.

برعکس در اول زمستان نیمکره شمالی (اول تابستان نیمکره جنوبی) بیشترین مساحت ممکنه از مناطق اطراف قطب جنوب جغرافیایی، در روشنی خورشید قرار می گیرند. در شکل (۵-۳۸)، مداری جنوبی با اندازه $۶۶/۵۵$ به نام مدار جنوبگان^۲ دیده می شود، در اول زمستان نیمکره شمالی، کلیه مناطق واقع در جنوب این مدار (منطقه منجمده جنوبی)^۳ در روشنی خورشید قرار دارند و برای تمام نقاطی که بر روی این مدار واقعند، خورشید در طول بیست و چهار ساعت شبانه روز در سطح افق، دیده می شود.

از نقطه انقلاب زمستانی به بعد، خورشید دوباره تدریجاً به امتداد سطح دایره استوا نزدیکتر می شود و حالت شکل (۵-۳۷) مجدداً تکرار می گردد و به مرور، مناطق بیشتری از منطقه منجمده شمالی در روشنی خورشید قرار می گیرد، اما خود نقطه قطب شمال در این حالت هنوز در تاریکی شب قرار دارد. البته در این وضعیت نقطه قطب جنوب جغرافیایی کماکان در روشنی خورشید قرار دارد و از وسعت مناطقی از منطقه منجمده جنوبی که در روشنی روز قرار دارند، کاسته می شود.

بعد از این مرحله، به اعتدال بهاری در اول فصل بهار می رسیم که خورشید بر امتداد سطح دایره استوا قرار می گیرد ($\delta = 0^\circ$)، شکل (۵-۳۶). در این حالت، در نقطه قطب شمال، خورشید در افق، ظاهر می گردد که در حقیقت موقع طلوع خورشید و شروع روز طولانی نقطه قطب شمال است. در نقطه قطب جنوب جغرافیایی نیز خورشید در افق، قرار دارد و موقع غروب خورشید و شروع شب طولانی قطبی، در آنجاست.

از اول بهار به بعد، میل خورشید تدریجاً از صفر درجه به $۲۳/۴۵$ + می رسد، شکل (۵-۳۹). در این مرحله، خورشید همواره در بالای امتداد سطح دایره استوا قرار دارد و در نتیجه، نقطه قطب شمال جغرافیایی همواره به طرف خورشید قرار می گیرد. ارتفاع خورشید در نقطه قطب شمال جغرافیایی از صفر درجه در اول بهار، به بیشترین اندازه خود در اول تابستان می رسد. با ازدیاد میل خورشید، مناطق بیشتری از منطقه منجمده جنوبی در تاریکی فرو می رود، در حالی که به مرور، مناطق وسیعتری از منطقه

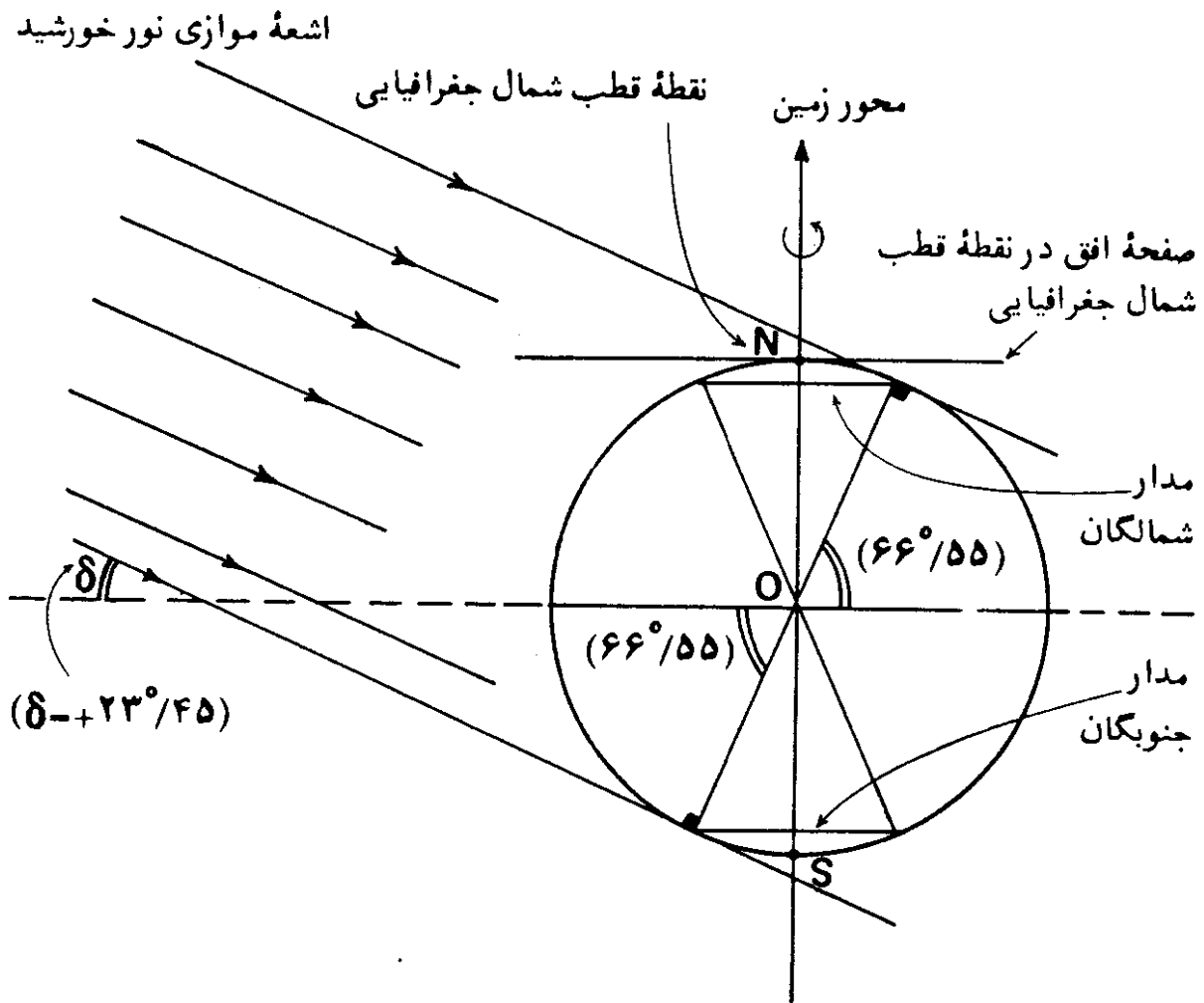


شکل (۵-۳۹) - وضعیت تابش نور خورشید در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی از اول فصل بهار به بعد.

منجمده شمالی در روشنی خورشید قرار می‌گیرند.

در نقطه انقلاب تابستانی (اول تابستان در نیمکره شمالی، اول زمستان در نیمکره جنوبی)، خورشید در منتهالیه وضعیت خود در بالای امتداد سطح دایره استوا قرار می‌گیرد، عبارت دیگر، میل خورشید به بیشترین مقدار خود یعنی $(\delta = + ۲۳/۴۵)$ می‌رسد، شکل (۵-۴۰). در اینحالت، بیشترین وسعت از ناحیه قطب شمال جغرافیایی یعنی تمام منطقه منجمده شمالی در روشنی داریم خورشید قرار می‌گیرد، و برعکس بیشترین سطح از ناحیه قطب جنوب جغرافیایی یعنی تمام منطقه منجمده جنوبی در تاریکی داریم شب فرومی‌رود. در این وضعیت، ارتفاع خورشید در نقطه قطب شمال جغرافیایی، به بیشترین اندازه خود می‌رسد.

از اول تابستان به بعد، خورشید تدریجاً به امتداد سطح دایره استوا نزدیکتر شده، حالت شکل (۵-۳۹) دوباره تکرار می‌گردد. در اینحالت نقطه قطب شمال،



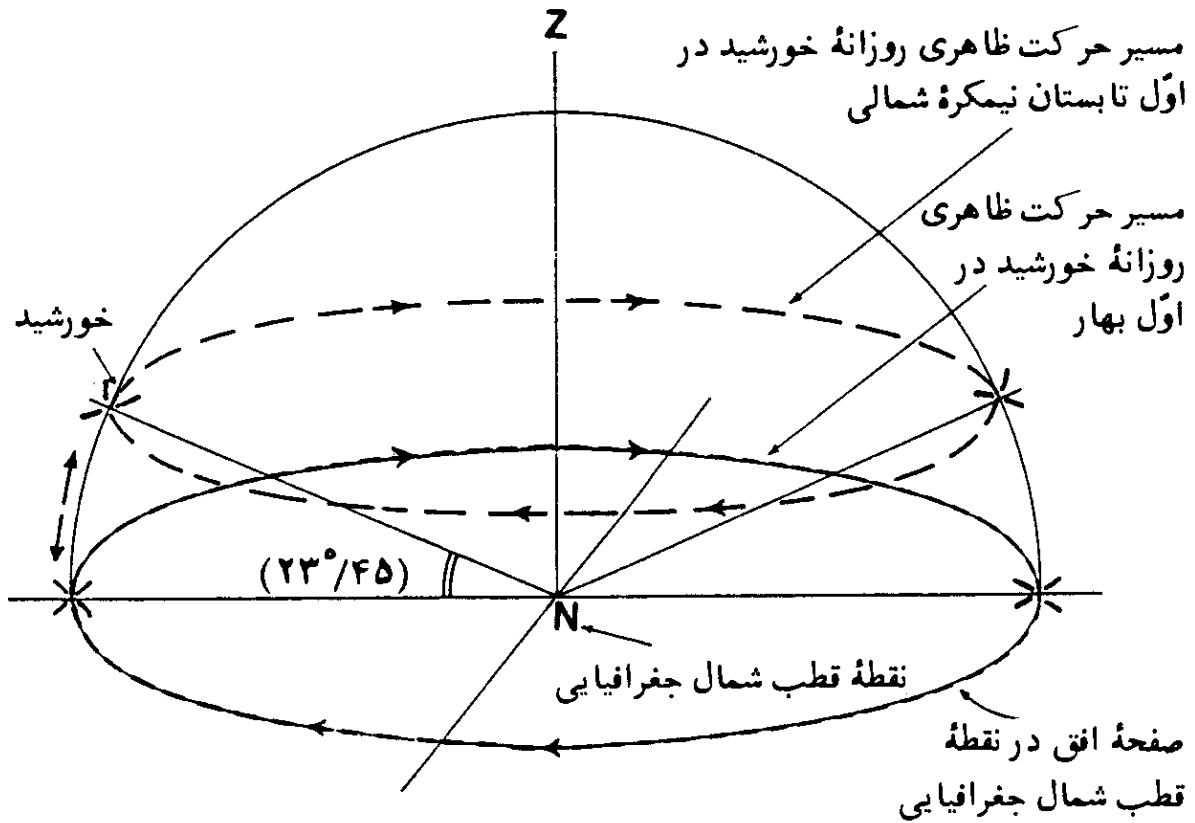
شکل (۵-۴۰) - وضعیت تابش نور خورشید در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی در اول تابستان نیمکره شمالی.

همچنان روبه خورشید خواهد بود اما به مرور از وسعت مناطق اطراف قطب شمال جغرافیایی که در روشنی دائمی خورشید قرار دارند، کاسته می شود. به همین ترتیب نقطه قطب جنوب جغرافیایی همچنان در تاریکی واقع است، اما از وسعت مناطقی در آن که در تاریکی دائم قرار دارند کم می شود.

بعد از فصل تابستان، در اعتدال پاییزی در اول پاییز، حالت شکل (۵-۳۶) مجدداً تکرار می گردد.

حال که چگونگی شب و روز طولانی قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی روشن شده است، می توان وضعیت حرکت ظاهری روزانه خورشید در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی را تصور کرد

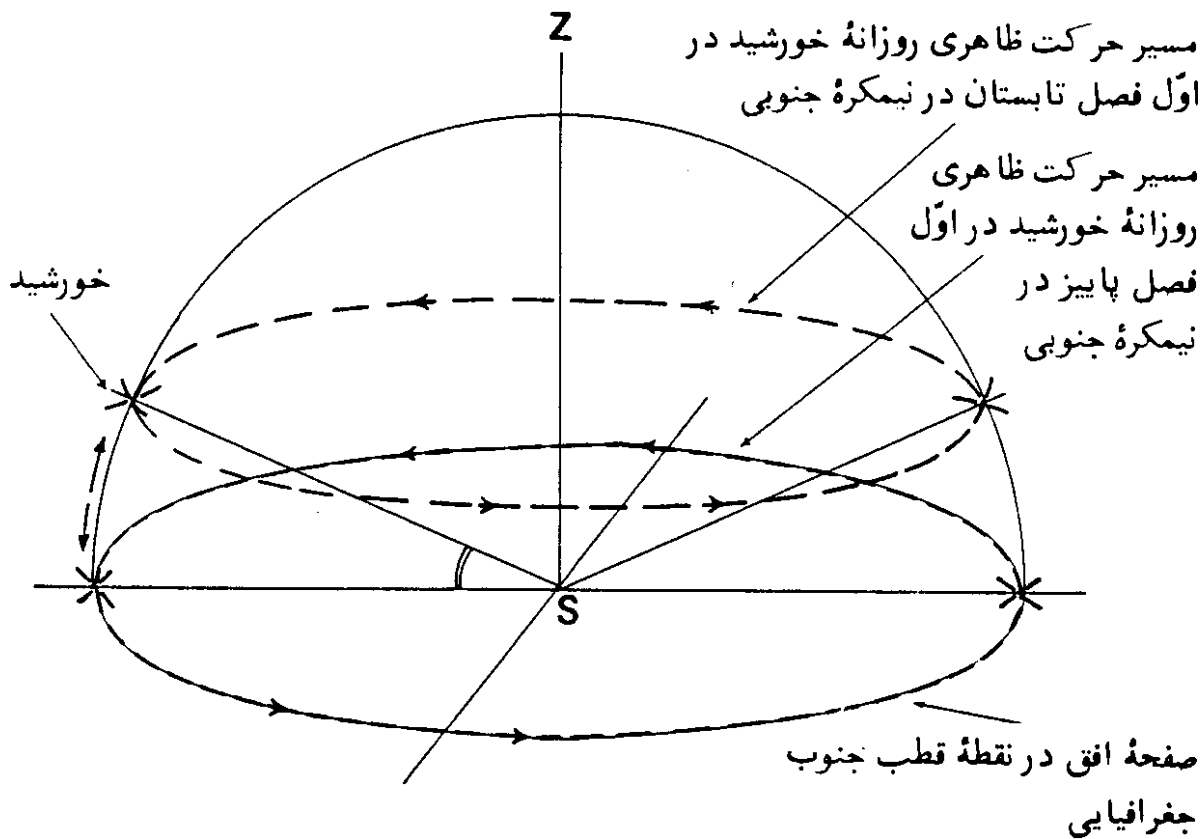
تصور کنید که ناظری در نقطه قطب شمال جغرافیایی، قرار گرفته است. در مدتی



شکل (۵-۴۱) - مسیر حرکت ظاهری خورشید در بیست و چهار ساعت شبانه روز در روز طولانی قطب شمال جغرافیایی.

که روز طولانی قطبی ادامه دارد، خورشید همیشه روبروی نقطه قطب شمال جغرافیایی، از دوردست و از نقطه ثابتی می‌تابد. اما ناظر مستقر در نقطه قطب شمال جغرافیایی، در طول بیست و چهار ساعت حرکت چرخشی زمین، خورشید را در یک مسیر دایره‌ای شکل به موازات سطح افق در حرکت می‌بیند، شکل (۵-۴۱). البته این حرکت، ناشی از حرکت وضعی زمین است و به همین علت به نام حرکت ظاهری روزانه خورشید، نامیده می‌شود. در این شکل، فقط مسیرهای اول تابستان و اول بهار نشان داده شده است و مسیرهای سایر ایام بین این دو مسیر قرار می‌گیرند. چنانکه در شکل (۵-۴۱) ارائه شده، جهت حرکت ظاهری خورشید همسوی حرکت عقربه‌های ساعت است. به همین ترتیب مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در نقطه قطب جنوب جغرافیایی در شکل (۵-۴۲) نمایانده شده که عکس حرکت عقربه‌های ساعت در آنجاست.

چنانکه ناظر مربوط، در عرضهای جغرافیایی کمتر از ۹۰ درجه شمالی (نقطه قطب شمال جغرافیایی) و بیشتر از ۶۶°/۵۵ شمالی (مدار قطب شمال) قرار گیرد،

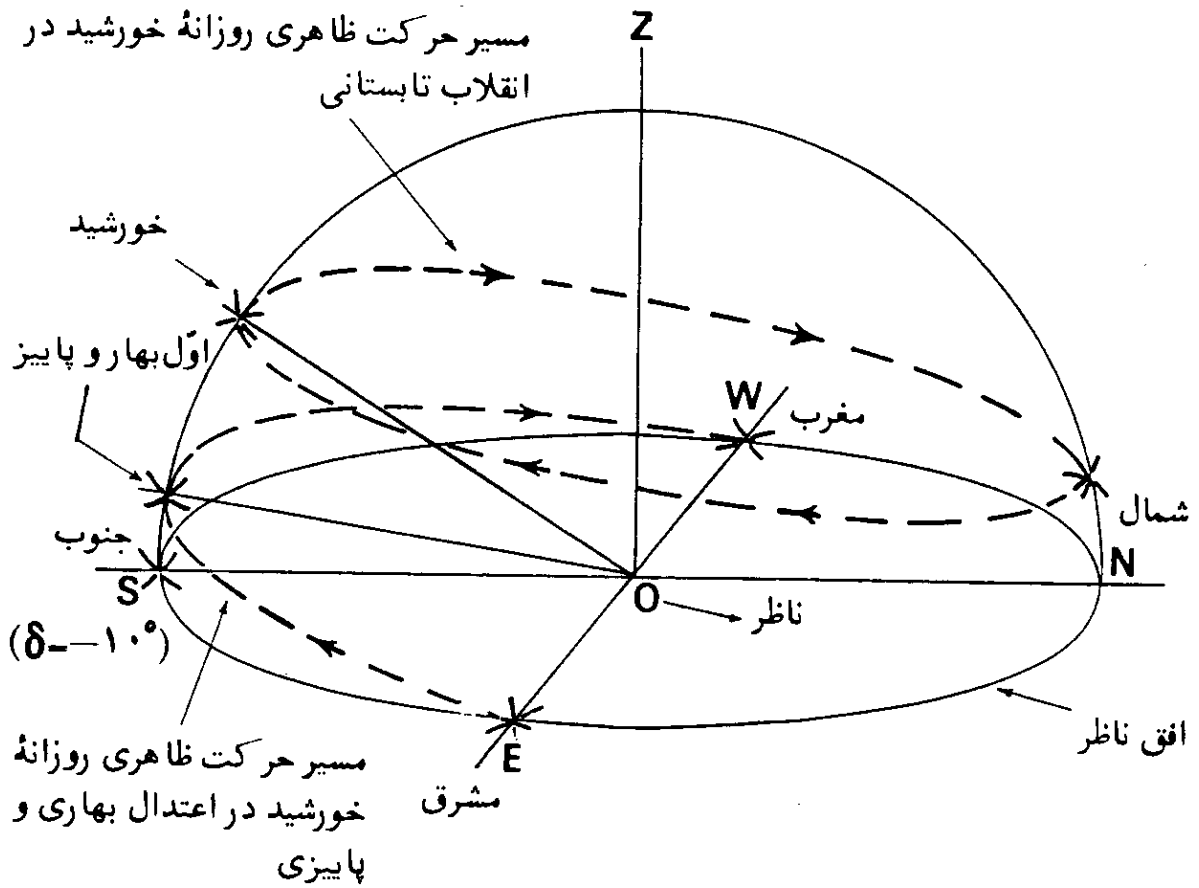


شکل (۵-۴۲) - مسیر حرکت ظاهری خورشید در بیست و چهار ساعت شبانه روز در روز طولانی قطب جنوب جغرافیایی.

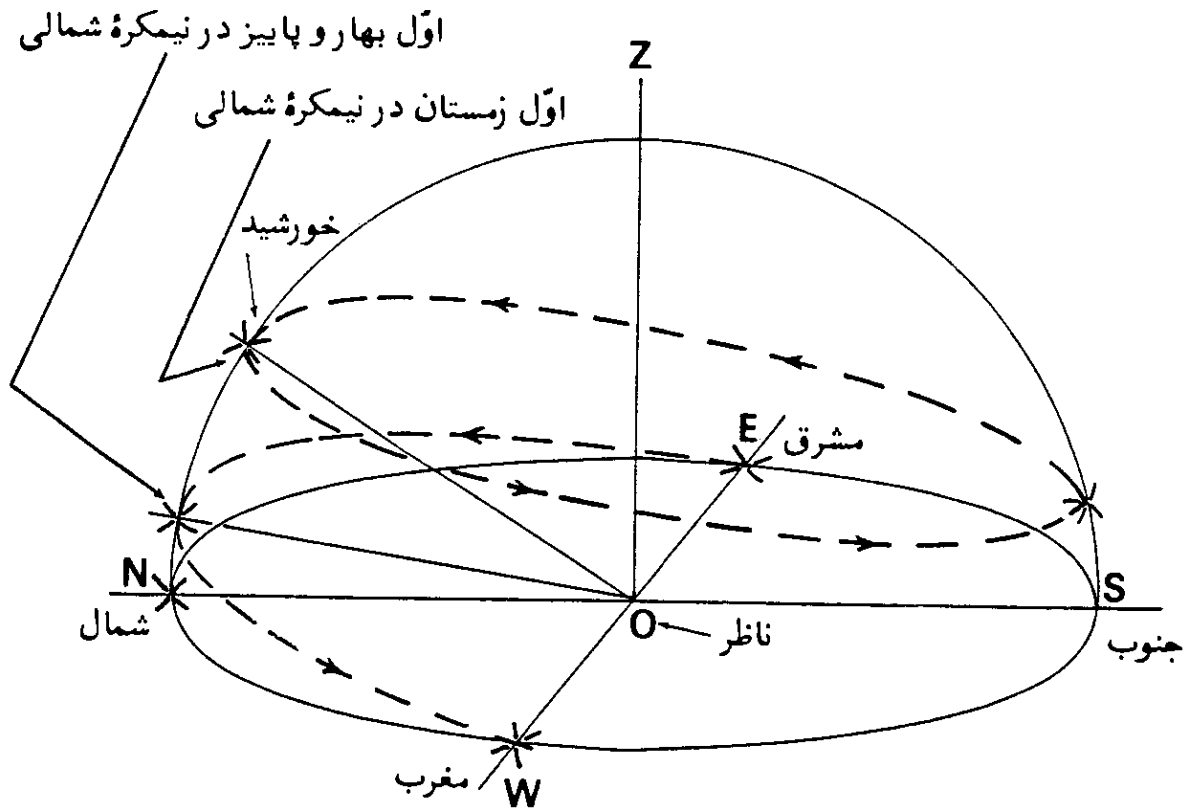
خورشید دوباره بنظر او مسیری دایره‌ای را ظاهراً خواهد پیمود. اما در اینحالت، سطح مسیر دایره‌ای، به موازات سطح افق نبوده بلکه نسبت به آن متمایل است. این مطلب در شکل (۵-۴۳) برای مدار ۸۰ درجه شمالی و در شکل (۵-۴۴) برای مدار ۸۰ درجه جنوبی نمایانده شده است. همچنین مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید برای مدار ۷۰ درجه شمالی و جنوبی، قبلاً در شکل‌های (۲-۱۶) و (۲-۲۱) در مطلب شماره (۶) در فصل دوم آمده است.

چنانکه از شکل (۵-۴۳) پیداست، مناطق واقع بر مدار ۸۰ درجه شمالی، هم دارای شب و روز طولانی قطبی است و هم دارای شب و روزهای ۲۴ ساعته، و در اول بهار و پاییز، طول شب و روز برابر است. بنابراین، زمان شب و روز طولانی قطبی در محل‌های واقع بر مدار ۸۰ درجه شمالی و یا جنوبی کمتر از شش ماه است.

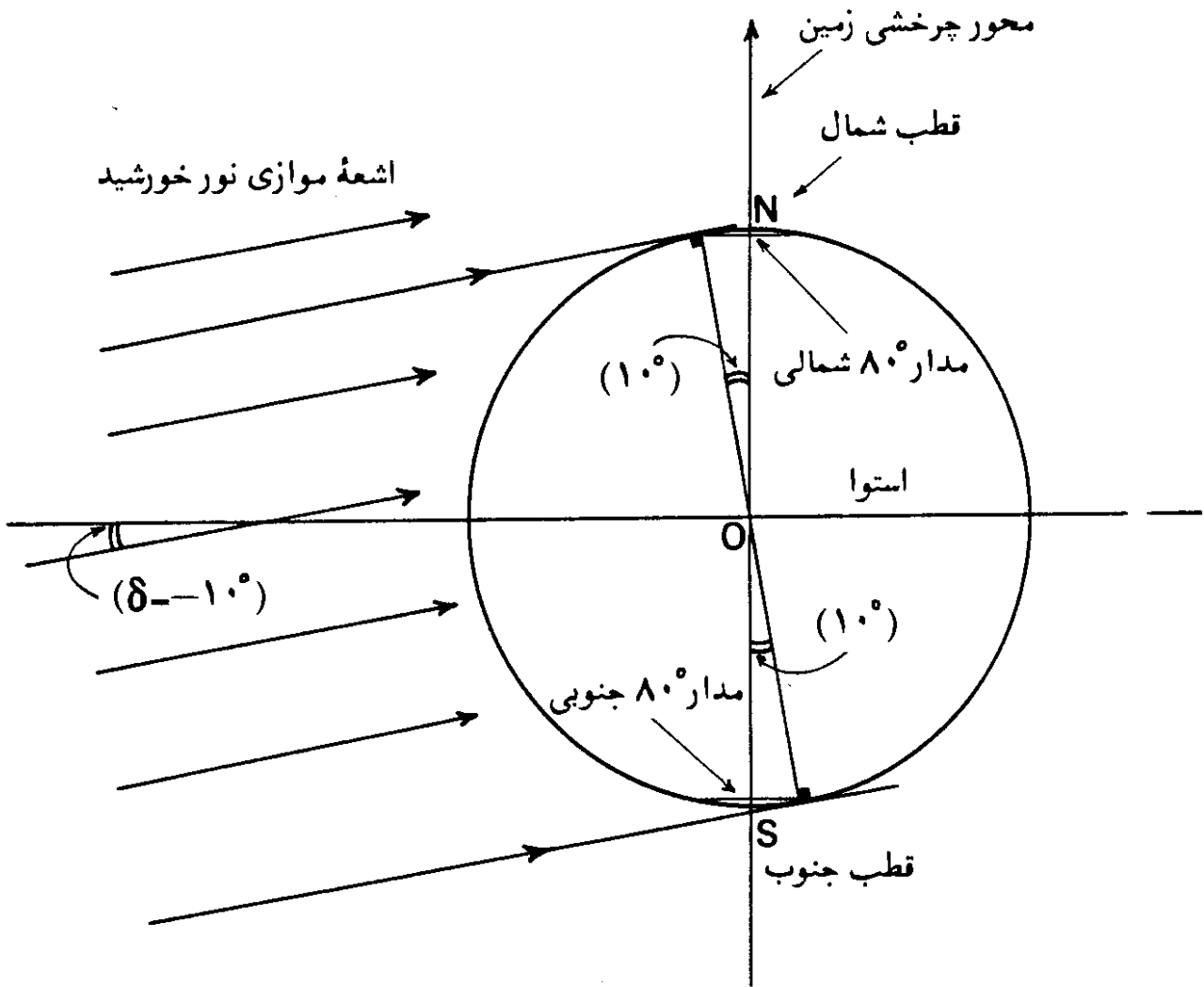
چنانچه در شکل (۵-۴۵) دیده می‌شود، هنگامی که میل خورشید از صفر درجه در اعتدال پاییز به 10° - در حدود ۲۸ مهرماه (۲۰ اکتبر) می‌رسد، شب طولانی



شکل (۵-۴۳) - مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در عرض جغرافیایی ۸۰ درجه شمالی.



شکل (۵-۴۴) - مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در عرض جغرافیایی ۸۰ درجه جنوبی.



شکل (۵-۴۵) - وضعیت تابش اشعه موازی خورشید در مدارهای ۱۰ درجه شمالی و جنوبی، زمانی که میل خورشید ۱۰° - است.

قطبی در مناطق واقع بر مدار ۸° شمالی آغاز می شود و برعکس روز طولانی قطبی در مدار ۸° جنوبی، آغاز می گردد. شب طولانی قطبی در مدار ۸° شمالی و روز طولانی قطبی در مدار ۸° جنوبی تا حوالی چهارم اسفندماه (۲۳ فوریه) که میل خورشید دوباره ۱۰° - می شود، بطول می انجامد.

با این توصیف مدت شب طولانی قطبی در مناطق واقع بر مدار ۸° شمالی و روز طولانی قطبی بر مناطق واقع بر مدار ۸° جنوبی در حدود ۱۲۷ روز بطول می انجامد.

از نقطه اعتدال بهار به بعد که میل خورشید صفر درجه است تا ۲۷ فروردین ماه (۱۶ آوریل) که میل خورشید تقریباً برابر ۱۰° + می شود، در مناطق واقع بر مدار ۸° شمالی، خورشید بصورت معمولی، دارای طلوع و غروب می باشد و طول شبانه روز ۲۴ ساعت است، شکل (۵-۴۶). البته هرچه به ۲۷ فروردین ماه نزدیک تر می شود، طول روز افزایش یافته، از مدت شب کاسته می گردد. در این تاریخ، خورشید در مناطق

در حدود ۱۳۵ روز، بطول می انجامد.

البته باید توجه داشت که مدت شش ماهه شب و روز طولانی قطبی در قطبهای شمال و جنوب و همچنین مدتهای ذکر شده برای مناطق واقع بر مدارهای ۸۰° شمالی و جنوبی تقریبی است و تصحیح لازم برای اثر شکست نور در اتمسفر کره زمین و اندازه ظاهری قرص خورشید^۱ در آنها، صورت نگرفته است.

این مطلب در فصل ششم کتاب، تحت بررسی واقع شده است.

حال که وضعیت حرکت ظاهری خورشید در طول ۲۴ ساعت شبانه روز در مناطق

قطبی روشن شد، می توان روشهای تعیین جهت قله در این مناطق را تشریح کرد.

بجز در خود قطبهای جغرافیایی، روشهای تعیین جهت قله را که قبلاً بیان شده

است، می توان در مناطق منجمده شمالی و جنوبی نیز بکار گرفت. از جمله می توان،

با استفاده از امتداد سایه یک میله قائم در روز هشتم خردادماه در ساعت ۹ و ۱۷/۵۸

دقیقه صبح و یا در روز بیست و پنجم تیرماه در ساعت ۹ و ۲۶/۲۷ دقیقه صبح به وقت

گرینیچ، که قبلاً در مثال (۱۸-۵) محاسبه شد، جهت قله را در مناطق منجمده شمالی

تعیین کرد. البته این روش خاص را نیز می توان در خود نقطه قطب شمال جغرافیایی

بکار گرفت. اوقات مربوط به مناطق منجمده جنوبی در فصل نهم کتاب آمده است.

بدیهی است این روش، در مدت شبهای طولانی قطبی، نمی تواند کاربرد داشته باشد.

اما در خود نقاط قطب شمال و جنوب جغرافیایی، می توان روش زیر را بکار گرفت:

در این روش که فقط در مدت روز طولانی قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی

کاربرد دارد، ابتدا می بایست زمان عبور خورشید از نصف النهار گرینیچ در روز مربوط را

محاسبه کرد. این مطلب در مثال زیر آمده است:

مثال (۱۹-۵)— وقت عبور خورشید از نصف النهار گرینیچ را در قطب شمال

جغرافیایی در روز ۱۱ خردادماه (اول ژوئن) به وقت گرینیچ محاسبه کنید.

راه حل— در روز اول ژوئن، تعدیل زمان از جدول (۳-۷) برابر (ثانیه ۲۵ و دقیقه ۲+)

است. لذا با استفاده از فرمول (۳-۱) خواهیم داشت:

$$۱۲ = GMT + ۲/۴۲ + ۴ \times ۰$$

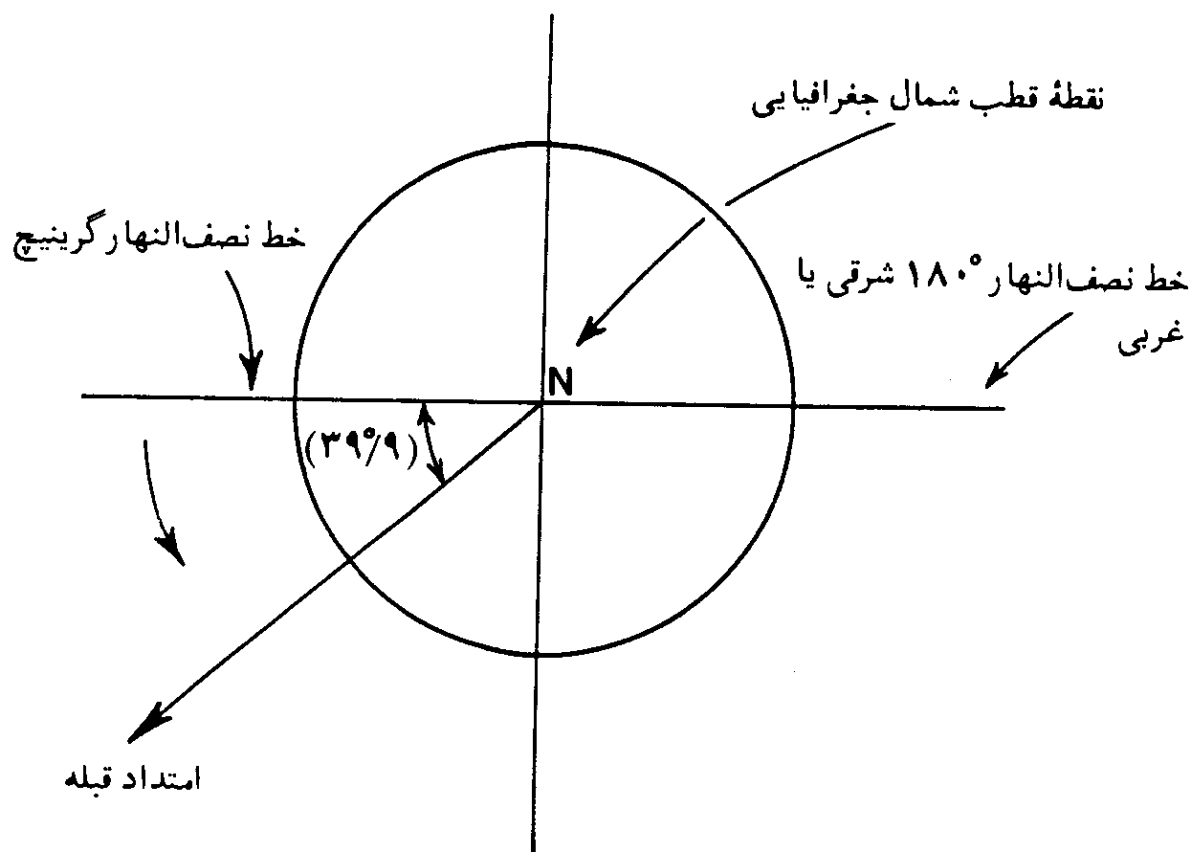
$$GMT = \text{ساعت } ۱۱ \text{ و } ۵۷/۵۸ \text{ ثانیه صبح}$$

بنابراین چنانکه ناظری در نقطه قطب شمال، ساعت خود را دقیقاً با وقت گرینیچ

میزان کند، می تواند با استفاده از امتداد سایه یک میله قائم، در وقت محاسبه شده،

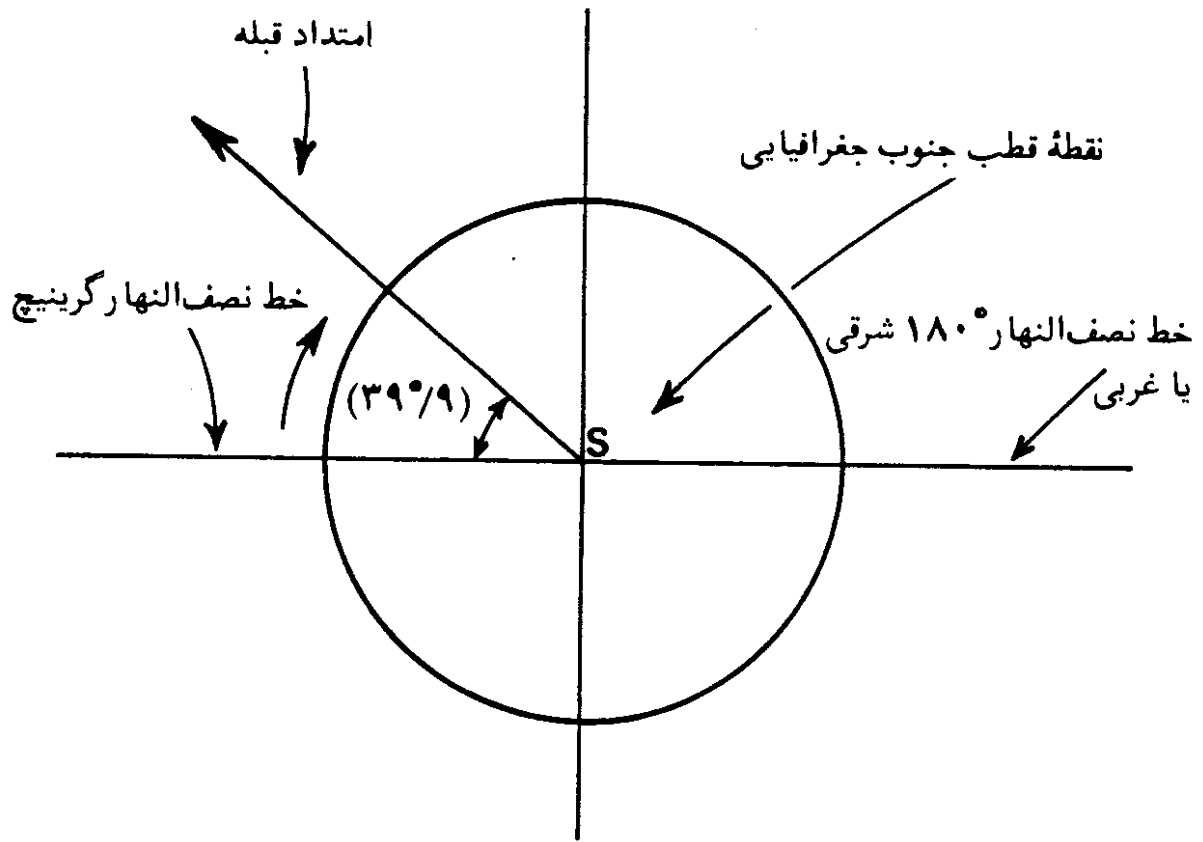
با فرض کروی شکل بودن زمین، امتداد نصف النهار گرینیچ را مشخص کند. اما می دانیم که کلیه نصف النهارات، همدیگر را در نقطه قطب شمال جغرافیایی قطع می کنند، لذا مطابق آنچه که در شکل (۴۷-۵) می بینید، می توان امتداد نصف النهار مکه $۳۹^{\circ}/۹$ شرقی را نسبت به امتداد نصف النهار گرینیچ مشخص کرد. با توجه به آنچه که گفته شد، می توان روش تعیین جهت قبله در قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی را به شرح زیر خلاصه کرد:

۱. میزان کردن ساعت به وقت گرینیچ.
۲. محاسبه وقت عبور خورشید از نصف النهار گرینیچ در روز مربوط، به شرحی که آمد.
۳. تعیین امتداد سایه یک میله قائم در وقت محاسبه شده، که امتداد سایه، امتداد نصف النهار ۱۸۰° شرقی و یا غربی می باشد و جهت عکس امتداد سایه، امتداد نصف النهار گرینیچ است.
۴. سپس در نقطه قطب شمال جغرافیایی خطی را چنان رسم می کنیم که در جهت عکس حرکت عقربه های ساعت (در قطب شمال جغرافیایی) زاویه ای برابر $۳۹^{\circ}/۹$ با امتداد نصف النهار گرینیچ بسازد. این خط جهت قبله است. در قطب جنوب



شکل (۴۷-۵) - جهت قبله در نقطه قطب شمال جغرافیایی نسبت به امتداد نصف النهار گرینیچ.

جغرافیایی، این خط در جهت حرکت عقربه های ساعت ترسیم می شود، شکل (۵-۴۸).



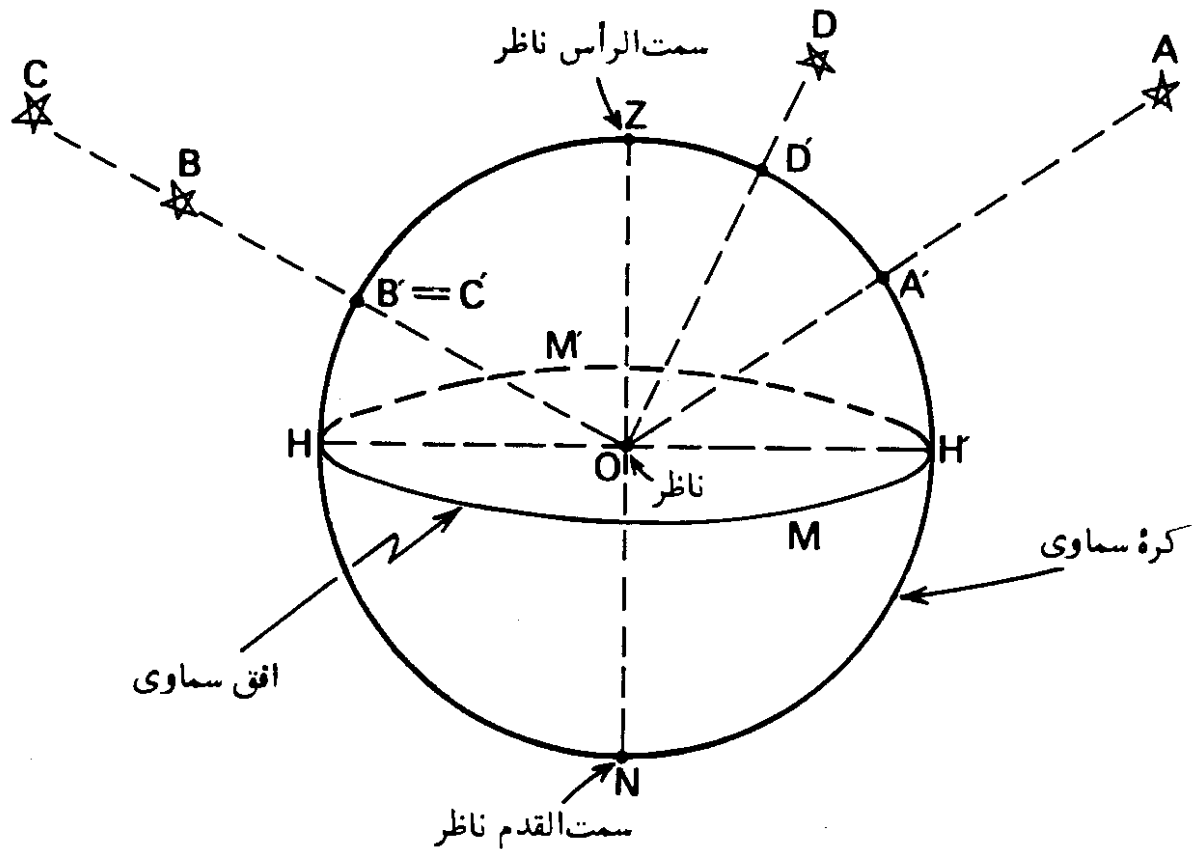
شکل (۵-۴۸) — جهت قبله در نقطه قطب جنوب جغرافیایی نسبت به امتداد نصف النهار گرینیچ.

شرح پاره‌ای از اصطلاحات نجومی

تا بحال در فصلهای قبلی به اصطلاحات نجومی متعددی برخورد کرده‌ایم که شرح آنها در این فصل آمده است. البته در این فصل، منظور پرداختن به نجوم عملی نیست و فقط شرح اصطلاحات مورد لزوم در موضوع جهت‌یابی و قبله‌یابی عنوان شده است. بدین ترتیب، خواننده، تا حد زیادی از مراجعه به کتابهای دیگر، بی‌نیاز می‌شود.

۱. کره سماوی^۱

در شبهای صاف و بدون ابر، با چشم غیرمسلح، هزاران ستاره را می‌توان در پهنه آسمان دید. تعداد ستارگان قابل رؤیت، با وسایل نجومی، به میلیونها می‌رسد. این ستارگان نسبت به ناظر، دارای فواصل برابر نیستند، بلکه در فواصل مختلف، قرار دارند. اما آنچه که برای ناظر مهم است، وضعیت و جهت ستارگان نسبت به همدیگر است، نه فواصل آنها. بنابراین می‌شود تصور کرد که همه ستارگان بر کره‌ای فرضی قرار داشته باشند و ناظر در مرکز آن باشد. چنین کره‌ای که کلیه ستارگان بر روی آن تصویر شده و یا مورد مطالعه قرار می‌گیرند، کره سماوی نامیده می‌شود. چون فقط جهت ستارگان برای ناظر مهم است. لذا شعاع کره سماوی اختیاری است و با هر طولی می‌توان آن را در نظر گرفت. در شکل (۱-۶)، چهار ستاره A، B، C و D با فواصل مختلف نسبت به ناظر مستقر در نقطه O، تصویر شده‌اند. از آنجایی که فواصل، مورد نظر نیستند، لذا می‌توان چهار ستاره را بر کره‌ای فرضی با شعاع اختیاری در نقاط A، B، C و D و به مرکز،



شکل (۱-۶) - چگونگی تصویر ستارگان مختلف بر کره سماوی.

تصویر کرد. چنانکه می بینیم ستارگان B, C دارای جهت یکسانی هستند و لذا بر روی کره سماوی، در یک نقطه قرار می گیرند؛ بعبارت دیگر نقاط B' و C' بر هم منطبق هستند.

طول شعاع کره زمین در مقایسه با فواصل ستارگان از زمین، آنقدر کوچک است که می توان بیشتر اوقات، بجای قرار دادن ناظر در مرکز کره سماوی، کره زمین را در مرکز آن تصور کرد، شکل های (۲-۶) و (۳-۶).

از آنجایی که اندازه شعاع کره سماوی اختیاری است، لذا می توان اندازه آن را بینهایت نیز، فرض کرد. در این صورت کلیه خطوط موازی، همدیگر را در نقطه ای بر روی چنین کره ای با شعاع بینهایت قطع خواهند کرد. بعنوان مثال چنانکه در شکل (۳-۶) نشان داده شده است، خطوطی که در نقاطی بر روی زمین به موازات محور زمین در نظر گرفته شوند، کره سماوی را در همان نقطه ای قطع می کنند که امتداد محور زمین آن را قطع می کند. البته نشان دادن این مطلب در یک شکل که ناچار، شعاع بینهایت کره سماوی در مقایسه با شعاع کره زمین، بصورت طولی محدود در نظر گرفته می شود، ممکن نیست.

۲. سمت الرأس^۱ و سمت القدم^۲

نقطه‌ای که بر روی کره سماوی در امتداد خط قائم بر بالای سر ناظر قرار می‌گیرد، سمت الرأس، نامیده می‌شود؛ بعبارت دیگر، امتداد خط شاقولی که از ناظر گذر می‌کند، کره سماوی را در سمت الرأس، قطع می‌کند.

نقطه مقابل سمت الرأس ناظر بر روی کره سماوی که در طرف زیر پای او قرار می‌گیرد، سمت القدم نامیده می‌شود. از آنجایی که امتداد خط شاقول از مرکز ثقل زمین می‌گذرد، بنابراین به یک شیء، وقتی قائم گفته می‌شود که امتداد آن، از مرکز ثقل زمین بگذرد.

در شکل (۱-۶) ناظر در نقطه O مرکز کره سماوی، نقطه بالای آن در امتداد خط قائم یعنی نقطه Z، سمت الرأس ناظر و نقطه زیر پای ناظر در امتداد خط قائم یعنی نقطه N سمت القدم ناظر است. سمت الرأس و سمت القدم ناظر در شکل (۲-۶) نیز نشان داده شده است.

۳. افق سماوی^۳

صفحه‌ای که از مرکز زمین می‌گذرد و بر خط واصل بین سمت الرأس و سمت-القدم، عمود است، کره سماوی را در دایره عظیمه‌ای قطع می‌کند که افق سماوی نامیده می‌شود. در شکل (۱-۶)، دایره عظیمه HMHM افق سماوی است که صفحه این دایره، بر خط ZON در نقطه O عمود است.

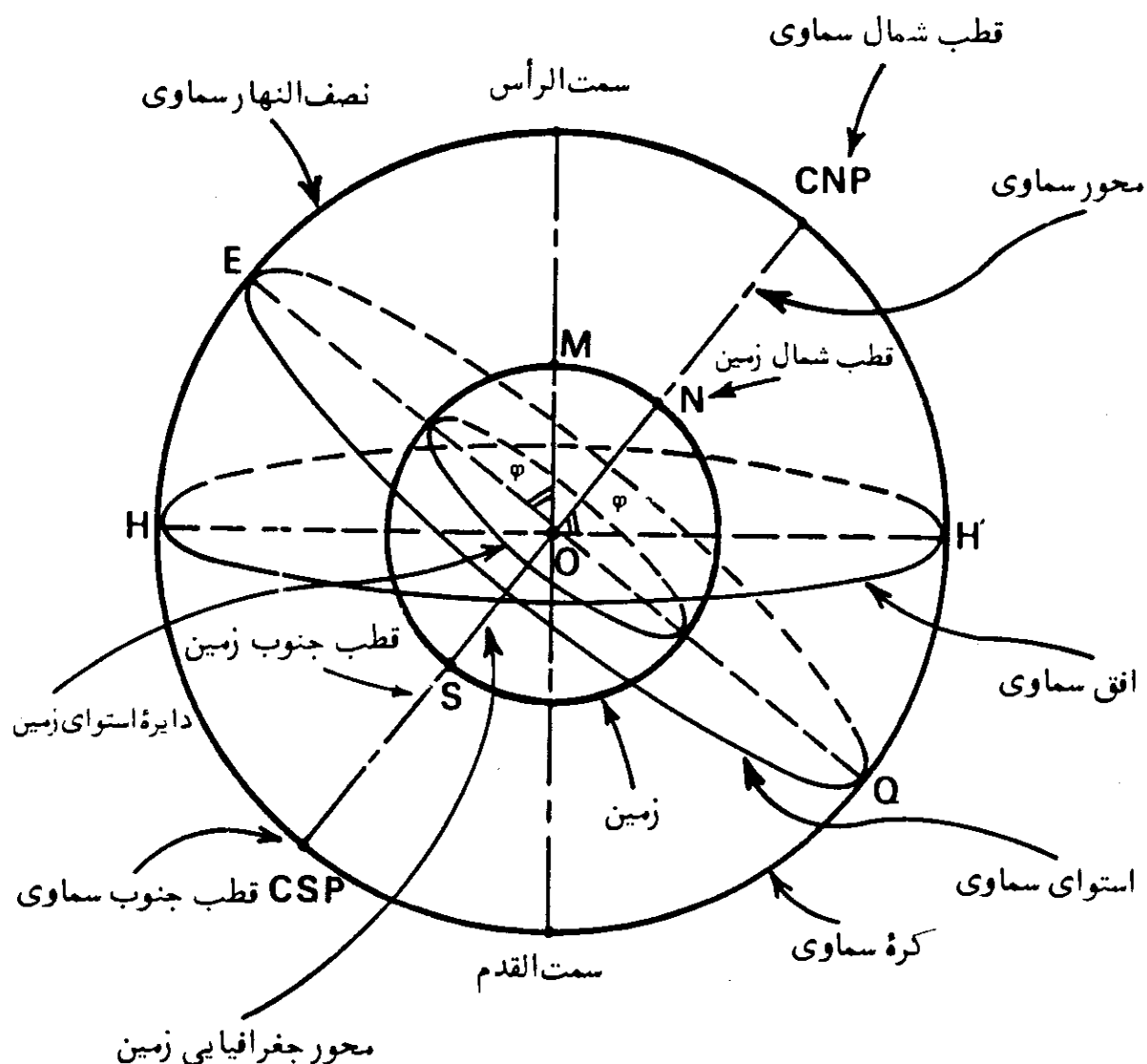
افق سماوی را، افق حقیقی^۴ نیز می‌نامند. همچنین نام دیگر افق سماوی، افق نجومی^۵ است که توسط منجمین تعریف شده است و به منظور یکی از مشخصه‌های دستگاه مختصات برای تعیین وضعیت اجرام سماوی، در نظر گرفته می‌شود.

۴. قطبهای زمین^۶ و دایره استوای^۷ زمین

محور چرخشی زمین، آن را در دو نقطه، قطع می‌کند که قطبهای زمین نام

- | | | | |
|-------------------------|----------------------|----------------------|----------------------------|
| 1. Zenith | 2. Nadir | 3. Celestial Horizon | 4. True (Rational) Horizon |
| 5. Astronomical Horizon | 6. Terrestrial Poles | 7. Equator | |

دارند. زمین حول محوری ثابت، دارای حرکتی دورانی است که جهت حرکت آن از مغرب به مشرق، می‌باشد. یک دوران کامل زمین حول محور چرخشی آن ۲۴ ساعت طول می‌کشد، که اصطلاحاً یک روز و یا یک شبانه روز را بوجود می‌آورد. محور ثابتی که زمین حول آن دارای حرکت چرخشی است، محور جغرافیایی^۱ نامیده می‌شود. همچنین قطبهای زمین به نام قطبهای جغرافیایی^۲ نیز معروفند. قطبی که در جهت شمال قرار گرفته به نام قطب شمال جغرافیایی^۳ و دیگری که در جهت جنوب است به نام قطب جنوب جغرافیایی^۴ است. در شکل (۴-۶) وضعیت قطبها و محور جغرافیایی زمین در کره سماوی نمایانده شده است.



شکل (۴-۶) - وضعیت قطبها و دایره استوای زمین در کره سماوی نسبت به قطبهای سماوی و استوای سماوی.

- | | | |
|----------------------------|-----------------------|----------------------------|
| 1. Geographical Axis | 2. Geographical Poles | 3. North Geographical Pole |
| 4. South Geographical Pole | | |

دایره استوای زمین، دایره عظیمه ای است که صفحه آن بر محور چرخشی زمین عمود است و بدین ترتیب فاصله قطبهای جغرافیایی زمین، از آن برابر است. امتداد و جهت محور چرخشی زمین در فضا ثابت است، اما محل قطبهای جغرافیایی بر روی زمین، در سالهای مختلف تغییر می کند. در حقیقت، بعلت حرکت لرزشی زمین، محل برخورد محور چرخشی زمین با آن ثابت نیست و نقاط مختلفی بر روی زمین در وضعیت قطبهای زمین قرار می گیرند. حرکت لرزشی زمین قبلاً نیز در فصل اول، در بخش (۴-۱) مورد بحث قرار گرفت و دیدیم که تغییرات کم عرض جغرافیایی، ناشی از آنست. مقدار تغییر محل قطبهای جغرافیایی زمین، از زمانی که نخستین اندازه گیریهای تغییرات عرض جغرافیایی صورت گرفته، در حدود ۵۰ فوت بوده است.

۵. قطبهای سماوی و محور سماوی^۲

چنانکه محور جغرافیایی زمین را از هر دو طرف امتداد دهیم، کره سماوی را در دو نقطه به نامهای قطب شمال سماوی^۳ و قطب جنوب سماوی^۴، قطع می کند، شکلهای (۳-۶) و (۴-۶).

محوری که قطبهای سماوی را به همدیگر وصل می کند، محور سماوی و یا محور عالم نامیده می شود.

محور سماوی بر افق سماوی، عمود نیست بلکه نسبت به آن متمایل است و زاویه بین محور سماوی و افق سماوی، برابر عرض جغرافیایی محل است. این مطلب در شکل (۴-۶) در مورد نقطه M بر روی زمین نشان داده شده است که در آن (φ) عرض جغرافیایی نقطه M است.

۶. استوای سماوی^۵

چنانکه صفحه دایره استوای زمین از هر سو امتداد داده شود، کره سماوی را در دایره عظیمه ای قطع خواهد کرد که به استوای سماوی، موسوم است. بدین ترتیب

1. Wobbly Motion
2. Celestial Pole
3. Celestial Axis
4. Celestial North Pole (CNP)
5. Celestial South Pole (CSP)
6. Celestial Equator

صفحه استوای سماوی بر صفحه استوای زمین منطبق و بر محور سماوی، عمود است. در شکل (۴-۶)، دایره عظیمه EQ، استوای سماوی است.

۷. مایل دریایی^۱

یکی از واحدهای اندازه‌گیری مسافت در دریانوردی و هوانوردی، مایل دریایی است که برابر با طول قوس یک دقیقه‌ای از دایره‌ای عظیمه بر روی کره زمین است. آنجاییکه زمین به شکل کره کاملی نیست، لذا این واحد طول، بر حسب دایره عظیمه انتخاب شده، متغیر است. چنانکه شعاع زمین ۶۳۷۰ کیلومتر فرض شود، طول قوس یک دقیقه‌ای دایره عظیمه مربوط خواهد شد:

$$\text{یک مایل دریایی} = \frac{\text{محیط دایره عظیمه}}{۳۶۰ \times ۶۰}$$

$$\text{یک مایل دریایی} = \frac{۲ \times ۶۳۷۰ \times \pi}{۳۶۰ \times ۶۰} = ۱۸۵۲ \text{ متر}$$

واحد انگلیسی مایل دریایی برابر با ۱۸۵۳/۲ متر و یا ۶۰۸۰ فوت است که به مایل ادмирالتی^۲ موسوم است. واحد آمریکایی مایل دریایی برابر ۱۸۵۳/۲۴۸ متر و یا ۶۰۸۰/۲۰ فوت است که این واحد، دیگر بصورت رسمی، در آمریکا کاربرد ندارد. واحد بین‌المللی مایل دریایی برابر ۱۸۵۲ متر و یا ۶۰۷۶/۱۱۵ فوت است که از اول ماه ژوئیه سال ۱۹۵۹، در کشور آمریکا، بصورت رسمی بکار می‌رود.

۸. افق محسوس^۳

صفحه‌ای که بر محل استقرار ناظر گذشته و بر امتداد خط شاقول و یا جهت جاذبه زمین^۴ عمود باشد، افق محسوس، نامیده می‌شود. با این توصیف، صفحه افق محسوس، بر سطح زمین مماس بوده، بر خط واصل بین سمت الرأس و سمت‌القدم در نقطه استقرار ناظر، عمود است. صفحه افق محسوس، بعنوان سطح مبنا^۵ در موارد فنی و علمی در نظر گرفته می‌شود. چنانکه در شکل (۵-۶) نشان داده شده است، صفحه افق

1. Nautical Mile

2. Admiralty Mile

3. Sensible Horizon

4. Direction of Gravity

5. Reference Plane

محسوس، بموازات صفحه افق سماوی است.

۹. افق مرئی^۱

خطی که از تلاقی زمین و آسمان در نظر گرفته می‌شود، افق مرئی و یا افق ظاهری^۲ نامیده می‌شود. بعبارت دیگر، افق مرئی، حد زمین‌های مجاور ناظر است که در دوردست برای او قابل رؤیت می‌باشد. افق مرئی برحسب ارتفاع محل ناظر و یا شکل پستی و بلندیهای آن، می‌تواند بصورت صاف و یا ناصاف بوده، در فاصله نزدیک و یا دور قرار داشته باشد. بعلاوه شکست نور در اتمسفر کره زمین، می‌تواند شکل افق مرئی را تغییر بدهد و موجب گردد تا برای ناظر امکان داشته باشد ماورای نقاطی را که از نظر هندسی، قابل رؤیت نیستند، ببیند. افق مرئی در شکل (۵-۶) برای ناظر واقع در نقطه M نشان داده شده است.

۱۰. شیب افق^۳

چنانکه بر ارتفاع محل ناظر از نقطه M، باندازه فاصله h افزوده شود (MM' = h)، خط دید ناظر در افق و یا خط افق مرئی نسبت به افق محسوس، شیب پیدا می‌کند. زاویه بین افق محسوس و افق مرئی، شیب افق، نام دارد، شکل (۵-۶). چنانکه ناظری در ارتفاعی برابر h فوت از سطح زمین قرار گرفته باشد، فاصله او تا خط افق مرئی (d) برحسب مایل دریایی، برابر است با:

$$d = \sqrt{\frac{3 \times h}{2}} \quad (۶-۱)$$

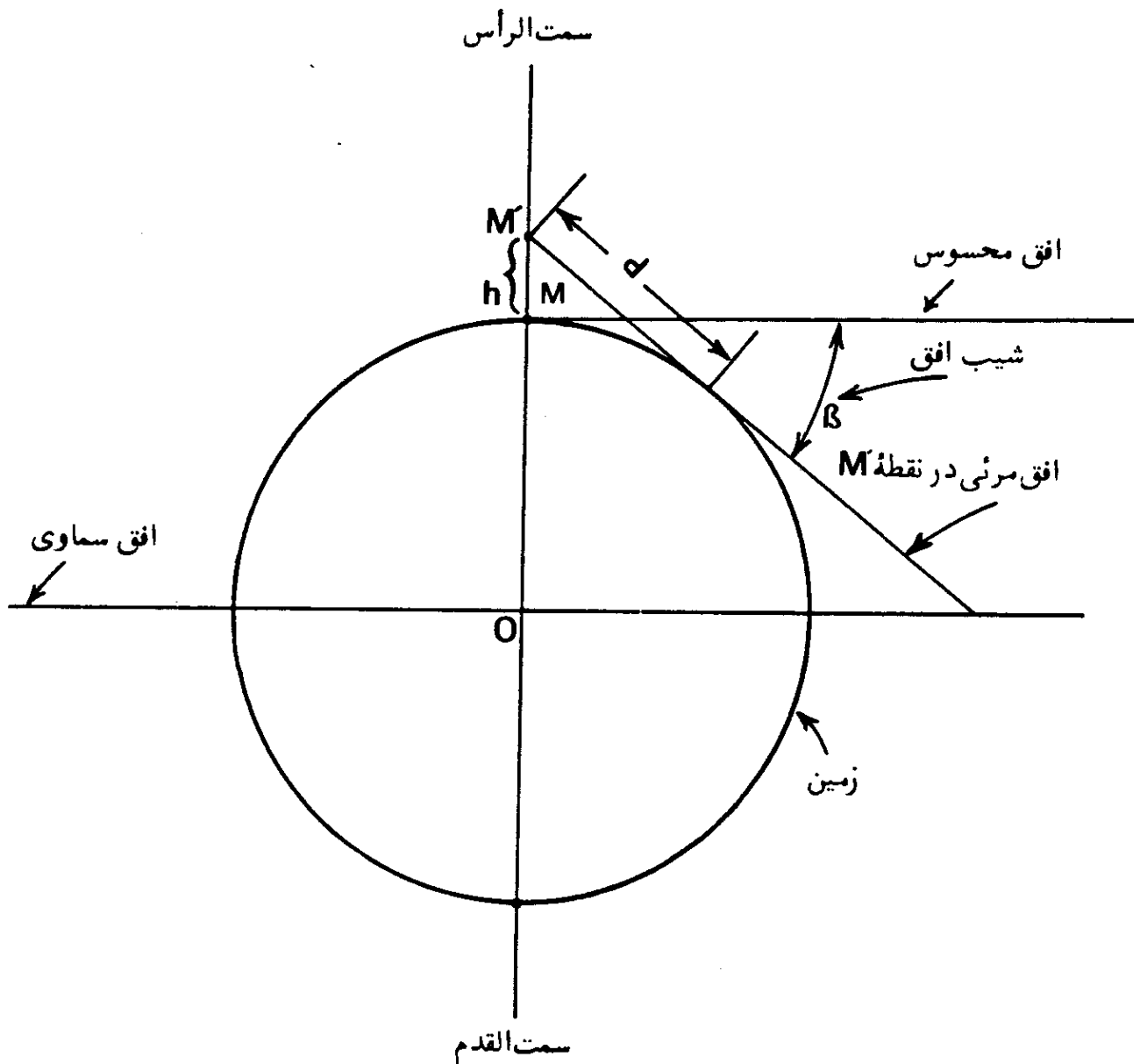
مقدار شیب افق (β) برحسب دقیقه قوسی، برابر است با:

$$\beta = \frac{3438}{3960} \sqrt{\frac{3h}{2}} \quad (۶-۲)$$

و یا

$$\beta = \frac{3438}{3960} d \simeq d \quad (۶-۳)$$

بنابراین فاصله ناظر تا خط افق مرئی، برحسب مایل دریائی، برابر شیب افق برحسب دقیقه قوسی است.



شکل (۵-۶) - نمایش افق‌های مختلف در محل ناظر در نقطه‌ای مانند M.

۱۱. دایره ارتفاع

دایره ارتفاع و یا دایره عمودی، به دایره عظیمه‌ای گفته می‌شود که بر روی کره سماوی قرار داشته و از سمت الرأس و سمت القدم ناظر بگذرد. بدین ترتیب دایره‌های ارتفاع، بر افق سماوی عمودند.

۱۲. نصف النهار سماوی^۱

نصف النهار سماوی یک ناظر، دایره عظیمه‌ای است که از سمت الرأس و سمت-القدم ناظر و قطبهای سماوی می‌گذرد. بنابراین نصف النهار سماوی، دایره عمودی است که از قطبهای سماوی هم می‌گذرد. در شکل (۴-۶)، دایره (HEHQ) نصف النهار سماوی است.

بر روی سطح زمین، نصف النهارات، خطوطی فرضی اند که از قطبهای شمال و جنوب جغرافیایی گذشته و همه جا در امتداد شمال و جنوب جغرافیایی واقعند. بنابراین خط نصف النهار یک ناظر، همان امتداد شمال و جنوب جغرافیایی است که از محل ناظر، می‌گذرد. در حقیقت خط شمال و جنوب جغرافیایی، از تلاقی دایره نصف النهار با صفحه افق بدست می‌آید.

۱۳. سطح نصف النهار اصلی^۲

سطح نصف النهار اصلی، دایره عظیمه‌ای است که صفحه آن بر صفحه نصف النهار سماوی عمود است و از نقاط سمت الرأس، سمت‌القدم و نقاط مشرق و مغرب واقعی، می‌گذرد. بنابراین سطح نصف النهار اصلی، دایره عمودی است که بر دایره نصف النهار سماوی عمود می‌باشد.

خطی که نقاط مغرب و مشرق واقعی را به همدیگر متصل می‌کند از تلاقی سطح نصف النهار اصلی با صفحه افق بدست می‌آید. همچنین این خط، از فصل مشترک صفحه استوای سماوی با صفحه افق تشکیل می‌گردد.

۱۴. جهت‌های شمال، جنوب، مغرب و مشرق واقعی

چنانکه در فصل دوم تشریح شد، اصطلاح شمال واقعی^۳، به منظور تمایز از شمال مغناطیسی بکار می‌رود. نقاط شمال و جنوب واقعی و یا جغرافیایی از تصویر قطبهای جغرافیایی بر سطح افق بدست می‌آیند. خط نصف النهار ناظر، محل تلاقی صفحه نصف النهار ناظر و صفحه افق است که در دو سوی آن، نقاط شمال و جنوب

1. Celestial Meridian

2. Prime Vertical

3. True North

۱۵. عرض جغرافیایی^۱

فاصله زاویه‌ای هر نقطه‌ای بر روی سطح زمین از دایره استوا، عرض جغرافیایی (φ) نامیده می‌شود. عرض جغرافیایی، در امتداد نصف‌النهار محل اندازه‌گیری شده و بسته به اینکه محل در شمال دایره استوا قرار داشته باشد با کلمه شمالی و یا علامت (+) و در صورتیکه در جنوب آن قرار داشته باشد، با کلمه جنوبی و یا علامت (-) مشخص می‌گردد. همچنین زاویه بین سمت‌الرأس و استوای سماوی در یک محل، برابر عرض جغرافیایی محل است، شکل (۴-۶).

۱۶. متمم عرض جغرافیایی^۲

متمم عرض جغرافیایی، چنانکه از اسمش پیداست برابر با $(90^\circ - \varphi)$ است. همچنین زاویه بین سمت‌الرأس و قطب سماوی برابر متمم عرض جغرافیایی است.

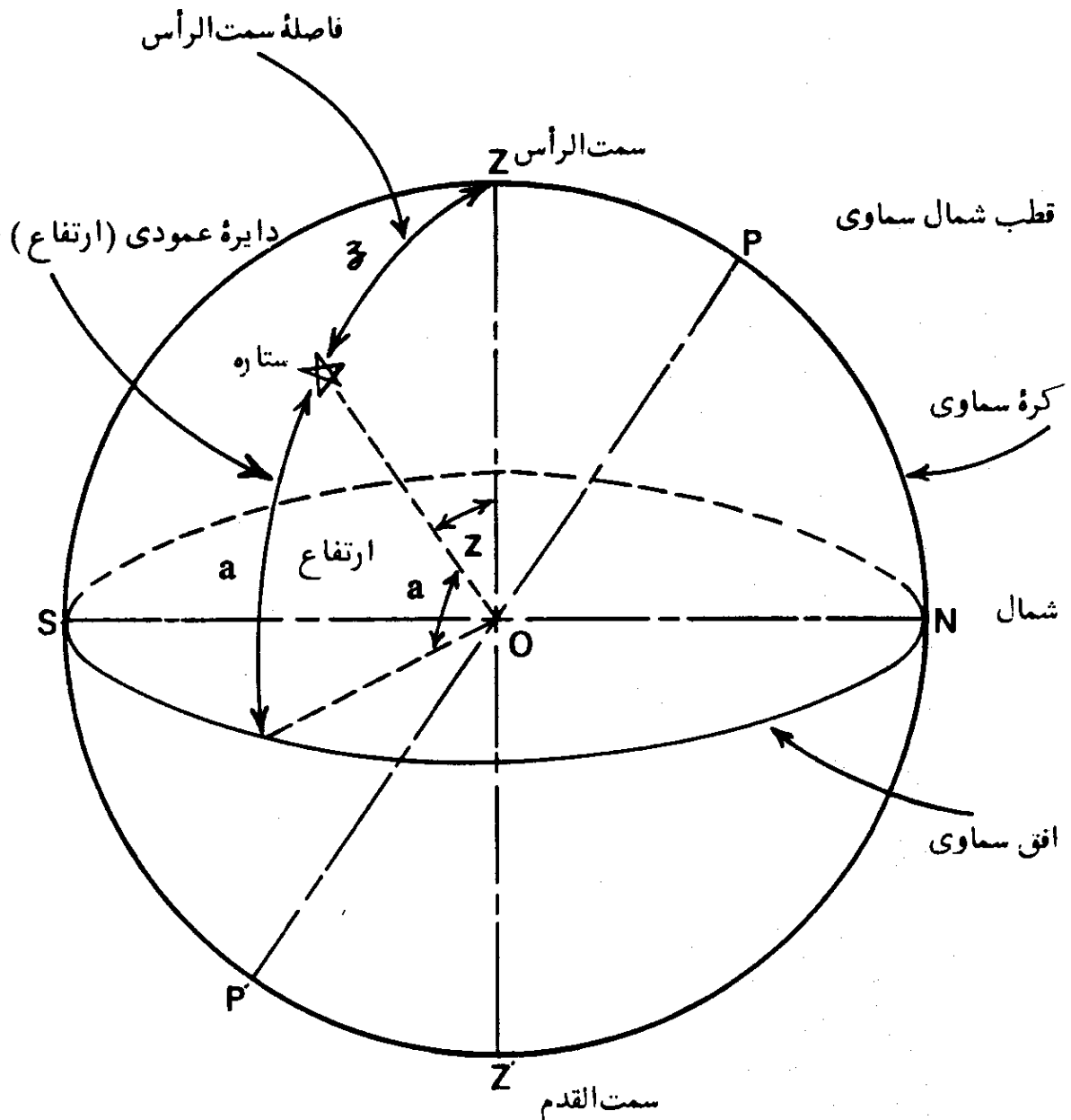
۱۷. طول جغرافیایی^۳

زاویه بین نصف‌النهار هر محل و نصف‌النهار مبده^۴، که نصف‌النهار ثابتی است، طول جغرافیایی محل، نامیده می‌شود. نصف‌النهار مبده که در سطح جهان مورد قبول قرار گرفته، نصف‌النهار گرینیچ است. نصف‌النهار نقاط مختلف، از صفر تا 180° درجه در مشرق و یا مغرب نصف‌النهار مبده تغییر می‌کند.

۱۸. ارتفاع^۵

ارتفاع یک جرم سماوی (مانند خورشید و یا یک ستاره) برابر با فاصله زاویه‌ای آن، از سطح افق است که در امتداد دایره عمودی که از آن می‌گذرد، اندازه‌گیری می‌شود، شکل (۷-۶). در این شکل، ارتفاع، با حرف (a) نشان داده شده است.

1. Latitude
2. Co-latitude
3. Longitude
4. Prime (First) Meridian
5. Altitude



شکل (۶-۷) - ارتفاع و فاصله سمت الرأس یک جرم سماوی.

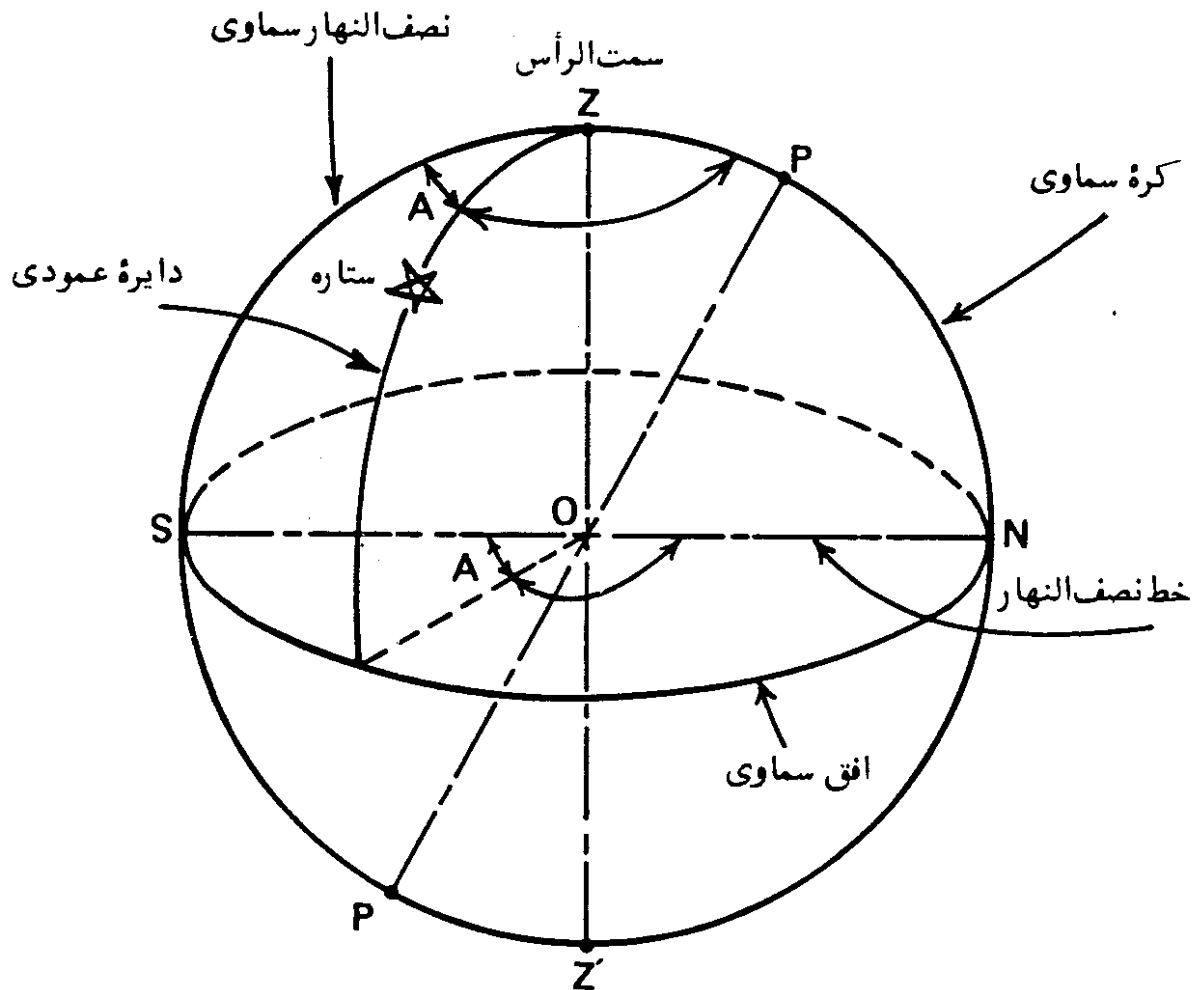
۱۹. فاصله سمت الرأس

فاصله زاویه‌ای یک جرم سماوی از سمت الرأس ناظر، به فاصله سمت الرأس، موسوم است - شکل (۶-۷) - در این شکل فاصله سمت الرأس با حرف (z) نشان داده شده است. فاصله سمت الرأس، متمم ارتفاع می‌باشد، بعبارت دیگر $Z = (90^\circ - a)$ است. به همین دلیل فاصله سمت الرأس به نام متمم ارتفاع^۲ نیز معروف است.

1. Zenith Distance
2. Co-altitude

۲۰. سمت^۱

زاویه بین نصف النهار سماوی ناظر و دایره عمودی که از یک جرم سماوی می‌گذرد، سمت جرم سماوی نامیده می‌شود. در شکل (۸-۶) سمت با حرف (A) نمایانده شده است.



شکل (۸-۶) - سمت یک جرم سماوی.

۲۱. دایره میل^۲ و یا دایره ساعتی^۳

دایره میل و یا دایره ساعتی یک جرم سماوی، به دایره عظیمه‌ای اطلاق می‌شود که از جرم سماوی و قطبهای سماوی گذر کرده و صفحه آن بر سطح دایره استوای سماوی

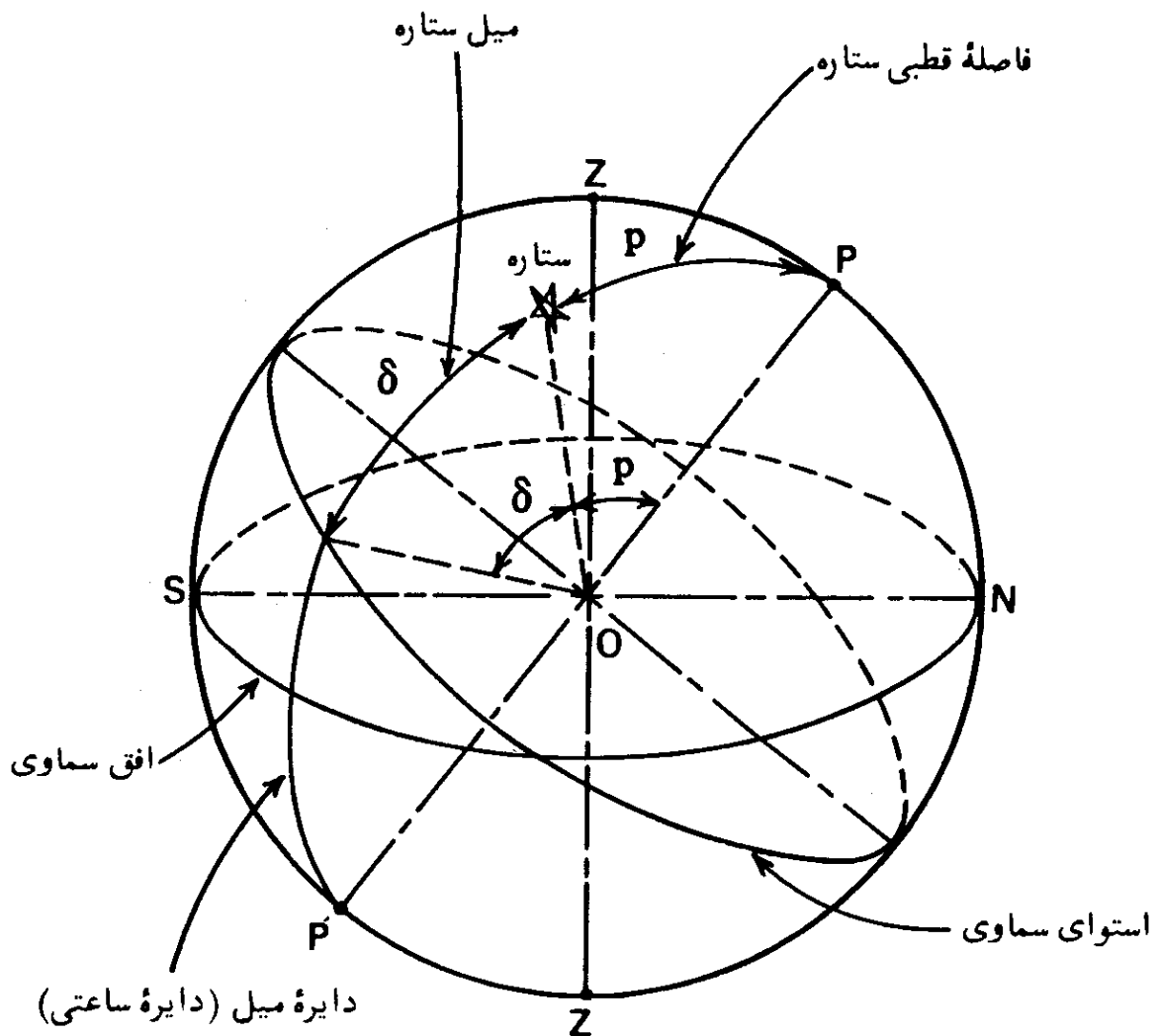
1. Azimuth
2. Declination Circle
3. Hour Circle

عمود باشد، شکل (۹-۶).

۲۲. میل

فاصله زاویه‌ای یک جرم سماوی از استوای سماوی در امتداد دایره میل، میل نامیده می‌شود.

در شکل (۹-۶)، میل یک ستاره با حرف (δ) مشخص شده است. اندازه میل یک جرم سماوی می‌تواند از صفر تا ۹۰ درجه تغییر کند و علامت آن در صورتیکه جرم سماوی در شمال استوای سماوی قرار گرفته باشد، مثبت (+) و در صورتیکه در جنوب آن باشد، منفی (-) است. مقادیر میل خورشید، بعداً در همین فصل مورد بررسی قرار خواهد گرفت.



شکل (۹-۶) — دایره میل (دایره ساعتی)، میل و فاصله قطبی یک ستاره.

1. Declination

حرف (h) نشان داده شده است. می‌بایست در مورد مبده اندازه‌گیری زاویه ساعتی دقت کرد که در موارد گوناگون، متفاوت است. در این شکل زاویه ساعتی از امتداد جنوبی نصف‌النهار سماوی، بطرف مشرق در نظر گرفته شده است.

اما همیشه در نیمکره شمالی، زاویه ساعتی، بطرف مغرب در نظر گرفته می‌شود که در این صورت چنانکه ستاره، در قسمت نیمکره غربی کره سماوی باشد، زاویه ساعتی آن از صفر تا ۱۸۰ درجه، و در صورتیکه در نیمکره شرقی کره سماوی باشد، زاویه ساعتی آن از ۱۸۰ تا ۳۶۰ درجه است.

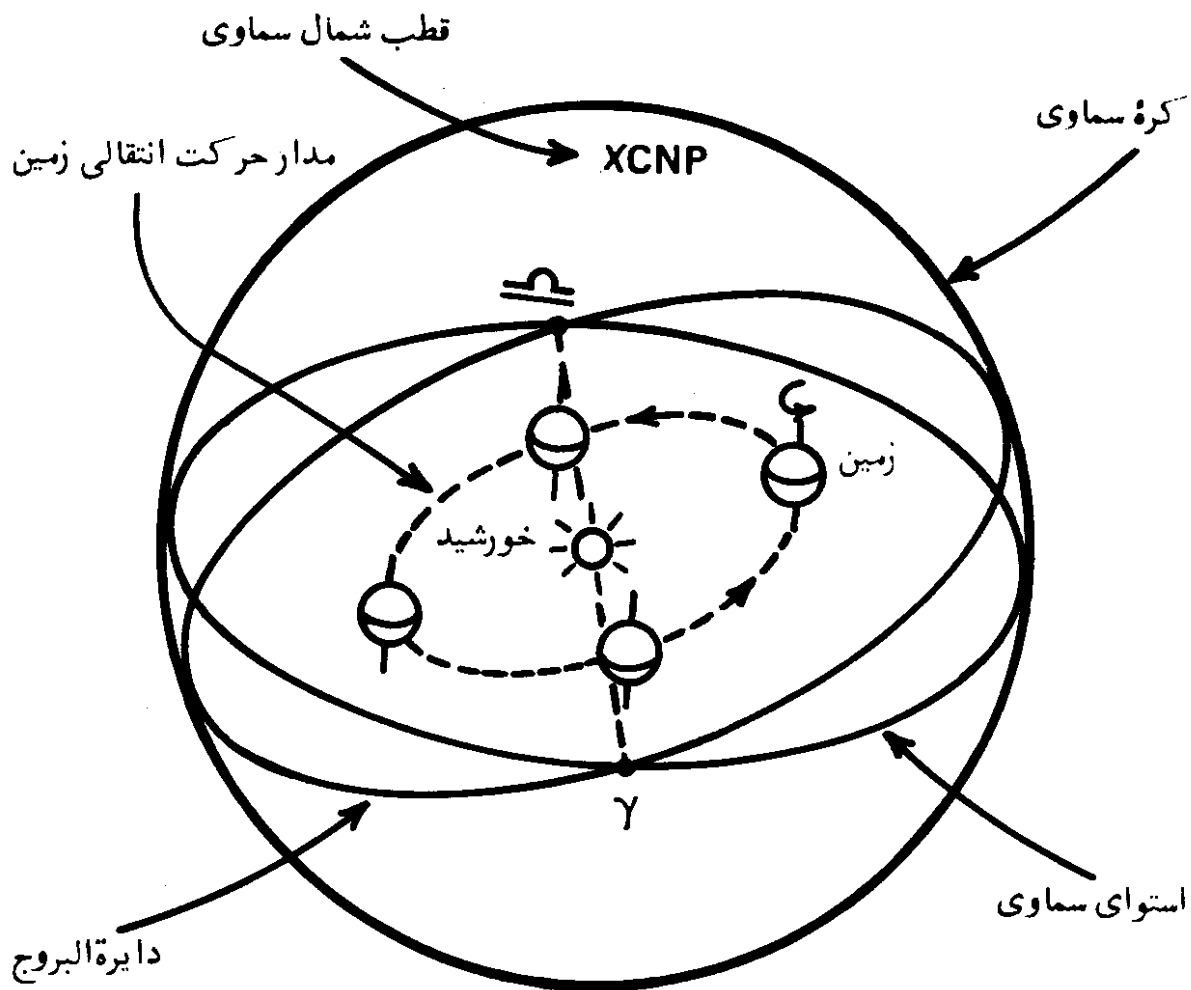
در صورتیکه زاویه ساعتی، بطرف مغرب در نظر گرفته شود علامت آن مثبت (+) و به طرف مشرق علامت آن منفی (-) است. گاهی هم برحسب مورد، زاویه ساعتی بطرف مشرق و یا مغرب بدون توجه به علامت، در نظر گرفته می‌شود. همچنین زاویه ساعتی را می‌توان نسبت به امتداد شمالی نصف‌النهار سماوی نیز سنجید.

۲۵. دایرة البروج'

زمین در مدت یک سال شمسی یک بار به دور خورشید در جهت مغرب به مشرق می‌چرخد. در نتیجه، چنانکه یک ناظر زمینی بتواند وضعیت خورشید را نسبت به ستارگان آسمان، در مدت یکسال در نظر داشته باشد، ظاهراً چنین خواهد پنداشت که این خورشید بوده که در مدت یکسال شمسی یک بار به دور زمین گشته است. مسیر حرکت ظاهری سالانه خورشید به دور زمین را دایرة البروج می‌نامند.

بعبارت دیگر، دایرة البروج، دایرة عظیمه‌ای است که بر روی کره سماوی قرار دارد و حرکت ظاهری سالانه خورشید به دور زمین، بر روی آن، صورت می‌گیرد. همچنین چنانکه ناظری فرضی در خورشید، بتواند نظاره‌گر زمین باشد، مسیر حرکت انتقالی زمین به دور خورشید را در مسیر همان دایرة البروج خواهد دید. به همین علت، دایرة البروج بصورت دیگری نیز تعریف می‌شود: بدین ترتیب که محل تلاقی صفحه مسیر حرکت انتقالی زمین با کره سماوی را نیز دایرة البروج می‌گویند، شکل (۱۱-۶).

از آنجایی که محور چرخشی زمین بر سطح مدار حرکت انتقالی آن عمود نیست، لذا تصویر این مسیر بر کره سماوی، یعنی دایرة البروج، بر محور سماوی، عمود نمی‌باشد بلکه نسبت به آن متمایل است. زاویه بین صفحه دایرة البروج و دایرة استوا، در حدود



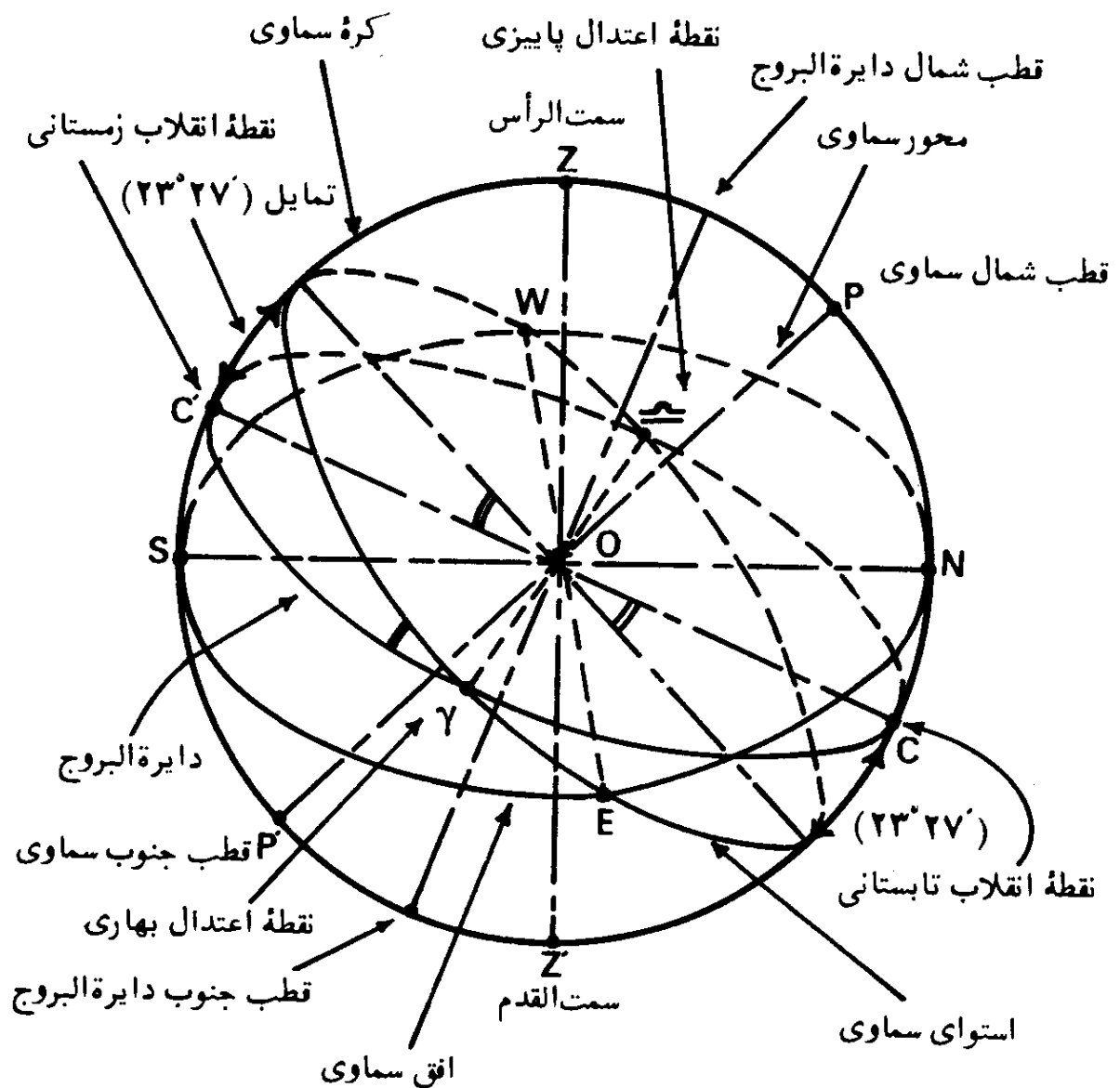
شکل (۶-۱۱) - دایرة البروج بر روی کرة سماوی محل تلاقی صفحهٔ مسیر حرکت انتقالی زمین با کرة سماوی، دایرة البروج نامیده می شود.

۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه است و به نام تمایل^۱ نامیده می شود، شکل (۶-۱۲). اندازهٔ این زاویه در طول یک قرن، با اندازهٔ ۴۷ ثانیه کم می شود. اندازهٔ متوسط تمایل در سال ۱۹۷۲ برابر ۲۳ درجه و ۲۶ دقیقه و ۳۴/۵۲ ثانیه بوده است. محوری که از مرکز کرة سماوی گذشته و بر سطح دایرة البروج عمود باشد، کرة سماوی را در دو نقطه به نامهای قطب شمال دایرة البروج^۲ و قطب جنوب دایرة البروج^۳ قطع می کند، شکل (۶-۱۲).

۲۶. نقاط اعتدال^۴

دایرة البروج و دایرة استوای سماوی بر روی کرة سماوی، همدیگر را در دو نقطه

1. Obliquity
2. North Pole of the Ecliptic
3. South Pole of the Ecliptic
4. Equinoctial Points



شکل (۶-۱۲) — نقاط اعتدال و انقلاب، قطبها و تمایل دایرة البروج.

به نام نقاط اعتدال قطع می‌کنند. میل خورشید بهنگام عبور از نقاط اعتدال برابر صفر درجه می‌شود.

در شکل (۶-۱۲) نقاط اعتدال نشان داده شده است. یکی از نقاط اعتدال، به اعتدال بهاری^۱ (نقطه γ) موسوم بوده و میل خورشید بعد از عبور از آن از جنوبی به شمالی و یا از علامت منفی به مثبت تغییر می‌یابد. فصل بهار در لحظه عبور خورشید از نقطه اعتدال بهاری آغاز می‌گردد.

گرچه می‌توان نقطه اعتدال بهاری بر روی کره سماوی را نقطه ثابتی فرض کرد، اما محل آن بر روی دایرة البروج سالیانه باندازه $۵۰/۲۶$ ثانیه قوسی بطرف مغرب تغییر-

1. Vernal Equinox (the First Point of Aries)

مکان می دهد و در نتیجه، این تغییر خود موجب تغییر مختصات ستارگانی که نسبت به این نقطه سنجیده می شوند، می گردد.

نقطه دیگر به اعتدال پاییزی^۱ (P) موسوم است و میل خورشید بعد از عبور از آن از شمالی به جنوبی و یا علامت آن از مثبت به منفی تغییر می کند. فصل پاییز در لحظه عبور خورشید از نقطه اعتدال پاییزی شروع می شود. فاصله زمانی بین دو نقطه اعتدال، در حدود شش ماه است.

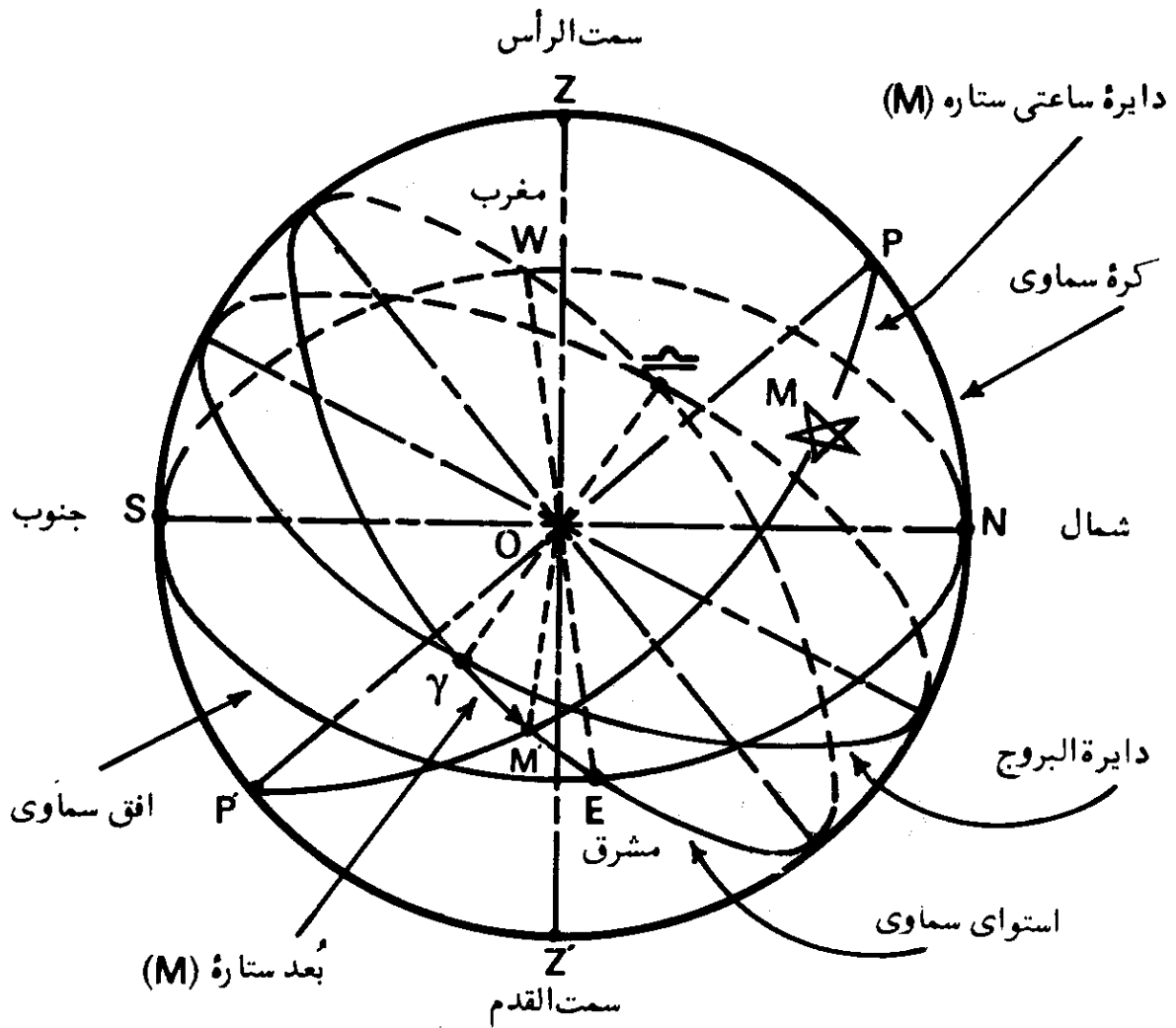
۲۷. نقاط انقلاب^۲

نقاط انقلاب بر روی دایره البروج، دو نقطه ای است که میل خورشید بهنگام عبور از آنها بیشترین اندازه شمالی و یا جنوبی (مثبت و یا منفی) را داراست. در شکل (۱۲-۶)، خورشید در نقطه ح دارای بیشترین میل بطرف شمال ($23^{\circ}/45^{\circ}+$) است که این نقطه، به نام انقلاب تابستانی^۳ معروف است. عبور خورشید از این نقطه، سرآغاز فصل تابستان در نیمکره شمالی (فصل زمستان در نیمکره جنوبی) است. خورشید در نقطه C^۴ دارای بیشترین میل بطرف جنوب ($23^{\circ}/45^{\circ}-$) بوده و این نقطه به انقلاب زمستانی^۳ موسوم است. عبور خورشید از نقطه C^۴، سرآغاز فصل زمستان در نیمکره شمالی (فصل تابستان در نیمکره جنوبی) است. بنابراین در نیمکره جنوبی، نقطه C^۴ معرف انقلاب تابستانی و نقطه ح معرف انقلاب زمستانی و درست عکس حالت نیمکره شمالی است.

۲۸. بُعد^۵

بُعد یک جرم سماوی باندازه زاویه ای کمانی از استوای سماوی گفته می شود که از نقطه انقلاب بهاری بطرف مشرق تا دایره ساعتی (میل) جرم سماوی، اندازه گیری می شود. در شکل (۱۳-۶) کمان γM بُعد ستاره (M) است.

- | | |
|--|--------------------|
| 1. Autumnal Equinox (the First Point of Libra) | 2. Solstices |
| 3. Summer Solstice | 4. Winter Solstice |
| | 5. Right Ascension |



شکل (۶-۱۳) — بعد یک جرم سماوی بر روی استوای سماوی.

۲۹. دایره اعتدال^۱

دایره عظیمه‌ای که از نقاط اعتدال و قطبهای شمال و جنوب سماوی می‌گذرد، دایره اعتدال نامیده می‌شود.

بعبارت دیگر دایره اعتدال، دایره ساعتی نقطه اعتدال بهاری است، شکل (۶-۱۴).

۳۰. دایره انقلاب^۲

دایره انقلاب دایره عظیمه‌ای است که سطح آن بر سطح دایره اعتدال عمود

1. Equinoctial Colure

2. Solstitial Colure

در حدود $۶۳۵۶/۹۱۲$ کیلومتر و قطر استوایی آن در حدود $۶۳۷۸/۳۸۸$ کیلومتر است. پهن‌شدگی^۱ و یا فشردگی زمین و یا هر جسم پختی^۲ با کمیتی به نام بیضویت^۳ بیان می‌شود. چنانکه (a) نصف قطر اطول^۴ زمین فشرده شده و (b) نصف قطر اقصر^۵ آن باشد، بیضویت (e) مطابق تعریف با فرمول زیر بیان می‌شود:

$$e = \frac{a - b}{a} \quad (۶-۴)$$

بنابراین بیضویت نسبت تفاوت قطرهای اطول و اقصر و قطر اطول است که بصورت یک کسر نشان داده می‌شود. اندازه بیضویت زمین، بصورت عملی تعیین شده و تقریباً در حدود $\frac{1}{۲۹۷}$ است.

شکل زمین در موضوع قبله‌یابی حایز اهمیت می‌باشد و به همین دلیل فصل هشتم کتاب به بررسی شکل زمین اختصاص یافته است.

۳۲. دستگاه مختصات زمینی^۶

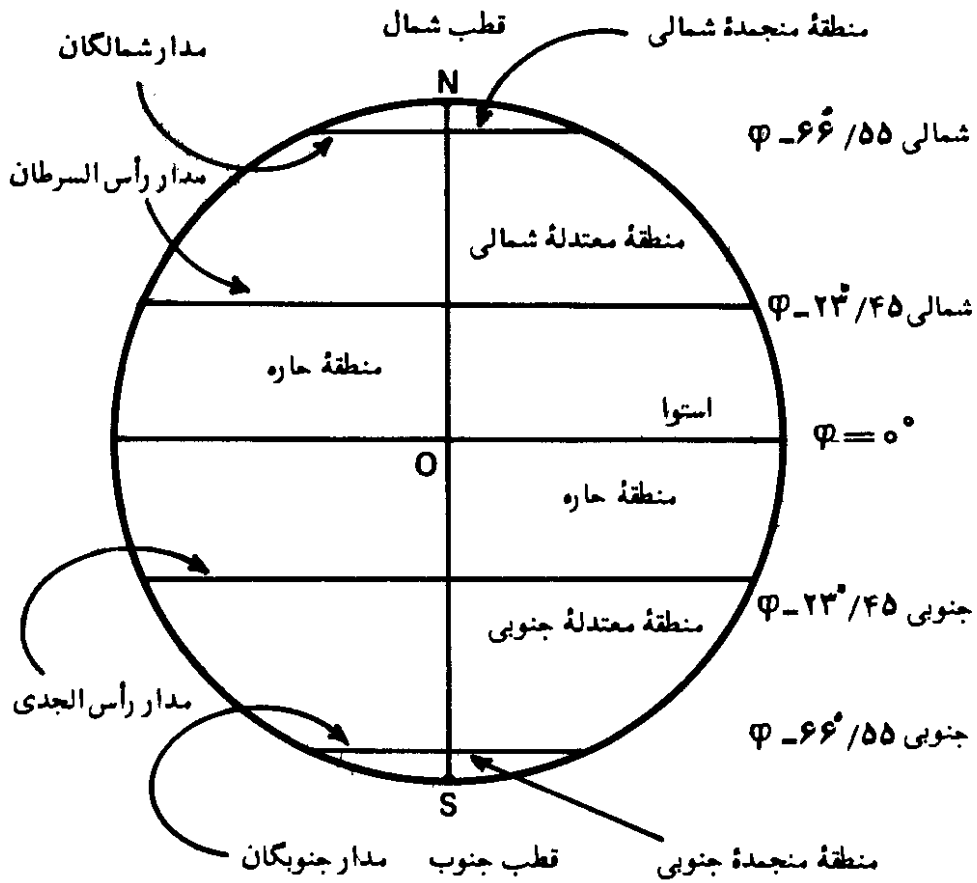
معمولاً برای مشخص کردن وضعیت یک نقطه بر روی یک سطح مسطح، از دو مشخصه، یکی به نام طول^۷ در امتداد محور (x) و دیگری به نام عرض^۸ در امتداد محور (y)، عمود بر محور x، استفاده می‌شود.

برای مشخص ساختن وضعیت یک نقطه بر روی کره زمین، از دستگاه طول و عرض^۹ استفاده می‌شود. در این دستگاه از دو سطح اصلی، بعنوان مبنا استفاده می‌شود: یکی از سطوح مبنا، سطح دایره استوا است و دیگری سطح دایره عظیمه‌ای که از قطبهای جغرافیایی و گرینیچ می‌گذرد (نصف‌النهار گرینیچ). این سیستم مختصات زمینی در فصل اول کتاب، بطور کامل تشریح شده است.

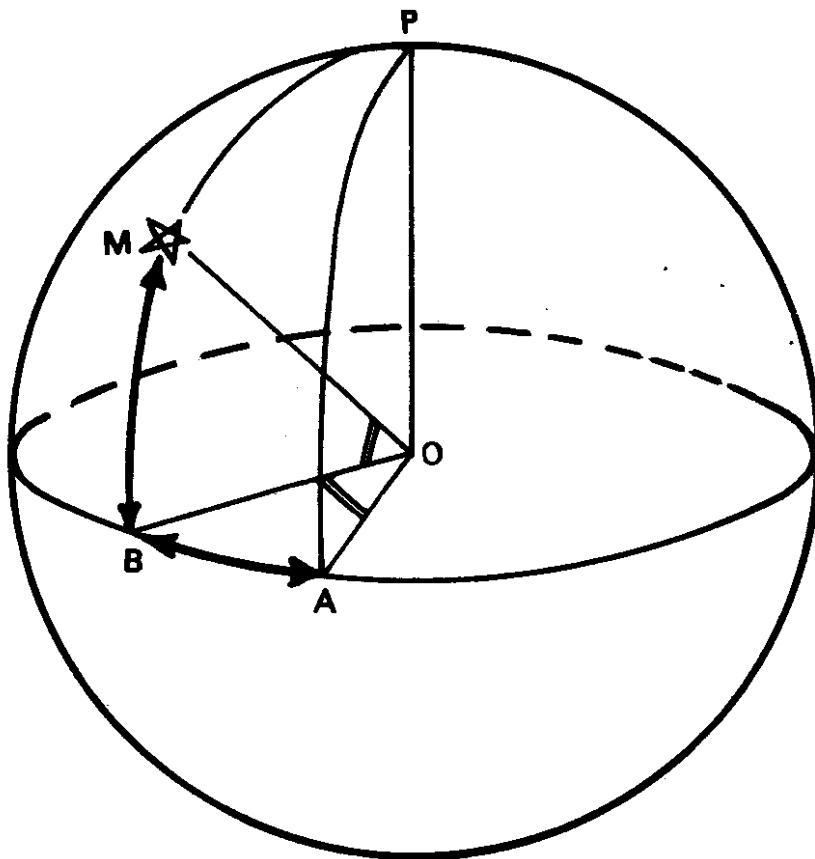
۳۳. مناطق زمین^{۱۰}

سطح زمین به پنج منطقه تقسیم شده است. در این طبقه‌بندی هر منطقه بیان-

- | | | | |
|--------------------|----------------------------------|------------------------|--------------------|
| 1. Flattening | 2. Oblate | 3. Ellipticity | 4. Semi-Major Axis |
| 5. Semi-Minor Axis | 6. Terrestrial Coordinate System | 7. Abscissa | |
| 8. Ordinate | 9. Latitude—Longitude System | 10. Zones of the Earth | |



شکل (۱۵-۶) — مناطق پنجگانه زمین.



شکل (۱۶-۶) — مختصات کروی نقطه M بر روی یک کره. زاویه های \widehat{AOB} و \widehat{BOM} و یا کمانهای \widehat{BM} و \widehat{AB} مختصات کروی نقطه M هستند.

کننده شرایط آب و هوای خاص آنست که برحسب مدارات معین، مشخص می‌شوند.
مدار $۲۳^{\circ}/۴۵^{\circ}$ شمالی، به نام مدار رأس السرطان^۱ و مدار $۲۳^{\circ}/۴۵^{\circ}$ جنوبی به نام مدار رأس الجدی^۲ معروفند. کمربندی از سطح زمین که بین مدار رأس السرطان و مدار رأس الجدی قرار دارد به منطقه حاره^۳ موسوم است. این منطقه گرمترین قسمت سطح زمین است.

کمربند واقع بین مدار $۲۳^{\circ}/۴۵^{\circ}$ شمالی و مدار $۶۶^{\circ}/۵۵^{\circ}$ شمالی، به منطقه معتدله شمالی^۴ موسوم است. همچنین کمربند واقع بین مدار $۲۳^{\circ}/۴۵^{\circ}$ جنوبی و مدار $۶۶^{\circ}/۵۵^{\circ}$ جنوبی، منطقه معتدله جنوبی^۵ نامیده می‌شود. آب و هوای مناطق معتدله شمالی و جنوبی، معتدل است.

مدار $۶۶^{\circ}/۵۵^{\circ}$ شمالی، مدار شمالگان^۶ نامیده می‌شود و نواحی واقع در شمال این مدار به منطقه منجمده شمالی^۷ موسوم است. مدار $۶۶^{\circ}/۵۵^{\circ}$ جنوبی مدار جنوبگان^۸ نامیده شده و نواحی واقع در جنوب این مدار به منطقه منجمده جنوبی^۹ موسوم است. مناطق منجمده شمالی و جنوبی، سردترین مناطق زمین اند. مناطق پنجگانه زمین در شکل (۱۵-۶) نشان داده شده است.

۳۴. دستگاههای مختصات نجومی^۱

مانند آنچه که در مورد دستگاه مختصات زمینی بیان شد، وضعیت اجرام سماوی بر روی کره سماوی، بوسیله دستگاههای مختصات، مشخص می‌شود. بطور کلی وضعیت یک جرم سماوی بر روی کره سماوی را می‌توان توسط مختصات کروی^{۱۱} مشخص کرد. در اینحالت دو فاصله زاویه‌ای^{۱۲} در امتداد دو کمان از دو دایره عظیمه که عمود بر یکدیگرند، مشخص می‌شوند. یکی از دوایر عظیمه، به نام دایره اولیه^{۱۳} مینا^{۱۴} و دیگری به نام دایره ثانویه^{۱۴} مینا^{۱۴} موسوم اند. برای مثال، در شکل (۱۶-۶)، وضعیت نقطه M بعنوان یک جرم سماوی، بر روی کره‌ای به مرکز O (مبداء مختصات) را می‌توان نسبت

- | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------------|---------------------|
| 1. Tropic of Cancer | 2. Tropic of Capricorn | 3. Torrid Zone |
| 4. The North Temperate Zone | 5. The South Temperate Zone | |
| 6. Arctic Circle | 7. North Frigid Zone | 8. Antarctic Circle |
| 9. South Frigid Zone | 10. Astronomical Coordinate Systems | |
| 11. Spherical Coordinates | 12. Angular Distance | |
| 13. Primary Circle of the Reference | 14. Secondary Circle of the Reference | |

به صفحه OAB و خط OA مشخص کرد. چنانکه صفحه‌ای بر خط OM طوری عبور داده شود که بر صفحه OAB عمود باشد، OB فصل مشترک دو صفحه عمود بر هم خواهد بود. در نتیجه زاویه‌های \widehat{AOB} و \widehat{BOM} و یا کمانهای \widehat{AB} و \widehat{BM} مختصات کروی نقطه M هستند.

مختصات کروی را می‌توان برای مشخص کردن وضعیت اجرام سماوی بر روی کره سماوی، بکار برد. ناظر در مرکز کره سماوی قرار می‌گیرد. شعاع کره سماوی نامشخص است و اجرام سماوی بر سطح داخلی کره تصویر می‌شوند. بدین ترتیب کره سماوی وجود خارجی نداشته، فقط برای مشخص کردن جهت اجرام سماوی در فضا بکار گرفته می‌شود.

فواصل اغلب اجرام سماوی تا زمین تقریباً مشخص است، ولی فاصله یک جرم سماوی خاص را نمی‌توان بفوریت معلوم ساخت و لذا نمی‌توان از میزان فاصله یک جرم سماوی برای مشخص کردن آن استفاده کرد. بنابراین بهنگام رصد یک جرم سماوی، می‌توان فاصله آن را تا ناظر، بصورت نامشخص در نظر گرفت و بعبارت دیگر می‌توان آن را بر کره سماوی تصویر کرد.

دستگاه مختصات کروی بر روی کره سماوی، همانند دستگاه مختصات زمینی یعنی طول و عرض جغرافیایی است؛ با این تفاوت که در مورد مختصات زمینی، زمین از طرف خارج آن در نظر گرفته شده است در حالیکه در مختصات کروی، کره سماوی از طرف داخل آن در نظر گرفته می‌شود. در هر یک از دستگاههای مختصات که بر مبنای مختصات کروی استوار است، دو قطب در دوسر یک قطر از کره سماوی در نظر گرفته می‌شود. یکی از قطبها، قطب شمال سماوی است که درست بالای قطب شمال جغرافیایی زمین قرار دارد و دیگری قطب جنوب سماوی است و دایره اولیه مبنا با فاصله ۹۰ درجه از هر کدام از قطبها در نظر گرفته می‌شود. در چنین حالتی، مختص عرضی^۱ یک جرم سماوی، برابر فاصله زاویه‌ای آن از دایره اولیه بطرف شمال و یا جنوب آن است. دوایر صغیره‌ای که به موازات دایره اولیه در نظر گرفته می‌شوند، به مدارات^۲ موسوم‌اند. مختص طولی^۳ یک جرم سماوی توسط اندازه زاویه‌ای کمانی از دایره اولیه بین دایره ثانویه و دایره عظیمه‌ای که از جرم سماوی و قطبهای سماوی می‌گذرد، محصور است، مشخص می‌گردد.

بطور کلی وضعیت اجرام سماوی را می‌توان توسط دستگاه‌های مختصات نجومی

زیر مشخص ساخت:

۱. دستگاه افقی^۱
۲. دستگاه استوایی (معدلی) مستقل^۲
۳. دستگاه استوایی (معدلی) وابسته^۳
۴. دستگاه عرض و طول سماوی^۴
۵. دستگاه کهکشانی^۵

از میان این دستگاه‌های مختصات، دستگاه افقی، تابع وضعیت مکانی ناظر بر روی کره زمین است. در حالیکه دستگاه استوایی مستقل، تابع وضعیت مکانی ناظر نیست و دستگاه را می‌توان برای هر ناظری بر روی کره زمین بکار برد. در دستگاه استوایی وابسته، یکی از دایره‌های عظیمه مبنا مستقل از وضعیت مکانی ناظر بوده و دایره عظیمه دیگر که عمود بر دایره عظیمه قبل است، تابع وضعیت مکانی ناظر است.

۱- ۳۴. دستگاه افقی

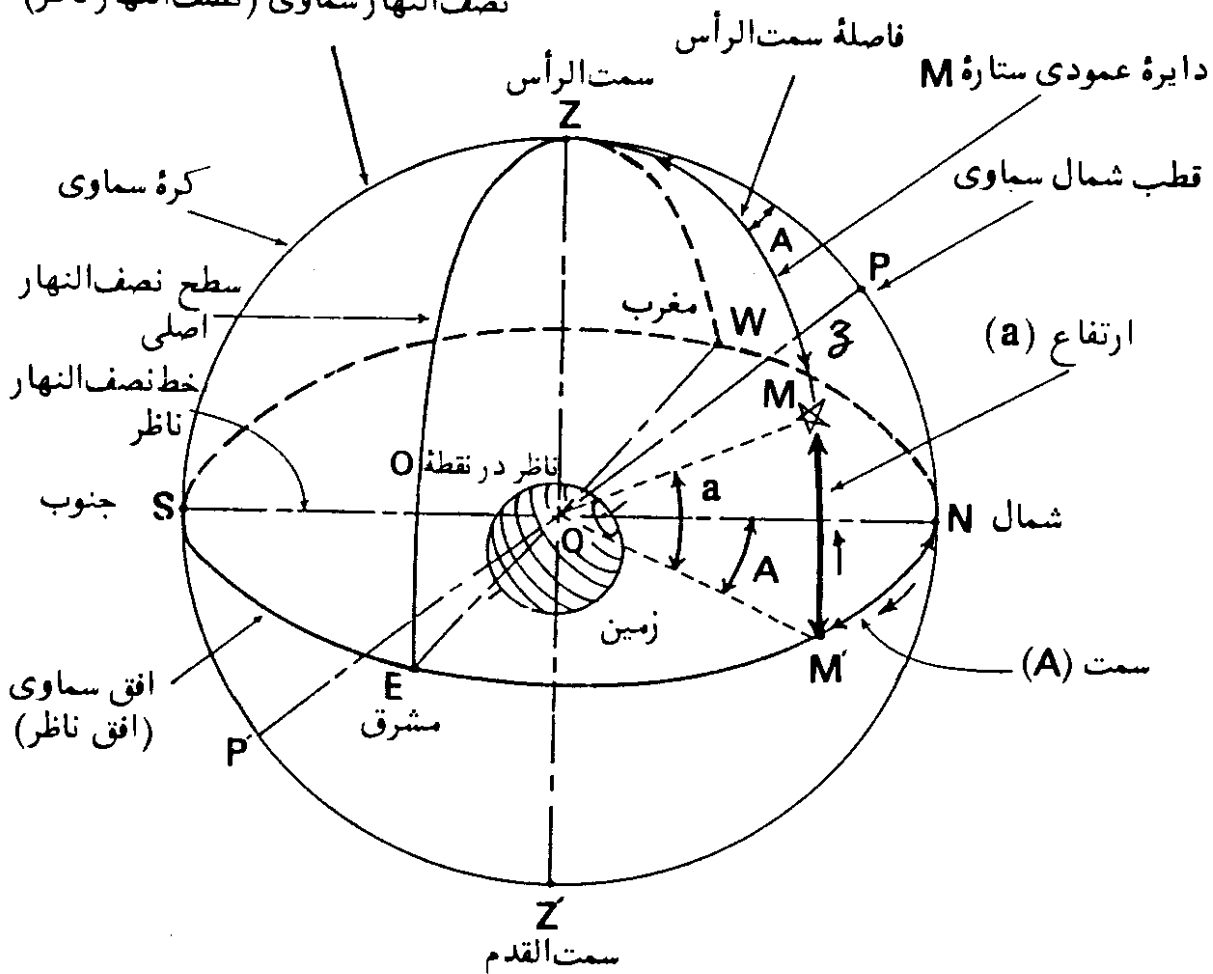
دستگاه افقی نسبت به ناظر مشخص می‌شود. در این دستگاه، قطبها عبارتند از سمت الرأس و سمت‌القدم ناظر. مختص عرض در این دستگاه، در صورتیکه نسبت به سطح افق و بطرف بالا اندازه‌گیری شود، ارتفاع، و در صورتی که از سمت الرأس بطرف پایین اندازه‌گیری شود، فاصله سمت الرأس نامیده می‌شود. در این دستگاه مختصات، دوایر صغیره واقع بر روی کره سماوی، که سطح آنها با سطح افق ناظر موازی است، مدارات هم ارتفاع^۶، نامیده می‌شوند؛ چه، اجرام سماوی واقع بر چنین مدارهایی، دارای ارتفاع برابرند.

مختص طول، در دستگاه افقی، سمت نام دارد. سمت یک جرم سماوی نسبت به مبناهای مختلف اندازه‌گیری می‌شود، اما معمولاً نسبت به امتداد شمال جغرافیایی واقع بر افق ناظر، مورد سنجش قرار می‌گیرد.

1. Horizon System
2. The Independent Equatorial System
3. The Dependent Equatorial System
4. The Celestial Latitude and Longitude System
5. The Galactic System
6. Almucantars (Parallels of Equal Altitudes)

بنابراین در دستگاه افقی، دایره اولیه مبنا، دایره افق و دایره ثانویه مبنا، دایره نصف النهار ناظر است. در این دستگاه دایره ثانویه دیگری نیز به نام سطح نصف النهار اصلی^۱ در نظر گرفته می شود، که قبلاً تعریف آن در بخش (۱۲-۶) آمده است. معمولاً با وسایل نجومی، می توان زوایای افقی و قائم را بسادگی اندازه گیری کرد و علت انتخاب دستگاه مختصات افقی نیز همین است. اما مختصات اندازه گیری شده در این دستگاه، سرعت و بطور دائمی، بعلاوت حرکت وضعی زمین، در حال تغییر خواهد بود، و بعلاوه مختصات بدست آمده برای دو ناظر در دو محل مختلف بر روی کره زمین، متفاوت است.

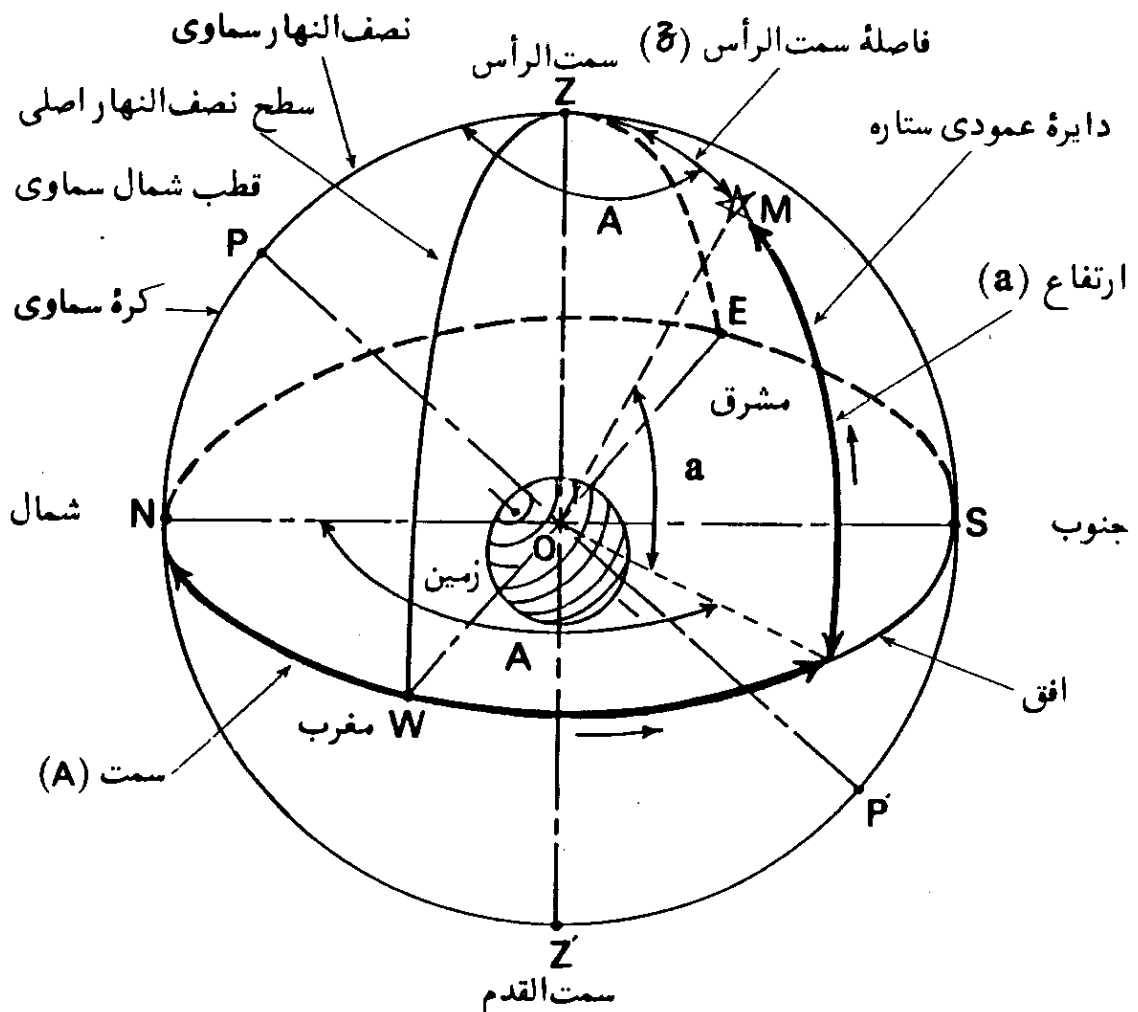
در شکل (۱۷-۶)، ستاره M در نیمکره شرقی کره سماوی قرار گرفته، سمت الرأس ناظر در نقطه Z، محل ناظر و نقطه P قطب شمال سماوی است. دایره عمودی که از ستاره M می گذرد، دایره افق ناظر را در نقطه M' قطع کرده است. زاویه $\angle MOM'$ نصف النهار سماوی (نصف النهار ناظر)



شکل (۱۷-۶) - دستگاه مختصات نجومی افقی. ارتفاع و سمت ستاره M در نیمکره شرقی کره سماوی نشان داده شده است.

ارتفاع (a) ستاره M است که در امتداد دایره عمودی ستاره، نسبت به وضعیت ستاره در بالا و یا پایین سطح دایره افق اندازه‌گیری می‌شود. اندازه ارتفاع از صفر درجه، وقتی که ستاره، در سطح افق سماوی است تا ۹۰ درجه وقتی که در سمت الرأس ناظر است، تغییر می‌کند. مختص دیگر، زاویه کروی \widehat{MZN} ، سمت (A) ستاره M است که زاویه بین سطح نصف النهار ناظر و دایره عمودی ستاره است. همچنین زاویه \widehat{NOM} ، زاویه بین خط نصف النهار ناظر و پای دایره عمودی ستاره بر سطح افق، نیز سمت (A) ستاره است. به همین ترتیب، در شکل (۶-۱۸)، ارتفاع و سمت ستاره M، در نیمکره غربی کره سماوی نشان داده شده است. همیشه در نیمکره شمالی زمین، سمت اجرام سماوی از امتداد جهت شمال بطرف مشرق و یا مغرب، بسته به اینکه جرم سماوی در نیمکره شرقی و یا غربی کره سماوی قرار گرفته باشد، اندازه‌گیری می‌شود، در نیمکره جنوبی زمین، سمت اجرام سماوی از امتداد جهت جنوب به طرف مشرق و یا مغرب در نظر گرفته می‌شود.

در شکل‌های (۶-۱۷) و (۶-۱۸)، فاصله سمت الرأس ستاره M نیز نمایانده شده



شکل (۶-۱۸) - مختصات نجومی ستاره M واقع در نیمکره غربی کره سماوی.

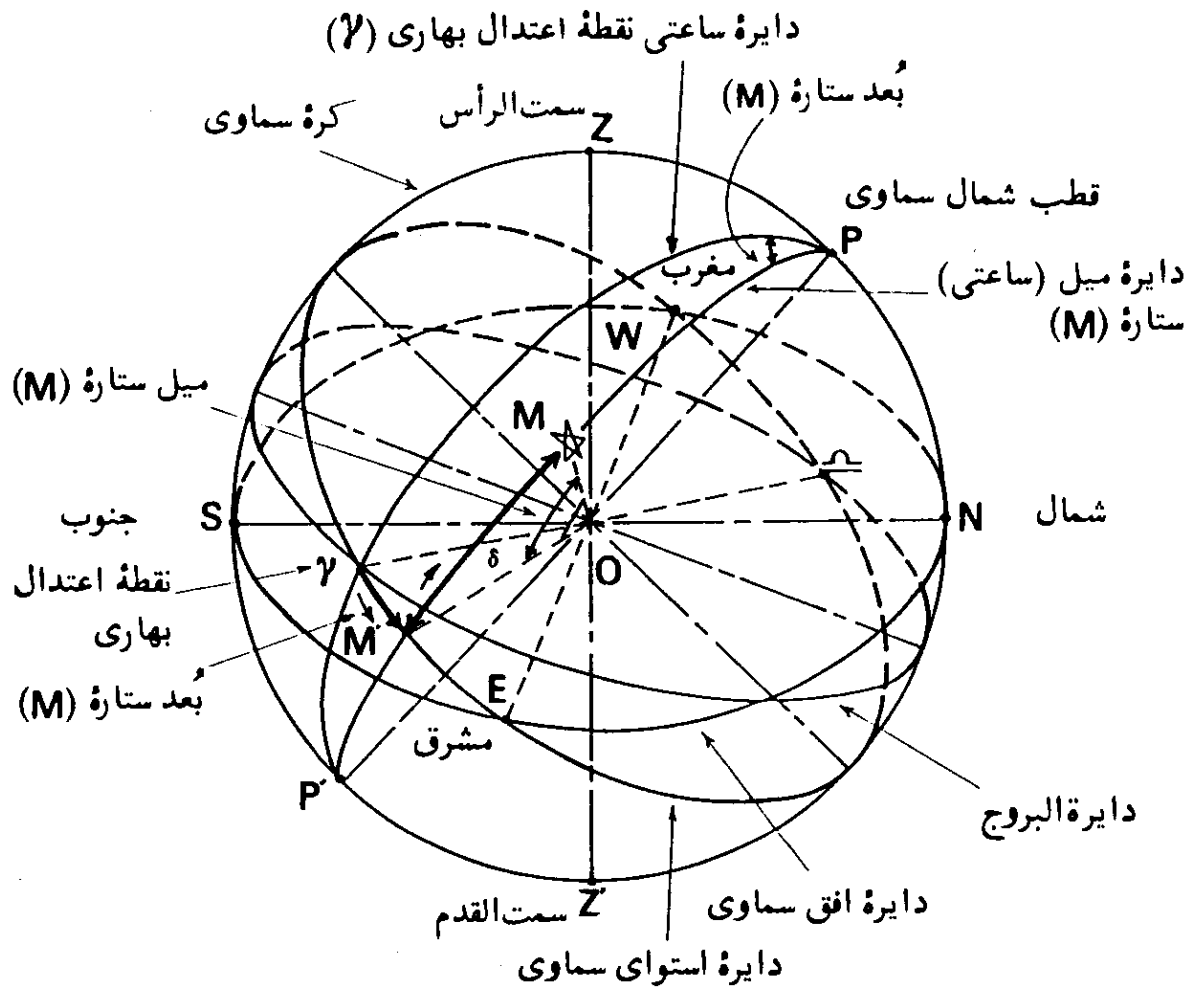
است، که در مواردی، بجای ارتفاع بکار می رود $z = 90^\circ - a$

۳۴-۲. دستگاه استوایی مستقل

دستگاه استوایی مستقل، به نام دستگاه میل و بُعد نیز نامیده می شود. این دستگاه مختصات، در کاتالوگ ستارگان و جداول و تقویمهای نجومی بکار می رود، چه مختصات کروی که در این دستگاه مورد استفاده قرار می گیرد، مستقل از وضعیت مکانی ناظر است. این دستگاه، در حقیقت امتداد هندسی دستگاه طول و عرض جغرافیایی است. قطبهای این دستگاه محل برخورد محور چرخشی زمین با کره سماوی یعنی قطبهای سماوی است. دایره اولیه مینا، دایره استوای سماوی است و دایره ثانویه مینا، دایره میل و یا دایره ساعتی است که قبلاً تعریف آن در مطلب شماره (۲۰) در این فصل داده شده است. مختص عرض، در دستگاه استوایی مستقل، میل و مدارات مربوط، به نام مدارات میل معروفند. مختص طول در این دستگاه مختصات، بُعد است که مبدأ آن نقطه اعتدال بهاری است. بُعد یک جرم سماوی از نقطه اعتدال بهاری، بطرف مشرق، از صفر تا ۳۶۰ درجه اندازه گیری می شود. بُعد یک ستاره، گاهی بر حسب ساعت، دقیقه و ثانیه زمانی نیز مشخص می شود، بنحوی که ۳۶۰ درجه برابر ۲۴ ساعت است.

در شکل (۱۹-۶)، بُعد و میل ستاره (M) در دستگاه مختصات نجومی استوایی مستقل، نشان داده شده است. کمان $\widehat{\gamma M}$ در امتداد دایره استوای سماوی از نقطه اعتدال بهاری (γ) بطرف مشرق تا دایره ساعتی ستاره M، بُعد ستاره است. همچنین زاویه بین دایره ساعتی، نقطه اعتدال بهاری (γ) و دایره ساعتی ستاره M در نقطه قطب شمال سماوی (P) و در جهت مشرق، بُعد ستاره است. در این شکل کمان $\widehat{\gamma P}$ قسمتی از دایره ساعتی نقطه اعتدال بهاری و کمان \widehat{PMM} قسمتی از دایره ساعتی (میل) ستاره M است و لذا کمان $\widehat{\gamma M}$ در امتداد استوای سماوی، بُعد آنست. همچنین زاویه کروی $\widehat{\gamma PM}$ نیز بُعد ستاره است.

میل (δ) ستاره M در شکل (۱۹-۶) عبارت از زاویه \widehat{MOM} و یا کمان \widehat{MM} است که در امتداد دایره ساعتی بین ستاره و دایره استوای سماوی در نظر گرفته می شود.



شکل (۶-۱۹) — دستگاه مختصات نجومی استوایی مستقل و یا دستگاه مختصات بُعد و میل.

در حقیقت دایره ساعتی، همواره به همراه خود ستاره، دارای حرکت ظاهری شبانه روزی است. اندازه میل ستارگان از صفر تا $+90$ درجه، وقتی که ستاره در شمال صفحه استوای سماوی است. و از صفر تا -90 درجه وقتی که ستاره در جنوب آنست، تغییر می‌کند.

زاویه متمم میل، فاصله قطبی (p) نامیده می‌شود، $p = (90^\circ - \delta)$ در شکل

(۶-۱۹) کمان \widehat{PM} فاصله قطبی ستاره M است.

مختصات نجومی بر روی کره سماوی، در دستگاه استوایی مستقل، کاملاً ثابت نیست، چه، محل قطبهای سماوی دقیقاً ثابت نمی‌باشد و به آرامی تغییر محل می‌دهد و در نتیجه، وضعیت دایره استوای سماوی نیز تغییر می‌کند. بنابراین این دستگاه مختصات بطور مطلق مستقل از زمان نیست، اما مستقل از محل رصد است و وضعیتهای مربوط، برای هر ناظری در هر جای سطح کره زمین قابل استفاده است.

تغییرات میل و بُعد خورشید خیلی بیشتر از تغییرات میل و بُعد سایر ستارگان

است.

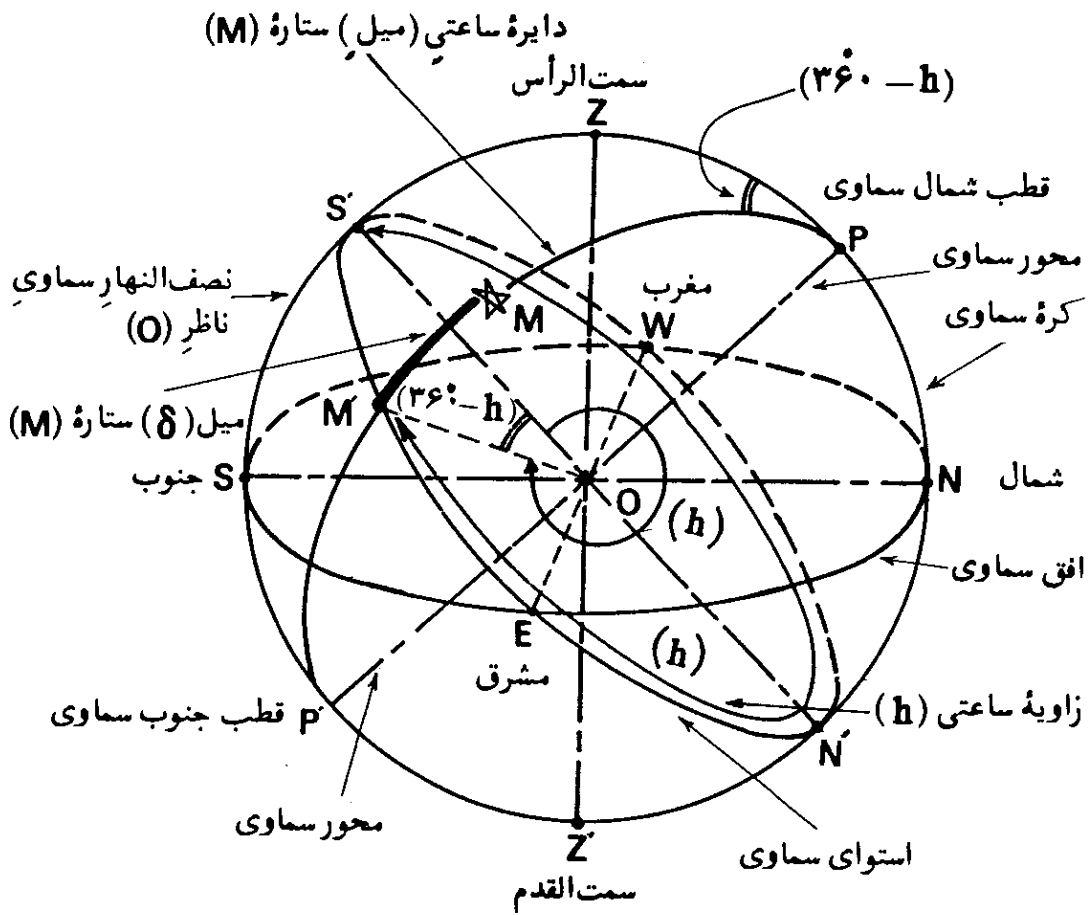
۳-۳۴. دستگاه استوایی وابسته

دستگاه استوایی وابسته، به نام دستگاه میل و زاویه ساعتی^۱ نیز نامیده می‌شود. در مواردی مناسبتر است که مختص طول در دستگاه استوایی مستقل، نسبت به خود ناظر سنجیده شود. برای این کار محل برخورد استوای سماوی با نصف‌النهار سماوی، بعنوان مبدأ طول در نظر گرفته می‌شود. در اینصورت چنین دستگاه مختصات را، دستگاه استوایی وابسته می‌نامند که در آن یک مختص، وابسته به وضعیت ناظر بوده، دیگری مستقل از آن است. دو دایره عظیمه مبنا در این دستگاه مختصات، دایره استوای سماوی و دایره ساعتی (میل) جرم سماوی است که استوای سماوی دایره اولیه مبنا و دایره ساعتی، دایره ثانویه مبنایند، در نیمکره شمالی، همیشه زاویه ساعتی از طرف جنوب، بسوی مغرب تا دایره میل، اندازه‌گیری می‌شود و اندازه آن از صفر درجه تا ۳۶۰ درجه می‌تواند باشد. چنانکه اندازه زاویه ساعتی از صفر تا ۱۸۰ درجه باشد، جرم سماوی در نیمکره غربی کره سماوی، و در غیر اینصورت در نیمکره شرقی آن قرار خواهد داشت.

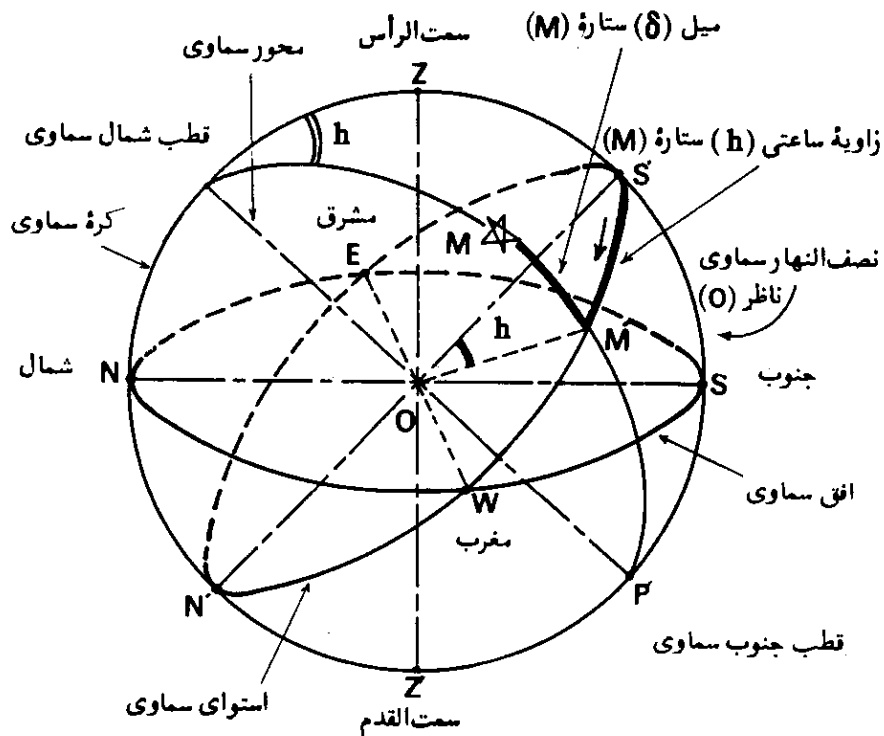
دستگاه مختصات نجومی استوایی وابسته در شکل‌های (۲۰-۶) و (۲۱-۶) برای ستاره‌ای مانند M، نمایانده شده است. مختص زاویه ساعتی (h)، اندازه زاویه‌ای کمان واقع بر دایره استوای سماوی است که بین نصف‌النهار سماوی ناظر و دایره ساعتی (میل) جرم سماوی، محصور است. همچنین زاویه کروی که در قطب شمال سماوی بین دایره ساعتی جرم سماوی و دایره نصف‌النهار سماوی ناظر، ایجاد می‌شود، همان زاویه ساعتی است. در شکل (۲۱-۶)، ستاره M در نیمکره غربی کره سماوی، قرار گرفته و لذا اندازه زاویه ساعتی بین صفر تا ۱۸۰ درجه است و در شکل (۲۰-۶) ستاره، در نیمکره شرقی کره سماوی بوده، اندازه زاویه ساعتی آن، بین ۱۸۰ تا ۳۶۰ درجه است.

در قسمت‌های (الف) و (ب) در شکل (۲۲-۶)، تصویر نصف‌النهار سماوی و دایره ساعتی بر سطح استوای سماوی و نحوه اندازه‌گیری زاویه ساعتی از جهت جنوب بطرف مغرب، نشان داده شده است.

مختص دیگر، میل (δ) مانند دستگاه استوایی مستقل است. بنابراین در شکل‌های (۲۰-۶) و (۲۱-۶)، کمان \widehat{SM} ، در جهتی که نشان داده شده است،



شکل (۶-۲۰) میل و زاویه ساعتی ستاره (M) در نیمکره شرقی کره سماوی، به قسمت (الف) شکل (۶-۲۲) مراجعه شود.

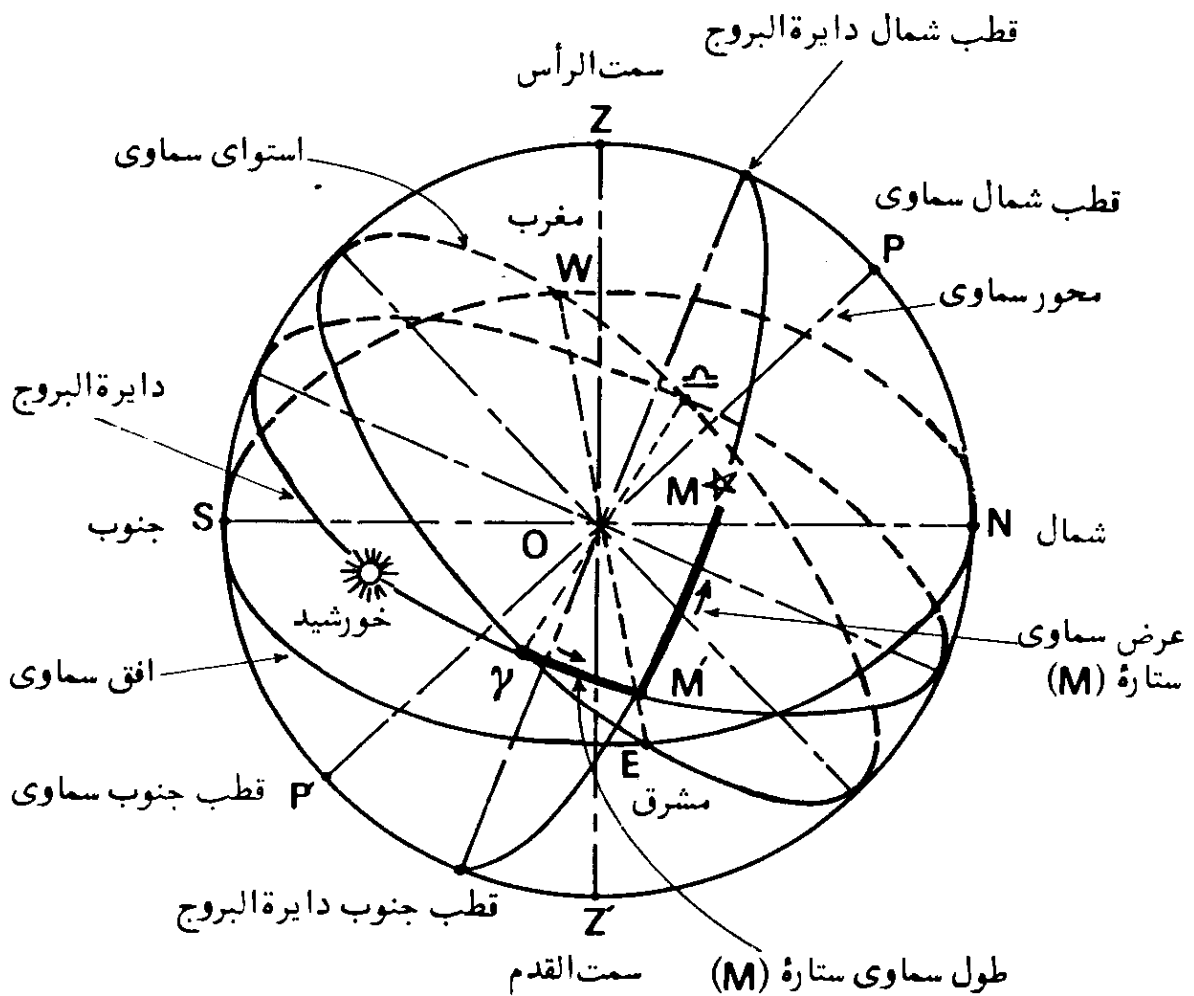


شکل (۶-۲۱) دستگاه مختصات نجومی استوایی وابسته و یا دستگاه میل و زاویه ساعتی. ستاره (M) در نیمکره غربی کره سماوی قرار گرفته است، به قسمت (ب)، شکل (۶-۲۲) مراجعه شود.

طول در این دستگاه، طول سماوی^۱، نام دارد. بدین ترتیب مبدأ طول سماوی، نقطه اعتدال بهاری (γ) است. دو قطب این دستگاه مختصات، به نام قطبهای دایرة البروج^۲ موسوم‌اند.

عرض سماوی یک جرم سماوی عبارت از کمان محصور بین دایرة البروج و آن جرم سماوی است که در امتداد دایرة عظیمه‌ای که از جرم سماوی گذشته و سطح آن بر سطح دایرة البروج عمود باشد، در نظر گرفته می‌شود.

طول سماوی یک جرم سماوی، کمانی از دایرة البروج است که بین دایرة ثانویه مبنا و دایرة عظیمه‌ای که از جرم سماوی گذشته و سطح آن بر سطح دایرة البروج عمود باشد، محصور می‌گردد. اندازه طول سماوی از صفر درجه در نقطه اعتدال بهاری تا ۳۶۰ درجه بطرف مشرق می‌تواند متغیر باشد. در شکل (۲۳-۶) کمان \widehat{MM} ، عرض سماوی بطرف شمال و $\widehat{\gamma M}$ طول سماوی ستاره M است.



شکل (۲۳-۶) — دستگاه مختصات نجومی طول و عرض سماوی و یا دستگاه دایرة البروج.

۵-۳۴. دستگاه کهکشانی^۱

دستگاه مختصات نجومی کهکشانی، برای مطالعه حرکات ستاره‌ای^۲ در منظومه کهکشانی^۳، بکار گرفته می‌شود. مختصات کهکشانی، با اسامی طول کهکشانی^۴ و عرض کهکشانی^۵ شناخته می‌شود که نسبت به سطوح مبنای مربوط به دستگاه کهکشانی، مورد سنجش قرار می‌گیرد.

۶-۳۴. تبدیل مختصات نجومی از یک دستگاه مختصات، به دستگاه دیگر

مختصات نجومی یک جرم سماوی در یک دستگاه مختصات نجومی را می‌توان به مختصات، در دستگاه دیگر تبدیل ساخت. بعنوان مثال می‌توان بُعد و میل یک ستاره را از روی طول و عرض سماوی آن محاسبه کرد. تبدیل مختصات نجومی بر اساس اصول مثلثات کروی صورت می‌گیرد. تبدیل متداولی که در هر رصدی می‌بایست صورت گیرد، تبدیل از دستگاه افقی به دستگاه استوایی است.

چنانکه قبلاً هم ذکر شد، سمت و ارتفاع یک ستاره، ثابت نیست و بعلا حرکت وضعی زمین و یا حرکت روزانه^۶، در حال تغییر است. در صورتی که بُعد و میل یک ستاره ثابت است، چه، نقطه مبنای^۷ یعنی نقطه اعتدال بهاری خود به همراه اجرام سماوی، دارای حرکت روزانه است، بعبارت دیگر این نقطه، به همراه هر جرم سماوی، ظاهراً در طی یک دور حرکت وضعی زمین در ۲۴ ساعت، یک بار به دور زمین می‌گردد. اما وسیله‌ای که بتوان با آن بُعد و میل یک جرم سماوی را اندازه‌گیری کرد، وجود ندارد. در صورتیکه سمت و ارتفاع یک ستاره را می‌توان مستقیماً توسط تئودولیت^۸ اندازه گرفت. با دانستن سمت و زاویه ساعتی یک ستاره، بُعد و میل آن با حل مثلث نجومی^۹ محاسبه می‌شود، البته می‌بایست زمانی که ستاره در یک وضعیت خاص قرار می‌گیرد، زاویه ساعتی آن نیز تعیین گردد.

بنابراین به مختصات نجومی، هم در دستگاه افقی و هم در دستگاه استوایی، نیاز است. دستگاه افقی در عمل برای رصد مستقیم ستارگان و دستگاه بُعد و میل برای محاسبات مورد لزوم در تهیه کاتالوگ ستارگان^{۱۰} بکار گرفته می‌شوند.

1. The Galactic System

2. Stellar Motions

3. Galactic System

4. Galactic Longitude

5. Galactic Latitude

6. Diurnal Motion

7. Reference Point

8. Theodolite

9. Astronomical Triangle

10. Stars Catalogues

۳۵. مثلث نجومی

چنانکه نقاط سمت‌الرأس، قطب سماوی و یک جرم سماوی توسط کمانهای دایره‌های عظیمه بر روی کره سماوی به همدیگر متصل شوند، مثلث کروی حاصل، مثلث نجومی نامیده می‌شود. بنابراین سه رأس مثلث نجومی عبارت است از سمت‌الرأس ناظر، جرم سماوی و قطب سماوی.

از مثلث نجومی، می‌توان روابط موجود بین مختصات کروی را بدست آورد.

چنانکه

$$a = (M) \text{ ارتفاع ستاره}$$

$$\delta = (M) \text{ میل ستاره}$$

$$\varphi = \text{عرض جغرافیایی}$$

$$h = (M) \text{ زاویه ساعتی ستاره}$$

باشند، با توجه به شکل (۲۴-۶)، اضلاع و زوایای مثلث نجومی به شرح زیر است:

$$\widehat{ZP} = (90^\circ - \varphi) = \text{متمم عرض جغرافیایی ناظر}$$

$$\widehat{PM} = (90^\circ - \delta) = \text{فاصله قطبی و یا متمم میل ستاره}$$

$$\widehat{ZM} = (90^\circ - a) = \text{فاصله سمت‌الرأس و یا متمم ارتفاع ستاره}$$

زاویه در سمت‌الرأس Z ،

$$\widehat{Z} = \widehat{MZP} = (M) \text{ سمت ستاره} = A$$

زاویه در قطب سماوی P ،

$$\widehat{P} = \widehat{ZPM} = (M) \text{ زاویه ساعتی ستاره} = h$$

زاویه در محل جرم سماوی M ،

$$\widehat{M} = \widehat{ZMP} = \text{زاویه اختلاف منظر ستاره M از نقاط سمت‌الرأس و قطب سماوی}$$

چنانچه سه ضلع مثلث نجومی یعنی کمانهای \widehat{ZP} ، \widehat{PM} ، و \widehat{ZM} و یا به عبارت

دیگر اندازه‌های ارتفاع و میل ستاره و عرض جغرافیایی ناظر، معلوم باشند، سمت (A)

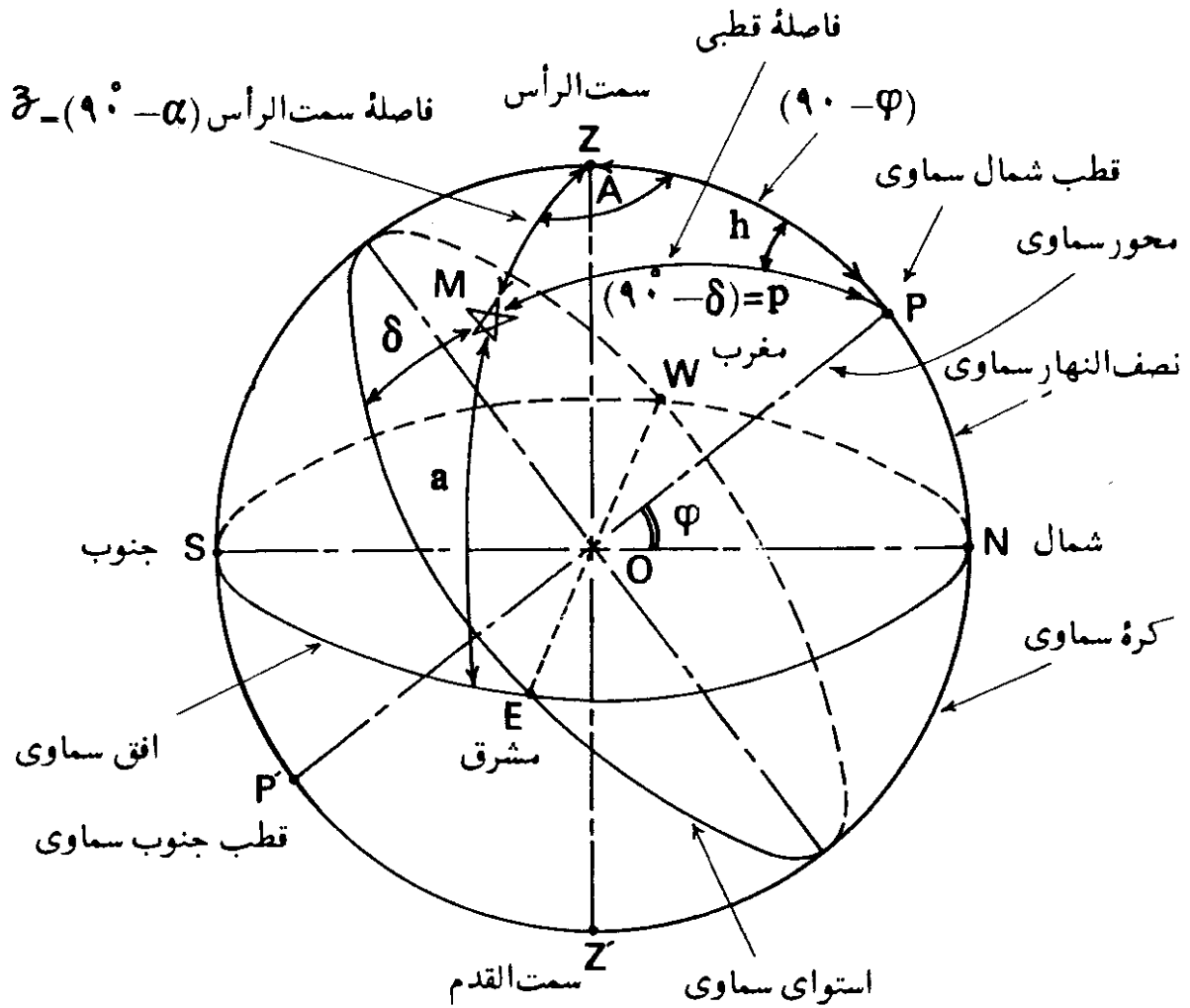
و زاویه ساعتی (h) ستاره با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی محاسبه می‌شود:

با استفاده از فرمول شماره (۲-۴) در فصل چهارم، خواهیم داشت:

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\cos a \cos \varphi} - \tan a \tan \varphi \quad (۴-۶)$$

به همین ترتیب

$$\cosh = \frac{\sin a}{\cos \delta \cos \varphi} - \tan \delta \tan \varphi \quad (۶-۵)$$



شکل (۶-۲۴) - مثلث کروی.

فرمولهای شماره (۲-۱) و (۲-۲) در فصل دوم و فرمول شماره (۳-۱۷) در فصل سوم را می توان از فرمولهای (۶-۴) و (۶-۵) مذکور در فوق بدست آورد.

۳۶. ستارگان دور قطبی

ستارگانی که غروب ندارند و در نتیجه، همیشه در بالای افق واقعند، به

1. Circumpolar Star

ستارگان دور قطبی موسوم‌اند. چنین ستارگانی بنظر ناظر، ظاهراً در مسیری دایره‌ای به دور قطب می‌گردند. در نجوم عملی، اصطلاح ستارگان دور قطبی به ستارگانی اطلاق می‌شود که فاصله قطبی آنها کمتر از ۱۰ درجه باشد.

بنابراین در شکل (۶-۲۵)، ستاره (M¹) یک ستاره دور قطبی است که مسیر آن، دایره A¹A²، همیشه در بالای سطح دایره افق سماوی، قرار دارد. برای اینکه ستاره دور قطبی، غروب نکند، می‌بایست فاصله آن تا قطب، یعنی (PA¹) کمتر از فاصله آن تا سطح افق یعنی (PN) باشد. به عبارت دیگر:

$$\widehat{PA^1} < \widehat{PN}$$

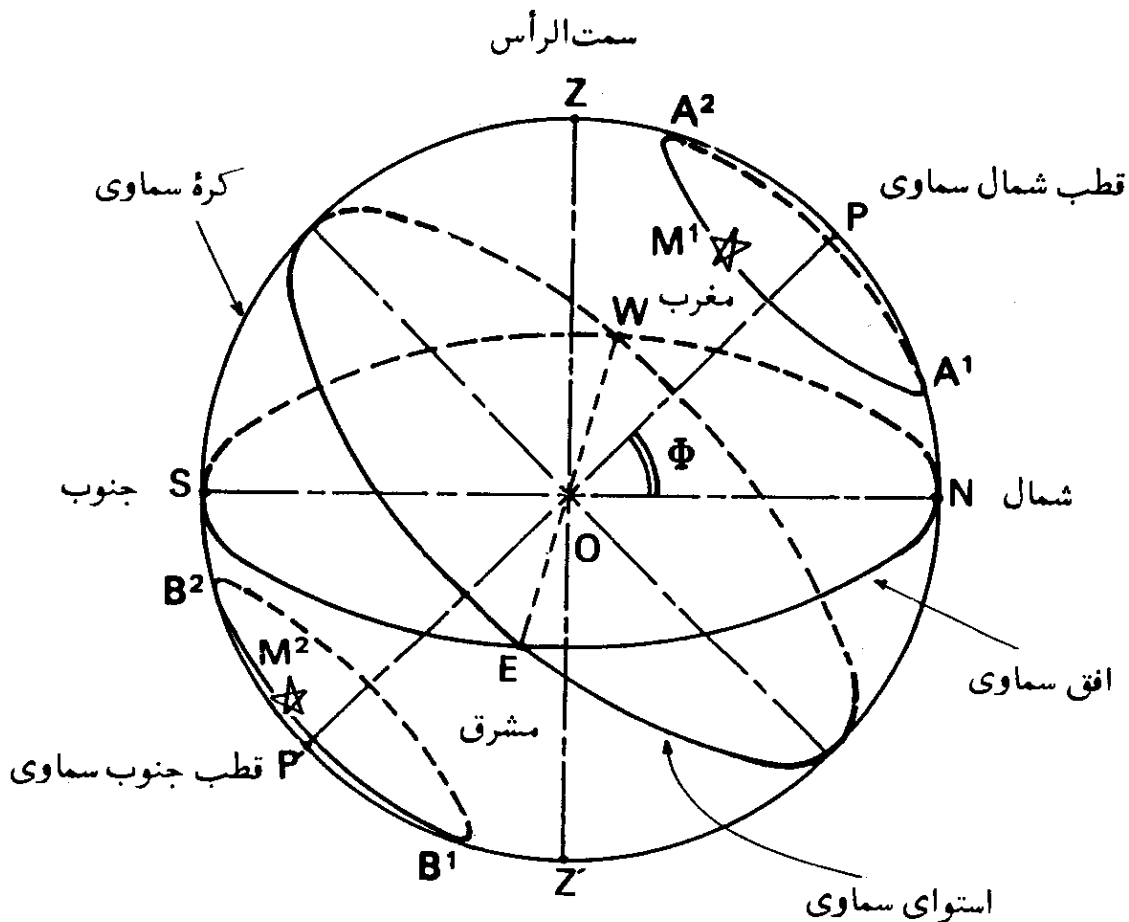
و یا

$$(90^\circ - \delta) < \widehat{PN}$$

اما

$$\widehat{PN} = \varphi$$

در نتیجه



شکل (۶-۲۵) - ستاره دور قطبی.

$$(90^\circ - \delta) < \varphi$$

و یا

$$\delta > (90^\circ - \varphi) \quad (6-6)$$

بنابراین میل یک ستاره دورقطبی، همیشه از متمم عرض جغرافیایی محل رصد، بیشتر است.

به همین ترتیب، در شکل (۶-۲۵)، ستاره M^2 در مسیر B^1B^2 همیشه زیر افق است و لذا هیچوقت برای ناظر O ، طلوع ندارد.

۳۷. ستاره در حال عبور^۱

زمانی که یک ستاره، نصف النهار ناظر را قطع می کند، اصطلاحاً گفته می شود که آن ستاره عبور^۲ و یا گذر کرده است. یک ستاره در حرکت ظاهری خود به دور قطب، دوبار دایره نصف النهار ناظر را قطع می کند که یکی از این دو گذر به نام گذر زیرین^۳ و دیگری به نام گذر زیرین^۴ است.

یک ستاره، زمانی در گذر زیرین است که ارتفاع آن حداکثر باشد و وقتی در گذر زیرین است که ارتفاع آن، حداقل است. با توجه به این تعریف، در شکل (۶-۲۶)، ستاره M^1 در وضعیت A^1 در گذر زیرین و در وضعیت B^1 در گذر زیرین می باشد. همچنین ستاره M^2 در نقاط A^2 و B^2 از نصف النهار ناظر O گذر می کند، که A^2 گذر زیرین و B^2 گذر زیرین است.

چنانکه از این شکل پیداست، گذر زیرین ستاره M^1 در نقطه A^1 ، در طرف شمالی سمت الرأس و یا بین قطب و سمت الرأس واقع می شود، در صورتیکه گذر زیرین ستاره M^2 در نقطه A^2 ، در طرف جنوبی سمت الرأس، اتفاق می افتد.

در نقطه گذر زیرین ستاره M^1 در نقطه A^1 ، فاصله سمت الرأس آن به صورت زیر

است:

$$\begin{aligned} z_{M^1} &= \widehat{ZA^1} = \widehat{ZP} - \widehat{A^1P} \\ &= (90^\circ - \varphi) - (90^\circ - \delta) \end{aligned}$$

1. Star of Culmination

2. To Culminate (Transit)

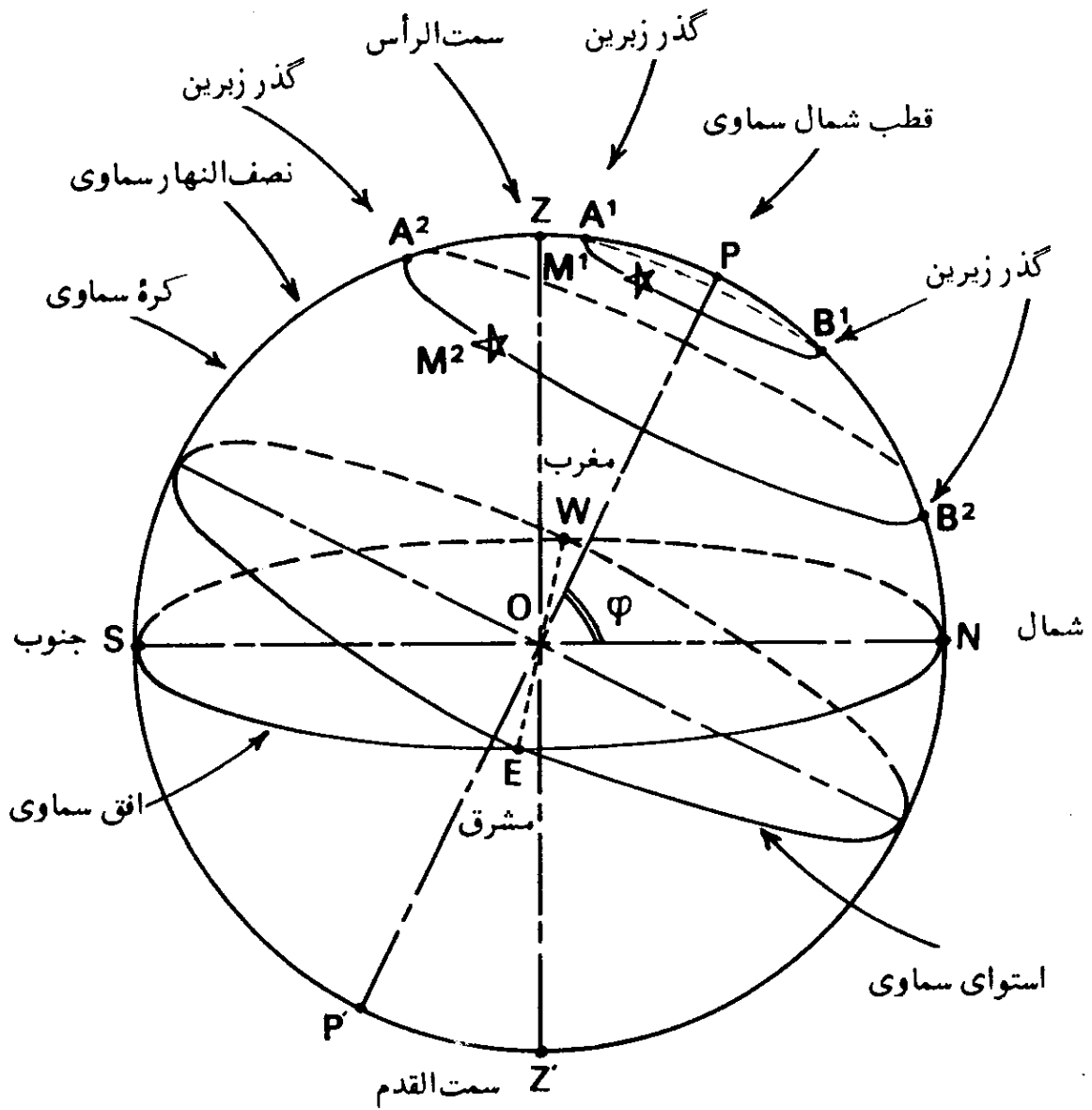
3. Upper Culmination

4. Lower Culmination

در نتیجه،

$$z_{M_1} = (\delta - \varphi)$$

(۶-۷)



شکل (۶-۲۶) - عبور یک ستاره.

همچنین در نقطه گذر زبرین ستاره M_2 در نقطه A_2 ، فاصله سمت الرأس آن، بصورت زیر است:

$$z_{M_2} = \widehat{ZA_2} = \widehat{PA_2} - \widehat{PZ}$$

$$z_{M_2} = (90^\circ - \delta) - (90^\circ - \varphi)$$

$$z_{M_2} = (\varphi - \delta)$$

(۶-۸)

از فرمولهای (۶-۷) و (۶-۸) چنین می توان نتیجه گیری کرد که گذر زبرین یک ستاره، وقتی در شمال سمت الرأس اتفاق می افتد که میل ستاره از عرض جغرافیایی محل رصد بیشتر و زمانی در جنوب سمت الرأس واقع می شود که میل آن کمتر از عرض باشد.

۳۸. وضعیت دورترین فاصله یک ستاره

گاهی وضعیت یک جرم سماوی نسبت به نصف النهار سماوی مکان، سنجیده می شود. وقتی یک ستاره دارای بیشترین فاصله از نصف النهار است، گفته می شود که در وضعیت دورترین فاصله قرار گرفته است که این دورترین فاصله، می تواند شرقی و یا غربی باشد. در وضعیت دورترین فاصله، ستاره، بیشترین سمت را دارا است و همچنین دایره مسیر حرکت ظاهری روزانه ستاره بر دایره عمودی ستاره، مماس می شود. بنابراین مثلث نجومی در رأس مربوط به ستاره، قائم الزاویه می شود.

وقتی یک ستاره در وضعیت دورترین فاصله، در مشرق نصف النهار سماوی مکان باشد، گفته می شود که ستاره در وضعیت دورترین فاصله شرقی است و در صورتیکه در مغرب نصف النهار باشد، در وضعیت دورترین فاصله غربی است. در شکل (۶-۲۷)، ستاره M در وضعیت دورترین فاصله شرقی قرار دارد.

با استفاده از قاعده نیپر در مورد مثلث کروی قائم الزاویه، می توان سمت (A)، زاویه ساعتی (h) و ارتفاع (a) یک جرم سماوی در وضعیت دورترین فاصله را، محاسبه کرد. چنانکه در شکل (۶-۲۸) نشان داده شده است، پنج قسمت دایره نیپر به ترتیب عبارت است از: دو ضلع (۹۰° - a) و (۹۰° - δ) و متمم سه قسمت بقیه یعنی (۹۰° - h)،

$$\varphi = [90^\circ - (90^\circ - \varphi)] \text{ و } (90^\circ - A)$$

$$\sin(90^\circ - h) = \tan(90^\circ - \delta) \tan \varphi$$

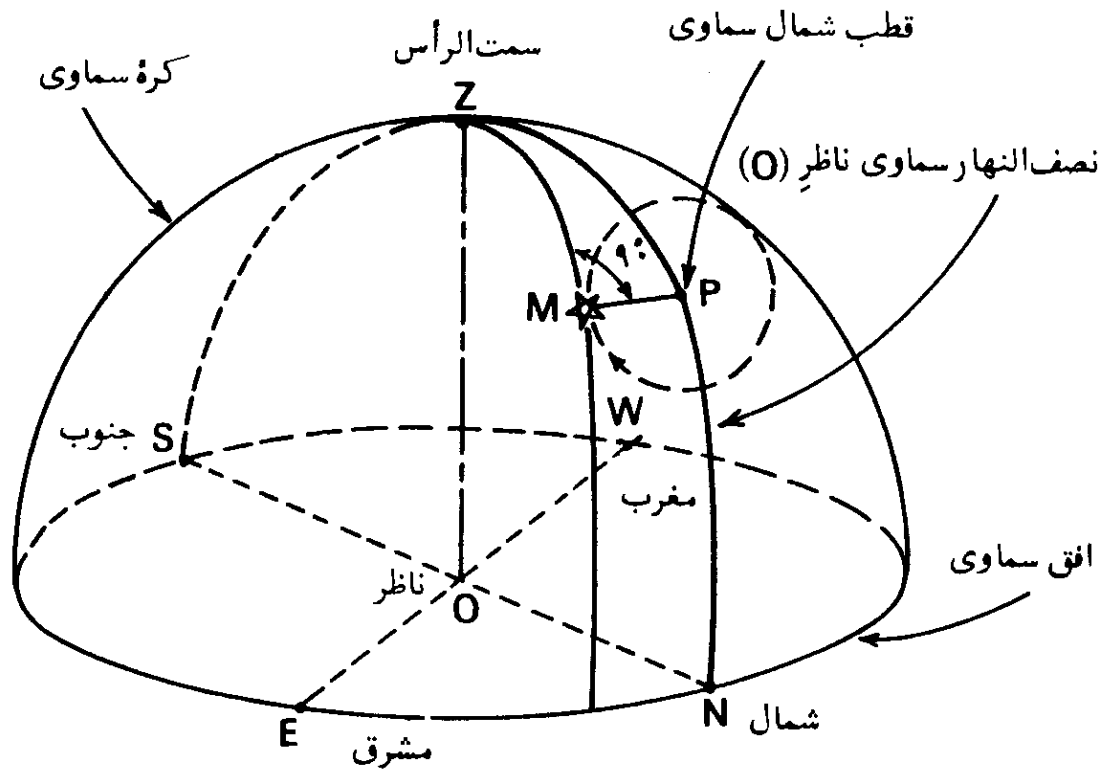
بنابراین خواهیم داشت:

$$\cosh = \frac{\tan \varphi}{\tan \delta} = \tan \varphi \cot \delta$$

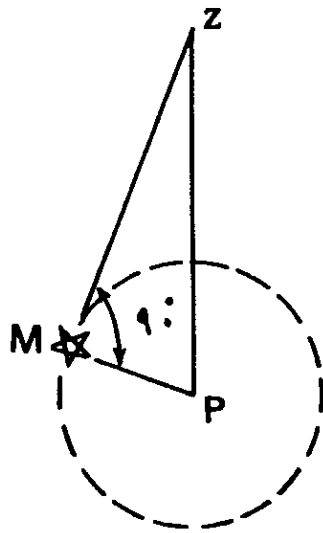
(۶-۹)

همچنین

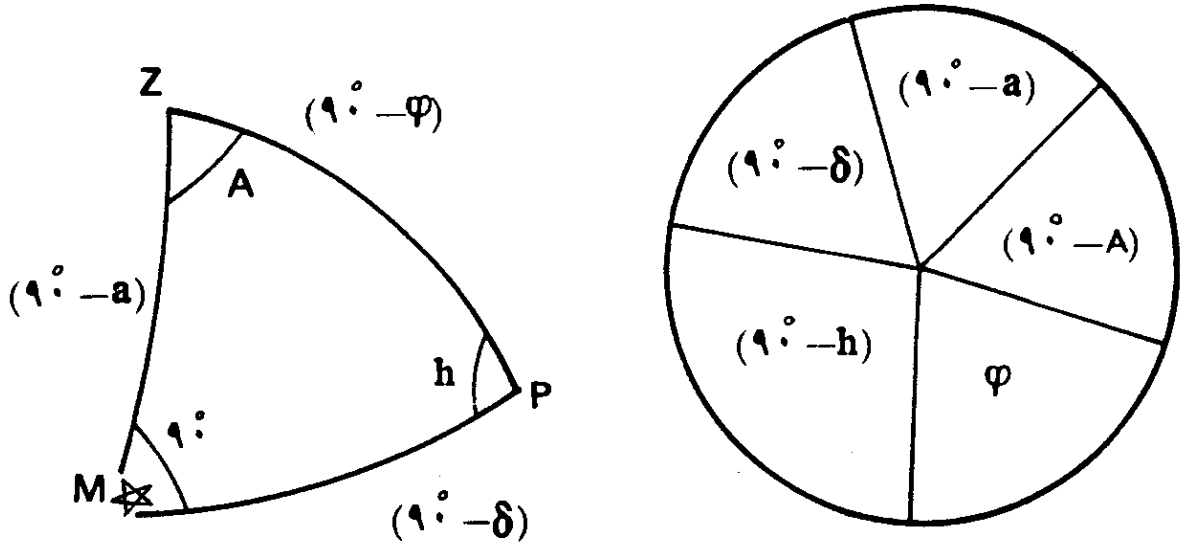
$$\sin \varphi = \cos(90^\circ - \delta) \cos(90^\circ - a)$$



الف- مسیر حرکت ظاهری یک ستاره بر روی کره سماوی



ب- تصویر مسیر حرکت ظاهری یک ستاره نسبت به سمت الرأس و قطب سماوی
شکل (۶-۲۷) - وضعیت دورترین فاصله یک ستاره.



شکل (۶-۲۸) - کاربرد قاعده نیر در مورد یک ستاره در وضعیت دورترین فاصله، به شکل (۶-۲۷) مراجعه شود.

و یا

$$\sin a = \frac{\sin \varphi}{\sin \delta} = \sin \varphi \operatorname{cosec} \delta \quad (6-10)$$

و برای سمت در وضعیت دورترین فاصله خواهیم داشت:

$$\sin(90^\circ - \delta) = \cos(90^\circ - A) \cos \varphi$$

و یا

$$\sin A = \frac{\cos \delta}{\cos \varphi} = \cos \delta \operatorname{sec} \varphi \quad (6-11)$$

۳۹. وضعیت یک ستاره در سطح نصف النهار اصلی

وقتی یک ستاره، در سطح نصف النهار اصلی ناظر قرار گیرد، گفته می‌شود که ستاره در وضعیت سطح نصف النهار اصلی است. در چنین حالتی زاویه رأس سمت الرأس از مثلث نجومی ستاره، یعنی زاویه رأس Z ، قائمه می‌شود—شکل (۶-۲۹)—. سطح نصف النهار اصلی، صفحه دایره عظیمه‌ای است که بر صفحه نصف النهار سماوی مکان، عمود بوده، از نقاط مشرق، مغرب و سمت الرأس ناظر می‌گذرد.

در اینجا فرمول (۲-۳) که در فصل دوم داده شده بود، به اثبات می‌رسد:

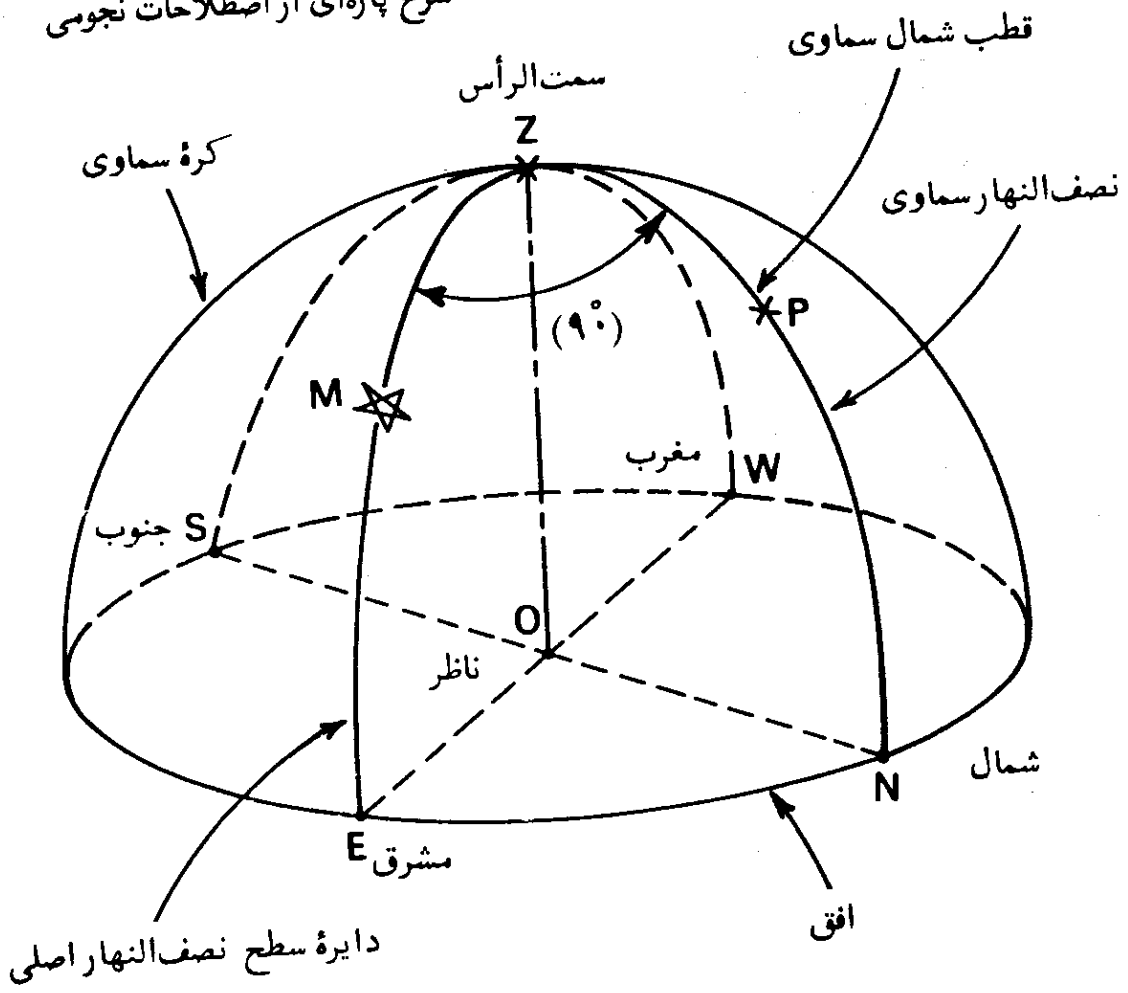
چنانکه میل خورشید (δ) و عرض جغرافیایی (φ) یک محل، در دست باشد، با استفاده از قاعده نیپر در مورد مثلث کروی قائم الزاویه، می‌توان ارتفاع (a) و زاویه ساعتی (h) یک ستاره در وضعیت سطح نصف النهار اصلی را محاسبه کرد. در اینجا پنج قسمت دایره نیپر، مطابق شکل (۶-۳۰)، به ترتیب عبارتند از: دو ضلع ($90^\circ - \varphi$) و ($90^\circ - a$) و متمم سه قسمت بقیه یعنی،

$$(90^\circ - h) \text{ و } [90^\circ - (90^\circ - \delta)] = \delta, (90^\circ - M)$$

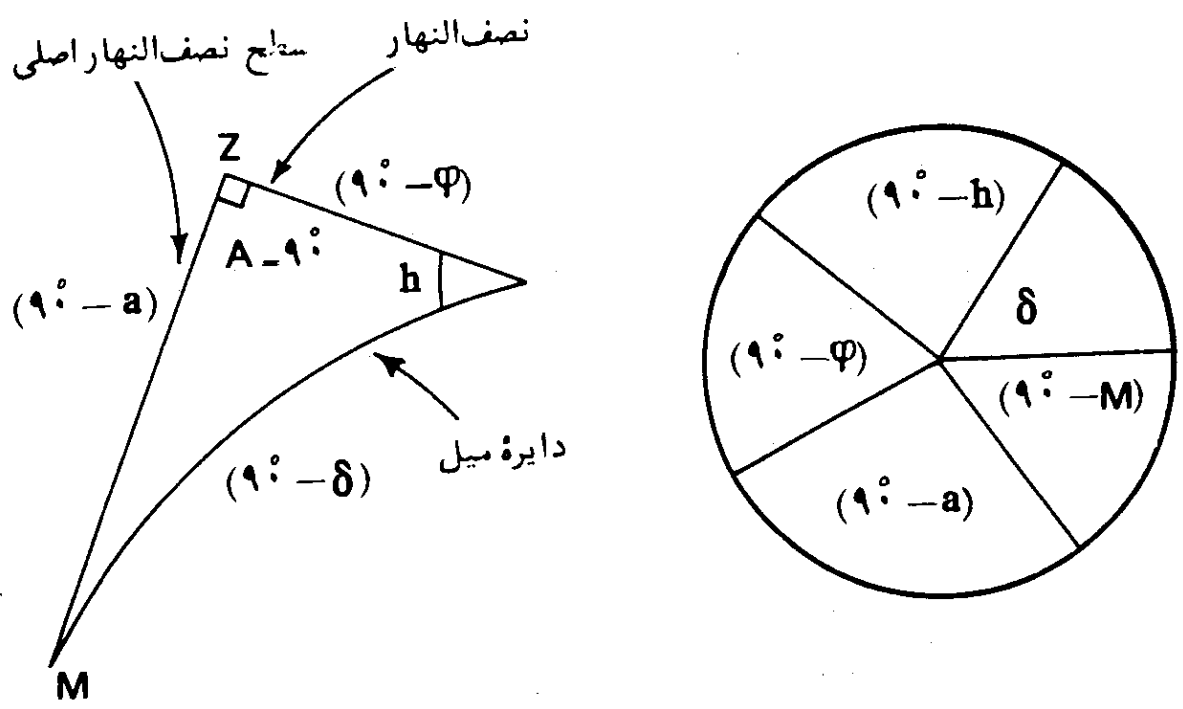
و حالا خواهیم داشت:

$$\sin \delta = \cos(90^\circ - \varphi) \cos(90^\circ - a) = \sin \varphi \sin a$$

$$\sin a = \frac{\sin \delta}{\sin \varphi} = \sin \delta \operatorname{cosec} \varphi$$



شکل (۶-۲۹) - وضعیت یک ستاره در سطح نصف النهار اصلی.



شکل (۶-۳۰) - کاربرد لاعده نیز در مورد وضعیت یک ستاره در سطح نصف النهار اصلی. به شکل (۶-۲۹) مراجعه شود.

و یا

$$\sin(90^\circ - h) = \tan(90^\circ - \varphi) \tan \delta$$

$$\cos h = \tan \delta \cot \varphi \quad (6-13)$$

که همان فرمول (۲-۳) است.

۴۰. قرار گرفتن یک ستاره در افق^۱

یک ستاره وقتی در افق قرار می‌گیرد که ارتفاع (a) آن برابر صفر درجه و در نتیجه، فاصله سمت الرأس آن مساوی ۹۰ درجه باشد. چنانکه میل خورشید (δ) و عرض جغرافیایی (φ) معلوم باشند، می‌توان سمت و زاویه ساعتی ستاره‌ای را که در افق قرار می‌گیرد، محاسبه کرد.

برای این منظور کافی است که در فرمولهای (۶-۴) و (۶-۵)، مقدار a را برابر

صفر بگیریم. در نتیجه، خواهیم داشت:

$$\cos A = \frac{\sin \delta}{\cos \varphi} = \sin \delta \sec \varphi \quad (6-14)$$

و همچنین

$$\cos h = -\tan \delta \tan \varphi \quad (6-15)$$

۴۱. قرار گرفتن ستاره در خارج از نصف النهار^۲

وقتی که ستاره‌ای از نصف النهار سماوی مکان، فاصله داشته باشد، گفته می‌شود

که ستاره، در خارج از نصف النهار واقعست.

۴۲. فاصله زاویه‌ای ستارگان^۳

فاصله زاویه‌ای ستاره‌ای نسبت به ستاره دیگر، توسط اندازه کمانی، از دایره عظیمه‌ای که ناظر در مرکز آن قرار گرفته و بر روی کره سماوی از هر دو ستاره گذر می‌کند، اندازه‌گیری می‌شود. در چنین حالتی فاصله زاویه‌ای دو ستاره آن چنانکه بنظر

1. Star of Horizon
2. Star at Ex-Meridian
3. Angular Distance of Stars

ناظر می‌آید در نظر گرفته می‌شود.

۴۳. فاصله زاویه‌ای ماه^۱

فاصله زاویه‌ای ماه از خورشید، فاصله زاویه‌ای ماه نامیده می‌شود.

۴۴. مقارنه^۲

وقتی که خط واصل از زمین به خورشید و از زمین به یک سیاره، دقیقاً در یک راستا و جهت باشند گفته می‌شود که سیاره در حالت مقارنه است. در چنین حالتی، سیاره و خورشید هردو بر روی کره سماوی، بر هم منطبق می‌شوند و لذا طول و عرض آنها برابر است.

در مورد سیاره‌های زهره^۳ و عطارد^۴، مقارنه، دو نوع است. یکی مقارنه سفلی^۵ و آن زمانی است که سیاره بین خورشید و زمین قرار گرفته، و دیگری مقارنه علیا^۶ و آن وقتی است که خورشید بین زمین و سیاره واقع است.

۴۵. مقابله^۷

وقتی که خط واصل از زمین به خورشید و از زمین به ماه و یا یک سیاره، دقیقاً در یک راستا اما در دو جهت مختلف قرار داشته باشند، گفته می‌شود که ماه و یا سیاره در حالت مقابله‌اند در چنین حالتی طول خورشید و سیاره بر روی کره سماوی، ۱۸۰ درجه اختلاف خواهند داشت.

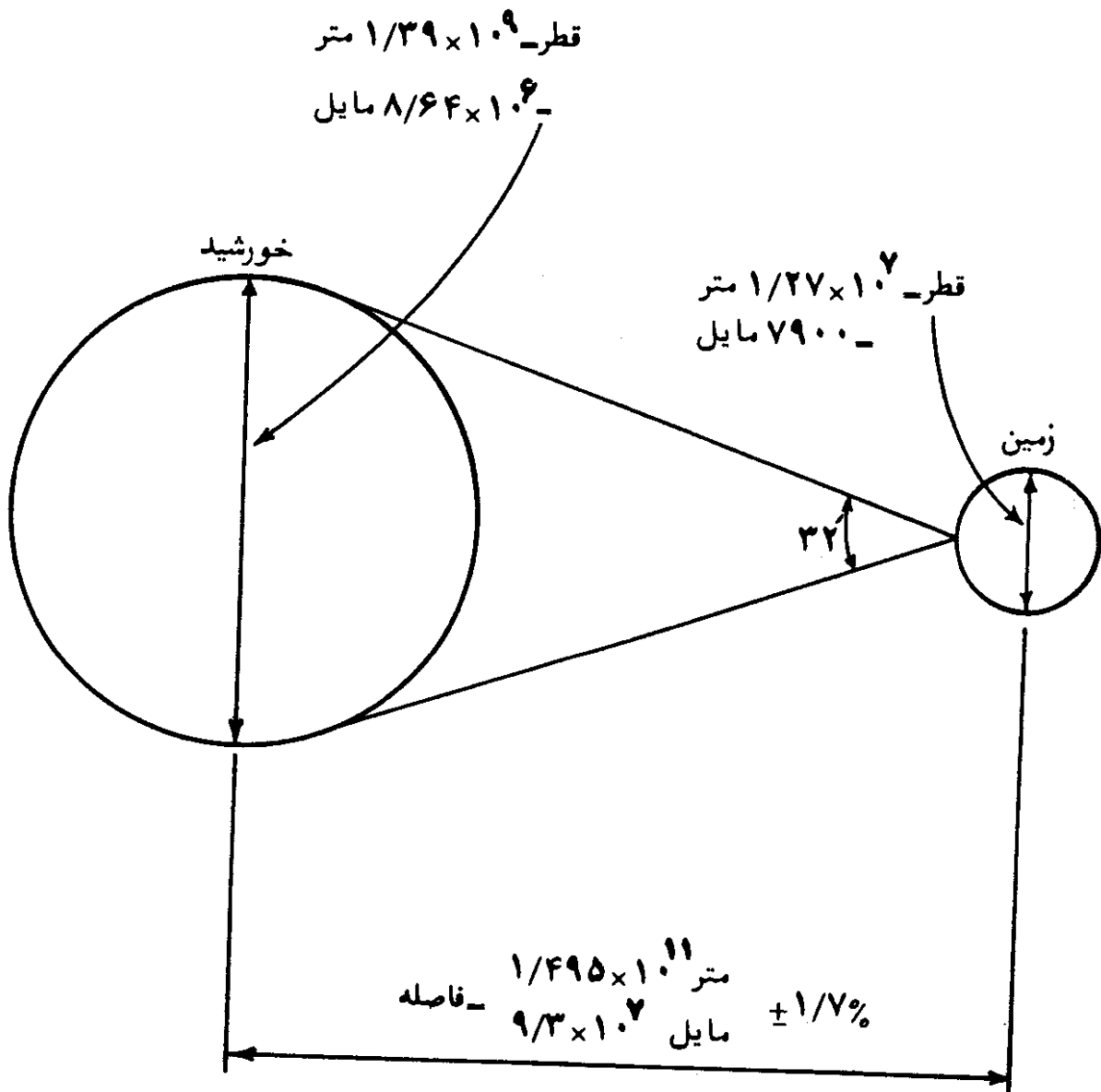
۴۶. خورشید^۸

در میان ستارگان آسمان، خورشید بیش از همه جلب توجه می‌کند، چه، تنظیم

- | | | |
|----------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1. Moon's Elongation | 2. Conjunction | 3. Venus |
| 4. Mercury | 5. Inferior Conjunction | 6. Superior Conjunction |
| 7. Opposition | 8. The Sun | |

زندگی روزمره ما توسط حرکات آن صورت می گیرد. متوسط فاصله زمین و خورشید ۹۳ میلیون مایل و یا ۱۵۰ میلیون کیلومتر است. میزان دقیق این فاصله، $۹۲,۹۵۵,۷۰۰/$ مایل است. این فاصله، یک واحد نجومی نامیده می شود. برای پی بردن به فاصله های بسیار زیاد مابین ستارگان، کافی است بگوئیم که یک واحد نجومی برابر $\frac{1}{۲۵۰,۰۰۰}$ فاصله نزدیکترین ستاره به زمین است.

قطر ستاره خورشید در حدود $۱/۳۹$ میلیون کیلومتر و تقریباً ۱۰۹ برابر قطر کره زمین است. نسبت ابعاد زمین و خورشید در شکل (۶-۳۱) نمایانده شده است. خورشید به شکل کره و از مواد بسیار بسیار داغ در حالت گازی، تشکیل یافته است. خورشید به صورتیکه از زمین مشاهده می شود، هر چهار هفته یک بار حول محورش می چرخد. اما این گردش به صورت گردش یک جسم صلب^۲ نیست؛ گردش



شکل (۶-۳۱) - مقایسه ابعاد خورشید و زمین (بدون مقیاس).

استوای آن در حدود ۲۷ روز و گردش نواحی قطبی آن، در حدود ۳۰ روز طول می‌کشد. خورشید دارای درجه حرارت مؤثر جسم سیاه^۱ برابر ۵۷۶۲ درجه کلوین^۲ است. این بدان معنی است که مقدار انرژی حاصل از خورشید برابر انرژی بدست آمده از جسم سیاهی است که درجه حرارت آن ۵۷۶۲ درجه کلوین باشد. درجه حرارت نواحی داخلی و مرکزی خورشید به گونه‌های متفاوت از ۸×۱۰^۸ تا ۴۰×۱۰^۸ درجه کلوین و وزن مخصوص آن در حدود صد برابر وزن مخصوص آب تخمین زده شده است. جرم خورشید تقریباً $۳۳۲,۰۰۰$ برابر جرم زمین است. متوسط وزن مخصوص زمین در حدود $۵/۵$ و در حالیکه متوسط وزن مخصوص خورشید $۱/۴$ برابر وزن مخصوص آب است.

۴۷. حرکات ظاهری خورشید^۳

خورشید دارای دو حرکت ظاهری است. یکی نسبت به زمین از مشرق به مغرب که بعلت حرکت دورانی زمین به دور محورش، از مغرب به مشرق، ظاهر می‌شود و می‌دانیم که حرکت دورانی زمین موجب پیدایش شب و روز است. حرکت ظاهری دیگر خورشید نسبت به ستارگان ثابت بر روی کره سماوی است.

چنانکه وضعیت خورشید نسبت به ستارگان دیگر دقیقاً بر روی کره سماوی بطور مداوم رصد شود، دیده خواهد شد که محل‌های بدست آمده، برای خورشید بر روی کره سماوی، بر روی دایره عظیمه‌ای قرار خواهد گرفت که سطح آن با سطح دایره استوای سماوی، زاویه‌ای تقریباً برابر $۲۳/۴۵$ درجه خواهد ساخت. این دایره عظیمه قبلاً بعنوان دایره اکلیپتیک^۴ و یا دایره البروج تعریف شده است. علت نام‌گذاری اصطلاح اکلیپتیک بدان سبب است که خورشید و ماه گرفتگی^۵ زمانی صورت می‌پذیرد که مسیر ماه این دایره عظیمه را قطع کند.

این حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایره البروج، سالی یک بار صورت می‌پذیرد. بدین ترتیب که خورشید از طرف مغرب بجانب مشرق بر روی دایره البروج از جنوب دایره استوای سماوی بطرف شمال بالا آمده، دایره استوای سماوی را در نقطه اعتدال

1. Effective Black-body Temperature

2. Kelvin

3. Apparent Motions of the Sun

4. Ecliptic

5. Eclipses

بهاری 'قطع می کند. این عمل در اوّل بهار (اوّل فروردین ماه و یا حدود ۲۱ مارس) انجام می پذیرد.

بعد از بیان حرکت انتقالی زمین به دور خورشید و چگونگی بوجود آمدن فصول چهارگانه، در مورد حرکات ظاهری خورشید، مطلب بیشتری خواهد آمد.

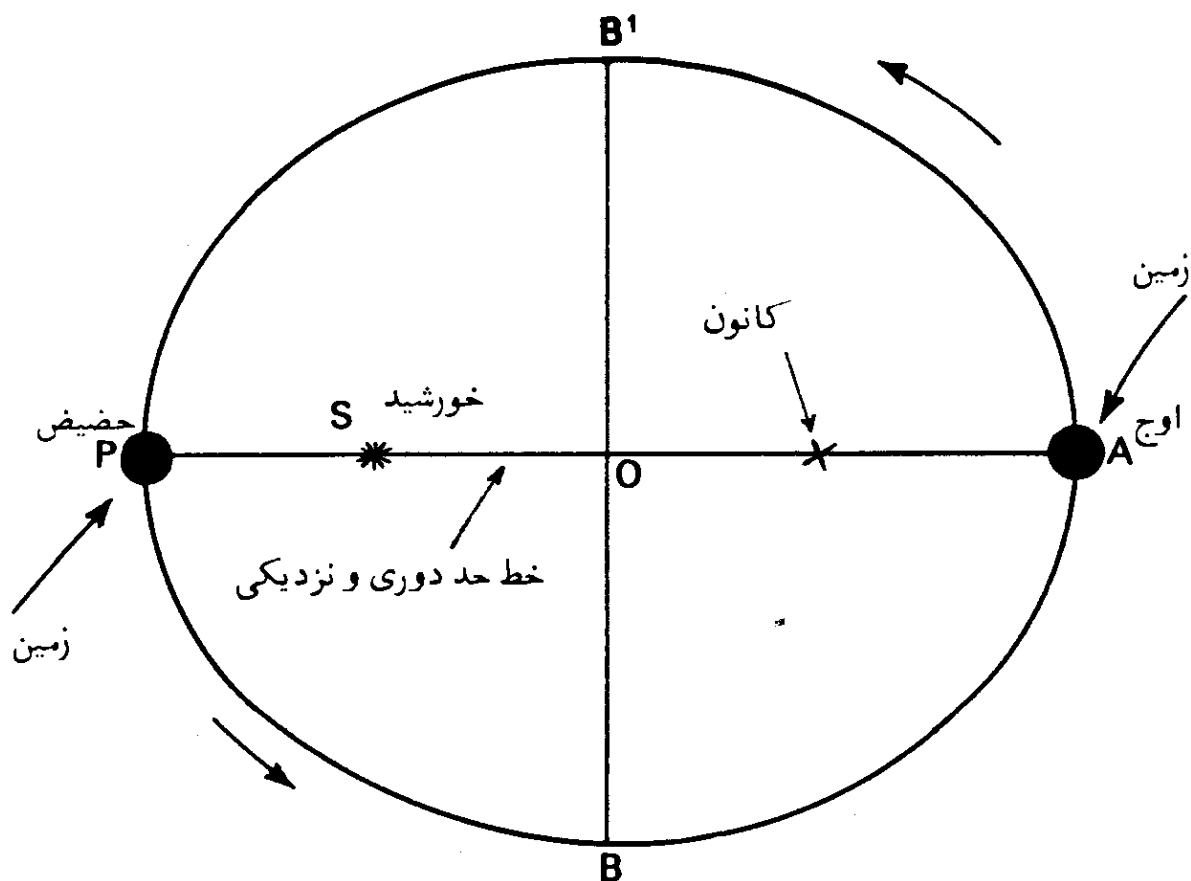
۴۸. حرکت مداری زمین به دور خورشید^۲

حرکات خورشید ظاهری است و حقیقی نمی باشد. به همان گونه که حرکت ظاهری روزانه خورشید ناشی از حرکت وضعی زمین است، تغییرات ظاهری میل و بُعد خورشید نیز ناشی از حرکت سالانه زمین به دور خورشید می باشد. بنابراین زمین دارای دو حرکت واقعی است؛ یکی حرکت وضعی و یا حرکت دورانی آن حول محورش، که موجب حرکت ظاهری روزانه خورشید است، و دیگری حرکت انتقالی و یا مداری سالیانه به دور خورشید که موجب پیدایش حرکت ظاهری سالانه خورشید در امتداد دایرة البروج، می باشد. جهت حرکت سالیانه زمین، مانند حرکت روزانه اش به دور خود، از طرف مغرب بجانب مشرق است.

زمین در طی یک سال، یک بار در مسیری تقریباً دایره ای شکل و در جهت مغرب به مشرق به دور خورشید می گردد. شعاع تقریبی مسیر دایره ای شکل در حدود ۹۳ میلیون مایل است. بصورت دقیق تر، مدار حرکت زمین به شکل یک بیضی است که خورشید در یکی از کانونهای آن قرار دارد. در این صورت فاصله خورشید و زمین در طول سال متغیر است. مدار حرکت زمین تقریباً در یک صفحه واقع است که مدار حرکت ظاهری سالانه خورشید نیز در همان صفحه است، و به همین دلیل، دایرة البروج بعنوان فصل مشترک صفحه مدار حرکت انتقالی زمین و کره سماوی نیز تعریف شد.

چنانکه می دانیم صفحه دایرة البروج با صفحه استوا، زاویه ای برابر ۲۳° و $۲۷'$ می سازد. به همین دلیل محور چرخشی زمین، زاویه ای برابر ۶۶° و $۳۳'$ با صفحه دایرة البروج دارد و امتداد محور در طی سال، بموازات خود بوده و تقریباً ثابت است. سرعت حرکت انتقالی زمین به دور خورشید بطور متوسط $۱۸/۵$ مایل در ثانیه است.

در شکل (۳۲-۶) مسیر بیضی شکل حرکت انتقالی زمین به دور خورشید توسط



شکل (۶-۳۲) — مسیر بیضی شکل حرکت انتقالی زمین به دور خورشید.

بیضی AB^1PB نمایانده شده است. خورشید در یکی از کانونهای بیضی، در نقطه S قرارداد و نقطه O مرکز بیضی است. نسبت طول OS به OP به نام خروج از مرکز^۱ نامیده می‌شود. خروج از مرکز (e) بیضی را می‌توان توسط طولهای قطر اطول^۲ (a) و قطر اقصر^۳ (b) بیضی نیز توسط فرمول زیر بیان کرد:

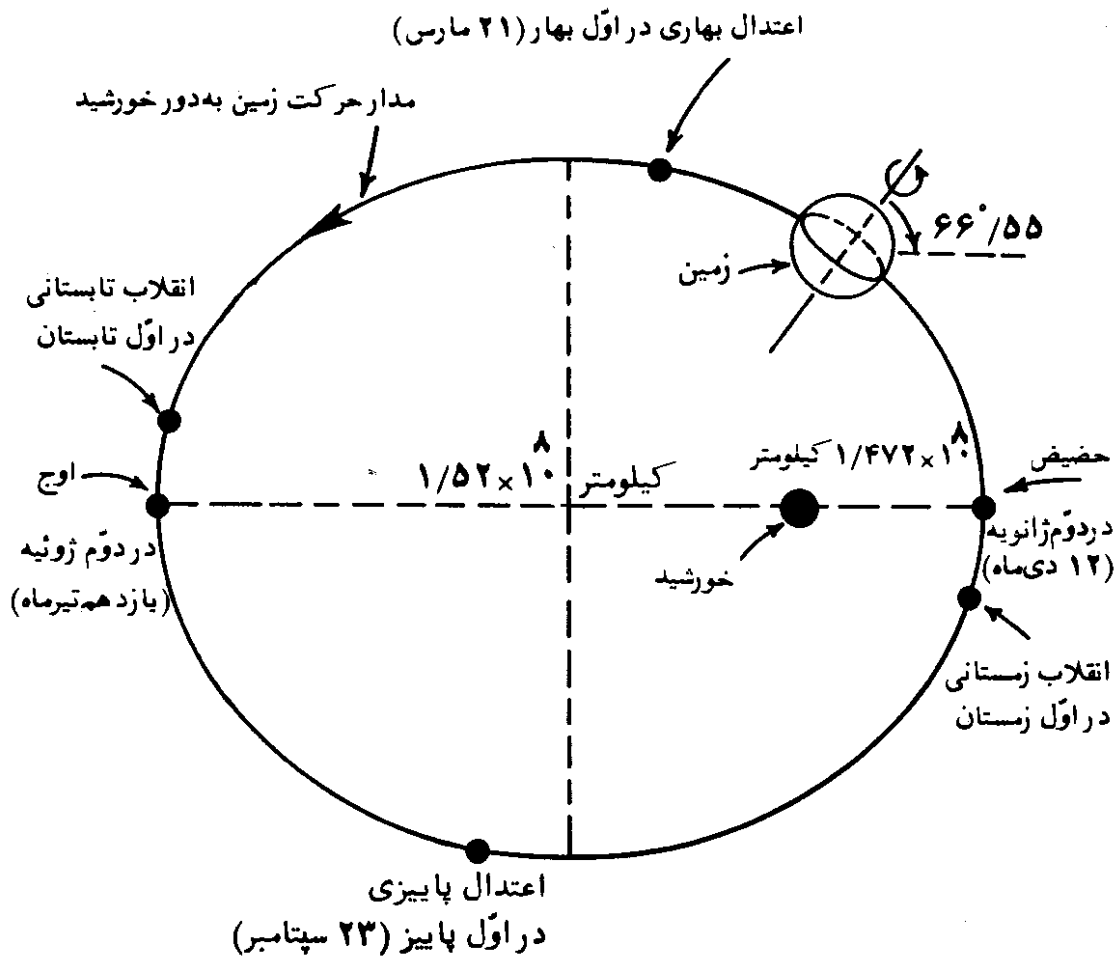
$$e = \frac{\sqrt{a^2 - b^2}}{a} \quad (۶-۱۶)$$

$$e = \frac{OS}{OP} \quad \text{که}$$

$$OS = e \times OP = e \times OA \quad \text{و یا}$$

در شکل (۶-۳۳) ابعاد مسیر بیضی شکل حرکت انتقالی زمین داده شده است. خروج از مرکز مدار حرکت زمین $\frac{1}{60}$ است. خروج از مرکز را نباید با بیضویت^۴ که

نمایانگر پهن شدگی^۱ و یا فشردگی زمین در دو قطب آنست، اشتباه گرفت. این کمیت نیز قبلاً تعریف شده و مقدارش $\frac{1}{۲۹۷}$ است.



شکل (۶-۳۳) - ابعاد سیبری بیضی شکل حرکت انتقالی زمین به دور خورشید.

در شکل (۶-۳۲) نقاط P و A انتهای قطر اطول بیضی هستند. جهت حرکت زمین توسط علامت سهم (→) نمایانده شده است. در حوالی دوازدهم دی ماه (دوم ژانویه) زمین به نقطه P می رسد که دارای نزدیکترین فاصله از خورشید است. در این حالت گفته می شود که زمین در نقطه حضیض^۲ است. در حوالی یازدهم تیرماه (دوم ژوئیه) زمین به نقطه A می رسد که دارای دورترین فاصله از خورشید است که نقطه اوج^۳ نام دارد. فاصله زمانی دو حالت اوج و حضیض در حدود ۶ ماه است. وقتی که زمین نسبت به خورشید در نقطه حضیض است، در آن صورت خورشید نسبت به زمین، در نقطه حضیض خورشیدی^۴ است. همچنین وقتی که زمین نسبت به خورشید در نقطه اوج است، خورشید نسبت به زمین در اوج خورشیدی^۵ است. خط واصل بین دو نقطه حضیض و

1. Flattening
2. Perihelion
3. Aphelion
4. Perigee
5. Apogee

اوج، به نام خط حدّ دوری و نزدیکی^۱ موسوم است.

سرعت زاویه‌ای زمین در وضعیت حضيض، بیشترین و در نقطه اوج کمترین مقدار

آن است.

۴۹. فصول^۲

در طول مدتی که زمین در مسیر بیضی شکل، به دور خورشید می‌گردد، امتداد محور آن به موازات خود باقی مانده و زاویه آن با سطح مدار در حدود $66/55^\circ$ است. مایل بودن^۳ محور چرخشی زمین نسبت به سطح مداری آن، موجب بوجود آمدن فصول است.

برای تشریح فصول چهارگانه، مدار حرکت انتقالی زمین به دور خورشید در شکل (۳۴-۶) نشان داده شده است. در وضعیت ۱، زمین در نقطه‌ای از مدار قرار می‌گیرد که انتهای شمالی محور چرخشی آن بطرف خورشید است. در اوّل تیرماه (۲۲ ژوئن) چنین بنظر می‌رسد که خورشید در شمالی‌ترین وضعیت خود قرار گرفته و در مناطق شمالی خط استوا طول روزها بلندترین و طول شبها کوتاه‌ترین اندازه را دارد و این آغاز فصل تابستان در نیمکره شمالی است. این وضعیت زمین، انقلاب تابستانی^۴ نامیده می‌شود. در این وضعیت، اشعه خورشید بر روی مدار رأس السرطان، از بالای سر، بصورت قائم می‌تابد و کلیه نقاط واقع بر این مدار، خورشید را در نیمه روز درست در بالای سر خواهند داشت. عرض مدار رأس السرطان $23/45^\circ$ شمالی است که متمم $66/55^\circ$ درجه می‌باشد.

در وضعیت ۲، در اوّل مهرماه (۲۳ سپتامبر)، خورشید بر روی امتداد صفحه دایره استوا قرار می‌گیرد، بنابراین خورشید، بصورت قائم بر دایره استوا می‌تابد. این وضعیت شروع فصل پاییز است. در شروع فصل پاییز، طول شب و روز در تمام نقاط روی کره زمین برابر است. لحظه قرارگیری خورشید بر روی امتداد صفحه استوا در اوّل پاییز، به نام اعتدال پاییزی^۵ موسوم است. در این وضعیت، محور زمین بر خط واصل بین زمین و خورشید عمود است.

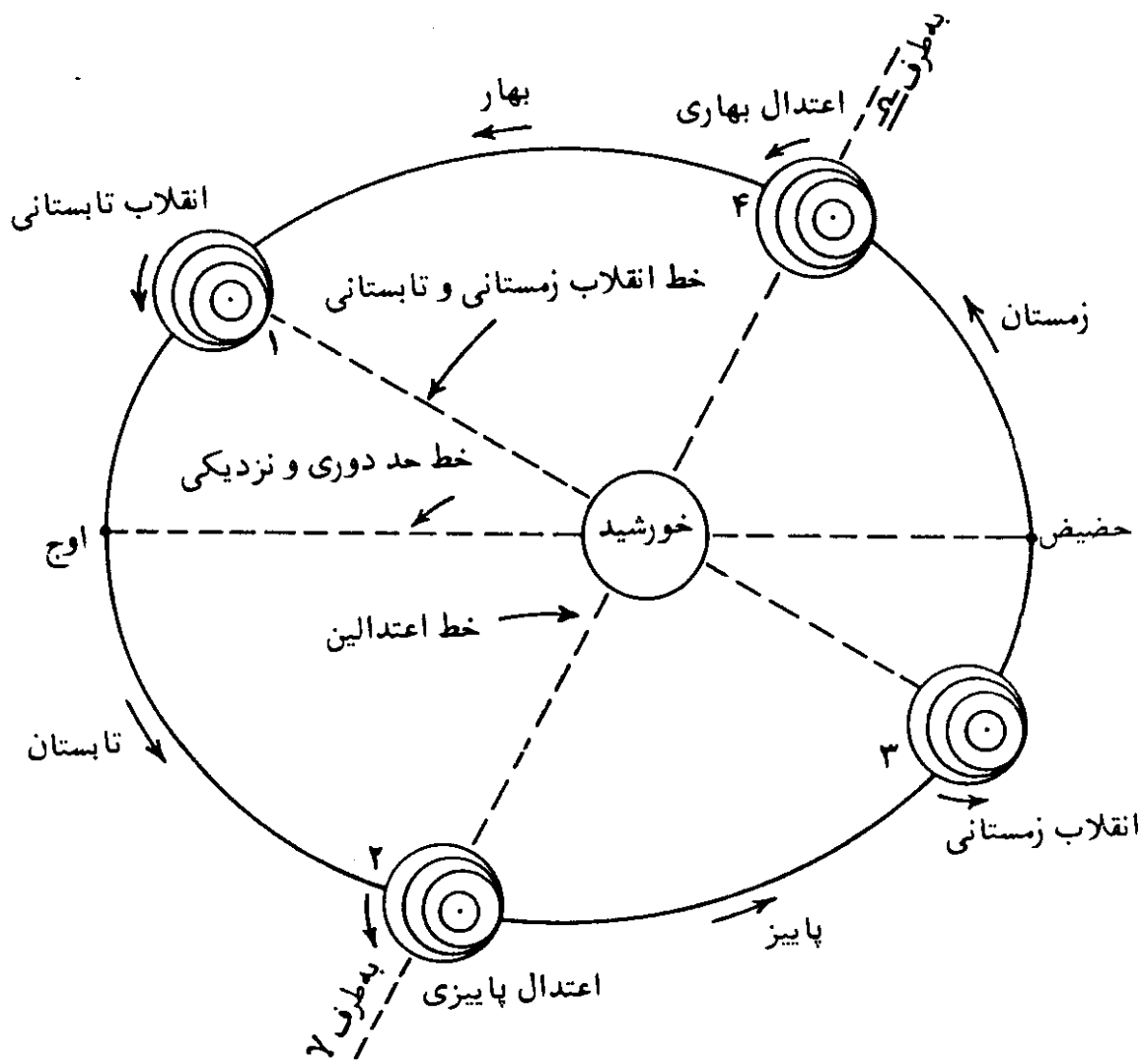
1. Apse Line

2. The Seasons

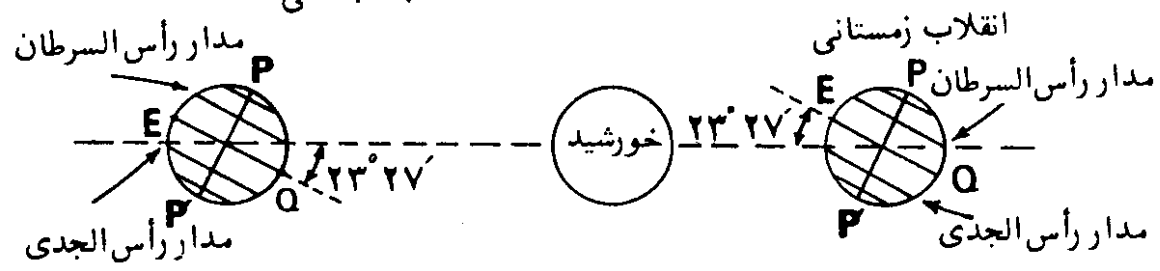
3. Inclination

4. Summer Solstice

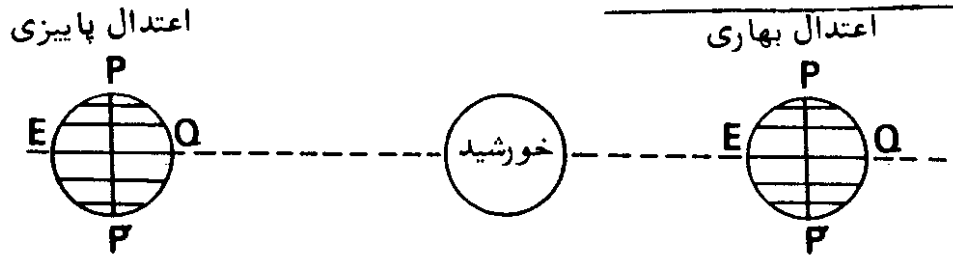
5. Autumnal Equinox



الف - سطح مدار حرکت انتقالی زمین



ب - مقطع خط انقلاب زمستانی و تابستانی



ج - مقطع خط اعتدالین

شکل (۶-۳۴) - اثر حرکت سالیانه زمین در بوجود آمدن چهار فصل.

در وضعیت ۳، زمین در نقطه‌ای از مدار خود قرار می‌گیرد که نقطه شمالی محور

آن بدور از خورشید است. در این حالت، خورشید در منتهالیه وضعیت جنوبی خود قرار دارد و این شروع زمستان، در نیمکره شمالی در اوّل دی ماه (۲۲ دسامبر) است. در این حالت، روزها کوتاه‌تر و شبها بلندتر از همیشه است. این وضعیت زمین در اوّل زمستان، به انقلاب زمستانی^۱ موسوم است. در این وضعیت اشعه خورشید بر روی مدار رأس الجذی از بالای سر بصورت قائم می‌تابد و کلیه نقاط واقع بر این مدار، خورشید را در نیمه روز درست در بالای سر خواهند داشت. عرض مدار رأس الجذی ۲۳/۴۵ جنوبی است که متمم ۶۶/۵۵ است.

در وضعیت ۴، در اول فروردین ماه (۲۱ مارس)، دوباره خورشید بر امتداد صفحه دایره استوای زمین قرار می‌گیرد و این شروع فصل بهار و طول شب و روز همه‌جا بر روی زمین برابر می‌شوند. لحظه شروع این وضعیت به اعتدال بهاری^۲ موسوم است. خط اعتدالین^۳، در شکل (۳۴-۶)، فصل مشترک دایره البروج و دایره استوای سماوی است و بر خط انقلاب تابستانی و زمستانی^۴ عمود است.

شروع فصول در نیمکره جنوبی درست برعکس نیمکره شمالی است؛ بدین معنی که وقتی در نیمکره شمالی فصل تابستان شروع می‌شود، در نیمکره جنوبی، زمستان آغاز می‌گردد.

با توجه به مطالب ذکر شده، سرد بودن هوا در زمستان بعلت دو دلیل زیر

است:

۱. کوتاه بودن طول روزها در زمستان.
 ۲. اشعه خورشید که بر روی زمین می‌تابد نسبت به فصول دیگر، متمایلتر است، یعنی از خط عمود بر سطح، بیشتر فاصله دارد، و این مطلب میزان قدرت دریافتی از نور خورشید را کاهش می‌دهد.
- گرچه در فصل زمستان، زمین به خورشید نزدیکتر است، اما این مطلب اثر کمی در گرمتر کردن هوا دارد. مقدار انرژی دریافتی از خورشید بر روی زمین، بمدت زمان تابش خورشید (طول روز) و ارتفاع شعاع تابش آن، بستگی دارد.
- بعلت اثر پوششی^۵ و ذخیره‌ای^۶ اتمسفر زمین، حداکثر و حداقل درجه حرارت بر روی کره زمین، به ترتیب در شروع وضعیتهای ۱ و ۳ اتفاق نمی‌افتد و افزایش و یا کاهش درجه حرارت در حدود دو ماه، بطول می‌انجامد.

1. Winter Solstice

2. Vernal Equinox

3. Line of Equinoxes

4. Line of Solstices

5. Blanketing

6. Storage

۵۰. وضعیتهای ظاهری خورشید^۱ در فصول مختلف

حال می‌توانیم به مطلب حرکات ظاهری خورشید که در مطلب شماره (۴۷) در این فصل، مورد بررسی قرار گرفت، برگردیم.

در شکل (۳۵-۶)، قسمت (ب)، وضعیتهای ظاهری روزانه خورشید در فصول مختلف نمایانده شده است. حال به مطالعه این شکل، در رابطه با قسمت (الف) آن می‌پردازیم. بدین ترتیب که در قسمت (الف)، حرکت ظاهری سالیانه خورشید بر روی دایرة البروج و در قسمت (ب)، مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید در فصول گوناگون، مورد بررسی قرار می‌گیرد. چنانکه از شکل قسمت (الف) پیداست، با ادامه حرکت ظاهری سالیانه خورشید بر روی دایرة البروج، میل خورشید بطور دائم تغییر می‌کند. بعلت تغییر میل خورشید، مسیر ظاهری روزانه خورشید در هر روز نسبت به روز قبل تغییر می‌یابد. بدین ترتیب مسیر ظاهری روزانه خورشید، یک دایرة کامل نیست و بلکه مجموعه حرکات روزهای متمادی بصورت یک منحنی مارپیچی^۲ و یا فنری شکل است.

اما به منظور ساده‌تر کردن تشریح مسئله، فرض بر این است که میل خورشید در طول یک روز ثابت باشد و اندازه میل خورشید در طلوع خورشید، در تمام طول روز، به همان اندازه باقی بماند. در نتیجه، همچنانکه در قسمت (ب)، شکل (۳۵-۶) نمایانده شده، مسیرهای روزانه، بموازات هم نشان داده شده و دیگر بصورت فنری شکل نیستند.

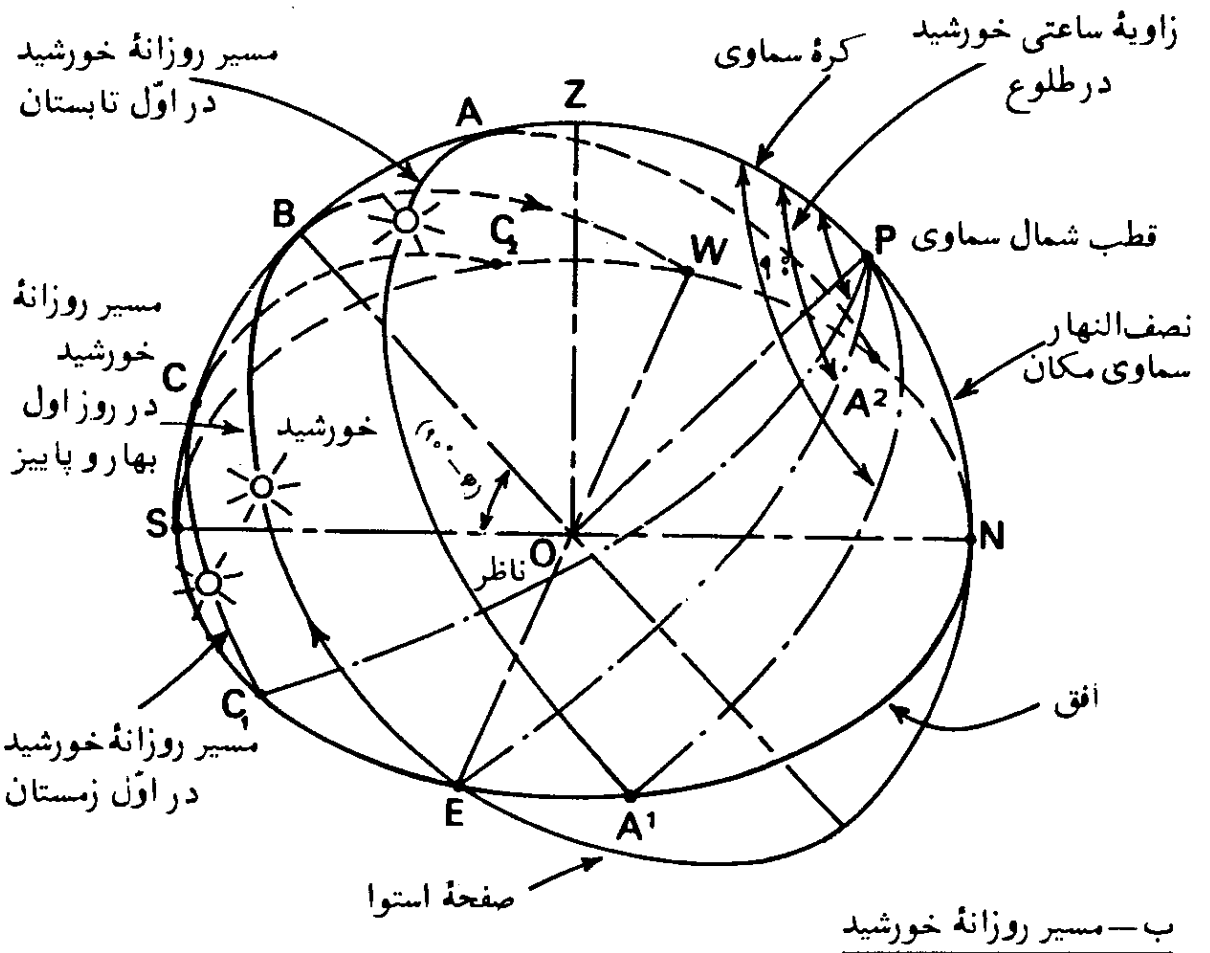
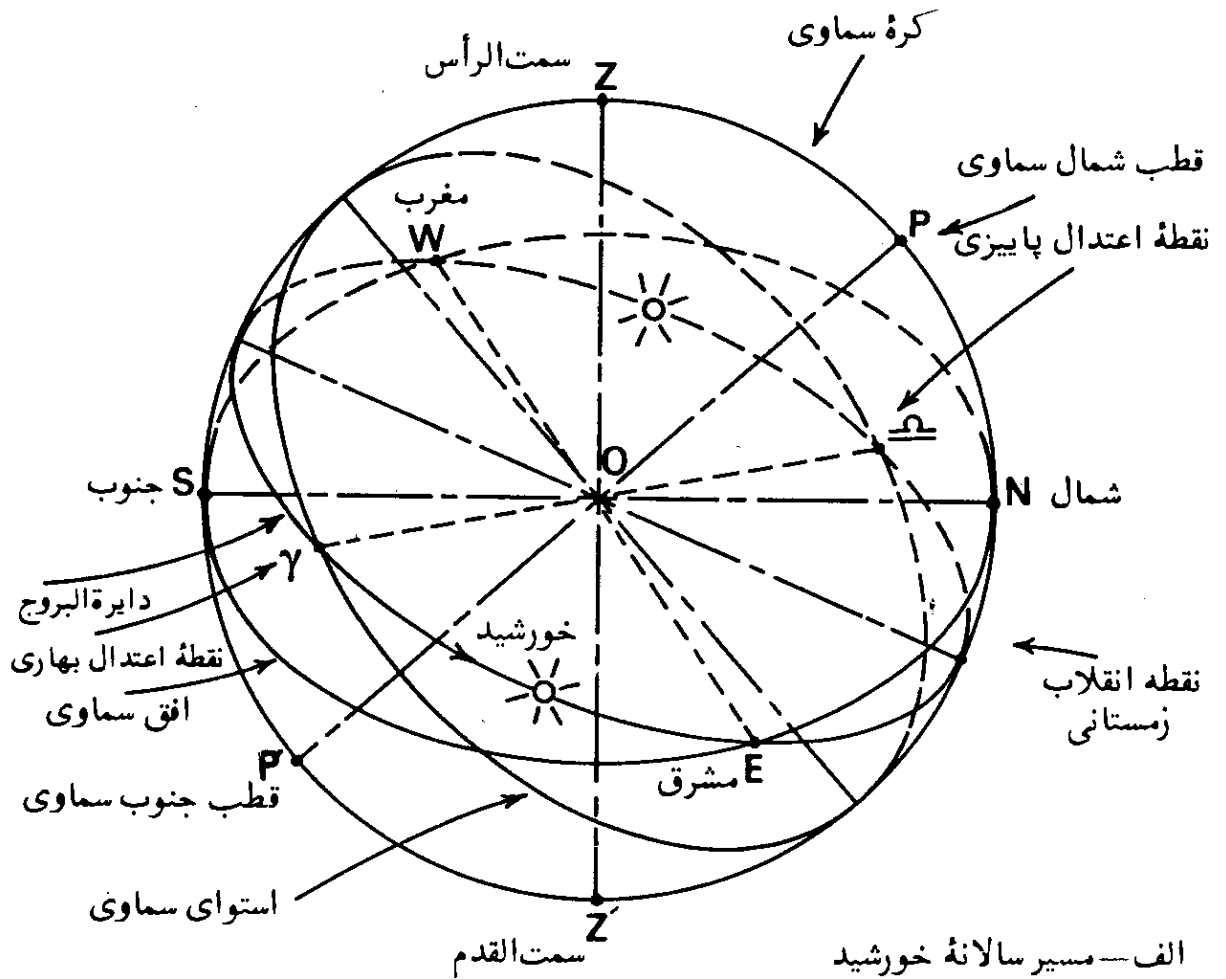
در روز اول بهار، خورشید بر روی نقطه اعتدال بهاری (۷)، در شکل قسمت (الف)، قرار داشته و میل آن صفر درجه است. در این روز مسیر حرکت ظاهری روزانه خورشید، در امتداد دایرة استوا بوده و از نقطه مشرق (E) افق طلوع و در نقطه مغرب (W) آن غروب می‌کند. بدین ترتیب زاویه ساعتی خورشید در نقطه E، $(EPZ = 90^\circ)$ است.

در نقطه W، زاویه ساعتی آن، بهنگام غروب نیز دوباره 90° خواهد بود. به همین سبب طول شب و روز در این روز برابر است. در روز اول بهار، ارتفاع نصف-النهاری خورشید^۳ (SB) در هر محلی برابر متمم عرض جغرافیایی $(90^\circ - \varphi)$ آن محل

1. Apparent Positions of the Sun

2. Spiral Curve

3. Meridian Altitude of the Sun



شکل (۶-۳۵) - وضعیت‌های ظاهری خورشید در فصول مختلف.

خواهد بود. این مطلب را می توان بسادگی از فرمول شماره (۱-۱)، مذکور در فصل اول، نیز نتیجه گرفت؛ بدین ترتیب کافی است که در این فرمول اندازه میل خورشید را برابر صفر ($\delta = 0^\circ$) بگیریم و در نتیجه خواهیم داشت $\alpha = (90^\circ - \varphi)$ (ارتفاع). با ادامه حرکت ظاهری سالانه خورشید بر روی دایرة البروج، از نقطه (Y) به بعد، اندازه میل خورشید مرتباً افزایش می یابد. در نقطه (M)، نقطه انقلاب تابستانی، میل خورشید به بیشترین میزان آن یعنی $\delta = +23/45^\circ$ در روز اول تابستان می رسد. مسیر $\widehat{A^1AA^2}$ نمایانگر مسیر خورشید در این روز است. خورشید در حالی از نقطه A^1 طلوع می کند که زاویه ساعتی آن $(\widehat{A^1PZ})$ بیشتر از 90° درجه است. بهنگام غروب در نقطه A^2 نیز زاویه ساعتی آن بیشتر از 90° درجه خواهد بود. بدین سبب روز اول تابستان، طولانی ترین روز است و ارتفاع نصف النهاری خورشید (SA) نیز بیشترین اندازه را خواهد داشت.

در روز اول پاییز، دوباره میل خورشید برابر صفر درجه شده و مسیر حرکت آن مانند روز اول بهار در امتداد دایرة استوا قرار می گیرد و طول شب و روز برابر می شود. با ادامه حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایرة البروج، میزان میل خورشید بطرف جنوب دایرة استوا افزایش می یابد. در روز اول زمستان، اندازه جنوبی میل خورشید $(\delta = -23/45^\circ)$ بیشترین مقدار است. مسیر $\widehat{C^1CC^2}$ ، نمایانگر مسیر خورشید در این روز است. خورشید در حالی از نقطه C^1 طلوع می کند که زاویه ساعتی آن $(\widehat{C^1PZ})$ کمتر از 90° درجه است. بهنگام غروب در نقطه C^2 نیز زاویه ساعتی آن کمتر از 90° خواهد بود. بدین سبب طول شب بیشتر از طول روز است.

۵۱. تقویم نجومی دریانوردی^۱

ابتدا باید جدول نجومی^۲ را شرح داد. جدول نجومی، مجموعه ای است که در فواصل زمانی منظم منتشر شده و در آن، موقعیت و وضعیت روزانه خورشید، ماه، سیارات و بعضی ستاره ها به همراه سایر اطلاعات مورد لزوم دریانوردان و اخترشناسان، داده می شود.

تقویم نجومی دریانوردی یک جدول نجومی است که سالیانه منتشر می شود،

بدین ترتیب که تقویم نجومی هر سال از چند سال قبل در دسترس است. تقویم نجومی، اولین بار در سال ۱۷۶۷ منتشر شد اما از سال ۱۹۶۰ به بعد با نام همان جدول نجومی، منتشر می‌شود. فرم خلاصه شده آن، برای استفاده در دریانوردی، با همان اسم قبلی تقویم نجومی دریانوردی انتشار می‌یابد. در فرم خلاصه شده دقت اطلاعات در حد دقتی است که از اندازه‌گیریهای انجام شده با سکستانت^۲ حاصل می‌شود. محتویات جدول نجومی و جدول نجومی آمریکایی^۳ یکی است.

۵۲. میل خورشید^۴

در فصل اول، در بخش (۱-۲) که تعیین عرض جغرافیایی با وسایل ساده، تشریح شد، دیدیم که به مقادیر میل خورشید نیاز پیدا می‌شود. بعلاوه به این مقادیر در سایر موارد نیز نیاز است. میل خورشید را می‌توان به طرق مختلف بدست آورد. ممکن است آن را از جداول نجومی استخراج کرد. میل خورشید یک کمیت متغیر است و در جدول نجومی، مقادیر روزانه میل خورشید حقیقی^۵ (ظاهری، آنچنانکه بنظر می‌رسد) و خورشید میانگین^۶ برحسب زمان شمسی ظاهری و زمان شمسی متوسط، به وقت نیمه‌شب گرینیچ به همراه تغییرات ساعتی آن در نیمه‌شب گرینیچ، داده شده است. تغییرات ساعتی داده شده در نیمه‌شب برحسب علامت آن ممکن است در حال اضافه شدن (علامت +) و یا در حال کم شدن (علامت -) باشد و میزان تغییر برای ساعات دیگر ثابت نیست و ساعت بساعت فرق می‌کند.

برای تعیین میل خورشید در هر ساعتی به وقت گرینیچ، می‌بایست از راه درون‌یابی^۷ (انترپولاسیون) مابین مقادیر داده شده در جدول، آن را بدست آورد. اگر فرض کنیم مقدار تغییر میل خورشید یکسان و برابر مقدار تغییر در نیمه مدت زمان در نظر گرفته شده باشد، می‌توان با استفاده از دو مقدار متوالی جدول از راه درون‌یابی خطی^۸، میل خورشید را در وقت معین بسادگی محاسبه کرد؛ در غیر این صورت می‌بایست تفاضلهای بیشتری را در محاسبه، وارد ساخت.

در اینجا مثالی را آورده‌ایم که تغییر میل خورشید برای ۲۴ ساعت داده شده

- | | | |
|---------------------------|-------------------------|-----------------------|
| 1. Astronomical Ephemeris | 2. Sextant | 3. American Ephemeris |
| 4. Sun's Declination | 5. Real (Apparent) Sun | 6. Mean Sun |
| 7. Interpolation | 8. Linear Interpolation | |

است، بعبارت دیگر تفاوت میل خورشید در دو روز متوالی در نظر گرفته شده است.

مثال (۶-۱) - میل خورشید را در ساعت ۱۰ صبح پنجم ماه فوریه سال ۱۹۴۷ در طول جغرافیایی 45° شرقی، محاسبه کنید.

مقادیر میل خورشید در روزهای پنجم و ششم فوریه و مقدار تغییر آن در یک روز به شرح زیر از جدول نجومی گرفته شده است:

تاریخ	میل خورشید به وقت متوسط گرینویچ ^۱ در نیمه شب
پنجم فوریه	$-16^\circ 14' 24''$
	$+1083''/9$

ششم فوریه	$-15^\circ 56' 20''/1$
	$+1083''/9 - (-16^\circ 14' 24'') = -15^\circ 56' 20''/1$

راه حل - اول وقت معادل نصف النهار 45° شرقی را بر حسب وقت گرینویچ حساب می کنیم: از آنجاییکه هر 15° معادل یک ساعت است پس،

$$\text{ساعت } 3 = \frac{45}{15} = \text{طول جغرافیائی } 45^\circ \text{ شرقی}$$

چون محل، در مشرق نصف النهار گرینویچ است، بنابراین وقت آن جلوتر از وقت گرینویچ است و لذا وقتی که در آن محل، ساعت ۱۰ صبح است، در گرینویچ ساعت،

$$\text{صبح } 7 - 3 = 10 - \text{وقت گرینویچ}$$

است و در نتیجه، اندازه میل خورشید با استفاده از درون یابی ساده خطی، خواهد شد:

$$\delta = -16^\circ 14' 24'' + \frac{7}{24} \times (1083''/9) = -16^\circ 9' 7''/86$$

چنانکه جدول نجومی در دسترس نباشد، می توان برای بدست آوردن میل از فرمول زیر استفاده کرد:

$$\sin \delta = -\cos \left[(D_s - 1) \frac{180^\circ}{182/6} \right] \sin (23^\circ/45) \quad (6-17)$$

که در آن

δ = میل خورشید بر حسب درجه

D_s = شماره روز سال خورشیدی

در این فرمول D_s در سال میلادی بدین ترتیب در نظر گرفته می شود که در روز ۲۱ دسامبر $D_s = 1$ و در روز بیستم دسامبر سال بعد $D_s = 365$ است. برای بدست آوردن

روزهای هر ماه می‌توان از جدول (۷-۴) در فصل هفتم استفاده کرد.

مثال (۶-۲)— میل خورشید را برای مثال (۶-۱)، با استفاده از فرمول (۶-۱۷)،

محاسبه کنید.

راه حل— با استفاده از فرمول (۶-۱۷) فقط میل خورشید برای روز معین، محاسبه می‌شود و سال مربوط، و ساعت روز دخالتی در فرمول ندارند. البته می‌توان میل خورشید را برای دو روز متوالی محاسبه کرده، سپس بین مقادیر بدست آمده برای ساعت مورد نظر، از طریق درون‌یابی، میل را بدست آورد. طریق استفاده از فرمول (۶-۱۷) در این مثال به شرح زیر است:

$$Ds = ۱۱ \text{ (کسر ماه دسامبر)} + ۳۱ \text{ (ژانویه)} + ۵ \text{ (فوریه)}$$

$$Ds = ۴۷$$

$$\sin \delta = -\cos \left[(۴۷ - ۱) \frac{۱۸^\circ}{۱۸۲/۶} \right] \sin (۲۳^\circ/۲۵)$$

$$\delta = -۱۶^\circ/۲۴۱۸۵۹$$

$$\delta = -۱۶^\circ ۱۴' ۳۵''/۶۹$$

بالاخره می‌توان با استفاده از جدول (۶-۱)، میل خورشید را برای هر روز سال میلادی استخراج کرد. مقادیر میل اعلام شده در این جدول، معدل چهار ساله یک دوره سال کبیسه است. ممکن است مقادیر میل خورشید برای سالهای بخصوصی، اندکی با مقادیر جدول، متفاوت باشد، اما در انقلاب تابستانی و زمستانی، مقدار تفاوت، قابل اغماض است و در اعتدالین که مقدار تفاوت زیاد است، از ۸ الی ۹ دقیقه در سالهای کبیسه و در سالهای بلافاصله ماقبل آنها بیشتر نمی‌شود. در سالهای دیگر مقدار تفاوت از حدود ۳ دقیقه حتی در اعتدالین، بیشتر نمی‌گردد.

میل خورشید حاصل از این جدول برای مثال (۶-۲)، در پنجم ماه فوریه، برابر:

$$\delta = -۱۶^\circ ۱۵'$$

است.

۵۳. حرکت تقدیمی^۱ (پرسیون) و رقص محوری^۲

حرکت آرام نقاط اعتدالین بطرف مغرب بر روی دایرة البروج، در نجوم، به نام

جدول شماره (۱-۶) - میل خورشید در روزهای سال

روز	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن
۱	۴ -۲۳	۲۰ -۱۷	۴۹ -۷	۱۸ ۴	۵۴ ۱۴	۵۸ ۲۱
۲	۵۹ -۲۲	۳ -۱۷	۲۶ -۷	۴۲ ۴	۱۲ ۱۵	۶ ۲۲
۳	۵۴ -۲۲	۴۶ -۱۶	۳ -۷	۵ ۵	۳۰ ۱۵	۱۴ ۲۲
۴	۴۸ -۲۲	۲۸ -۱۶	۴۰ -۶	۲۸ ۵	۴۷ ۱۵	۲۲ ۲۲
۵	۴۲ -۲۲	۱۰ -۱۶	۱۷ -۶	۵۱ ۵	۵ ۱۶	۲۹ ۲۲
۶	۳۶ -۲۲	۵۲ -۱۵	۵۴ -۵	۱۳ ۶	۲۲ ۱۶	۳۵ ۲۲
۷	۲۸ -۲۲	۳۴ -۱۵	۳۰ -۵	۳۶ ۶	۳۹ ۱۶	۴۲ ۲۲
۸	۲۱ -۲۲	۱۵ -۱۵	۷ -۵	۵۹ ۶	۵۵ ۱۶	۴۷ ۲۲
۹	۱۳ -۲۲	۵۶ -۱۴	۴۴ -۴	۲۱ ۷	۱۲ ۱۷	۵۳ ۲۲
۱۰	۵ -۲۲	۳۷ -۱۴	۲۰ -۴	۴۳ ۷	۲۷ ۱۷	۵۸ ۲۲
۱۱	۵۶ -۲۱	۱۸ -۱۴	۵۷ -۳	۷ ۸	۴۳ ۱۷	۲ ۲۳
۱۲	۴۷ -۲۱	۵۸ -۱۳	۳۳ -۳	۲۸ ۸	۵۹ ۱۷	۷ ۲۳
۱۳	۳۷ -۲۱	۳۸ -۱۳	۱۰ -۳	۵۰ ۸	۱۴ ۱۸	۱۱ ۲۳
۱۴	۲۷ -۲۱	۱۸ -۱۳	۴۶ -۲	۱۱ ۹	۲۹ ۱۸	۱۴ ۲۳
۱۵	۱۶ -۲۱	۵۸ -۱۲	۲۲ -۲	۳۳ ۹	۴۳ ۱۸	۱۷ ۲۳
۱۶	۶ -۲۱	۳۷ -۱۲	۵۹ -۱	۵۴ ۹	۵۸ ۱۸	۲۰ ۲۳
۱۷	۵۴ -۲۰	۱۶ -۱۲	۳۵ -۱	۱۶ ۱۰	۱۱ ۱۹	۲۲ ۲۳
۱۸	۴۲ -۲۰	۵۵ -۱۱	۱۱ -۱	۳۷ ۱۰	۲۵ ۱۹	۲۴ ۲۳
۱۹	۳۰ -۲۰	۳۴ -۱۱	۴۸ -۰	۵۸ ۱۰	۳۸ ۱۹	۲۵ ۲۳
۲۰	۱۸ -۲۰	۱۳ -۱۱	۲۴ -۰	۱۹ ۱۱	۵۱ ۱۹	۲۶ ۲۳
۲۱	۵ -۲۰	۵۲ -۱۰	۰ ۰	۳۹ ۱۱	۴ ۲۰	۲۶ ۲۳
۲۲	۵۲ -۱۹	۳۰ -۱۰	۲۴ ۰	۰ ۱۲	۱۶ ۲۰	۲۶ ۲۳
۲۳	۳۸ -۱۹	۸ -۱۰	۴۷ ۰	۲۰ ۱۲	۲۸ ۲۰	۲۶ ۲۳
۲۴	۲۴ -۱۹	۴۶ -۹	۱۱ -۹	۴۰ ۱۲	۳۹ ۲۰	۲۵ ۲۳
۲۵	۱۰ -۱۹	۲۴ -۹	۳۵ ۱	۰ ۱۳	۵۰ ۲۰	۲۴ ۲۳
۲۶	۵۵ -۱۸	۲ -۹	۵۸ ۱	۱۹ ۱۳	۱ ۲۱	۲۳ ۲۳
۲۷	۴۰ -۱۸	۳۹ -۸	۲۲ ۲	۳۸ ۱۳	۱۲ ۲۱	۲۱ ۲۳
۲۸	۲۵ -۱۸	۱۷ -۸	۴۵ ۲	۵۸ ۱۳	۲۲ ۲۱	۱۹ ۲۳
۲۹	۹ -۱۸	۳ -۸	۹ ۲	۱۶ ۱۴	۳۱ ۲۱	۱۶ ۲۳
۳۰	۵۳ -۱۷	۰ ۰	۳۲ ۲	۳۵ ۱۴	۴۱ ۲۱	۱۳ ۲۳
۳۱	۳۷ -۱۷	۰ ۰	۵۵ ۳	۰ ۰	۵۰ ۲۱	۰ ۰

جدول (۱-۶) - دنباله - میل خورشید در روزهای سال

روز	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
۱	۲۳ ۹	۱۸ ۱۰	۸ ۳۰	-۲ ۵۷	-۱۴ ۱۴	-۲۱ ۴۳
۲	۲۳ ۵	۱۷ ۵۵	۸ ۹	-۳ ۲۰	-۱۴ ۲۴	-۲۱ ۵۲
۳	۲۳ ۱	۱۷ ۴۰	۷ ۴۷	-۳ ۴۴	-۱۴ ۵۳	-۲۲ ۱
۴	۲۲ ۵۶	۱۷ ۲۴	۷ ۲۵	-۴ ۷	-۱۵ ۱۱	-۲۲ ۱۰
۵	۲۲ ۵۱	۱۷ ۸	۷ ۳	-۴ ۳۰	-۱۵ ۳۰	-۲۲ ۱۸
۶	۲۲ ۴۵	۱۶ ۵۲	۶ ۴۰	-۴ ۵۳	-۱۵ ۴۸	-۲۲ ۲۵
۷	۲۲ ۳۹	۱۶ ۳۶	۶ ۱۸	-۵ ۱۶	-۱۶ ۶	-۲۲ ۳۲
۸	۲۲ ۳۳	۱۶ ۱۹	۵ ۵۶	-۵ ۳۹	-۱۶ ۲۴	-۲۲ ۳۹
۹	۲۲ ۲۶	۱۶ ۲	۵ ۳۳	-۶ ۲	-۱۶ ۴۱	-۲۲ ۴۶
۱۰	۲۲ ۱۹	۱۵ ۴۵	۵ ۱۰	-۶ ۲۵	-۱۶ ۵۸	-۲۲ ۵۲
۱۱	۲۲ ۱۱	۱۵ ۲۷	۴ ۴۸	-۶ ۴۸	-۱۷ ۱۵	-۲۲ ۵۷
۱۲	۲۲ ۴	۱۵ ۱۰	۴ ۲۵	-۷ ۱۰	-۱۷ ۳۲	-۲۳ ۲
۱۳	۲۱ ۵۵	۱۴ ۵۲	۴ ۲	-۷ ۳۲	-۱۷ ۴۸	-۲۳ ۷
۱۴	۲۱ ۴۶	۱۴ ۳۳	۳ ۳۹	-۷ ۵۵	-۱۸ ۴	-۲۳ ۱۱
۱۵	۲۱ ۳۷	۱۴ ۱۵	۳ ۱۶	-۸ ۱۸	-۱۸ ۲۰	-۲۳ ۱۴
۱۶	۲۱ ۲۸	۱۳ ۵۶	۲ ۵۳	-۸ ۴۰	-۱۸ ۳۵	-۲۳ ۱۷
۱۷	۲۱ ۱۸	۱۳ ۳۷	۲ ۳۰	-۹ ۲	-۱۸ ۵۰	-۲۳ ۲۰
۱۸	۲۱ ۸	۱۳ ۱۸	۲ ۶	-۹ ۲۴	-۱۹ ۵	-۲۳ ۲۲
۱۹	۲۰ ۵۸	۱۲ ۵۹	۱ ۴۳	-۹ ۴۵	-۱۹ ۱۹	-۲۳ ۲۴
۲۰	۲۰ ۴۷	۱۲ ۳۹	۱ ۲۰	-۱۰ ۷	-۱۹ ۳۳	-۲۳ ۲۵
۲۱	۲۰ ۳۶	۱۲ ۱۹	۰ ۵۷	-۱۰ ۲۹	-۱۹ ۴۷	-۲۳ ۲۶
۲۲	۲۰ ۲۴	۱۱ ۵۹	۰ ۳۳	-۱۰ ۵۰	-۲۰ ۰	-۲۳ ۲۶
۲۳	۲۰ ۱۲	۱۱ ۳۹	۰ ۱۰	-۱۱ ۱۲	-۲۰ ۱۳	-۲۳ ۲۶
۲۴	۲۰ ۰	۱۱ ۱۹	-۰ ۱۴	-۱۱ ۳۳	-۲۰ ۲۶	-۲۳ ۲۶
۲۵	۱۹ ۴۷	۱۰ ۵۸	-۰ ۳۷	-۱۱ ۵۴	-۲۰ ۳۸	-۲۳ ۲۵
۲۶	۱۹ ۳۴	۱۰ ۳۸	-۱ ۰۰	-۱۲ ۱۴	-۲۰ ۵۰	-۲۳ ۲۳
۲۷	۱۹ ۲۱	۱۰ ۱۷	-۱ ۲۴	-۱۲ ۳۵	-۲۱ ۱	-۲۳ ۲۱
۲۸	۱۹ ۸	۹ ۵۶	-۱ ۴۷	-۱۲ ۵۵	-۲۱ ۱۲	-۲۳ ۱۹
۲۹	۱۸ ۵۴	۹ ۳۵	-۲ ۱۰	-۱۳ ۱۵	-۲۱ ۲۳	-۲۳ ۱۶
۳۰	۱۸ ۴۰	۹ ۱۳	-۲ ۳۴	-۱۳ ۳۵	-۲۱ ۳۳	-۲۳ ۱۲
۳۱	۱۸ ۲۵	۸ ۵۲	-۰ ۰۰	-۱۳ ۵۵	-۰ ۰۰	-۲۳ ۸

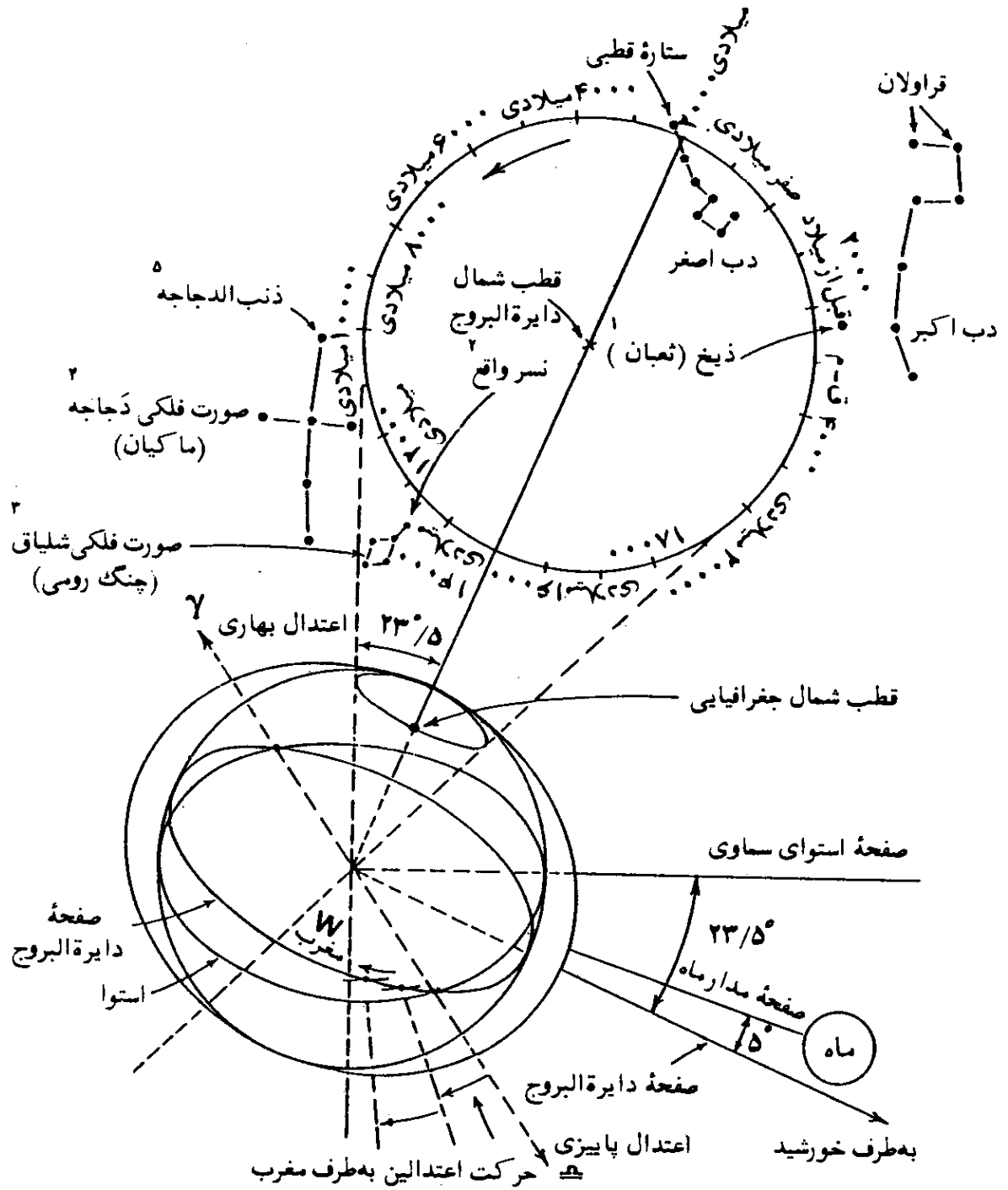
پدیده حرکت تقدیمی شناخته شده است. این حرکت، اساساً بر اثر جذب گرانشی ماه و خورشید بر روی برآمدگی استوایی^۲ زمین در حال چرخش، بوجود آمده است. بدین سبب محور چرخشی زمین از یک امتداد ثابت در فضا خارج شده، مانند محور یک فرفره چرخان^۳، مسیری تقریباً دایره‌ای را به دور قطبهای دایرة البروج^۴ طی می‌کند. البته این مسیر واقعاً قابل تکرار نیست و همیشه یک مسیر، نمی‌باشد. در نتیجه این حرکت محور زمین، وضعیت نقاط اعتدالین تغییر می‌یابد.

سرعت حرکت چرخشی زمین به دور خود در خط استوا، برابر $1,037$ مایل در ساعت است. این چرخش، به هنگامی که زمین هنوز بصورت توده‌ای مذاب بود، موجب برآمدگی ناحیه استوایی شده است. در نتیجه، زمین بجای اینکه به شکل کره‌ای کامل باشد، به شکل یک شبه کره پخت^۵ است. جذب گرانشی، بین یک جسم دوردست و یک شبه کره پخت با آنچه که در مورد یک کره کامل بوجود می‌آید، تا حدی متفاوت است.

مسیر حرکت ظاهری سالیانه خورشید بر پهنه آسمان، یعنی دایرة البروج با صفحه استوای زمین زاویه‌ای برابر 23° و $27'$ دارد. بنابراین صفحه برآمدگی استوای زمین نیز با دایرة البروج زاویه‌ای برابر 23° و $27'$ می‌سازد. صفحه مسیر حرکت ماه به دور زمین نیز زاویه‌ای برابر $18^\circ/5$ تا $28^\circ/5$ با صفحه استوای زمین دارد. بنابراین بجز دو بار در سال، بهنگام اعتدالین که برآمدگی استوایی زمین دایرة البروج را قطع می‌کند، در سایر مواقع خورشید و ماه با جذب گرانشی خود، زمین را بطرف صفحات مداری خود می‌کشند تا تعادل دینامیکی^۶ برقرار گردد. از آنجاییکه ماه به زمین نزدیکتر است، اثر جذب گرانشی آن نیز بیشتر است. زاویه مسیر حرکت ماه به دور زمین با صفحه دایرة البروج، فقط در حدود 5° و $8'$ است و مجموعه اثر جذب گرانشی ماه و خورشید به حرکت تقدیمی اعتدالین در اثر ماه و خورشید^۷ موسوم است، شکل (۳۶-۶).

حرکت تقدیمی اعتدالین در اثر ماه و خورشید، مهمترین نوع آنست و اولین بار، توسط هیپارکوس^۸ در حدود سال ۱۲۵ قبل از میلاد کشف و در اروپا برای نخستین مرتبه توسط اسحق نیوتن^۹ (۱۶۴۲-۱۷۲۷ میلادی) شرح داده شده است.

- | | | |
|------------------------------|---------------------|------------------------|
| 1. Gravitational Attraction | 2. Equatorial Bulge | 3. Top |
| 4. The Poles of the Ecliptic | 5. Oblate Spheroid | 6. Dynamic Equilibrium |
| 7. Lunisolar Precession | 8. Hipparchus | 9. Isaac Newton |

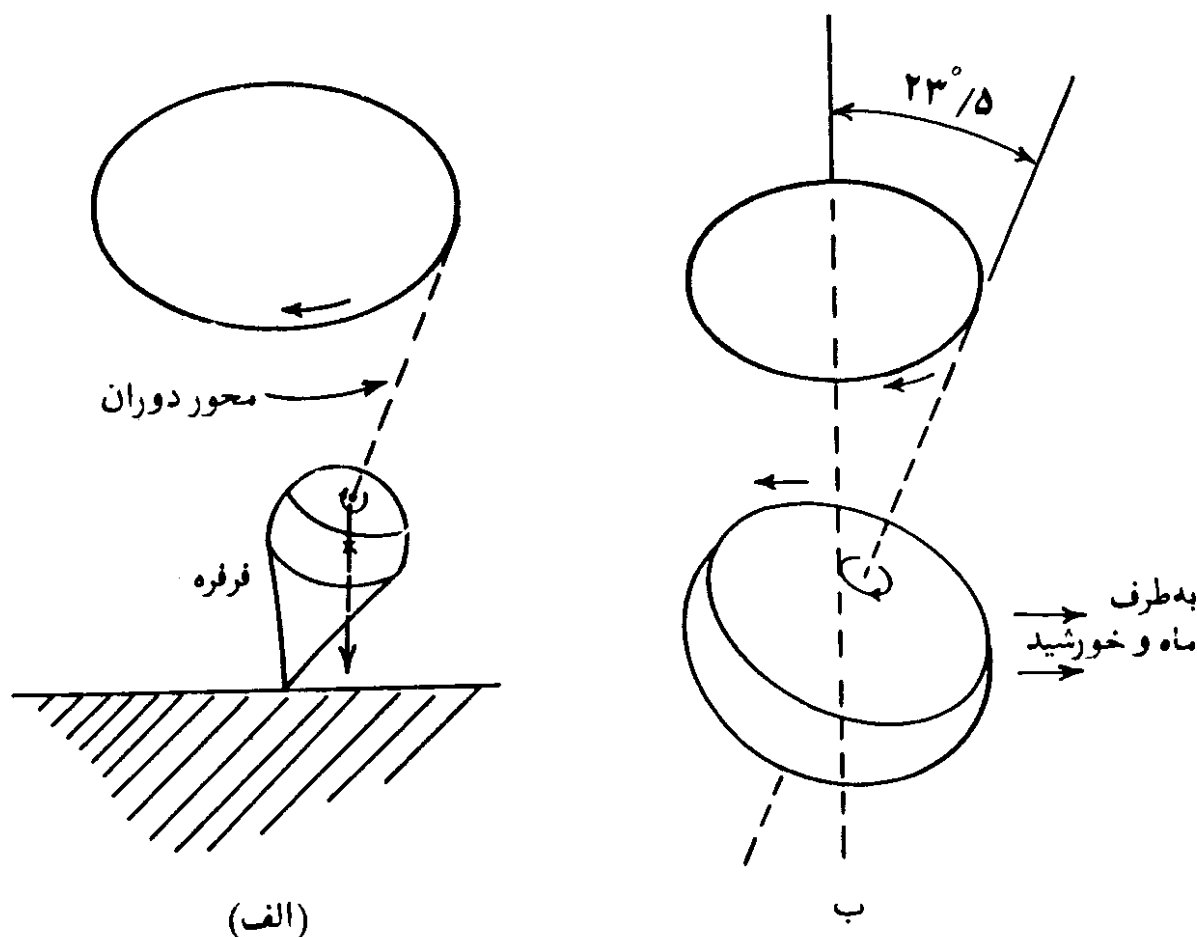


شکل (۶-۳۶) - تقدیم اعتدالین در اثر جاذبه ماه و خورشید.

بعلت حرکت چرخشی زمین به دور محورش، زمین هیچوقت در صفحات مداری ماه و صفحه دایرة البروج قرار نمی‌گیرد. چه، نیروی وارده بر یک جسم چرخان اثری مشابه با آنچه که در مورد یک جسم غیر چرخان اتفاق می‌افتد، ندارد. مثلاً یک فرفره، چنانکه در حال چرخش نباشد، در اثر نیروی جاذبه زمین خواهد افتاد. اما یک

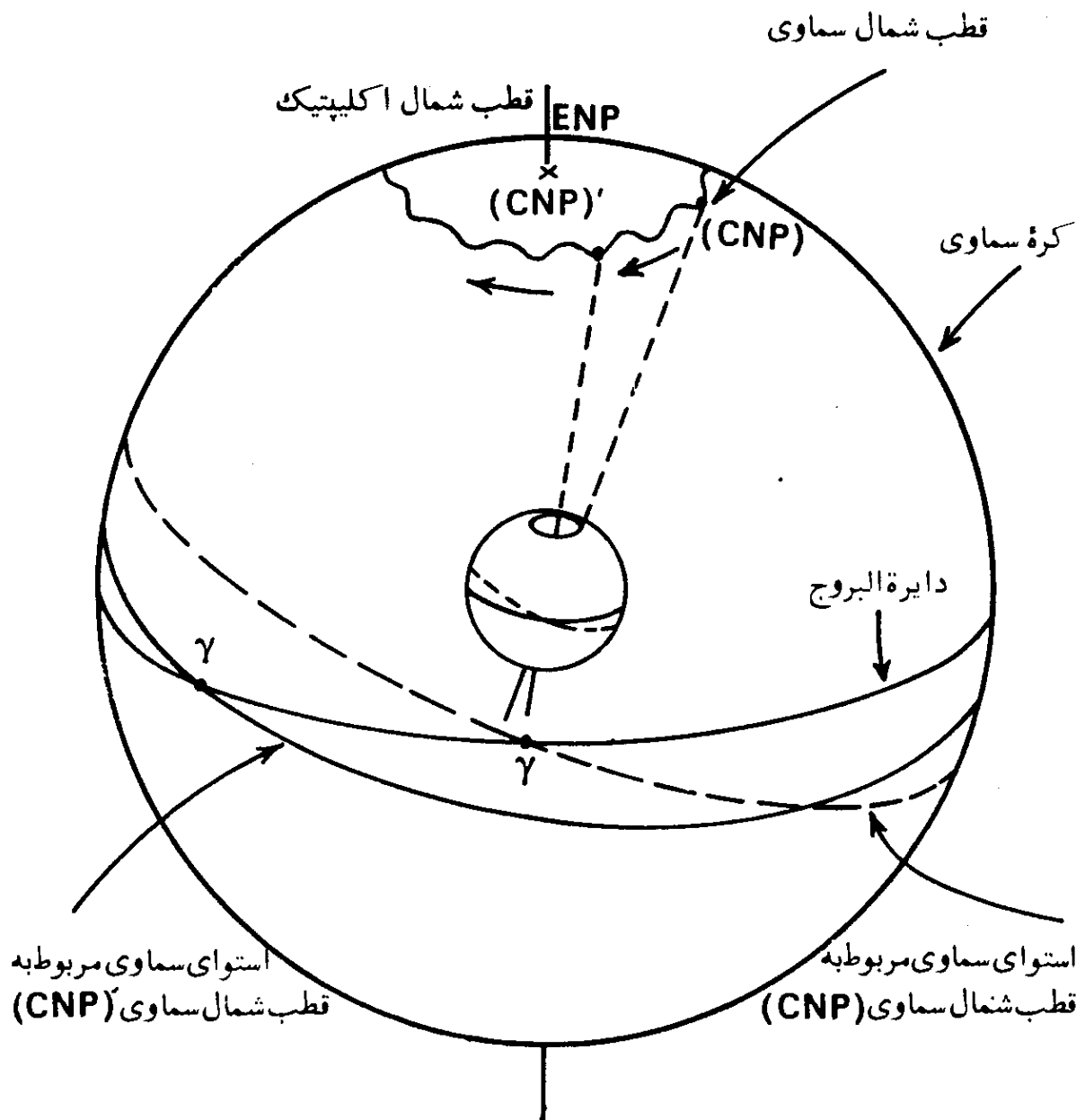
1. Thuban
2. Vega
3. Lyra
4. Cygnus
5. Deneb

فرقه چرخان تحت تأثیر نیروی جاذبه زمین، به دور محوری به موازات امتداد نیروی جاذبه، دارای حرکت تقدیمی است، شکل (۶-۳۷) - ب. به همین ترتیب زمین در حال گردش به دور خود، بجای انطباق برآمدگی استوای آن بر صفحه مدار، دارای حرکت تقدیمی به دور محوری شده که تقریباً امتداد آن بر صفحه مدار عمود است، شکل (۶-۳۷) - الف.



شکل (۶-۳۷) - حرکت تقدیمی فرقه و زمین چرخان. جنب گرانشی زمین بر مرکز ثقل فرقه موجب افتادن آن می شود، اما چرخیدن فرقه مانع افتادنش می گردد. در مورد زمین، حرکت دورانی آن موجب می شود که برآمدگی استوایی زمین در امتداد دایره البروج قرار نگیرد و حرکت مخروطی شکل محور زمین بوجود آید.

حرکت تقدیمی محور زمین موجب شده است که قطب شمال و جنوب سماوی، مسیری دایره ای شکل بر روی کره سماوی و به دور قطبهای اقلیتیک پیمایند. در شکل (۶-۳۸)، حرکت تقدیمی قطب شمال سماوی (CNP) به طرف مغرب به دور قطب شمال دایره البروج (ENP)، نمایانده شده است. قطب شمال سماوی در یک دوره تقریباً $26,000$ ساله یک دایره کامل را به دور قطب شمال اقلیتیک می پیماید.



شکل (۶-۳۸) — حرکت تقدیمی و رقص محوری بر کره سماوی. وضعیت استوای سماوی با توجه به حرکت قطب شمال سماوی تغییر می‌کند. دایره خط پر، دایره استوای سماوی مربوط به قطب شمال سماوی (CNP) و دایره خط چین مربوط به وضعیت (CNP) است.

اگر نیروهای وارده از جانب خورشید و ماه بر استوای برآمده زمین همیشه یک اندازه بود، حرکت تقدیمی حاصل، همیشه یکنواخت می‌شد. اما نیروهای وارده، به دلایل زیر متغیر است:

۱. دوبار در سال در اول بهار و پاییز، خورشید بر امتداد دایره استوا قرار می‌گیرد و در چنین حالاتی برآمدگی استوای زمین بر صفحه دایره البروج قرار می‌گیرد.

۲. دوبار در ماه، جاذبه ماه بر زمین بر امتداد صفحه مداری آن قرار می گیرد.
 ۳. مدار حرکت ماه که همیشه در حدود 5° نسبت به دایرة البروج متمایل است، خود دارای حرکت تقدیمی به دور ا کلیپتیک است. بدین ترتیب که محور عمود بر مدار حرکت ماه یک مخروطی را در حدود کمی کمتر از ۱۹ سال به دور محور عمود بر دایرة البروج می پیماید. این اثر به نام حرکت قهقرایی مدار ماه^۱ نامیده می شود. این اثر به همراه دو پدیده مذکور در فوق موجب رقص محوری^۲ محور زمین در مسیر حرکت تقدیمی آن می گردد. محور زمین بجای طی یک دایرة کامل به دور قطبهای دایرة البروج، مانند آنچه که در شکل (۳۸-۶) نشان داده شده، یک منحنی تناوبی^۳ را می پیماید.

در اینجا چند اثر ناشی از حرکت تقدیمی محور زمین شرح داده می شود:
 مهمترین اثر ناشی از حرکت تقدیمی، تغییر مختصات ستارگان است. از آنجاییکه بعد یک ستاره از نقطه اعتدال بهاری، در نظر گرفته می شود، هر گونه تغییر در وضعیت آن، موجب تغییر بعد ستاره می گردد. هنگامیکه قطب شمال سماوی از وضعیت (CNP) به وضعیت (CNP)^۴، در شکل (۳۸-۶)، بطرف مغرب می رود، در نتیجه محل برخورد دایرة البروج و استوای سماوی نیز تغییر محل داده و از نقطه اعتدال بهاری γ بطرف مغرب به نقطه اعتدال بهاری γ' بر روی دایرة البروج می رسد و بعد ستارگان با گذشت زمان اضافه می شود. تغییر مکان استوای سماوی نیز موجب تغییر میل ستارگان می گردد. از آنجاییکه دوره حرکت تقدیمی مخروطی شکل در حدود $25,800$ سال طول می کشد، لذا تغییر محل نقطه اعتدال بهاری (γ) در یکسال خواهد شد:

$$\frac{360^\circ \times 60' \times 60''}{25,800} = 50''/22 \quad \text{در سال}$$

این عدد، ثابت حرکت تقدیمی^۴ است.

همچنین از آنجاییکه محل نقطه اعتدال بهاری بر روی دایرة البروج به آرامی به سمت مغرب تغییر مکان می یابد، لذا طول ستارگان نیز به آرامی تغییر پیدا کرده و به مرور اضافه تر می شود. اما عرض ستارگان ثابت می ماند، زیرا فاصله آنها تا دایرة البروج تغییر نمی یابد، چه، محل خود دایرة البروج بدون تغییر است.

1. Regression of the Moon's Orbit
2. Nutation
3. Periodic Curve
4. Constant of Precession

رقص محوری نیز در مدت تناوب ۱۹ ساله، موجب تغییرات کمی در مختصات ستارگان می‌شود. این تغییرات کم بوده و بیشترین میزان آن "۹ (ثابت رقص محوری^۱) است. در مواردی مانند میزان کردن یک تلسکوپ، غالباً از این تغییر صرف‌نظر می‌شود، اما تغییرات مربوط به حرکت تقدیمی را باید همیشه در نظر گرفت که بتوان تلسکوپ را با دقت میزان کرد.

بعلت حرکت تقدیمی، محور چرخشی زمین در طول زمان، بطرف ستارگان مختلف قرار خواهد گرفت، شکل (۳۶-۶). ستاره قطبی^۲ که روشنترین ستاره در نزدیکی قطب شمال سماوی فعلی است، همیشه ستاره قطبی باقی نخواهد ماند. در حدود سال ۱۳،۰۰۰/— میلادی، ستاره روشن نزدیک به قطب شمال سماوی، ستاره نسر واقع^۳ در صورت فلکی شلیاق^۴ (چنگ رومی) خواهد بود.

وضعیت و قرار گرفتن ستارگان بر پهنه آسمان، که توسط منجمین و نویسندگان زمانهای قدیم تصویر شده است، دیگر با وضعیت ستارگان در حال حاضر مطابقت ندارد. لذا رصدخانه‌ها و آثار تاریخی قدیمی، مانند اهرام مصر، دیگر در امتدادهای مورد نظر سازندگان آنها قرار ندارند.

از زمانی که هیپارکوس (منجم یونانی، ۱۳۰ ق. م.)، منطقه البروج را بطور منظم تشریح و ترسیم کرد، در حدود ۲،۱۰۰/— سال می‌گذرد. در این مدت تغییر مکان مداوم و آرام نقطه اعتدال بهاری بسمت مغرب و در نتیجه تغییر دستگاههای مختصات مربوط، که بر مبنای نقطه اعتدال بهاری استوارند، موجب شده که حدود بروج دوازده‌گانه منطقه البروج، تقریباً ۳۰ درجه به سمت مغرب، تغییر مکان دهد. بنابراین وقتی که گفته می‌شود که آفتاب در برج حمل^۵ قرار گرفته، در حقیقت در برج حوت^۶، درست در سمت مغرب برج حمل، قرار دارد.

در اینجا، دوباره به شکل (۳۴-۶)، در مورد فصول چهارگانه برسی‌گردیم و اثر حرکت تقدیمی را بر چگونگی فصول در دو نیمکره شمالی و جنوبی، مورد بررسی قرار می‌دهیم. ۱۳،۰۰۰/— سال بعد از حالا، زمستان در نیمکره شمالی زمانی آغاز خواهد شد که زمین در وضعیت ۱ باشد. یعنی زمستان وقتی شروع می‌شود که فاصله زمین تا خورشید حداکثر باشد و این موجب سردتر شدن آب و هوای زمستان می‌شود. در نیمکره جنوبی، وضعیت برعکس خواهد بود. در حال حاضر زمستان در وضعیت ۱ شروع

- | | | | |
|-------------------------|------------|---------|---------|
| 1. Constant of Nutation | 2. Polaris | 3. Vega | 4. Lyra |
| 5. Sign of Aries | 6. Pisces | | |

می‌شود که فاصله زمین تا خورشید حداکثر است.

سیزده هزار سال بعد، زمستان در نیمکره جنوبی در وضعیت ۳ شروع خواهد شد که فاصله زمین تا خورشید حداقل است.

در حال حاضر قطب شمال سماوی نزدیک ستاره قطبی است. عکسهایی که توسط تلسکوپهای ثابت، از این ستاره گرفته شده است، دایره‌های کوچکی را به مرکز قطب شمال سماوی نشان می‌دهد. عکسی که در سال ۱۹۱۷ گرفته شده در مقایسه با عکس سال ۱۹۴۰، مسیر ستاره قطبی، دارای شعاع بزرگتری است؛ بعبارت دیگر ستاره قطبی در سال ۱۹۴۰ نسبت به سال ۱۹۱۷ به قطب شمال سماوی، نزدیک‌تر بوده است. در فاصله سال ۱۹۱۷ تا ۱۹۴۰ فاصله ستاره قطبی از قطب شمال سماوی، باندازه ۷ دقیقه قوسی تقلیل یافته که نتیجه حرکت تقدیمی محور چرخشی زمین است.

می‌بایست توضیح داده شود که پدیده‌های حرکت تقدیمی و رقص محوری، در اثر نیروهای خارج از کره زمین بوجود آمده‌اند که در نتیجه، موجب تغییر امتداد محور چرخشی زمین در فضا می‌شوند. اما می‌توان گفت که در اثر این پدیده، کل جرم زمین نسبت به محور چرخشی، ثابت و به‌مراه تغییرات محور چرخشی حرکت می‌کند. چنانکه اگر امروز پرچمی را در نقطه قطب شمال جغرافیایی نصب کنیم، -/۱۳،۰۰۰ سال بعد، محل پرچم همچنان قطب شمال جغرافیایی است و عرض جغرافیایی آن همان ۹۰ درجه باقی خواهد ماند.

از آنجائیکه حرکت تقدیمی و رقص محوری، اثری در تغییر عرض جغرافیایی بر روی کره زمین ندارند، لذا از این بابت موجب تغییرات آب و هوا نمی‌گردند. اگرچه، همانطور که توضیح داده شد با در نظر گرفتن یک تقویم کامل، موجب انتقال فصول می‌شوند.

قبلا در بخش (۴-۱)، فصل اول، در مورد تغییرات عرض جغرافیایی در اثر پدیده‌های دیگر صحبت شده است.

نوع دیگر حرکت تقدیمی، حرکت تقدیمی سیاره‌ای^۱ است که در اثر جذب گرانشی ناشی از سیاره‌های مهم^۲ ایجاد می‌گردد. در این پدیده، زمین از مسیر حرکت انتقالی خود، به سمت مسیر حرکت سیاره‌های مربوط، به دور خورشید، کشیده می‌شود. در نتیجه، دایره البروج در امتداد دایره استوای سماوی، انتقال پیدا می‌کند که موجب تغییر مکان نقاط اعتدالین بطرف مشرق می‌گردد. این حرکت در بُعد، طول و عرض

ستارگان اثر می‌گذارد، اما در میل ستارگان تأثیری ندارد، زیرا فاصله آنها تا استوای سماوی، بدون تغییر می‌ماند.

حرکت تقدیمی ناشی از اثر ماه و خورشید و حرکت تقدیمی سیاره‌ای، بعنوان تغییرات درازمدت شناخته شده‌اند. مجموعه دو حرکت تقدیمی، به نام حرکت تقدیمی عمومی^۲ معروف است.

۵۴. تقویم

تقویم به هر کدام از روشهایی اطلاق می‌شود که برای نگهداشتن حساب روزها، بکار گرفته می‌شوند. تقویم مجموعه قواعدی را گویند که بتوان شرح وقایعی را به ترتیب زمانی و یا گاه‌شماری^۳ بر آن مبنا، بنا نهاد. در عمل، تقویم ممکن است بصورت یک جدول، یک کتاب و یا یک سری از صفحات باشد که نشانگر روزهای هفته، ماهها و گاهی شماره ترتیب روز در سال باشد.

گاهی یک تقویم، اطلاعات بیشتری را شامل می‌شود، مثل تاریخ تعطیلیها و وقایع تاریخی و همچنین اطلاعات نجومی مانند اهلۀ قمر^۴، طول روز، ساعت‌های طلوع و غروب خورشید، خورشید و ماه‌گرفتگی و جذرومد.

لغت انگلیسی تقویم^۵ دارای ریشه لاتینی^۶ است که از اسم روز اول ماه در زمان رومیها^۷، ناشی شده است. کوشش اقوام و ملل مختلف در بوجود آوردن تقویم، نشانه شروع مطالعات نجومی آنهاست. با استقرار یک تقویم خاص و ثبت وقایع در مدت زمان طولانی، تقویم یک ملت جزء تاریخ آنها حساب شده و علاقه به آن در میان کسانی که آن را بکار می‌برند، افزون می‌شود. لذا اصلاح و تغییر یک تقویم، امری مشکل بوده، حتی مدلل‌ترین اصلاحات پیشنهادی، موجب مقاومت‌های شدید می‌شود.

اساسی‌ترین واحدهای مورد استفاده در تقویم، روز، ماه و سال است که بترتیب، از حرکات زمین، ماه و خورشید بدست آمده‌اند. نکته پیچیده تقویمهای مختلف، در عدم یکسانی دوره‌های نجومی، مبنای آنهاست. نوری که از خورشید و ماه می‌آید بر مبنای

1. Secular (Long Period) Variations

2. General Precession

3. Chronology

4. Phases of the Moon

5. Calendar

6. Kalendae

7. Roman Times

دوره‌های روز خورشیدی^۱ و ماه هلالی^۲ است، در حالیکه فصول، بر مبنای سال برجی^۳ است.

بسیاری از تقویمهای زمانهای پیشین، در اصل، بر مبنای ماه^۴ بوده‌اند. سال عبارت از ۱۲ ماه ۳۰ روزه بوده و با در میان افزودن^۵ ماهها و روزها بطور حساب شده و یا غیر حساب شده، ترتیبی فراهم می‌شد که طول سال با سال شمسی^۶ هماهنگ گردد. روز: روز مدت زمانی است که زمین یک بار به دور خود می‌گردد. با توجه به نحوه حساب طول مدت گردش زمین و مبنای محاسبه آن نسبت به جهتهای مختلف در فضا، چند نوع روز تعریف می‌شود.

برای لغت روز، معنیهای مختلفی وجود دارد. قدیمیترین معنی آن طول مدت روشنایی و یا روز طبیعی^۷ است که در مقابل مدت تاریکی در شب است. در حال حاضر کلمه روز بطور معمول به این معنی اطلاق می‌گردد.

اما بیشترین معنی معمول آن مجموعه طول مدت تاریکی و روشنایی و یا شب و روز است. حتی به این معنی هم تعاریف مختلفی برای روز موجود است. اقوام بابلی در قدیم^۸ شروع روز را طلوع آفتاب می‌گرفتند. یونانیان و کلیمی‌ها، غروب آفتاب را بعنوان شروع روز در نظر داشتند. مصریان و رومیها شروع آن را از نصف شب می‌گرفتند، که در حال حاضر بیشتر کشورها همینطور عمل می‌کنند.

روز شمسی حقیقی^۹ (ظاهری): زمان بین دو عبور پیاپی مرکز قرص خورشید از نصف‌النهار زمینی. یک محل، روز شمسی حقیقی (ظاهری) نامیده می‌شود. اصطلاح ظاهری بدان سبب است که گردش خورشید در طول روز در آسمان، یک گردش ظاهری است و در حقیقت این زمین است که به دور خود می‌چرخد. بعبارت دیگر روز شمسی حقیقی، مدت زمانی است که زمین نسبت به مرکز قرص خورشید، یک بار به دور خود می‌گردد. طول مدت یک روز شمسی حقیقی، در تاریخهای مختلف، در طول سال، متغیر است. این بدان سبب است که سرعت زمین در طی حرکت انتقالی آن به دور خورشید ثابت نبوده بلکه متغیر می‌باشد و همچنین سطح دایرة البروج نسبت به سطح استوای سماوی، متمایل است.

تغییرات طول روز شمسی حقیقی برای تمام نقاط روی زمین یکسان است، اما

- | | | | |
|------------------------------|------------------|------------------|------------------------|
| 1. Solar Day | 2. Synodic Month | 3. Tropical Year | 4. Lunar |
| 5. Intercalation | 6. Solar Year | 7. Natural Day | 8. Ancient Babylonians |
| 9. Apparent (Real) Solar Day | | | |

طول روز طبیعی و یا طول مدت روشنایی برای مکانهای مختلف متفاوت بوده، بستگی به فاصله آنها از دایره استوا و یا عرض جغرافیایی آنها دارد. طول مدت یک روز شمسی حقیقی در طی یکسال از ۲۴ ساعت و ۳۰ ثانیه در ماه دسامبر تا ۲۳ ساعت و ۵۹ دقیقه و ۳۹ ثانیه در ماه سپتامبر متغیر است.

روز شمسی متوسط^۱: برای تعریف روز شمسی متوسط، می‌بایست ابتدا خورشید میانگین یا متوسط^۲ را تعریف کرد. خورشید متوسط عبارت از نقطه‌ای فرضی است که با سرعتی یکنواخت و برابر سرعت متوسط خورشید واقعی^۳ بر روی دایره البروج، در امتداد دایره استوای سماوی در حال حرکت باشد. عبارت دیگر خورشید متوسط، دایره استوای سماوی را با سرعتی یکنواخت در طی یکسال شمسی می‌پیماید، در حالیکه خورشید واقعی دایره البروج را با سرعتی غیریکنواخت در طی یکسال شمسی طی می‌کند.

زمان بین دو عبور پیاپی خورشید متوسط از نصف‌النهار زمینی یک محل، روز شمسی متوسط نامیده می‌شود. طول زمانی یک روز شمسی متوسط با ساعت‌های معمولی، دقیقاً ۲۴ ساعت است.

روز نجومی^۴: در زبان لاتین، لغت Sidus به معنی ستاره^۵ است و لغت Sidereal از همین کلمه مشتق شده است. زمان بین دو عبور پیاپی نقطه اعتدال بهاری از نصف‌النهار را روز نجومی می‌نامند. مانند آنچه که در مورد روز شمسی مصطلح است، بین روز نجومی ظاهری^۶ و روز نجومی متوسط^۷ فرق هست، اما اختلاف آنها جزء کوچکی از ثانیه است.

یک روز نجومی متوسط ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و $۴/۰۹۰۵۴$ ثانیه است و بنابراین از روز شمسی متوسط که ۲۴ ساعت کامل است با اندازه ۳ دقیقه و $۵۵/۹۰۹۴۶$ ثانیه کوتاه‌تر است.

چنانکه در بالا گفته شد، روز نجومی با توجه به نقطه اعتدال بهاری سنجیده می‌شود. در طی مثال بعدی اختلاف موجود را چنانکه نسبت به یک امتداد ثابت در فضا در نظر گرفته شود، مورد بررسی قرار می‌دهیم.

مثال (۳-۶) — چنانکه زمان بین دو عبور پیاپی یک امتداد ثابت در فضا را نسبت به نصف‌النهار یک محل در نظر بگیریم، اختلاف آن با زمان دو عبور پیاپی نقطه

- | | | | |
|-------------------|--------------------------|----------------------|-----------------|
| 1. Mean Solar Day | 2. Mean Sun | 3. True Sun | 4. Sidereal Day |
| 5. Star | 6. Apparent Sidereal Day | 7. Mean Sidereal Day | |

اعتدال بهاری از نصف النهار محل، که همان روز نجومی است، به چه اندازه ای خواهد بود؟

راه حل — زمان بین دو عبور پیاپی یک امتداد ثابت در فضا نسبت به نصف النهار یک محل، از طول مدت یک روز نجومی بلندتر است. این مطلب، بعلت حرکت تقدیمی نقطه اعتدال بهاری به سمت مغرب است. هر نقطه ای بر روی زمین که بطرف مشرق به دور خود می چرخد، در مقایسه با یک امتداد ثابت زودتر به نقطه اعتدال بهاری خواهد رسید. تقدیم اعتدال بهاری در یک سال برجی، در حدود ۵۰/۲۲ ثانیه در امتداد دایرة البروج است. اما قبلاً در فصل چهارم، در مثال (۴-۶)، این نتیجه حاصل شد که هر یک درجه در امتداد دایرة البروج برابر ۰/۹۱۷۴۱۶ درجه در امتداد دایرة استوای سماوی است. بنابراین تقدیم نقطه اعتدال بهاری که در طی یک روز نسبت به دایرة استوای سماوی صورت می گیرد، به اینصورت خواهد شد:

$$\frac{۵۰''/۲۲ \times ۰/۹۱۷۴۱۶}{۳۶۵/۲۴۲۲} = ۰/۱۲۶۱۴۲۶ \text{ ثانیه قوسی}$$

این بدان معنی است که زمین در یک دور خود، معادل [۰/۱۲۶۱۴۲۶ - (۳۶۰° × ۳۶۰'')] ثانیه قوسی را در یک روز نجومی می پیماید. اما از طرف دیگر یک روز نجومی برابر ۸۶،۱۶۴/۰۹ ثانیه زمانی است و در نتیجه، اختلاف مورد نظر به این شکل در خواهد آمد:

$$\frac{(۸۶۱۶۴/۰۹ \text{ ثانیه}) \times (۰/۱۲۶۱۴۲۶ \text{ ثانیه قوسی})}{[(۳۶۰ \times ۳۶۰۰) - ۰/۱۲۶۱۴۲۶]} = ۰/۰۰۸۳۹ \text{ ثانیه}$$

بنابراین، زمان دو عبور پیاپی یک امتداد ثابت در فضا، با اندازه ۰/۰۰۸۴ ثانیه از روز نجومی بلندتر است. اینگونه روز نجومی که نسبت به یک امتداد ثابت در فضا سنجیده می شود، از نظر تئوری حایز اهمیت است و نام و اصطلاح بخصوصی برای آن موجود نیست.

طول روز طبیعی: گردش ظاهری خورشید به دور محور زمین یک مسیر فترتی شکل را در طول سال می پیماید. این مسیر در هر روز، یک حلقه از مسیر فترتی شکل و یا تقریباً یک دایره بموازات سطح استوای سماوی است. بعلت متمایل بودن محور چرخشی زمین نسبت به سطح مدار حرکت انتقالی زمین، اندازه میل خورشید و در نتیجه، دایرة مسیر گردش ظاهری روزانه خورشید، روز بروز تغییر می کند. برای یک ناظر معین، صفحه

استوای سماوی بوسیله صفحه افقِ ناظر که شب و روز را از هم جدا می‌کند، قطع شده و به دو نیمه تقسیم می‌شود.

طول شب و روز برای تمام نقاط روی استوای زمین، بدون در نظر گرفتن اثر شکست نور در طلوع و غروب خورشید، برابر است. بجز در مناطق قطبی، شکست نور خورشید موجب می‌شود که طول مدت استقرار خورشید در بالای افق روزانه باندازه چهار دقیقه اضافه شود؛ طلوع خورشید دو دقیقه زودتر و غروب آن دو دقیقه دیر انجام می‌پذیرد. بنابراین زمانی که خورشید واقعاً در بالای افق است، چهار دقیقه کمتر از مدتی است که ظاهراً خورشید در بالای افق در پهنه آسمان دیده می‌شود.

با فاصله گرفتن از استوای زمین و رفتن به نقاط شمالی‌تر و یا جنوبی‌تر آن، نابرابری طول شب و روز بتدریج بیشتر می‌شود. در قطبها وضعیت متفاوت است و یک شب تقریباً شش ماهه یک روز تقریباً شش ماهه را در پی دارد. علی‌رغم نابرابری طول شب و روز، در هر نقطه معین بر روی زمین و در یک تاریخ معلوم، مدت زمانی که خورشید در بالای افق است شش ماه و با گذشت دوازده ماه، طول مدت زمانیکه خورشید در زیر افق و یا شب است، نیز شش ماه خواهد بود. البته این مطلب بدون در نظر گرفتن اثر شکست نور است که طول مدت روز را افزون می‌کند. اگر زمین فاقد هرگونه اتمسفری بود، مجموع طول روزهای طبیعی و طول شبها در هر نقطه زمین در طی یکسال کاملاً برابر بود.

طول مدت شب و روز را می‌توان از فرمول (۶-۱۵) بصورت زیر محاسبه کرد:
چنانچه قبلاً توضیح داده شد، می‌توان زاویه ساعتی طلوع و غروب خورشید (قرار-گرفتن خورشید در افق) را از فرمول زیر حساب کرد

$$\cos h = -\tan \delta \tan \varphi$$

اگر از تغییرات میل خورشید در طول روز صرف‌نظر شود، خواهیم داشت:

(زاویه ساعتی خورشید در طلوع و یا غروب بر حسب زمان) $\times 2 =$ طول روز
و یا

$$\text{طول روز} = \frac{2 \times h}{15} \quad (6-18)$$

و به همین ترتیب

$$\text{طول شب} = 2 \times \left(\frac{180^\circ - h}{15} \right) \quad (6-19)$$

حال با استفاده از فرمول (۱۵-۶)، مطلب را بیشتر پی می گیریم:
در خط استوا، $\varphi = 0$ است و لذا خواهیم داشت:

$$\cosh = 0$$

$$h = 90^\circ$$

$$\text{ساعت} = \frac{2 \times 90}{15} = 12 \text{ ساعت} \text{ (و یا شب)}$$

بنابراین چنانکه قبلاً هم گفته شد، برای تمام مقادیر میل خورشید، طول شب و روز برای تمام نقاط روی خط استوا برابراند.

در لحظه اعتدال بهاری و پاییزی میل خورشید برابر صفر درجه ($\delta = 0$) است،

$$\cosh = 0 \quad h = 90^\circ \quad \text{در نتیجه،}$$

$$\text{ساعت} = \frac{2 \times 90}{15} = 12 \text{ ساعت} \text{ (و یا شب)}$$

بنابراین برای تمام مقادیر عرض جغرافیایی، φ ، یعنی برای تمام نقاط روی زمین، طول شب و روز در زمان اعتدالین برابر است.

اگر $\delta = (90^\circ - \varphi)$ باشد، خواهیم داشت:

$$\cosh = -\widehat{\tan(90^\circ - \varphi)} \widehat{\tan \varphi}$$

$$\cosh = -1 \quad h = 180^\circ$$

$$\text{ساعت} = \frac{2 \times 180}{15} = 24 \text{ ساعت} \text{ (طول روز)}$$

این بدان معنی است که خورشید غروب نخواهد داشت.

همچنین اگر $\delta = -(90^\circ - \varphi)$ باشد،

$$\cosh = 1$$

$$h = 0 \text{ درجه}$$

$$\text{طول روز} = 0$$

منظور این است که خورشید طلوع نخواهد داشت.

طول مدت بین الطلوعین: بین الطلوعین که در بامداد فلق و در شامگاه شفق

نامیده می شود، اصطلاحاً به هوای گرگ و میش و یا با روشنی کم اطلاق می شود که شب را از روز و یا روز را از شب متمایز می کند. وقتی خورشید در زیر صفحه افق قرار می گیرد

و باصطلاح غروب می‌کند، تاریکی دفعتاً فرامی‌رسد، چه، اشعه خورشید هنوز بر طبقات اتمسفر در بالای سر ناظر می‌تابد و آن را روشن می‌کند. ذرات بخار آب و سایر ذرات موجود در اتمسفر، نور خورشید را منعکس و آن را در تمام جهات پخش می‌کنند. با فاصله گرفتن بیشتر خورشید از سطح افق بطرف پایتتر، مقدار کمتری از طبقات اتمسفر بالای سر ناظر، مورد تابش نور قرار می‌گیرد و لذا، نور، پراکنده شده و در نتیجه، روشنائی، کمتر می‌گردد. نتیجه رصد‌های انجام شده نشان داده است که روشنائی مربوط، مادامی که خورشید باندازه ۱۸ درجه در زیر سطح افق قرار گیرد، ادامه دارد. بنابراین برای بدست آوردن طول مدت بین الطلوعین می‌بایست مدتی را که فاصله سمت الرأس خورشید (Z) از ۹۰ درجه به (۱۰۸° = ۹۰° + ۱۸°)، در شامگاه، و از ۱۰۸ درجه به ۹۰ درجه، در صبحگاه می‌رسد، محاسبه کرد. برای انجام این منظور می‌توان فرمولهای (۶-۵) و (۶-۱۵) را مورد استفاده قرار داد:

$$\cos h = \frac{\sin a}{\cos \delta \cos \varphi} - \tan \delta \tan \varphi$$

$$\cos h = - \tan \delta \tan \varphi$$

اگر h' ، زاویه ساعتی انتهای بین الطلوعین در غروب و h زاویه ساعتی غروب آفتاب باشد، می‌توان نوشت:

$$\sin a = \sin(90^\circ - Z) = \cos Z = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos h'$$

$$\cos 108^\circ = \sin \delta \sin \varphi + \cos \delta \cos \varphi \cos h' \quad (6-20)$$

که زاویه ساعتی غروب آفتاب همان فرمول ذکر شده قبلی است:

$$\cos h = - \tan \delta \tan \varphi$$

از دو فرمول فوق می‌توان مقادیر h و h' را برای مقادیر داده شده φ و δ محاسبه کرده، سپس طول بین الطلوعین در شامگاه را حساب کرد:

$$\text{طول شفق} = h' - h \quad (6-21)$$

تقسیمات روز: طول یک روز به ۲۴ ساعت تقسیم شده است. روز نجومی از یک تا ۲۴ ساعت شماره گذاری می‌شود، در حالیکه روز عرفی^۱ به دو قسمت ۱۲ ساعتی تقسیم می‌گردد و لذا اصطلاحات قبل از ظهر (A. M.)^۲ و بعد از ظهر (P. M.)^۳ بعلت همین

1. Division of the Day

2. Civil Day

3. Ante Meridian (Forenoon)

4. Post Meridian (Afternoon)

تقسیم‌بندی ۱۲ ساعته، بوجود آمده است. برای اجتناب از بکار بردن مفاهیم قبل و بعد از ظهر، روش تقسیم‌بندی ساعات روز عرفی از یک تا ۲۴ ساعت، در بسیاری از کشورها بکار گرفته شده است.

هفته: هفته، یک واحد زمانی تقویمهاست که تقریباً در همهٔ ممالک بکار گرفته می‌شود. شمارهٔ هفت، آن را به اهل قمر مرتبط می‌سازد، اما در حقیقت یک واحد ساختگی^۱ زمان است. قبلاً فکر می‌شد که هفته در زمانهای پیشین در تمام دنیا معمول بوده، اما در حقیقت، اقوام یهودی^۲، نخستین قومی بودند که هفته را مرسوم کردند، گرچه ممکن است آن را از اخترگویان کلدانی^۳ گرفته باشند.

همچنین با توجه به کتاب اول تورات با نام کتاب پیدایش، سفر تکوینی^۴، دنیا در ۶ روز خلق شد و خالق جهان در روز هفتم به استراحت نشست. در دنیای مغرب زمین^۵، بکار بردن هفته به قرن سوم قبل از میلاد برمی‌گردد. در بسیاری از زبانها، اسامی هفت روز هفته از هفت جرم سماوی شناخته شده برای قدیمیان، ناشی شده است. این هفت جرم سماوی عبارتند از: خورشید، ماه، مریخ^۶ (بهرام)، عطارد^۷ (تیر)، مشتری^۸ (برجیس)، زهره^۹ (ناهید) و زحل^{۱۰} (کیوان).

ماه: در تقویم، یا گاهنامهٔ گرگوری^{۱۱}، گاهنامه‌ای که گرگوری سیزدهم آن را درست کرد و امروز هم متداول است، ماه، به هر یک از ۱۲ قسمت سال اطلاق می‌شود. هر یک از این قسمت‌ها به ماه عرفی^{۱۲} یا ماه تقویمی^{۱۳} موسوم‌اند. از این ماه‌ها، فوریه ۲۸ روز—در سالهای کبیسه^{۱۴} ۲۹ روز—سپتامبر، آوریل، ژوئن و نوامبر ۳۰ روز و ژانویه، مارس، مه، ژوئیه، اوت، اکتبر و دسامبر ۳۱ روز است.

در سال هجری شمسی متداول در ایران، ۱۲ ماه به ترتیب، فروردین، اردیبهشت، خرداد، تیر، مرداد و شهریور هر کدام ۳۱ روز، مهر، آبان، آذر، دی، بهمن هر کدام ۳۰ روز و اسفند ۲۹ روز—در سال کبیسه ۳۰ روز—است.

در نجوم، اصطلاح ماه، به دوره‌ای اطلاق می‌شود که اساس آن حرکت ماه باشد. یک ماه قمری^{۱۵}، مدت زمانی است که در آن، دورهٔ اهل ماه طی می‌شود. این دوره که براساس یک دور کامل اهل قمر است به نام ماه هلالی^{۱۶} نیز معروف است. طول

- | | | | |
|-------------------|----------------------------|-------------------------|--------------------|
| 1. Artificial | 2. Hebrews | 3. Chaldean Astrologers | 4. Genesis |
| 5. Western World | 6. Mars | 7. Mercury | 8. Jupiter |
| 9. Venus | | | |
| 10. Saturn | 11. Gregorian Calendar | 12. Civil Month | 13. Colendar Month |
| 14. Leap Years | 15. Lunar Month (Lunation) | | |
| 16. Synodic Month | | | |

مدت یک ماه قمری، بطور متوسط ۲۹/۵ روز است. رصد ماه در تعداد زیادی از ماه‌های قمری متوالی، موجب شده است که طول متوسط یک ماه قمری دقیقاً تعیین گردد. طول مدت متوسط بدست آمده برای یک ماه قمری (۲۹/۵۳۰۵۹) روز عرفی و یا ۲۹ روز و ۱۲ ساعت و ۴۴ دقیقه و ۲/۷۸ ثانیه است. این طول مدت، در خیلی از تقویمها، بکار گرفته شده است. اندازه یک ماه قمری نسبت به طول مدت متوسط آن، ممکن است تا ۱۳ ساعت تغییر کند.

چند نوع ماه دیگر وجود دارد، از جمله ماه برجی^۱، ماه نجومی^۲، ماه آنومالیستیک^۳، و ماه گره‌ای^۴.

ماه برجی، ۲۷/۳۲۱۵۸ روز و متوسط زمانی است که طول ماه در آن ۳۶۰ درجه اضافه شود.

ماه نجومی ۲۷/۳۲۱۶۶ روز و متوسط زمانی است که از دو عبور پیاپی ماه نسبت به یک امتداد ثابت در فضا بدست می‌آید.

ماه آنومالیستیک، ۲۷/۵۵۴۵۵ روز و متوسط زمانی است که از دو عبور پیاپی ماه از نزدیکترین فاصله به زمین بدست می‌آید. ریشه این اسم، لغت آنومالی^۵ است که در نجوم به معنای فاصله زاویه‌ای یک سیاره از نقطه حضيض آن است که از خورشید دیده شود.

ماه گره‌ای یا نادیکال، ۲۷/۲۱۲۲۲ روز و متوسط زمانی است که از دو عبور پیاپی ماه از دایرة البروج بطرف شمال بدست می‌آید. اصولاً گره^۶، محل برخورد مدار یک سیاره با دایرة البروج است و اسم این نوع ماه از همین تعریف ناشی شده است.

سال: سال واحدی از زمان است که به منظور برابر کردن طول مدت حرکت انتقالی زمین به دور خورشید، ایجاد شده است. پیش از سالهای ۴۰۰۰ قبل از میلاد، مصریان، طول سال را ۳۶۵ روز می‌دانستند. این مدت از شمارش روزها، بین دو طلوع دورگرد^۷ و پیاپی ستاره شعرای یمانی^۸، بدست آمده بود. ستاره شعرای یمانی (کاروان-کش، شباهنگ)، پرنورترین ستاره آسمان شب، و در صورت فلکی کلب اکبر^۹ (سگ بزرگ) قرار دارد. طلوع و یا غروب دورگرد یک ستاره و یا یک سیاره، عبارت از طلوع و یا غروب همزمان آن با خورشید است. دو طلوع پیاپی ستاره شعرای یمانی درست

1. Tropical Month

2. Sidereal Month

3. Anomalistic Month

4. Nodical Month

5. Anomaly

6. Node

7. Helical Rising

8. Sirius (Dog Star)

9. Canis Major

قبل از طلوع آفتاب مبنای محاسبهٔ مصریان بود و بین دو طلوع دورگرد، ۳۶۵ روز، بطول می‌انجامیده است که در سایر موارد، بعلت نزدیکی بیش از حد این ستاره به خورشید، قابل رؤیت نبوده است.

در بین منجمین، چند نوع سال مطرح است، از جمله، سال برجی^۱، سال نجومی^۲ و سال آنومالیستیک^۳.

سال برجی: سال برجی که به سال شمسی^۴، سال فصلی^۵ و سال اعتدالی^۶ نیز موسوم است، سالی است که تقویم گرگوری بر مبنای آن استوار است و آن عبارت از فاصلهٔ بین دو عبور پیاپی خورشید بر روی دایرة البروج از نقطهٔ اعتدال بهاری است و تقریباً $365/24220$ روز و یا 365 روز و 5 ساعت و 48 دقیقه و $46/08$ ثانیه، بطول می‌انجامد. قبل از سال ۱۹۶۷ و از سال ۱۹۵۶، سال شمسی، بعنوان تعریف واحد زمان، مرسوم در علوم فیزیک و مهندسی، یعنی ثانیه، بکار می‌رفت. در سال ۱۹۵۶، کمیتهٔ بین‌المللی اوزان و مقیاسات ثانیه را بعنوان کسر $31,556,925/9747$ از سال شمسی، که خاتمهٔ آن در سی و یکم دسامبر ۱۸۹۹ بوده است، —موسوم به صفرم ژانویه ۱۹۰۰^۷ میلادی در متون نجومی — در ساعت ۱۲ به وقت تقویمی^۸ (به وقت جدول نجومی)، تعیین کرد. علت تعیین یک تاریخ مشخص، بدان سبب بوده است که طول سال شمسی مطلقاً ثابت نیست.

طول سال شمسی تدریجاً و به آرامی کاهش می‌یابد، در حالیکه طول سالهای نجومی و آنومالیستیک کم کم و به آرامی، زیاد می‌شود. تغییر طول سال شمسی در یک قرن، کمتر از یک ثانیه است. از سال ۱۹۶۷، ثانیه، به منظور مطابقت با ساعت اتمی، دوباره تعریف شده است.

سال شمسی، مبنای تقویم معمول در ایران، به نام سال هجری شمسی نیز معروف است.

سال نجومی: سال نجومی متوسط یک دور کامل زمین به دور خورشید نسبت به ستارگان ثابت است. طول مدت آن $365/25636$ روز شمسی متوسط است. تفاوت آن با سال شمسی $0/01416$ روز و یا 20 دقیقه و $23/424$ ثانیه است. علت این اختلاف بدان سبب است که در سال شمسی، بعلت حرکت تقدیمی نقطهٔ اعتدال

- | | | | |
|-------------------------------|---------------------|---------------------------------------|---------------|
| 1. Tropical Year | 2. Sidereal Year | 3. Anomalistic Year | 4. Solar Year |
| 5. Seasonal year and Measures | 6. Equinoctial Year | 7. International Committee on Weights | |
| | 8. January O, 1900 | 9. Ephemeris Time | |

بهاری به‌میزان $۵۰/۲۲$ ثانیه و یا $۰/۰۱۴$ درجه به‌سمت مغرب، خورشید یک دور کامل را نمی‌پیماید و بلکه $(۰/۰۱۴ - ۳۶۰)$ درجه را طی می‌کند. بنابراین حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایرة البروج به‌سمت مشرق، به‌میزان یک درجه

$$\frac{۳۶۵/۲۴۲۲۰}{۳۶۰ - ۰/۰۱۴} = ۱/۰۱۴۵۹۹ \text{ روز}$$

بطول می‌انجامد؛ بعبارت دیگر، خورشید، یک درجه را در اندکی بیش از یک روز طی می‌کند. در نتیجه، معادل روز حرکت تقدیمی خورشید خواهد شد:

$$\text{روز } ۰/۰۱۴ \times ۱/۰۱۴۵۹۹ = ۰/۰۱۴۱۶$$

یعنی سال شمسی $۰/۰۱۴۱۶$ روز از سال نجومی کمتر است که همان عدد مذکور در فوق است.

رابطه بین سال نجومی و شمسی بصورت زیر است:

$$\frac{\text{سال نجومی}}{۳۶۰^\circ} = \frac{\text{سال شمسی}}{۳۶۰^\circ - ۵۰''/۲۲} \quad (۶-۲۲)$$

چنانکه قبلاً گفته شد، در یک سال شمسی $۳۶۵/۲۴۲۲$ روز شمسی متوسط و در یک سال نجومی $۳۶۵/۲۵۶۳۶$ روز شمسی متوسط وجود دارد. در مثال بعدی تعداد روزهای نجومی در یک سال شمسی را محاسبه می‌کنیم:

مثال (۶-۴) — سال شمسی از چند روز نجومی تشکیل شده است؟

راه حل — تعداد ساعات شمسی متوسط^۱ در یک روز شمسی متوسط ۲۴ ساعت است، پس تعداد ساعات شمسی متوسط در یکسال شمسی، خواهد شد:

$$\text{ساعت شمسی متوسط } ۳۶۵/۲۴۲۲ \times ۲۴ = ۸۷۶۵/۸۱۲۸$$

چنانکه طول یک روز نجومی را ۲۳ ساعت و ۵۶ دقیقه و $۴/۰۹۰۵۴$ ثانیه و یا $۲۳/۹۳۴۴۶۹$ ساعت بگیریم، تعداد روزهای نجومی در سال شمسی خواهد شد:

$$\frac{۸۷۶۵/۸۱۲۸}{۲۳/۹۳۴۴۶۹} = ۳۶۶/۲۴۲۲ \text{ روز نجومی}$$

سال نوری^۲: سال نوری یک واحد زمانی نیست و برای بیان فاصله اجرام سماوی بکار گرفته می‌شود، و آن عبارت از مسافتی است که نور در یکسال نجومی می‌پیماید و برابر $۱۰ \times ۵/۸۷۹$ مایل است.

سال آنومالیستیک: سال آنومالیستیک متوسط فاصله زمانی دو عبور پیاپی زمین

از نزدیکترین فاصله اش تا خورشید است و طول آن $365/25964$ روز شمسی متوسط، می باشد.

انواع تقویم: سه نوع اساسی تقویم توسط بشر وضع شده است. این سه تقویم عبارتند از تقویم قمری^۱، تقویم شمسی^۲، و تقویم قمری شمسی^۳ که براساس اهله قمر و حرکت سالیانه ظاهری خورشید استوارند.

تقویم قمری: قدیمترین نوع تقویم و متداولترین آن در قدیم، تقویم قمری است. در این تقویم ماه عرفی^۴ تقریباً همان ماه قمری^۵ واقعی، و اولین روز هر ماه عرفی تقریباً روزی است که ماه نو، حادث می شود. یک شخص بیسواد که قادر به خواندن تقویم نباشد، بسادگی از روی اهله قمر می تواند با تقریب خوبی تاریخ روز در ماه را بداند. در تقویم قمری سال شمسی ملاک عمل نیست.

برای اینکه طول ماههای قمری عدد صحیح باشد و مطابقتی بین ماهها بوجود آید، یک راه حل قدیمی این بود که ماههای قمری عرفی را، بجای $29/5306$ روز، یک در میان ۲۹ و ۳۰ روز بگیرند. بدین ترتیب طول متوسط ماه قمری $29/5$ روز می شد و این، بمقدار $0/306$ روز از طول متوسط ماه قمری کمتر بود. بعدها تقویم قمری عموماً به ۱۲ ماه قمری در یکسال قمری ۳۵۴ روزه، تبدیل شد و بدین ترتیب، سال قمری باندازه (روز $3672/0 = 0/306 \times 12$) از دوره اهله قمر عقب می ماند.

یک راه نسبتاً دقیق برای جبران این اختلاف، اضافه کردن یک روز به تقویم در هر دوره سه ساله بود. راه حل های مشابه، در میان افزودن^۶ سه روز به تقویم، در هر هشت سال، یا هفت روز در هر نوزده سال، و یا یازده روز در هر سی سال بوده است. تمام این راه حلها بکار گرفته شده اند و آخرین آنها یعنی در میان افزودن یازده روز در هر ۳۰ سال، در بین مسلمانان رواج دارد. انتخاب سال معین برای افزودن روزها در تقویم، تقریباً اتفاقی بوده و روزها معمولاً به آخرین ماه کوتاه سال اضافه می شده که بتوان بسادگی آن را بخاطر آورد.

تقویم اسلامی یکی از تقویمهای قدیمی است که دارای ۱۲ ماه قمری ۲۹ یا ۳۰ روزه بوده و هیچ ماهی بعنوان میان افزون به آن اضافه نمی شود و کوششی برای انطباق آن با سال شمسی صورت نمی گیرد. در نتیجه تعطیلات مختلف در طی یک دوره ۳۳ ساله، در تمام فصول گردش می کند. برای انطباق آن با طول واقعی ماههای قمری، هر

- | | | |
|-------------------|-------------------|-----------------------|
| 1. Lunar Calendar | 2. Solar Calendar | 3. Lunisolar Calendar |
| 4. Civil Month | 5. Lunar Month | 6. Intercalate |

سی سال یازده روز به آن اضافه می‌شود. در نتیجه، این تقویم دارای یک دوره تقویمی ۳۰ ساله^۱ است. در این تقویم ۱۹ سال ۳۵۴ روزه و یازده سال در میان افزوده وجود دارد؛ بدین ترتیب که سالهای دوّم، پنجم، هفتم، دهم، سیزدهم، شانزدهم، هیجدهم، بیست و یکم، بیست و چهارم، بیست و هشتم، و بیست و نهم، از دوره سی ساله، سالهای میان افزوده هستند. این دوره ثابت سی ساله سال قمری دارای ۳۶۰ ماه و یا ۱۰،۶۳۱/— روز است و هر ۲۵۰۰ سال یک روز خطا دارد.

این تقویم ثابت در مسایل مذهبی توسط مسلمین بکار گرفته نمی‌شود. ماه مذهبی^۲ زمانی آغاز می‌شود که هلال ماه نو^۳ پدیدار می‌گردد. این رویداد تقریباً دو روز بعد از حدوث ماه نوه (محاق)، با توجه به تقویم ثابت، اتفاق می‌افتد. مسلمین معمولاً اسم روز را به همراه تاریخ آن ذکر می‌کنند و مسئله عدم انطباق ماه مذهبی و ماه عرفی مشکلی را ایجاد نمی‌کند. روز مذهبی مسلمین در غروب روز قبل از روز عرفی آن شروع می‌شود. سالهای قمری مسلمین از هجرت حضرت محمد (ص) از مکه معظمه به مدینه، در روز جمعه شانزدهم ژوئیه ۶۲۲ میلادی آغاز می‌شود.

تقویم قمری شمسی: زمانی که طول مدت یک سال شمسی در ۳۶۵/۲۵ روز معلوم شد، جستجو برای یک ارتباط دقیق بین سال شمسی و ماههای قمری آغاز گشت. مسئله این بود که چگونه، با بهترین روش، بین سال قمری — که تقریباً ۱۱ روز از سال شمسی کوتاه‌تر است — و سال شمسی، رابطه ایجاد شود.

یکی از اولین راه‌حلهای، اضافه کردن یک ماه به سال قمری در هر دوره سه ساله بود. راه حل دیگر برای ایجاد برابری اضافه کردن ۳ ماه به ۸ سال قمری و یا ۷ ماه به ۱۹ سال قمری است که این تعدیل، به ترتیب برابر یک دوره ۸ ساله و یا ۱۹ ساله سال شمسی است. دوره ۱۹ ساله، به دوره متونیک^۴ موسوم است که اسم آن از نام منجم یونانی، متون^۵ (۴۳۳ قبل از میلاد)، گرفته شده است. متون کشف کرد که در هر دوره ۱۹ ساله شمسی، ۲۳۵ ماه قمری^۶ وجود دارد. هر دو دوره ۸ ساله^۷ و دوره متونیک، توسط یونانیان، بکار گرفته شده است. دوره ۱۹ ساله متونیک تا حدی دقیق است و هنوز در محاسبات تقویم کلیسایی^۱ بکار گرفته می‌شود.

تقویم شمسی: در حال حاضر تقویم قمری در بین بسیاری از ممالک رواج ندارد.

- | | | |
|---------------------------------|---------------------|-----------------------------|
| 1. A Period of 30 Calendar Year | 2. Intercalary Year | 3. Religious Month |
| 4. The Crescent of the New Moon | 5. New moon | 6. Metonic |
| 7. Meton | 8. Lunation | 9. Octennial |
| | | 10. Ecclesiastical Calendar |

به منظور انطباق بیشتر ماههای عرفی^۱ و سال شمسی، کاربرد سال قمری مورد توجه قرار نمی‌گیرد. تعداد ماهها، بهمان ۱۲ ماه در سال محدود شده، اما دیگر، ماهها قمری نیستند و فازه‌های ماه در هر روزی از ماه عرفی ممکن است اتفاق افتد. فقط طول ۳۶۵/۲۴۲۲ روز بعنوان طول متوسط سال شمسی، مبنای کار تقویم شمسی است. جزء ۰/۲۴۲۲ تقریباً نزدیک به کسر ۰/۲۵ است. بنابراین سال ۳۶۵ روزه شمسی بکار می‌رود و هر چهار سال یک روز بعنوان جبران جزء ۰/۲۵ ($۱ = ۴ \times ۰/۲۵$) به سال اضافه می‌گردد. سالی که یک روز به آن اضافه می‌شود به سال کبیسه^۲ موسوم است. این راه حل، همان راه حلی است که در تقویم جولییوسی^۳ بکار گرفته شده است؛ شرح تقویم جولییوسی بعداً خواهد آمد. این تقویم را ژولیوس سزار^۴ درست کرد و پاپ گرگوری^۵ اصلاحاتی در آن بعمل آورد و تا امروز در میان اروپائیان معمول و به نام تقویم گرگوری شناخته شده است. اما چون کسری که می‌بایست جبران شود ۰/۲۴۲۲ است و نه ۰/۲۵، لذا افزودن یک روز در هر چهار سال، باندازه تفاوت ۰/۲۵ و ۰/۲۴۲۲ یعنی ۰/۰۰۷۸ روز در سال و یا در حدود ۳ روز در هر چهار قرن، اضافه می‌آید.

تقویم جولییوسی: قبل از اصلاح تقویم جولییوسی، رومیان قدیم، ماه قمری را در تقویم بکار می‌بردند. طول ماهها بین ۲۹ و ۳۰ روز تغییر می‌کرد. طول سال عرفی^۶ فقط ده ماه بود و سال از ۳۹۵ روز تشکیل می‌شد. ماه اول سال، مارس^۷ و ماههای هفتم، هشتم، نهم و دهم به ترتیب به نامهای سپتامبر^۸، اکتبر^۹، نوامبر^{۱۰} و دسامبر^{۱۱} نامیده می‌شدند. این اسامی، از ریشه لاتینی آنها به معنای ترتیب قرارگیری ماهها، گرفته شده است.

مطابق افسانه‌ها، در زمان سلطنت نوما پومپیلیوس^{۱۲} (۷۰۰ قبل از میلاد)، ماههای فوریه^{۱۳} و ژانویه^{۱۴} بعنوان ماههای یازدهم و دوازدهم به سال اضافه شده‌اند. بعدها در تاریخ روم، ماه قمری منسوخ شد و ماههای دوم، چهارم، هفتم و نهم هر کدام ۳۰ روز و بقیه، بجز ماه فوریه، ۳۱ روز بحساب آمد. امپراطوران روم مجاز بودند که به میل خود تقویم را تغییر دهند. تغییرات تقویم وسیله‌ای برای کوتاه و یا بلندتر ساختن دوره‌های حکومتی و قضایی بود. نهایتاً، حساب روزها در روم به وضع بسیار نامنظمی درآمد.

- | | | | |
|----------------------|---------------|-----------------|--------------------|
| 1. Civil Months | 2. Leap Year | Julian Calendar | 4. Julius Caesar |
| 5. Pope Gregory XIII | 6. Civil Year | 7. March | 8. September |
| 9. October | 10. November | 11. December | 12. Numa Pompilius |
| 13. February | 14. January | | |

اصلاح تقویم رومیان توسط ژولیوس سزار عملی شد. او منجم یونانی به نام سوسی‌جنز^۱ را بعنوان مشاور بکار گرفت. تقویم در سال ۴۶ قبل از میلاد تغییر پیدا کرد که به نام سال پایانی درهم‌برهمی^۲ نامیده شد. اول همه، تصمیم گرفته شد که اعتدال بهاری روز ۲۵ ماه مارس باشد، و برای این منظور ۸۵ روز به سال ۴۶ قبل از میلاد اضافه شد. طول سال در ۳۶۵ روز ثابت قرار داده شد، گرچه آنها می‌دانستند که سال شمسی ۳۶۵/۲۵ روز بطول می‌انجامد و همچنین می‌دانستند که با اضافه کردن هر چهار سال یک‌روز، سال با حدوث فصول تطبیق پیدا می‌کرد. یک‌روزی که به آخر ماه فوریه، اضافه می‌شد مطابق آنچه که امروز صورت می‌گیرد، انجام نمی‌گشت، بلکه بعد از بیست و چهارم فوریه اضافه می‌گردید.

در اصلاح جولیوسی، روز اول ژانویه، بعنوان شروع کار کنسولها^۳ در روز اول سال تعیین گردید. بنابراین روز اول ژانویه سال ۴۵ قبل از میلاد، شروع تقویم جولیوسی است.

سالهای جولیوسی با طول ۳۶۵ روز و شش ساعت، در حقیقت از سال شمسی با طول ۳۶۵/۲۴۲۲ روز بلندتر است. تفاوت به ۰/۰۷۸ روز در سال و یا در حدود ۳ روز در هر چهار قرن می‌رسد. بنابراین حالا واضح است که در اولین شورای جهانی کلیسایی^۴ که در سال ۳۲۵ بعد از میلاد در شهر نیکائیه^۵ در آسیای صغیر^۶ برگزار شد، تقویم جولیوسی می‌بایست تقریباً به مدت سه روز عقب افتاده باشد. — در حالیکه عقب افتادن واقعی تقویم جولیوسی چهار روز بود و این نشانه آن می‌تواند باشد که سوسی‌جنز در سال ۴۶ قبل از میلاد به مدت یک‌روز در تعیین اعتدال بهاری اشتباه کرده باشد، از آنجائیکه طول واقعی سال شمسی هنوز شناخته نشده بود، لذا شورای مذکور، کلیه چهار روز عقب افتادن تاریخ جولیوسی را ناشی از اشتباه سوسی‌جنز دانست (بجای یک‌روز) و وقتی که تاریخ اعتدال بهاری را از ۲۵ مارس به ۲۱ مارس برگرداند، معتقد بودند که این تاریخ برای همیشه ثابت خواهد ماند و عید پاک^۷ مسیح (برابر عید فطریا عید فصح یهود که مسیحیان این عید را به یاد بود برخاستن حضرت عیسی (ع) از مردگان جشن می‌گیرند) بر مبنای ۲۱ ماه مارس تعیین شد.

تقویم گرگوری^۸: با توضیحات فوق، تقویم جولیوسی با مرور زمان دچار اشتباه

1. Sosigenes
2. The Last Year of Confusion
3. Consuls
4. The First Ecumenical Council
5. Nicaea (Nice)
6. Asia Minor
7. Easter
8. Gregorian Calendar

شد، بدین ترتیب که عید پاک، که یک عید بهاری است، نهایتاً می توانست به وسط تابستان بیفتد. در زمان پاپ گرگوری ۱۳، در اواخر قرن ۱۶ میلادی، میزان اختلاف تقویم جولوسی به ده روز بالغ شد؛ اعتدال بهاری سال ۱۵۸۲ به یازدهم مارس افتاد، چه، چنانکه ذکر شد، طول سال شمسی کمتر از ۳۶۵/۲۵ روز بود.

در این زمان طول واقعی سال شمسی شناخته شد و پاپ گرگوری در مطابقت با آن، تقویم را اصلاح کرد. او ده روز از سال ۱۵۸۲ میلادی کم کرد، تا اینکه از سال بعد، اعتدال بهاری دوباره به ۲۱ مارس بیفتد. روز بعد از پنجشنبه چهارم اکتبر، ۱۵۸۲ به جمعه پانزدهم اکتبر تبدیل شد (تداوم روزها تغییر داده نشد و روز جمعه بجای خود باقی ماند). با این تغییر، تقویم جولوسی که تغییر نکرده بود، مرتباً با تقویم گرگوری اختلاف بیشتری پیدا می کرد. گرگوری برای رفع اختلاف بین سال شمسی و تقویم جولوسی، قانونی وضع کرد که هر چهارصد سال سه روز از سال کم گردد. برای این کار، چنین وضع شد که سالهایی که شماره آنها به دو صفر ختم می شود، سال کبیسه بحساب نیایند مگر آنکه دو عدد سمت چپ آنها بر عدد چهار قابل تقسیم باشد. بنابراین در تقویم قدیمی جولوسی سالهای ۱۶۰۰، ۱۷۰۰، ۱۸۰۰، ۱۹۰۰، ۲۰۰۰، الی آخر، می بایست معادل سال کبیسه باشند، اما در تقویم گرگوری سالهای ۱۷۰۰، ۱۸۰۰ و ۱۹۰۰ سال کبیسه نیست ولی سال ۱۶۰۰ و ۲۰۰۰ سال کبیسه است. بدین ترتیب حذف سه روز در هر چهارصد سال ساده می شود.

یک نابرابری دیگر باقی می ماند، که سال گرگوری بدین ترتیب ۳۶۵/۲۴۲۵ روز می شود و بنابراین باندازه ۰/۰۰۰۳ روز از سال شمسی بلندتر است. این اضافه، در هر ده هزار سال به سه روز بالغ می گردد. اما در چنین مدت درازی، عوامل دیگری وارد می شوند. طول سال شمسی که در اینجا دقیقاً ۳۶۵/۲۴۲۲ روز گرفته شده دارای تغییرات بسیار کندی است و طول آن تغییر می کند. قانون مربوط به این تغییر کاملاً شناخته شده نیست. بعلاوه حرکت وضعی زمین به دور محور چرخشی آن، دستخوش تغییرات است که بعضی از آنها قابل پیش بینی است. بنابراین بی فایده است اگر به فکر میزان تغییر تقویم گرگوری در ۳۰۰۰ الی ۴۰۰۰ سال بعد بیفتیم، چه، ممکن است عوامل دیگری با اثرات بیشتر در این فاصله، در نتیجه، اثر بگذارند.

تمام کشورها بلافاصله اصلاحات گرگوری را بکار بستند. فرانسه و هلند در دسامبر ۱۵۸۲ آن را بکار گرفتند، ایالت کاتولیک آلمان در سال ۱۵۸۴ و لهستان در ۱۵۸۶ آنرا قبول کردند.

ایالت پرتستان آلمان و کشور سوئیس در سال ۱۷۰۰ میلادی، و انگلستان و مستعمره‌هایش و کشور سوئد آنرا در سال ۱۷۵۲ قبول کردند. در این وقت بجای ده روز، می‌بایست یازده روز از تاریخ کم می‌شد. بالاخره کشورهای ارتدکس^۱، تقویم قدیمی جولیوسی را تا قرن بیستم نگاه داشتند، که در این ایام میزان اختلاف به ۱۳ روز رسید. بدینترتیب لازم بود تاریخ بصورت ۱۰/۲۳، ۱۹۲۰ نوشته شود، که عدد ۱۰ تقویم قبلی و عدد ۲۳ تقویم جدید است. در حال حاضر کلیه کشورهای، تقویم گرگوری را حداقل برای منظور رسمی، قبول کرده‌اند. لذا می‌توان تقویم گرگوری را بعنوان یک تقویم جهانی منظور داشت، که ایجاد اتحاد در تقویم جهانی، حدود چهار قرن بطول انجامید.

متأسفانه در این بخش راجع به تقویم ایرانی و تاریخچه آن مطلبی نیامده است و خوانندگان ارجمند می‌توانند برای جبران این نقیصه به کتابهای مربوطه مراجعه کنند.

۵۵. فازها و حالات ماه^۲

نور ماه از تابش نور خورشید به سطح آن، ناشی شده است. یک طرف ماه همیشه روشن است و ما، وقتی قادر به مشاهده تمام نیمکره روشن آن هستیم که خورشید و زمین و ماه تقریباً بر یک امتداد قرار گرفته باشند.

فاز، در نجوم، به تغییر شکل ماه در آسمان، بصورتیکه به نظر ما می‌رسد، اطلاق می‌شود. همچنین این اصطلاح در مورد سیاره مریخ و سیاره‌های درونی^۳ نیز بکار می‌رود. تغییر شکل قسمت روشن ماه و سیاره‌ها بعلت تغییر زاویه موجود بین امتداد تابش نور خورشید به آنها و امتداد دید ناظر، صورت می‌پذیرد. بنابراین در فازهای مختلف، مقدار نور منعکس شده خورشید از سطح ماه و یا یک سیاره به سطح زمین تغییر می‌کند.

بعلت حرکت مداری ماه به دور زمین، ماه نسبت به ستارگان آسمان سریعتر از خورشید بسوی مشرق در حال حرکت است. وقتی که ماه، درست بین زمین و خورشید قرار می‌گیرد، فقط قسمت بیرونی و دورتر آن نسبت به زمین، توسط نور خورشید روشن می‌شود و قسمت تاریک آن، به طرف زمین است و ماه قابل رؤیت نمی‌باشد. این فاز ماه، به نام ماه نو (محاق)^۴، نامیده می‌شود. در این حالت فقط ماه در وقت کسوف قابل

1. Orthodox Countries

2. Phase and Aspects of Moon

3. Inner Planets

4. New Moon

رؤیت است. در مرحله ماه نو، ماه نسبت به زمین و خورشید در حالت مقارنه^۱ است. حتی در حالت ماه نو، می بایست یک هلال بسیار باریک از ماه، قابل رؤیت باشد، اما عملاً با چشم، دیده نمی شود تا اینکه ماه ۱۸ ساعته گردد. بعد از ماه نو با ادامه حرکت مداری ماه، بطرف مشرق و به دور زمین، زاویه بین خط واصل بین ماه و زمین و امتداد نور خورشید اضافه می شود. چند شب بعد از ماه نو، لبه نیمه روشن ماه، مانند هلال باریکی، پس از غروب آفتاب، مدتی کوتاه، بچشم می خورد. در این مرحله، قسمت برآمده هلال بجانب مغرب قرار می گیرد که به هلال ماه نو^۲ موسوم است، اگرچه اصطلاحاً به این مرحله هم ماه نو گفته می شود.

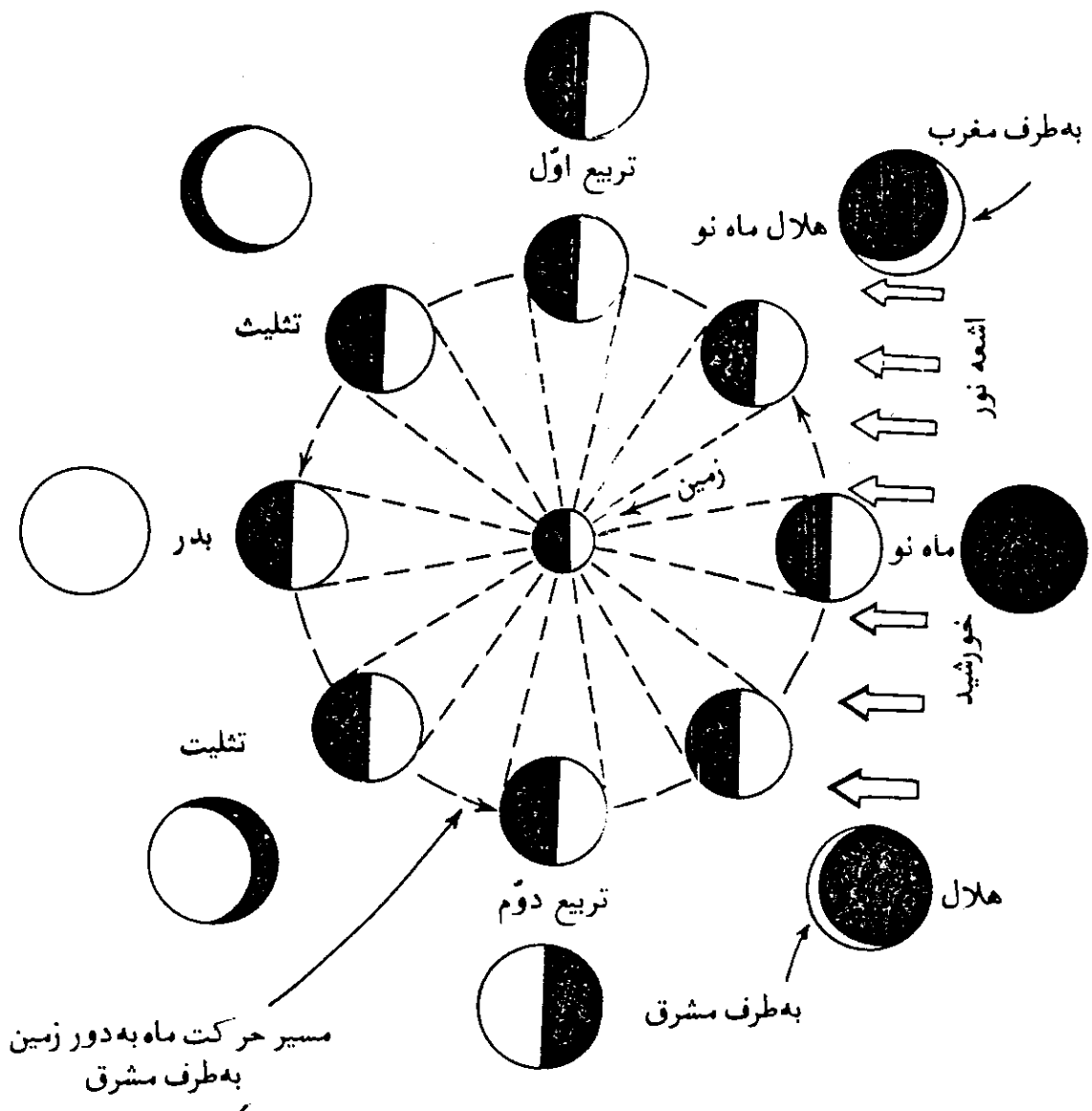
لبه خارجی و یا لبه محدب این هلال که همیشه، بطرف خورشید قرار دارد حاشیه خارجی^۳، نامیده می شود. لبه داخلی و یا لبه مقعر آن، خط مرزی بین روشنی و تاریکی قرص ماه^۴ نامیده می شود. شکل حاشیه خارجی، همیشه ثابت است و فقط به محیط آن افزوده می شود، اما شکل لبه مقعر، دائماً با گذشت روزهای ماه تغییر می کند. دو نوک تیز لبه ها که همیشه بدور از خورشید قرار می گیرد، تیزی دو سر هلال^۵، نامیده می شود. حرکت روزانه ماه، موجب افزایش زاویه بین خط واصل بین اشعه خورشید و خط واصل بین زمین و ماه می شود. در نتیجه، با گذشت روزهای ماه، بعد از حدوث ماه نو، میزان بیشتری از قسمت شرقی قرص ماه روشن شده و اندازه هلال بزرگتر می شود. در حدود یک هفته بعد از ماه نو، ماه در یک چهارم مسیر خود به دور زمین، نصف قرص آن روشن می گردد که آن را تربیع اول می نامند و ماه، در این مرحله در حالت تربیع^۶ است. در این وضعیت زاویه بین امتداد اشعه خورشید و خط واصل بین ناظر زمینی و ماه ۹۰ درجه و یا بعبارت دیگر فاصله زاویه ای ماه از خورشید ۹۰ درجه است.

با ادامه حرکت ماه، میزان فاصله زاویه ای ماه از خورشید افزون گشته و بیش از نصف قرص ماه روشن می شود که تثلیث^۷ نام دارد. در این مرحله فاصله زاویه ای ماه از خورشید ۱۲۰ درجه است. اصطلاح انگلیسی معادل تثلیث، از لغتی ایتالیایی^۸ گرفته شده و به معنای کوژپشت^۹ است.

هنگامیکه ماه به نقطه مقابل زمین نسبت به خورشید می رسد؛ و یا بعبارت دیگر

- | | | | |
|--------------------------|---|------------|------------------|
| 1. Aspect of Conjunction | 2. The Crescent after New (Waxing Crescent) | | |
| 3. Limb | 4. Terminator | 5. Cusps | 6. First Quarter |
| 7. Aspect of Quadrature | 8. Gibbous | 9. Gibboso | 10. Hunch Backed |

فاصله زاویه‌ای ماه و خورشید 180° درجه می‌گردد، تمام قرص ماه، روشن بنظر می‌رسد که بدر نامیده می‌شود و ماه در این موقعیت، در حالت مقابله^۲ است. این مرحله ماه در حدود نیمه ماه بعد از حدوث ماه نو، حاصل می‌شود البته در این موقع، ماه که درست مقابل خورشید نسبت به زمین قرار می‌گیرد، اگر بر روی دایره البروج هم قرار داشته باشد، ماه گرفتگی صورت می‌پذیرد. بعد از این مرحله، قسمت شرقی قرص ماه (بجای قسمت غربی آن) توسط اشعه نور خورشید روشن می‌شود و فازهای ماه، با ترتیب برعکس، از تثلیث تا تربیع آخر^۳ و سپس تا هلال^۴ و بالاخره تا ماه نور تکرار می‌شود، شکل (۶-۳۹).



شکل (۶-۳۹) — فازها و حالات ماه. نصف کره ماه گرچه همیشه روشن است اما با طی مسیر مربوط، به دور زمین، به صورتهای مختلف دیده می‌شود. در دایره خارجی شکل، فازهای ماه به شکلی که از زمین مشاهده می‌شود، نمایانده شده است.

1. Full Moon
2. Aspect of Opposition
3. Last Quarter
4. Crescent before New

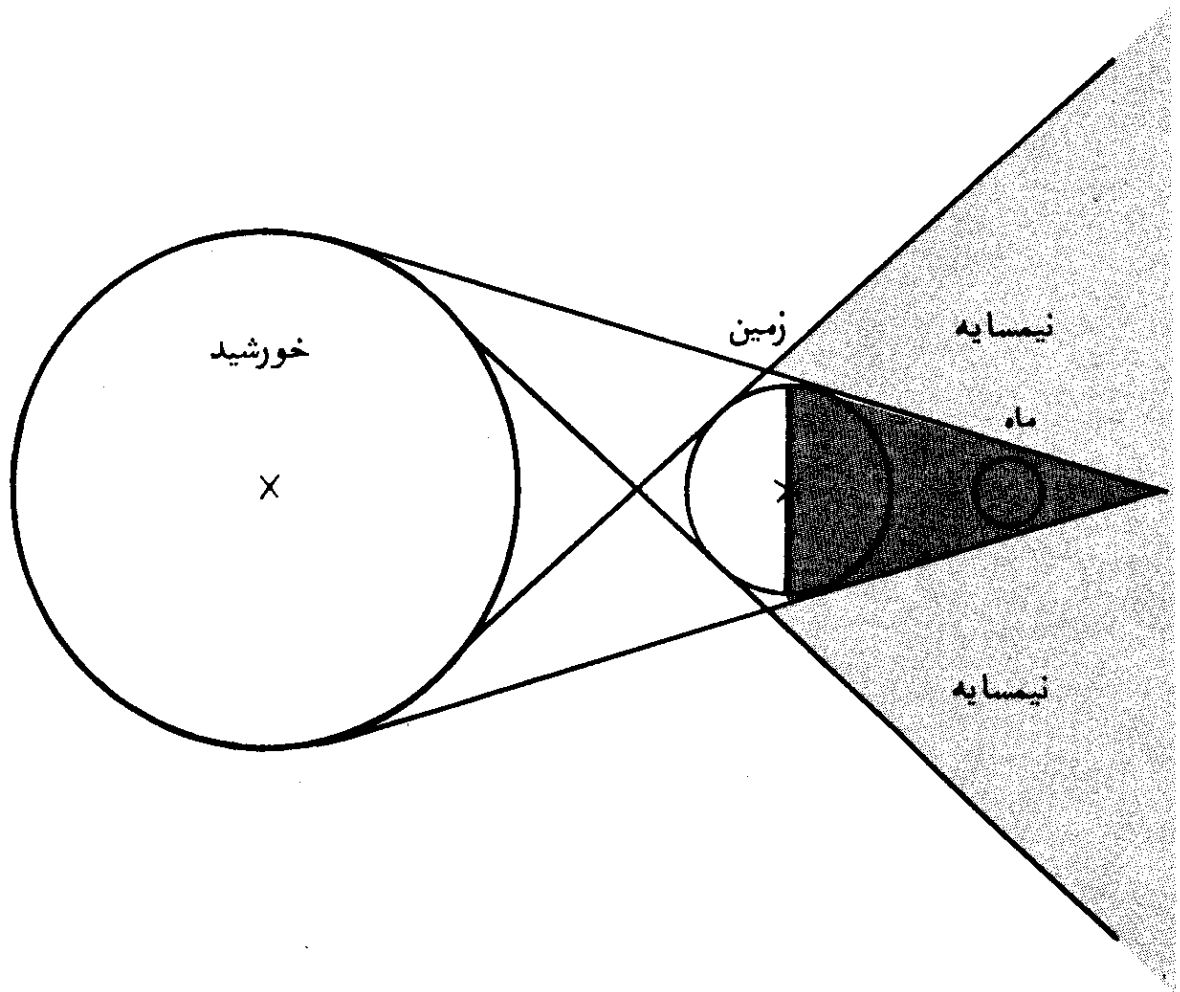
در شرایط مناسب اتمسفری، قسمت تاریک قرص ماه، بصورت خیلی ضعیف قابل رؤیت است. قابل رؤیت بودن قسمت تاریک ماه، بسبب بازتاب نور خورشید از سطح کره زمین به سطح ماه است.

عطارد (تیر) و زهره (ناهد) مانند ماه، دارای فازهای مختلف اند. مریخ (بهرام) دارای فازهای از بدر تا تثلیث است. سیاره های دورتر، بعلت بعد فاصله از زمین و خورشید، دارای تغییر فاز نیستند، چه، فاصله زاویه ای آنها از خورشید، تقریباً ثابت است.

۵۶. گرفت

گرفت و یا گرفتگی یک جرم سماوی، عبور آن از سایه جرم سماوی دیگر است. چنانکه به جسمی غیر شفاف^۲ و غیر نورانی^۳، از طرف خارج آن، نور تابانده شود، در جهت مقابل امتداد نور تابیده شده، سایه ایجاد می شود. قسمت داخلی منطقه سایه که تاریکتر است به نام تمام سایه^۴، و قسمت روشنتر و خارجی سایه به نام نیم سایه^۵ شناخته می شوند. در منظومه شمسی، تمام سیاره ها و قمرها، اجرام غیر شفاف اند و نور خود را از خورشید می گیرند و در نتیجه، در فضا سایه های بزرگی ایجاد می کنند. برای مثال: چنانکه سایه زمین بر روی ماه بیفتد، ماه از دریافت نور خورشید محروم می شود که اصطلاحاً می گویند ماه گرفته، و پدیده را، ماه گرفتگی^۶ (خسوف) نامند. بعلت کروی-شکل بودن سیاره ها، تمام سایه ایجاد شده توسط آنها، به شکل مخروط است. مطابق شکل (۴۰-۶)، مماسهای خارجی، تشکیل مخروط تمام سایه^۷ و مماسهای داخلی، تشکیل مخروط نیم سایه^۸ را می دهند و محور سایه، خطی است که مرکز جسم نور دهنده و نور گیرنده را به هم دیگر وصل می کند. خورشید گرفتگی^۹ (کسوف) وقتی اتفاق می افتد که سایه ماه بر روی زمین بیفتد و مانع از رسیدن نور خورشید به قسمتی از سطح زمین گردد. در مقایسه با فواصل نجومی، خورشید و ماه در فاصله کمی نسبت به زمین قرار دارند و به همین دلیل در پهنه آسمان، به شکل قرصهای دایره ای دیده می شوند. لذا گرفتگی ماه و خورشید بصورت پدیده های شگفت آور طبیعی، نمایان می گردد و معمولاً

1. Eclipse
2. Opaque
3. Non-Luminous
4. Umbra
5. Penumbra
6. Lunar Eclipse
7. The Cone of Umbra
8. The Cone of Penumbra
9. Solar Eclipse



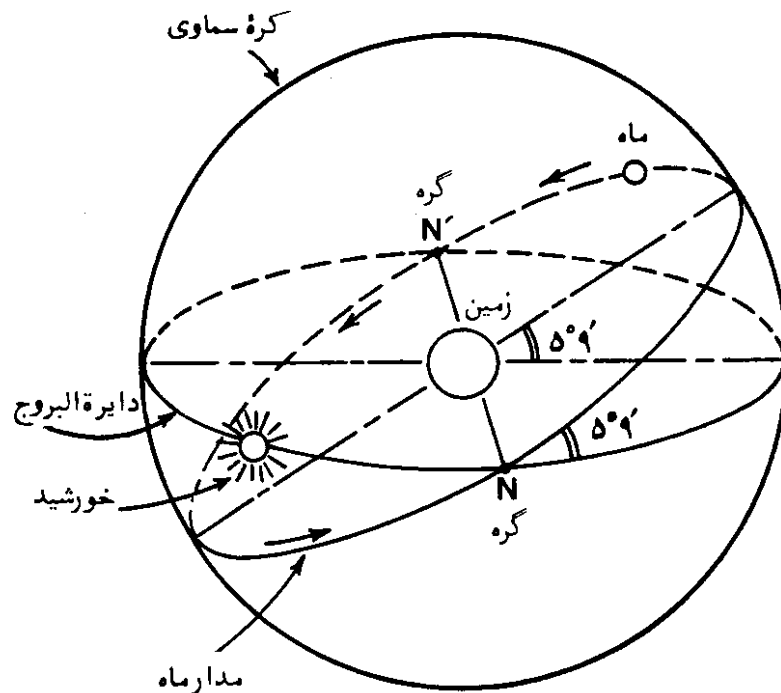
شکل (۶-۴۰) — سایه و نیمسایه ایجاد شده توسط زمین در اثر تابش نور خورشید به آن.

اصطلاح گرفتگی، به گرفتگی ماه و خورشید اطلاق می‌شود. اجرام دیگر سماوی نیز دارای گرفتگی هستند. سایر سیارات منظومه شمسی، برخی مواقع از پشت خورشید عبور می‌کنند. عطارد (تیر) و زهره (ناهید) گاهی از جلو خورشید می‌گذرند، چه مدار آنها داخل مدار زمین قرار دارد. به همین ترتیب تعدادی از سیاره‌ها دارای قمر هستند که گاهی از جلو آنها عبور کرده و توسط سیاره‌های خود گرفته می‌شوند. ماه در حین عبور از آسمان، موجب گرفتگی تعداد زیادی از ستارگان می‌شود. در تمام این موارد، لغت گرفتگی معمولاً بکار نمی‌رود زیرا ابعاد ظاهری اجرام سماوی مورد نظر، قابل مقایسه نیستند و با هم خیلی تفاوت دارند. بجای آن، در مورد عبور یک جرم سماوی از مقابل یک جرم سماوی بزرگتر، اصطلاح عبور، و در مورد گرفتگی یک جرم سماوی کوچکتر توسط یک جرم بزرگتر و یا نزدیکتر، اصطلاح استتار و یا ناپدید شدن موقتی یک ستاره، بکار برده می‌شود.

در رابطه با گرفتگی اجرام سماوی، باید توضیح داده شود که در خارج منظومه

شمسی وقتی که یک مجموعه ستاره دوتایی^۱ در امتداد نزدیک لبه صفحه مدار آن، از زمین قابل رؤیت اند، دو ستاره تشکیل دهنده مجموعه، ممکن است موجب گرفتگی^۲ و یا استتار^۳ یکدیگر شوند. این گونه ستارگان دوتایی را ستارگان دوتایی در حال گرفت^۴ می نامند.

برای آنکه گرفتگی ماه و یا گرفتگی خورشید، پیش آید، لازم است که ماه، خورشید، و زمین هر سه در یک صفحه، قرار گیرند. در مورد گرفتگی خورشید، باید مخروط سایه و یا مخروط تمام سایه ماه بر روی زمین بیفتد. در گرفتگی ماه، مخروط تمام سایه زمین، باید ماه را دربرگیرد. اگر سه جرم سماوی، ماه، خورشید و زمین، همیشه در یک سطح قرار داشتند، گرفتگی خورشید در تمام فازهای ماه نو اتفاق می افتاد و ماه گرفتگی، در همه فازهای بدر ماه، صورت می گرفت. البته این مطلب با آنچه که در عمل اتفاق می افتد، مطابق نیست. چه، مدار حرکت ماه به دور زمین در حدود ۵ درجه و ۹ دقیقه نسبت به سطح دایره البروج (سطح مدار زمین) متمایل است. در نتیجه، خورشید و ماه گرفتگی فقط وقتی وقوع می یابد که ماه نو و یا ماه بدر، در یکی از دو گره قرار گیرد، شکل (۶-۴۱). — دو نقطه برخورد مدارهای زمین و ماه را گره می نامند — در شکل گره های ماه در نقطه N نشان داده شده است. محل این گره ها در طی ۱۸/۶ سال،



شکل (۶-۴۱) — گره های مدار ماه. خورشید و یا ماه گرفتگی زمانی اتفاق می افتد که ماه نو و یا ماه بدر، در یکی از این گره ها قرار گیرند.

- | | | | |
|-----------------------|------------|-----------|-----------------------|
| 1. Binary Star System | 2. Eclipse | 3. Occult | 4. Eclipsing Binaries |
| 5. Nodes | | | |

یک گردش کامل به دور زمین دارند.

اگر محل گره‌های ماه، ثابت بود، خورشید و ماه گرفتگی در فواصل زمانی معین اتفاق می‌افتاد، اما حرکت ماه تحت تأثیر سایر اجرام سماوی تا حدی مختل شده و از مدار خود منحرف می‌گردد. در نتیجه، مدار ماه، حرکتی دورانی^۲ شکل دارد. بدین- ترتیب که خط عمود بر صفحه مدار حرکت ماه به دور زمین، یک مخروط را در مدت ۱۸/۶ سال به دور محور عمود بر صفحه دایرة البروج می‌پیماید. این، بدان معنی است که تمایل مدار حرکت ماه به دور زمین نسبت به صفحه دایرة البروج در ۵ درجه باقی می‌ماند، اما محل تلاقی دو صفحه (مدار ماه و دایرة البروج) بطرف مغرب تغییر مکان می‌دهد. بنابراین چنانکه قبلاً هم گفته شد، محل گره‌ها ثابت نیست، بلکه دارای حرکتی قهقرا^۳یی اندک^۴ عبارت دیگر در مدت ۱۸/۶ سال، به دور زمین از طرف مشرق به مغرب، یک گردش کامل می‌کنند.

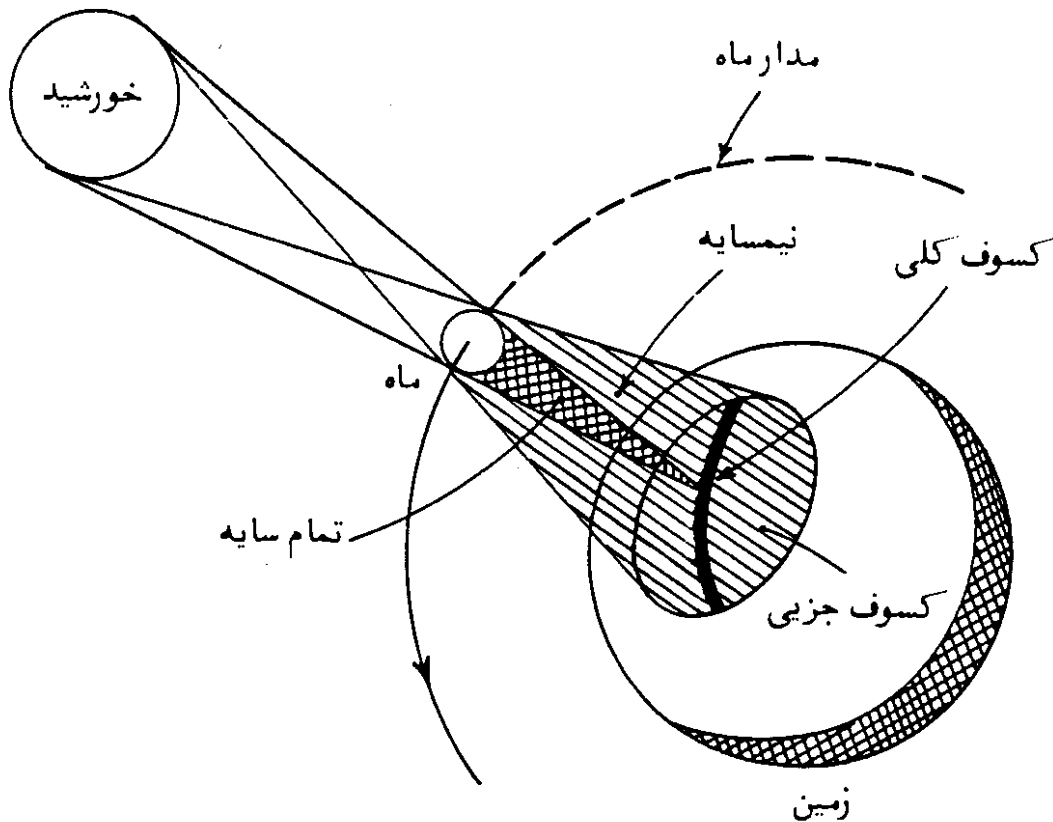
این پدیده، به نام سیر قهقرا^۵یی گره‌های مدار ماه، شناخته می‌شود همچنین این پدیده، شبیه حرکت تقدیمی محور زمین است. بعلت سیر قهقرا^۵یی گره‌ها بجانب مغرب، ۳۴۶/۶۲ روز طول می‌کشد تا خورشید به همان گره قبلی برسد. این مدت، به سال خسوف و کسوف^۵ موسوم است.

در قدیم، کلدانیها دریافته‌اند که خسوف و کسوف مشابه از نظر وضعیتهای مداری، در یک دوره ۳۲/۵۸۵، روزه (معمولاً ۱۸ سال و ۱۱/۳ روز و یا ۱۰/۳ روز اگر ۵ سال کبیسه در این دوره باشد) حادث می‌شود. این مدت در حدود دوره سیر قهقرا^۵یی گره‌های مدار ماه است (۱۸/۶ سال) اما کاملاً با آن برابر نیست و این دوره، به دوره قمری با تشابه وضعیت، یا ساروز^۶ موسوم است.

دوره قمری با تشابه وضعیت درست برابر ۲۲۳ دوره ماه قمری (۲۹/۵۳۰۶ روز از حدود ماه نو تا ماه نو بعدی) است. از آنجاییکه برگشت خورشید به همان گره قبلی، ۳۴۶/۶۲ روز طول می‌کشد و دقیقاً ۱۹ سال خسوف و کسوف، برابر ۶۵۸۵/۷۸ روز است، بنظر می‌رسد که ۲۲۳ ماه قمری و ۱۹ سال خسوف و کسوف تقریباً برابرند. این بدان معنی است که در پایان هر ساروز، خورشید، ماه، و گره‌های مدار ماه در وضعیت تقریباً مشابه قرار دارند و لذا خسوفها و کسوفها فقط با تغییرات بسیار جزئی تکرار می‌شوند.

گرفتگی خورشید (کسوف): خورشید گرفتگی وقتی پدید می آید که سایه ماه بر روی قسمتی از زمین بیفتد، شکل (۶-۴۲). در حقیقت می بایست کسوف را گرفتگی زمین نامید، چنانکه در گذشته گاهی همینطور بیان شده است، چه، سایه بر روی زمین می افتد؛ همچنانکه در مورد خسوف، سایه بر روی ماه می افتد. خورشید گرفتگی فقط در صورتی پدید می آید که خورشید، ماه، و زمین تقریباً بر یک امتداد قرار گیرند و این در صورتی است که ماه در حالت مقارنه با خورشید (ماه نو) و در نزدیکی یکی از گره های مدار خود به دور زمین باشد.

در بحث انواع مختلف خسوف و کسوف، سه نکته زیر در رابطه با سه عامل اصلی خسوف و کسوف یعنی خورشید، ماه و زمین حایز اهمیت است:



شکل (۶-۴۲) - کسوف با گرفتگی خورشید. مسیر کسوف کامل و منطقه کسوف جزئی نشان داده شده است. عرض مسیر کسوف کامل در جاییکه تمام سایه ماه، زمین را قطع می کند، هیچوقت از ۲۷۰ کیلومتر و یا ۱۷۰ مایل بیشتر نمی شود. مناطق پوشیده شده توسط نیمسایه ماه که شاهد کسوف جزئی اند، بسیار وسیعتر است.

۱. چنانکه قبلاً هم گفته شد، مدار حرکت انتقالی زمین به دور خورشید، بیضی-

1. Eclipses of the Earth

شکل است، نه دایره‌ای. در نقطهٔ حضیض (در ماه ژانویه)، فاصلهٔ زمین از خورشید حدود $10^6 \times 2/5$ کیلومتر کمتر از یک واحد نجومی و در نقطهٔ اوج (ماه ژوئیه)، $10^6 \times 2/5$ کیلومتر بیشتر از یک واحد نجومی است. بنابراین قرص خورشید در ماه ژانویه $1/7$ درصد بزرگتر و در ماه ژوئیه، $1/7$ درصد کوچکتر از قطر زاویه‌ای متوسط آن که $31'$ و $59''$ است، می‌باشد.

۲. مدار حرکت ماه به دور زمین نیز یک بیضی است. فاصلهٔ ماه تا زمین در نقطهٔ حضیض ماه $365,000$ و در نقطهٔ اوج، $407,000$ کیلومتر است. از آنجاییکه قطر قرص ماه بطور متوسط تحت زاویهٔ $31'$ و $5''$ دیده می‌شود، نتیجه می‌گیریم که در نقطهٔ حضیض، ماه 7 درصد بزرگتر و در نقطهٔ اوج 6 درصد کوچکتر بنظر می‌رسد. در شرایط متوسط، قرص ماه از سطح زمین کوچکتر از قرص خورشید دیده می‌شود. حتی وقتی که خورشید گرفتگی، مرکزی^۱ است، یعنی وقتی که مرکز قرص ماه بر مرکز قرص خورشید منطبق می‌شود—قرار گرفتن ماه در یکی از گره‌ها—، حلقهٔ خارجی خورشید قابل رؤیت است که آن را خورشید گرفتگی حلقه‌ای^۲ می‌نامند. اما وقتی که ماه در نقطهٔ حضیض است، قطر زاویه‌ای آن $33'$ و $16''$ است که حتی از قطر زاویه‌ای خورشید در ماه ژانویه هم بیشتر است. در نقطهٔ حضیض ماه، خورشید گرفتگی، کامل^۴ است، یعنی تمام قرص خورشید وسیلهٔ قرص ماه پوشیده می‌شود.

۳. قبل و بعد از خورشید گرفتگی مرکزی، قرص ماه قسمتی از قرص خورشید را می‌پوشاند که آن را خورشید گرفتگی جزئی^۵ نامند. بعضی از خورشید گرفتگیها، در تمام طول مدت آن بصورت جزئی است و این در صورتی است که ماه از نقطهٔ گره آن، بطرف مشرق و یا مغرب، دور باشد و در نتیجه نتواند ایجاد خورشید گرفتگی کامل و یا حلقه‌ای کند.

۴. تشخیص انواع خورشید گرفتگی، با توجه به شکل (۴۳-۶) که سایهٔ ماه در آن نمایانده شده، روشنتر خواهد بود. طول تمام سایهٔ ماه، $373,000$ کیلومتر است، در حالیکه فاصلهٔ متوسط ماه و زمین $384,000$ کیلومتر می‌باشد. در نقطهٔ حضیض ماه، فاصلهٔ آن از زمین $356,000$ کیلومتر است و تمام سایهٔ ماه به سطح کوچکی از زمین می‌رسد که در آن، خورشید گرفتگی کامل مشاهده می‌شود. در نقطهٔ اوج ماه، فاصلهٔ آن از زمین— $407,000$ کیلومتر و تمام سایه، باندازهٔ کافی بلند نیست که بتواند

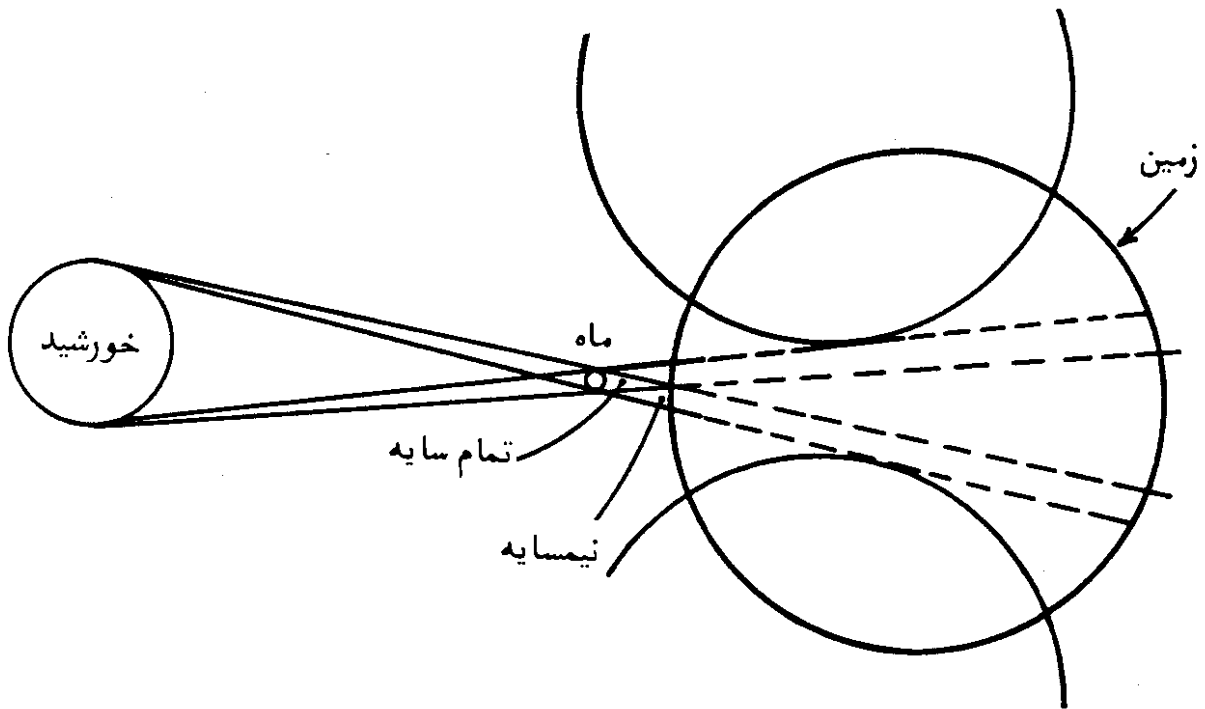
1. Angular Diameter

2. Central Eclipse

3. Annular Eclipse

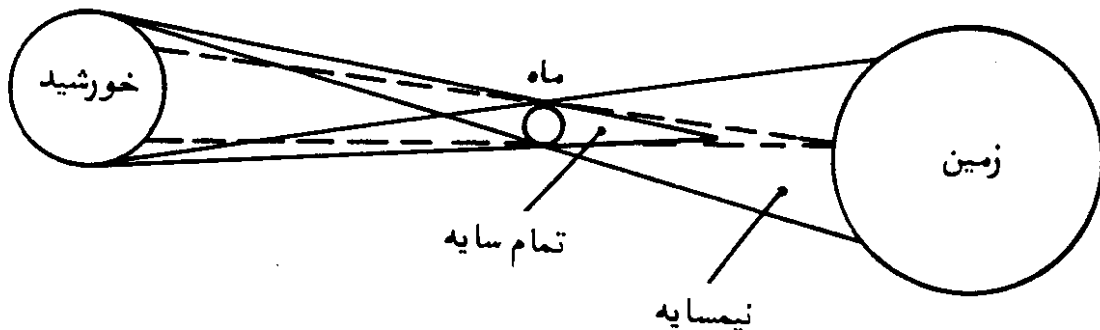
4. Total Eclipse

5. Partial Eclipse



شکل (۶-۴۳) - تمام سایه و نیمسایه ماه در موقع خورشید گرفتگی. خورشید گرفتگی کامل زمانی پدید می آید که خورشید، ماه و زمین تقریباً و یا کاملاً بر روی یک راستا قرار گرفته و ماه به اندازه کافی به زمین نزدیک باشد که تمام سایه آن بتواند به سطح زمین برسد. در مسیری که توسط تمام سایه پوشیده می شود، خورشید گرفتگی کامل است. در سایه روشنتر یعنی در نیمسایه ماه، خورشید گرفتگی جزئی است. وقتی که زمین در دو وضعیت نشان داده شده دیگر باشد، خورشید گرفتگی کامل پدید نخواهد آمد.

به سطح زمین برسد و در این حالت، خورشید گرفتگی را حلقوی گویند، شکل (۶-۴۴).



شکل (۶-۴۴) - خورشید گرفتگی حلقوی. در این خورشید گرفتگی شرایط قرارگیری ماه، خورشید و زمین بر یک راستا، مانند خورشید گرفتگی کامل است، اما طول تمام سایه ماه باندازه ای نیست که به زمین برسد و قرص ماه باندازه کافی بزرگ نیست که قرص خورشید را بپوشاند، در این حالت یک حلقه نورانی از قرص خورشید به دور قرص ماه دیده می شود.

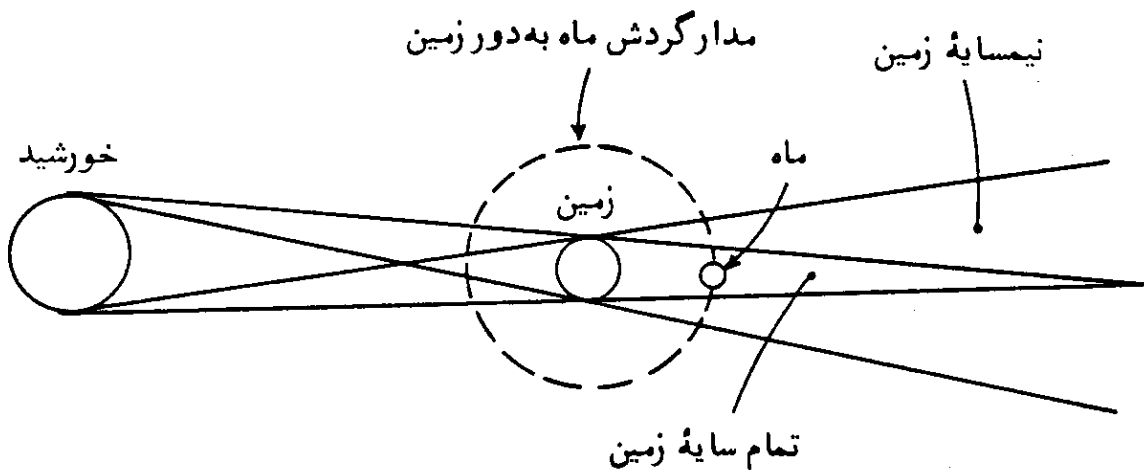
بیشترین دامنه منطقه خورشید گرفتگی کامل، بر روی زمین تا حد ممکن، حدود ۱۷۰ مایل و یا ۲۷۰ کیلومتر است. از طرف دیگر دامنه توسعه نیمسایه ماه بر روی زمین بسیار بزرگتر می‌باشد.

از آنجاییکه ماه در مدار خود با سرعتی برابر ۱ کیلومتر در ثانیه حرکت می‌کند، سایه آن بر روی زمین نیز تقریباً با همان سرعت حرکت خواهد داشت. اما از طرف دیگر، زمین نیز هم جهت با سایه، با سرعتی در حدود $0/5$ کیلومتر در ثانیه (در دایره استوا) به دور خود می‌چرخد. بنابراین سرعت سایه بر روی زمین در حدود $(1 - 0/5 = 0/5)$ کیلومتر در ثانیه خواهد بود. منطقه‌ای از سطح زمین را که تمام سایه ماه بر روی آن حرکت می‌کند به نام منطقه کسوف کامل^۱ می‌شناسند. در نتیجه حرکات زمین و ماه، چنانکه از یک نقطه در منطقه کسوف کامل، مشاهده صورت گیرد، خورشید گرفتگی، فقط چند دقیقه بطول می‌انجامد (از یکی دوسه دقیقه تا $7/5$ دقیقه، بسته به تغییرات قطر زاویه‌ای خورشید و ماه و خروج از مرکز مدار^۲). بعلت حرکت چرخشی زمین و محدود بودن منطقه کسوف کامل بر روی آن، زمان متوسط بین دو کسوف کامل در یک نقطه خاص بر روی زمین در حدود ۳۶۰ سال است.

خورشید گرفتگی جزئی در مناطقی از زمین صورت می‌پذیرد که نیمسایه ماه به آنها

می‌رسد.

گرفتگی ماه^۳ (خسوف): گرفتگی ماه وقتی پدید می‌آید که سایه زمین بر روی آن بیفتد، شکل (۶-۴۵) و خسوف در صورتی ایجاد می‌شود که خورشید و زمین و ماه هر سه تقریباً بر یک راستا قرار گیرند. مانند حالت گرفتگی خورشید. در مورد گرفتگی ماه



شکل (۶-۴۵) - گرفتگی ماه.

هم، لازمست که ماه در نزدیکی یکی از گره‌های مدار خود باشد. البته در این مورد، ماه باید در حالت مقابله یعنی در فاز بدر باشد. در شکل (۴۵-۶)، سایه زمین نمایانده شده است. در هنگام خسوف، ماه، اول وارد قسمت نیمسایه زمین می‌شود. در اینحالت چنانکه ناظری در ماه باشد، خواهد دید که قسمتی از قرص خورشید توسط زمین پوشانده شده است. تشخیص گرفتگی ماه در نیمسایه زمین^۱، مشکل است، چه روشنی سطح ماه، بمقدار کمی کاهش می‌یابد و معمولا این نوع گرفتن ماه از جداول خسوف و کسوف^۲ حذف می‌شود.

وقتی که گرفتگی ماه در نزدیکی یکی از گره‌های آن صورت گیرد، ممکن است گرفتگی آن جزئی و یا کلی باشد. گرفتگی ماه وقتی جزئی^۳ است که قسمتی از کره ماه داخل قسمت تمام سایه زمین گردد، و هنگامی کلی^۴ است که تمام کره ماه داخل قسمت تمام سایه زمین شود.

در فاصله ماه، قطر تمام سایه زمین در حدود $9,000/$ کیلومتر است، در حالیکه قطر ماه فقط $3,400/$ کیلومتر می‌باشد. در نتیجه، طول مدت گرفتگی ماه می‌تواند از ۲ الی ۳ ساعت باشد.

تمام گرفتگیهای ماه، در طول مدت آن، در همه نقاط سطح زمین که ماه در آنها طلوع کرده است، قابل رؤیت است؛ حتی در موارد خسوف کلی، قرص ماه با روشنی کمی قابل دیدن است، چه، مقداری از نور خورشید پس از شکست در اتمسفر زمین، به رویه ماه رسیده، موجب روشن شدن آن به مقدار کم می‌گردد. از آنجاییکه اتمسفر زمین نور قرمز را بیشتر از نور آبی از خود عبور می‌دهد، لذا سطح ماه، بهنگام گرفتگی کامل، اندکی قرمز رنگ بنظر می‌رسد.

۵۷. ستاره^۵

ستارگان توده‌های کروی شکل گازی با درجه حرارتهای بسیار زیادند و درخشندگی آنها از خود آنها سرچشمه می‌گیرد، حرارت سطح آنها، به هزاران درجه می‌رسد و درجه حرارت درون آنها بسیار زیادتر است. برای مثال: خورشید ما، در منظومه شمسی، خود، یک ستاره است.

در این درجه حرارت‌های بسیار زیاد، ماده نمی‌تواند بصورت جامد و یا مایع باقی بماند. گازهای تشکیل دهنده ستارگان، بسیار متراکمتر از گازهای موجود در سطح زمین است. علت متراکم بودنشان وجود فشارهای بسیار زیاد در درون آنهاست.

ستارگان در فضا به اطراف حرکت می‌کنند، اما حرکات آنها برای ناظر زمینی محسوس و قابل تشخیص نیست. در طی یکسال، تغییری در وضعیت آنها نسبت به یکدیگر پیدا نمی‌شود. حتی در طی هزارسال هم میزان تغییر محل ستارگان، نمی‌تواند اساسی باشد. وضعیت آنها در حال حاضر، همان وضعیت یک هزارسال پیش است. این ثابت بودن محل ستارگان، بعلت دوری بسیار زیاد ما از آنهاست.

در چنین فواصلی، هزاران سال بطول می‌انجامد تا تغییر قابل توجهی در وضعیت ستارگان، قابل تشخیص گردد. نام ثوابت که به ستارگان اطلاق می‌شود، بعلت ثابت بودن ظاهری وضعیت آنهاست.

جهان، بطور کلی از کهکشانها تشکیل شده، که بزرگترین کهکشان، خود از چندین بلیون ستاره تشکیل گردیده است. ستارگانی را که شب هنگام در پهنه آسمان می‌بینیم، متعلق به کهکشان راه شیری^۱ است که منظومه شمسی در آن، قرار دارد. بنظر می‌رسد که این ستارگان بصورت مسطح در صور فلکی مختلف، بطور ثابت قرار گرفته‌اند، اما در حقیقت آنها در داخل و به دور کهکشان، با سرعت‌های بسیار زیاد در حرکت‌اند و فواصل آنها فقط از طریق سال نوری (فاصله‌ای که نور در یکسال با سرعت $186,000$ مایل در ثانیه طی می‌کند، که در حدود 6 تریلیون، $10^{12} \times 6$ مایل است) و پارسک^۲ (فاصله‌ای در حدود $3/3$ سال نوری) قابل تصورند. ستارگان زیادی بصورت دوگانه^۳، سه‌گانه^۴ و یا سایر مضارب، موجودند که فاصله آنها از یکدیگر کمتر بوده، حول یک مرکز مشترک، در حال گردش‌اند؛ سایر ستارگان در مجموعه‌های بزرگتر و بصورت خوشه^۵ وجود دارند.

۵۸. سیارات^۶

سیارات که به دور خورشید حرکت می‌کنند، اجرام بزرگ تقریباً کروی شکل‌اند. شناخته شده‌ترین آنها، سیاره زمین است. تمام سیارات منظومه شمسی، نسبتاً سرد

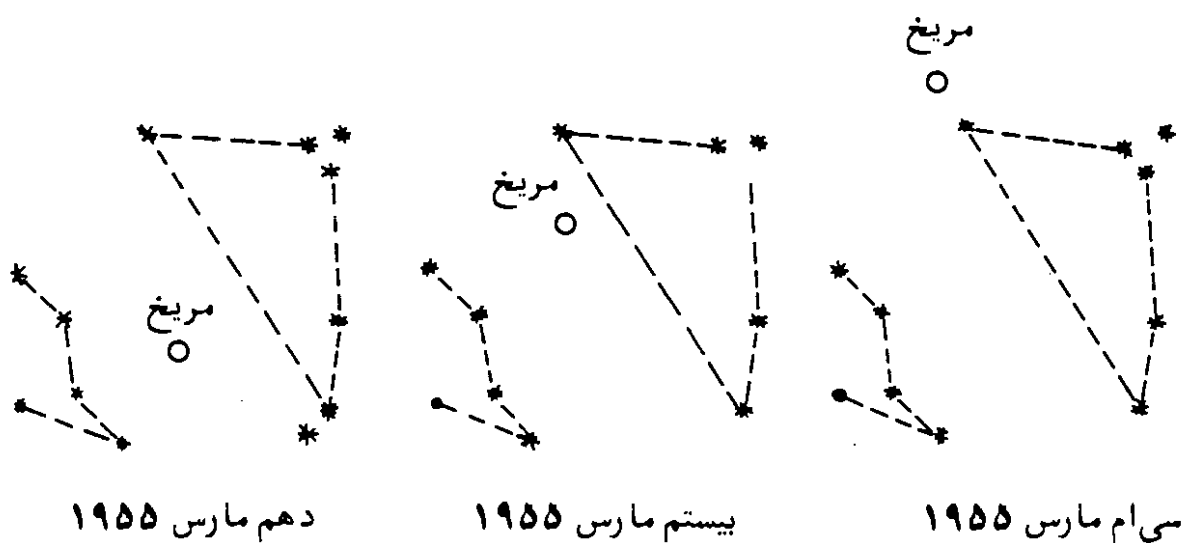
1. Milky Way
2. Parsec
3. Pair
4. Triple
5. Cluster
6. Planets

هستند و روشنی آنها، بعلت بازتاب نور خورشید از سطح آنهاست؛ بعضی از این سیارات را در ایام مختلف، با چشم غیر مسلح می توان مشاهده کرد. ولی سه سیاره، فقط با کمک تلسکوپ، قابل رؤیت اند. در دید اولیه، سیارات مانند سایر ستارگان بنظر می رسند که در پهنه آسمان می درخشند، اما یک ناظر، می تواند سیاره را با توجه به مشخصه های زیر تمیز دهد:

۱. سیارات با اندازه زاویه ای^۱ بزرگتر، با نور یکسانی می درخشند و کمتر چشمک زن هستند، در حالیکه ستارگان اینگونه نیستند و نوری که از آنها به چشمان ما می رسد سرعت در رنگ و شدت آنها، تغییر حاصل می شود. این تغییر رنگ و شدت نور، موجب چشمک زدن^۲ ستارگان می شود.

۲. سیارات در آسمان، دارای حرکت اند مثلا سیاره ای که یک وقت نزدیک ستاره ای ثابت قرار دارد، در وقت دیگر در نزدیکی ستاره دیگری قرار می گیرد. در صورتیکه وضعیت ستارگان نسبت به یکدیگر تغییر نمی کند، شکل (۴۶-۶). لغت انگلیسی سیاره (Planet) از یک لغت یونانی به معنی سرگردان^۳ گرفته شده است.

۳. سیارات از درون تلسکوپ بصورت قرص روشنی مشاهده می شوند و هرچه بزرگنمایی^۴ تلسکوپ بیشتر باشد، قطر قرص مشاهده شده بزرگتر است. اما ستارگان حتی از درون تلسکوپهای بزرگ هم بصورت نقاط روشنی دیده می شوند. حتی با تلسکوپ ۲۰۰ اینچی هم، فقط بصورت نقطه روشنی بنظر می رسند.

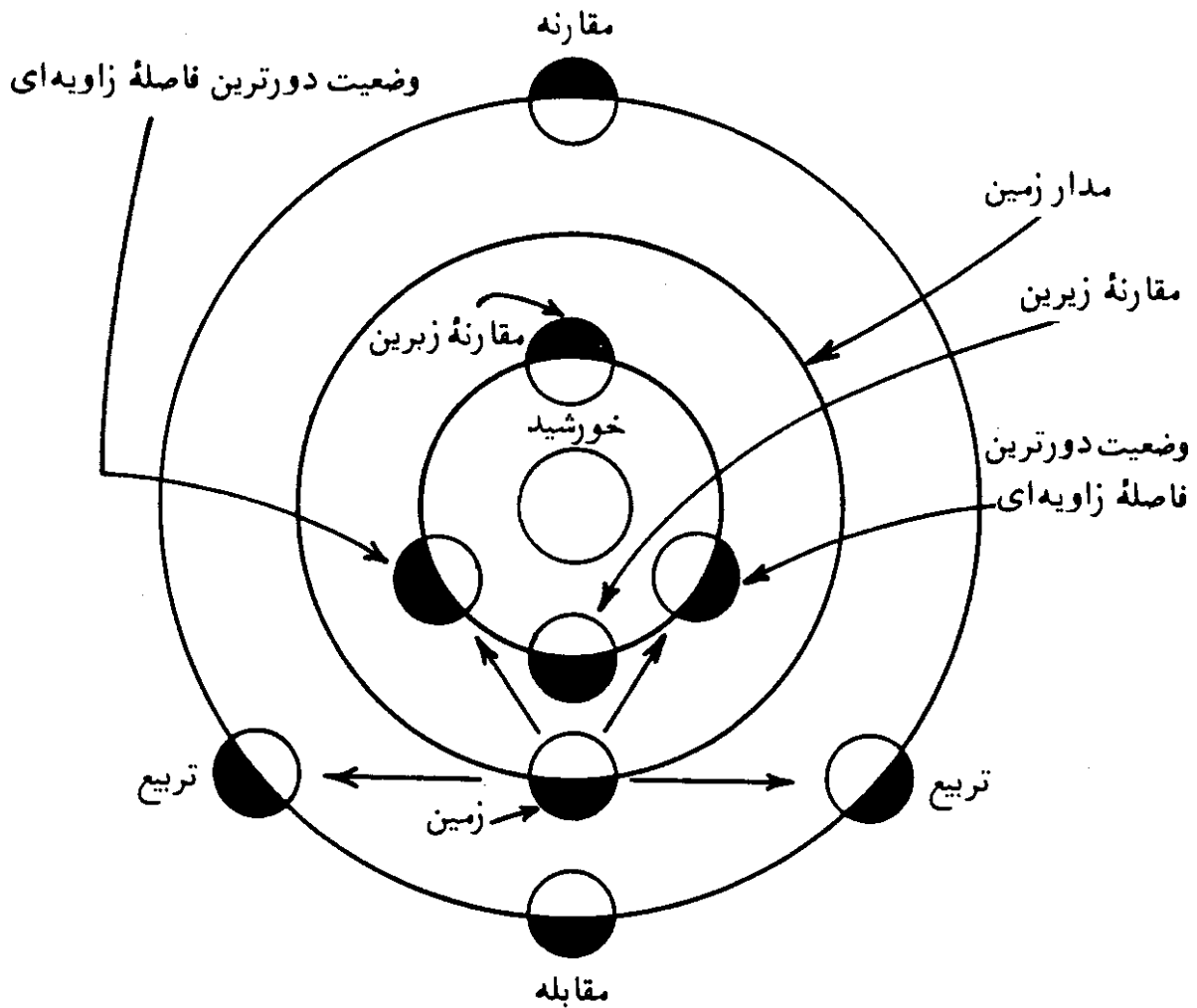


شکل (۴۶-۶) - حرکت سیارات در آسمان. در این شکل وضعیت سیاره مریخ نسبت به ستارگان نمایانده شده است. فواصل نسبی ستارگان ثابت است اما وضعیت مریخ نسبت به آنها در طی بیست روز، تغییر یافته است.

۴. سیارات، تنها در یک نوار باریکی از آسمان قابل رؤیت‌اند و حرکات آنها فقط منحصر به همین نوار باریک است، در حالیکه ستارگان در هر جای آسمان قابل مشاهده‌اند. مسیر ظاهری سیارات^۱، منطقه البروج^۲ است که به پهنای ۱۶ درجه در امتداد دایره استوای سماوی است.

قدما، هفت سیاره و یا ستاره سرگردان^۳ را می‌شناختند؛ آنها عبارت بودند از ماه، عطارد (تیر)، زهره (ناهید)، مریخ (بهرام)، مشتری (برجیس)، زحل (کیوان) و خود خورشید. حالا ما می‌دانیم که خورشید یک ستاره است و ماه را بعنوان یک قمر^۴ زمین می‌شناسیم که خود زمین نیز یک سیاره واقعی است. سه سیاره اصلی دیگر کشف شده‌اند که عبارتند از اورانوس^۵، نپتون^۶ و پلوتو^۷ که به همراه پنج سیاره دیگر جمعاً ۸ سیاره می‌شوند. بعلاوه در حدود دوهزار سیاره کوچک و سیارک^۸ (آستروئید) نیز وجود دارد. در مفهوم اختر فیزیکی^۹ جدید، سیاره به یک جرم سماوی اطلاق می‌شود که درخشش آن از بازتاب نور خورشید و درجه حرارتش به مراتب کمتر از درجه حرارت خورشید باشد. سیارات اساساً با ستارگان دنباله دار^{۱۰} فرق دارند، بدین ترتیب که بسیار متراکم‌ترند و دارای هسته مرکزی گازی^{۱۱} شکل نیستند و دنباله^{۱۲} ندارند. فرق سیارات با شهابسنگ‌ها^{۱۳} در بزرگی آنهاست که آنها را در خارج جو زمین قابل رؤیت ساخته است. سیارات مذکور به دو دسته تقسیم می‌شوند. سیارات زیرین^{۱۴} آنهایی‌اند که مدار حرکتشان به دور خورشید، در داخل مدار زمین قرار دارد و سیاره‌های زیرین^{۱۵} که مدار آنها خارج از مدار زمین واقع است. شکل (۴۷-۶). برای یک سیاره زیرین، چهار آرایش^۱ قابل تمایز است: مقارنه زیرین^۷، وقتی که سیاره بین زمین و خورشید قرار گیرد؛ مقارنه زیرین^۸، وقتی که خورشید بین زمین و سیاره قرار گیرد؛ و وضعیت دورترین فاصله زاویه‌ای شرقی و غربی^۹ که نمایانگر بزرگترین زاویه جدایی سیاره از خورشید است (زاویه بین خط واصل بین زمین و خورشید و زمین و سیاره). سیارات زیرین مانند ماه دارای فازهای مختلف‌اند؛ در مقارنه زیرین در حالت بدر، در وضعیت دورترین فاصله زاویه‌ای، نصف قرص آنها نمایان (مثل حالت تربیع ماه) است و در مقارنه زیرین،

- | | | |
|---------------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. The Apparent Pathway of Planets | 2. Zodiac | 3. Wandering Star |
| 4. Satellite | 5. Uranus | 6. Neptune |
| | 7. Pluto | 8. Asteroid |
| 9. Astrophysical | 10. Comets | 11. Gaseous Coma |
| | 12. Tail | |
| 13. Meteorites | 14. Inferior Planets | 15. Superior Planets |
| 16. Configuration | 17. Inferior Conjunction | 18. Superior Conjunction |
| 19. Greatest East and West Elongation | | |



شکل (۴۷-۶) - آرایش سیارات. مقارنه زیرین و زبرین و وضعیت دورترین فاصله زاویه‌ای یک سیاره درونی (داخلی‌ترین دایره شکل) و مقارنه، مقابله و تربیع یک سیاره زبرین (بیرونی‌ترین دایره).

طرف تاریک آنها به طرف زمین است و دیده نمی‌شوند (مثل حالت ماه نو) برای یک سیاره زبرین چهار آرایش قابل تمایز است: مقارنه، وقتی که خورشید بین زمین و سیاره قرار دارد؛ مقابله، وقتی که زمین بین خورشید و سیاره قرار می‌گیرد و در نتیجه به سیاره نزدیکتر است، و تربیع شرقی و غربی^۱ که در هر کدام از این دو تربیع خط واصل بین سیاره و زمین بر خط واصل زمین و خورشید عمود است.

فاز یک سیاره زبرین در حالت‌های مقابله و مقارنه، کامل (مثل ماه در فاز بدر) و در حالت تربیع که کمترین مقدار از قرص سیاره پیداست به اندازه حالت تثلیث ماه است. حرکت سیارات نسبت به ستارگان گاهی بطرف مشرق (حرکت مستقیم^۲) و گاهی بطرف مغرب (حرکت معکوس^۳) است که اندازه حرکت آنها برای سیارات مختلف متغیر

است. این حرکتِ ظاهریِ شرقی و غربی، که مدتها موجب تفسیرهای مختلف بود، بعلت حرکت‌های دورانی زمین و سیارات به‌دور خورشید است که مجموعهٔ دو حرکت، اینگونه حرکاتِ شرقی و غربی را موجب می‌شوند.

۵۹. صورتهای فلکی^۱

از اتصال ستارگان مشخصی که بسادگی قابل تمایزند، با خطوط فرضی به‌یکدیگر، اشکالی در سطح آسمان بوجود می‌آید که اصطلاحاً صور فلکی نامیده می‌شوند. صورتهای فلکی در مشخص کردن وضعیت اجرام سماوی، بکار گرفته می‌شوند. در بیشتر موارد، اجرام سماوی واقع در یک صورت فلکی، از نظر فیزیکی با یکدیگر ارتباطی ندارند و در فواصل متغیری نسبت به‌زمین قرار گرفته‌اند و شکل ظاهری آنها ناشی از میدان دید ناظر زمینی است. نام بسیاری از صورتهای فلکی، بخصوص آنهایی که در منطقهٔ البروج و اطراف قطب شمال سماوی واقعند، توسط پیشینیان انتخاب شده است و آنها اسامی قهرمانان، حیوانات و سایر اشیاء مربوط به افسانه‌ها را به این صورتهای فلکی داده‌اند. سایر صورفلکی، یعنی صور فلکی جدید، دارای نام ابزار علمی^۲ اند. دسته‌های ستارگان واقع در صورتهای فلکی، در بین تمدنهای مختلف فرق دارند. مثلاً چینی‌ها، برای دسته‌های مختلف ستارگان اسامی دیگری را در مقایسه با آنچه که توسط مغرب‌زمینها صورت گرفته، انتخاب کرده‌اند. در طی قرون متمادی، حدودهای مورد نظر و تعداد صورتهای فلکی انتخاب شده، حتی در میان مردم غرب، تغییر یافته ولی شکل تعداد زیادی از آنها، مقدار کمی تغییر کرده است.

در یک مجموعه‌ای که در حدود سال ۱۵۰ میلادی، تهیه شده، اسامی ۴۸ صورت فلکی ذکر شده است.

در سنگنبشته‌ای از مصریان، که مربوط به حدود ۲،۰۰۰ سال قبل است، صور فلکی شناخته شده توسط آنها، حک گشته که در میان آنها تعدادی از صور فلکی امروزی قابل تشخیص است. این بدان معنی است که شکل‌های ایجاد شده توسط مجموعهٔ زیادی از ستارگان در طی ۲۰ قرن به مقدار کمی تغییر کرده و مشخصهٔ بعضی از صورفلکی از روزگار باستان باقی مانده است.

در نجوم جدید، ۸۸ صورت فلکی مشخص شده است. هر کدام از این صور دارای

حدود مشخص و نام اولیه‌ای است که در گذشته به آنها داده شده است. ۸۸ صورت فلکی موجود تمام کره سماوی را دربرمی‌گیرد.

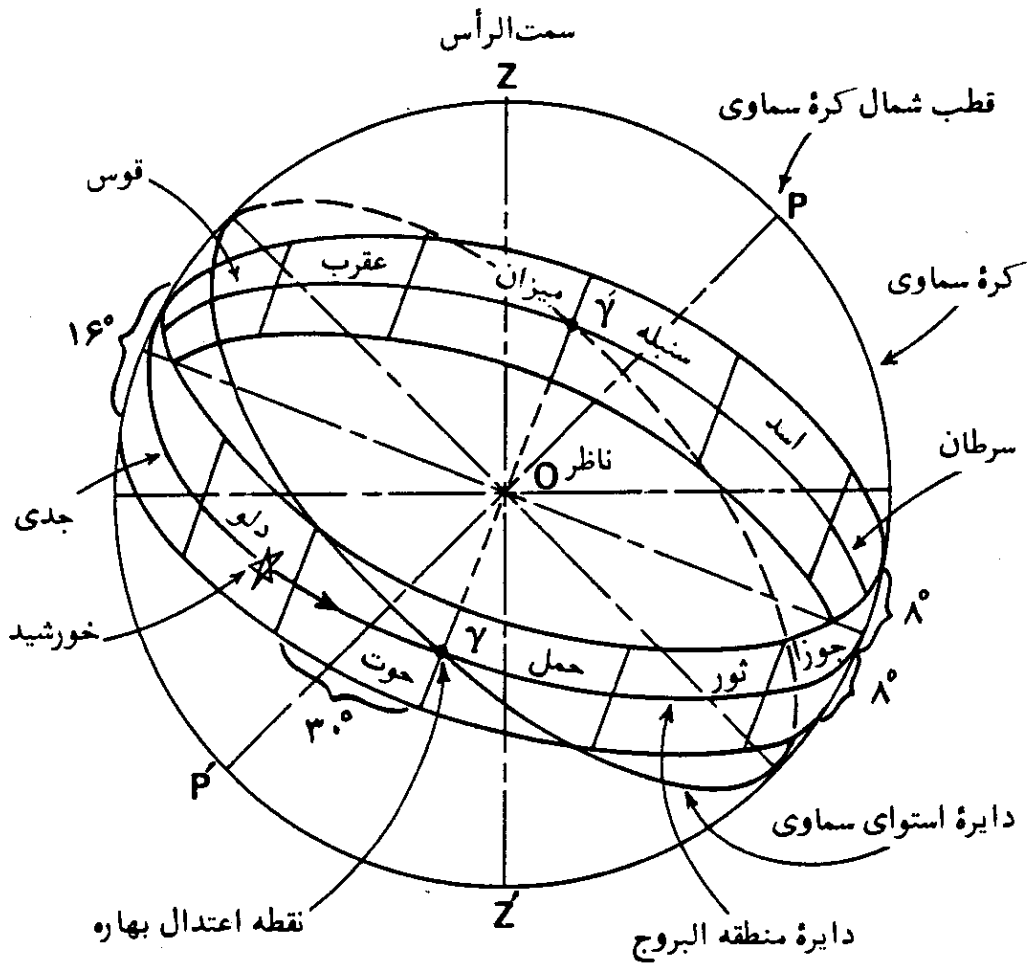
۶۰. منطقه البروج^۱

منطقه البروج، کمربندی بر روی کره سماوی با پهنا^۲ ۱۶° است که نمایانگر مسیر حرکات خورشید، ماه، و سیاره‌های عمده است. (سیاره پلوتو و تعداد زیادی از سیارکها در مسیر منطقه البروج قرار ندارند). وسط این کمربند، بموازات سطح دایره البروج قرار گرفته است. منطقه البروج دارای ۱۲ قسمت ۳۰ درجه‌ای است که هر کدام به نام برج^۳ مشخص شده است. شروع ۱۲ برج از نقطه اعتدال بهاری بطرف مشرق می‌باشد و اسامی آنها از اسامی صور فلکی که در حدود ۲،۰۰۰ سال قبل در هر کدام از تقسیمات قرار داشته‌اند، بدست آمده است، شکل‌های (۴۸-۶) و (۴۹-۶).

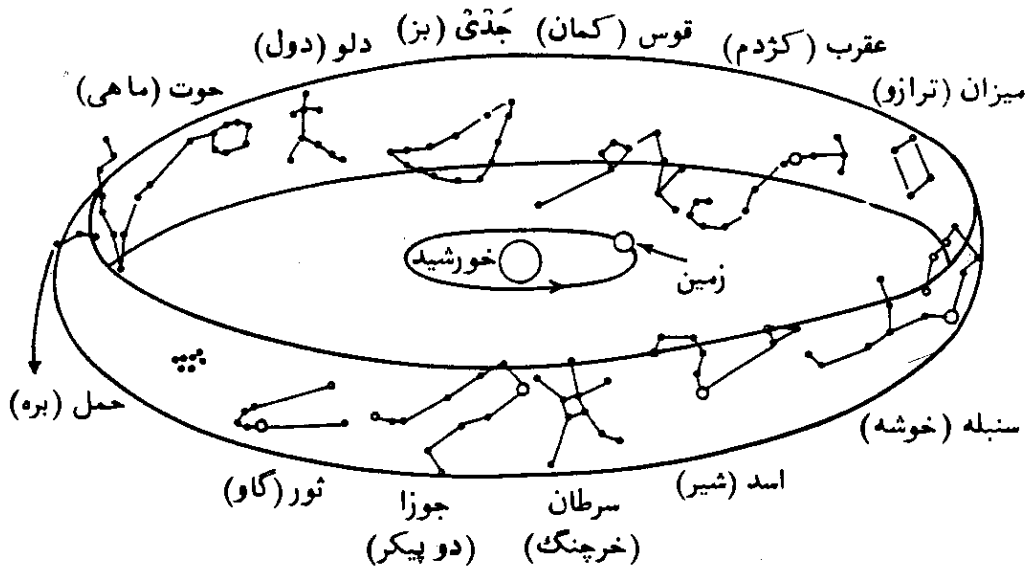
اما در اثر حرکت تقدیمی، نقطه اعتدال بهاری از حدود دوهزار سال قبل به اینطرف، تقریباً ۳۰ درجه بطرف مغرب حرکت کرده و در نتیجه، اسامی و صور فلکی واقع بر روی منطقه البروج در همان وضعیت دوهزار سال پیش نیست. بنابراین وقتی که خورشید در اول بهار (۲۱ مارس) وارد برج حمل^۴ می‌شود، در حقیقت این صورت فلکی حوت^۵ است که خورشید مقابل آن قرار می‌گیرد و تا یک ماه بعد از آن، وارد برج حمل نمی‌گردد. لغت خارجی منطقه البروج از کلمه‌ای یونانی^۶ به معنی دایره حیوانات^۷ گرفته شده است. منطقه البروج دارای ریشه باستانی است و نقشه‌های قدیمی حدود بسیاری از صور فلکی را به همین صورت امروزی نشان می‌دهند. ورود خورشید در برجهای دوازده‌گانه و تاریخ تقریبی آنها به شرح زیر است:

۱. برج حمل^۸، در بیست و یکم مارس.
۲. برج ثور^۹، در بیستم آوریل.
۳. برج جوزا^{۱۰}، در بیست و یکم مه.
- این سه برج مربوط به فصل بهار است.
۴. برج سرطان^{۱۱}، در بیست و یکم ژوئن.

- | | | | |
|-------------------|----------------------|----------------------|-----------------------------|
| 1. Zodiac | 2. Sign | 3. The Sign of Aries | 4. The Constellation Pisces |
| 5. Zodiakos | 6. Circle of Animals | 7. Ram (Aries) | 8. Bull (Taurus) |
| 9. Twins (Gemini) | 10. Crab (Cancer) | | |

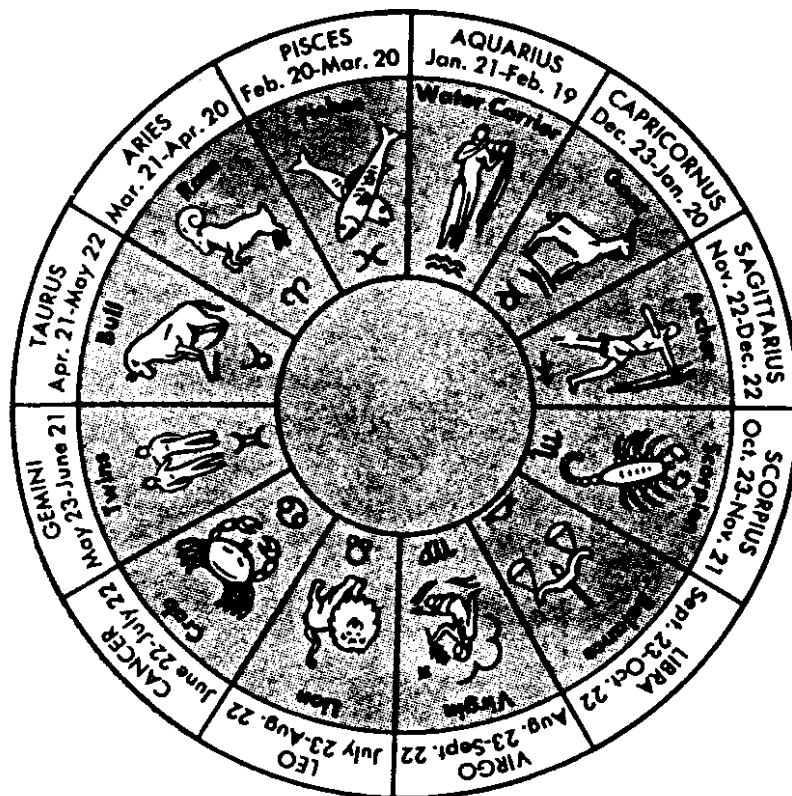


شکل (۶-۴۸) — منطقه البروج و دایره سماوی بر روی کره سماوی.



شکل (۶-۴۹) — صور منطقه البروج. در این شکل منطقه البروج بصورت نوازی به دور خورشید و زمین نشان داده شده که در صفحه مدار زمین به دور خورشید، قرار گرفته است. بنحوی که از زمین دیده می‌شود، نوار منطقه البروج مسیر حرکت ماه، خورشید و سیارات، در حرکتهای ظاهری آنهاست که نسبت به ستارگان ثابت در پهنه آسمان و بخصوص نسبت به صور نشان داده شده، قابل تشخیص‌اند. صور نشان داده شده در قسمت جلوی شکل، برای ناظری بیرون از نوار منطقه البروج، نموده شده است.

۵. برج اسد^۱، در بیست و سوم ژوئیه.
 ۶. برج سنبله^۲، در بیست و سوم اوت.
 - این سه برج مربوط به فصل تابستان است.
 ۷. برج میزان^۳، در بیست و سوم سپتامبر.
 ۸. برج عقرب^۴، در بیست و چهارم اکتبر.
 ۹. برج قوس^۵، در بیست و دوم نوامبر.
 - این سه برج مربوط به فصل پاییز است.
 ۱۰. برج جدی^۶، در بیست و دوم ماه دسامبر.
 ۱۱. برج دلو^۷، در بیستم ژانویه.
 ۱۲. برج حوت^۸، در نوزدهم فوریه.
 - این سه برج مربوط به فصل زمستان است.
- در شکل (۵۰-۶)، اشکال و علائم مربوط به صورت‌های فلکی منطقه البروج و تاریخ تقریبی آنها با تقویم گرگوری، نشان داده شده است.



شکل (۵۰-۶) - اشکال و علائم صور منطقه البروج و تاریخ تقریبی آنها با تقویم گرگوری

1. Lion (Leo) 2. Virgin (Virgo) 3. Balance (Libra)
4. Scorpion (Scorpius) 5. Archer (Sagittarius) 6. Goat (Capricornus)
7. Water Bearer (Aquarius) 8. Fishes (Pisces)

۶۱. کهکشان^۱

کهکشان واحد اساسی دستگاه ستارگان است که جهان از مجموعه آنها تشکیل یافته است. یک مثال، کهکشان راه شیری است، که از ستارگان و مواد بین ستاره‌ای تشکیل شده که خورشید و سیاره‌های مربوط به آن جزئی از آنست. کهکشانشا به سه دسته عمومی طبقه‌بندی شده‌اند که عبارتند از: کهکشان مارپیچی^۲، کهکشان بیضوی شکل^۳ و کهکشان نامنظم^۴.

۶۲. کهکشان راه شیری^۵

در یک شب صاف و بدور از نور چراغهای شهر، یک نوار نورانی به شکل یک کمر بند نامنظم، بر سطح آسمان مشاهده می‌شود که عرض آن از ۵ درجه تا ۵۰ درجه تغییر می‌کند. این نوار نورانی که با نور ضعیف و غیر مداومی، دیده می‌شود، همان کهکشان راه شیری، راه کاهکشان و یا راه مکه است. رومیان قدیم آنرا با اسم راه شیری^۶ می‌نامیدند و در افسانه‌های اقوام اولیه، بسیار از آن یاد شده است. کهکشان راه شیری در شبهای مناطق حاره^۷ بهتر معلوم است. در رصدهای تلسکوپی، نوار راه شیری بصورت تعداد زیادی از ستارگان کم‌سو^۸، نمایان است. این رصدها، قسمت مرکزی کهکشان ما را نشان می‌دهند. پدیده راه شیری در آسمان، نتیجه وجود ستارگان بسیار زیاد در فواصل مختلف است که بعضی از آنها چند صد سال نوری از خورشید فاصله دارند و برخی دیگر ممکن است تا حدود $20,000$ سال نوری فاصله داشته باشند.

کهکشان راه شیری حاوی تقریباً ۱۰۰ بیلیون ستاره است که تعدادی از آنها ذاتاً از خورشید نورانی‌تر و پاره‌ای دیگر خیلی کم‌نورترند. خورشید نزدیک حد وسط مقیاس درخشندگی ذاتی^۹ قرار گرفته است.

راه شیری یک کهکشان از نوع مارپیچی تخت^{۱۰} با قطر تقریبی $100,000$ سال نوری است که ضخامت آن در ناحیه مرکزی در حدود $4,000$ سال نوری است. تمام کهکشانهای مارپیچی کاملاً تخت و عدسی مانند هستند که از مجموعه

1. Galaxy
2. Spiral Galaxy
3. Ellipsoidal (elliptical) Galaxy
4. Irregular Galaxy
5. Milky Way
6. The Via Lactea
7. Tropical
8. Faint Stars
9. The Scale Of Intrinsic Brightness
10. Flattened Spiral Galaxy

بسیار زیادی از ستارگان، متشکل شده‌اند. آنها دارای یک هسته مرکزی^۱ بی‌شکل^۲ (آمرف) اند که بازوهای مارپیچی^۳ از آنها به طرف خارج کهکشان بیرون زده است. خورشید ما در نزدیکی صفحه مرکزی^۴ کهکشان قرار گرفته و فاصله آن از مرکز کهکشان تقریباً $25,000$ الی $30,000$ سال نوری است. تختی زیاد کهکشان ما، این نکته را آشکار می‌کند که تمام مجموعه آن می‌بایست با سرعت زیادی در حال دوران باشد و در حقیقت این مطلب از طریق مشاهدات نجومی اثبات شده است. منظومه شمسی و بسیاری از ستارگان نزدیک به آن با سرعتی در حدود 170 مایل در ثانیه، حول مرکز کهکشان در حرکت‌اند و یک دور کامل آنها حدوداً 250 میلیون سال، بطول می‌انجامد.

۶۳. عبور

در نجوم، گذر یک جرم سماوی، از قرص یک جرم سماوی دیگر، و یا از یک دایره عظیمه کره سماوی، عبور، نام دارد. اصطلاح عبور بیشتر در مورد گذر یک جرم سماوی از نصف النهار سماوی ناظر بکار برده می‌شود؛ بهنگام عبور یک جرم سماوی از نصف النهار سماوی یک ناظر، جرم سماوی، بیشترین ارتفاع را برای آن ناظر خواهد داشت. ستارگان دور قطبی دوبار از نصف النهار سماوی یک ناظر عبور می‌کنند؛ یکی از آنها در بالای قطب و دیگری در زیر قطب قرار گرفته‌اند، که به ترتیب به نام عبور یا گذر زیرین^۵ و عبور زبرین^۶ معروفند. بیشترین ارتفاع یک جرم سماوی در گذر یا عبور زبرین، حاصل می‌گردد. سیاره‌های زهره (ناهید) و عطارد (تیر) وقتی از میان قرص خورشید عبور می‌کنند که در مسیر حرکت خود به دور خورشید، بین زمین و خورشید قرار گرفته باشند؛ در چنین حالتی، بصورت یک نقطه تاریک^۷ بر روی قرص خورشید نمایان می‌شوند. مدار سیاره زهره در حدود 7 درجه و مدار سیاره عطارد $3/5$ درجه نسبت به سطح دایره البروج متمایل‌اند و به همین علت عبور این دو سیاره از میان قرص خورشید پدیده‌ای نادر است و لذا معمولاً از بالا و یا زیر قرص خورشید گذر می‌کنند. عبور سیاره عطارد در یک دوره 3 تا 13 ساله اتفاق می‌افتد.

- | | | |
|---------------------------|----------------|----------------------|
| 1. Central Nuclear Region | 2. Amorphous | 3. Spiral Arms |
| 4. Central Plane | 5. Transit | 6. Upper Culmination |
| 7. Lower Culmination | - 8. Dark Spot | |

گذر قمر یک سیاره از قرص آن، عبور قمر^۱، نام دارد. در نقشه برداری، لغت انگلیسی عبور یعنی ترانزیت^۲ به یک وسیله تلسکوپی نیز اطلاق می‌گردد که برای اندازه‌گیری زوایای افقی و عمودی^۳ نسبت به یک خط تراز و همچنین اندازه‌گیری مسافت بکار می‌رود. دستگاه ترانزیت نجومی^۴ متشکل از یک ابزار تلسکوپی^۵ است که به منظور رصد عبور یک شبنج نجومی از نصف‌النهار ناظر، اختصاص داده شده است.

۶۴. سکستانت^۶

سکستانت، یک ابزار دریانوردی^۷ است که در اندازه‌گیری زوایا، بخصوص ارتفاع اجرام سماوی، بکار می‌رود. در اوایل، این وسیله از کمانی ۶۰ درجه ($\frac{1}{6}$ محیط دایره) تشکیل شده بود که نام آن نیز از همینجا ناشی شده است، و بعلت بکار بردن اساس انعکاس دوگانه^۸، با چنین وسیله‌ای می‌توان زوایای تا ۱۲۰ درجه را اندازه‌گیری کرد. سکستانت را نیز می‌شود برای اندازه‌گیری زاویه افقی بین دو نقطه، بکار برد. امروزه، نام سکستانت معمولاً به تمام ابزارهایی از این نوع، بدون توجه به میزان درجات قسمت کمانی آنها، اطلاق می‌گردد که پاره‌ای از آنها ندرتاً، دقیقاً ۶۰ درجه است. گاهی اصطلاحات اکتانت^۹، کانتانت^{۱۰} و کوادرنانت^{۱۱} در مورد ابزار ۴۵، ۷۲ و ۹۰ درجه‌ای بکار می‌رود.

۶۵. تئودولیت^{۱۲}

تئودولیت وسیله‌ای در نقشه‌برداری است که برای اندازه‌گیری زوایای افقی و قائم بکار گرفته می‌شود و اساساً شبیه ابزار ترانزیت است. در تئودولیت درجات مربوط به اندازه‌گیری زوایا، بزرگ و تلسکوپ بکار رفته دارای بزرگنمایی بالایی است.

- | | | |
|-------------------------|--------------------------|-----------------------------------|
| 1. Transit of Satellite | 2. Transit | 3. Horizontal and Vertical Angles |
| 4. Astronomical Transit | 5. Telescopic Instrument | 6. Sextant |
| 6. Sextant | 7. Navigation Instrument | 8. Double Reflecting Principal |
| 9. Octant | 10. Quintant | 11. Quadrant |
| | | 12. Theodolite |

۶۶. استرلاب^۱

استرلاب یک ابزار کوچک و قابل حملی است که توسط یونانیان اختراع شده است. استرلاب از صفحه‌ای دایره‌ای، تشکیل یافته که از یک نقطه محیط آن آویزان می‌شود. یک عقربه^۲ مجهز به آلت نشانه روی^۳ که می‌تواند حول مرکز صفحه دایره‌ای بعنوان محور، دوران کند، برای نشانه رفتن بسوی خورشید و یاستاره است. عقربه قابل تنظیم استرلاب، برای نشان دادن وقت روز، در لبه مدرج صفحه دایره‌ای بکار می‌رفته است. استرلاب در ایران بسیار کاربرد داشته و معمولاً نام آن یادآور نام ایران است چه، منجمین ایرانی، آن را در سطح وسیعی بکار گرفته‌اند. دریانوردان، آن را تا سالهای ۱۷۰۰ بکار می‌بردند، زیرا، وسیله‌ای دقیق بوده و جهت تعیین عرض جغرافیایی، مورد استفاده قرار می‌گرفته است. همچنین این ابزار در تعیین جهت قبله کاربرد داشته است.

۶۷. تصحیحات نجومی^۴

در رصد هاییکه برای اندازه‌گیری ارتفاع اجرام سماوی، مانند خورشید و سایر ستارگان، صورت می‌گیرد، ارتفاع بدست آمده، ارتفاع ظاهری^۵ است و مقادیر مشخص شده را می‌بایست تصحیح کرد. در این مورد تصحیح‌های مورد لزوم به نام تصحیحات نجومی معروف هستند و به شرح زیر می‌باشند:

۱. تصحیح اختلاف منظر^۶.

۲. تصحیح شکست نور^۷.

۳. تصحیح شیب افق^۸.

۴. تصحیح نیم قطر^۹؟

۱. **تصحیح اختلاف منظر:** اختلاف منظر، اختلاف امتداد شعاع دید یک جرم سماوی از محل دید ناظر بر سطح زمین و از مرکز زمین است. در مورد ستارگان، موضوع اختلاف منظر مورد توجه نیست زیرا بعلت بُعد مسافت، امتداد شعاع‌های دیده

1. Astrolabe 2. Pointer 3. Sight 4. Astronomical Corrections

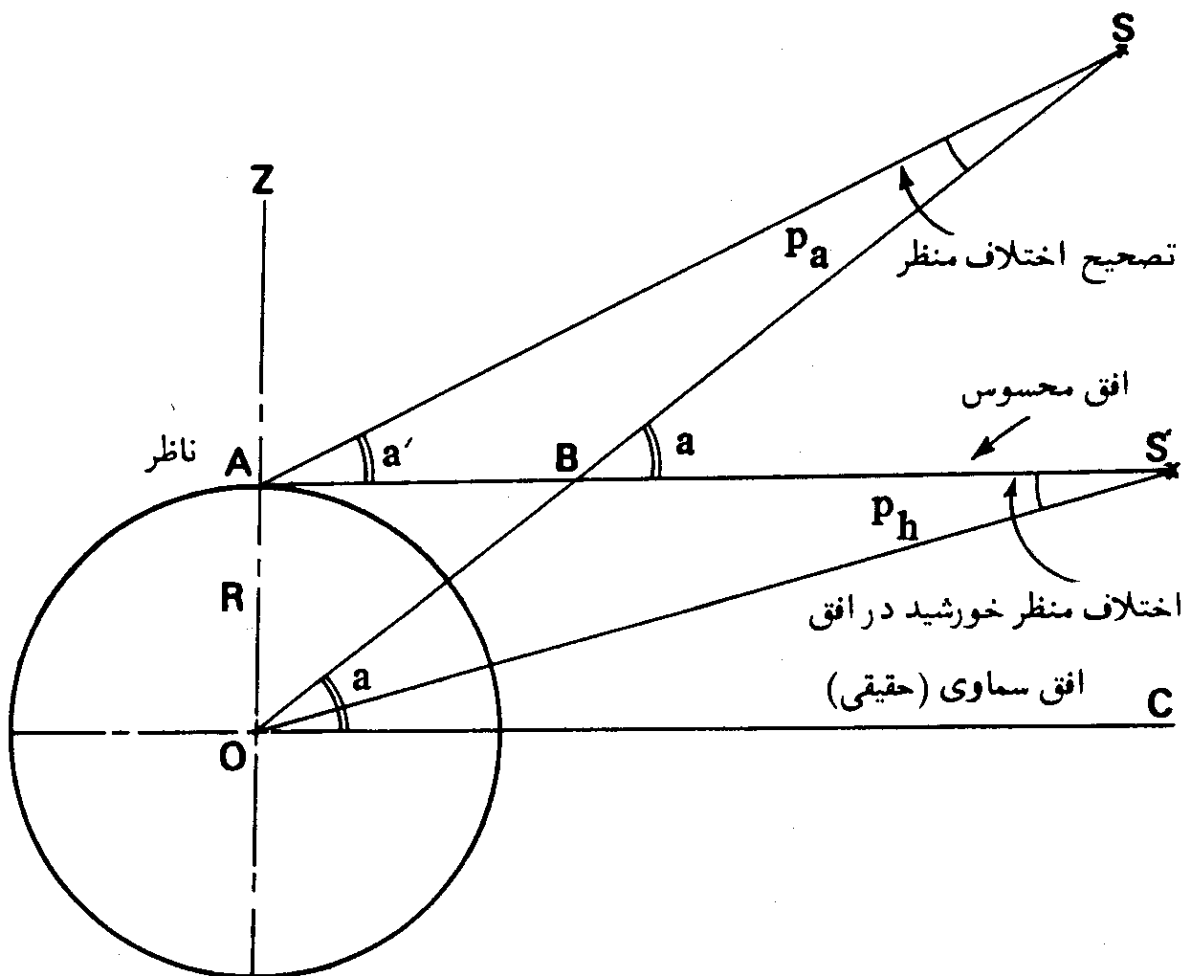
5. Apparent Altitude 6. Correction for Parallax 7. Correction for Refraction

8. Correction for Dip of Horizon 9. Correction for Semi-Diameter

شده از سطح زمین و از مرکز زمین عملاً موازی‌اند. اما در مورد بعضی از اجرام سماوی، مانند خورشید و ماه که فاصله آنها از زمین، در مقایسه با ستارگان، بسیار نیست، امتداد شعاع‌های دیده شده از سطح و مرکز زمین موازی نیستند. بنابراین تصحیح اختلاف منظر، قط در مورد خورشید، ماه و سایر اشیاء نزدیک بکار می‌رود. چنانکه از نقاط مختلفی بر روی زمین به خورشید و ماه نگاه کنیم، وضعیت آنها بر روی کره سماوی، بعثت نزدیکی نسبی‌شان به زمین، یکسان نخواهد بود. به همین علت مقادیر میل و بُعد آنها، در جداول نجومی، می‌بایست نسبت به یک نقطه مبنای مشخصی، ثبت شود که بتواند مورد استفاده همگان قرار گیرد. این نقطه مبنای مرکز زمین است، بدین ترتیب، با داشتن میل و بُعد جرم سماوی نسبت به مرکز زمین، می‌توان با وارد ساختن تصحیح اختلاف منظر، میل و بُعد آن را نسبت به هر مکان دیگر بر روی سطح زمین محاسبه کرد.

در شکل (۵۱-۶)، اختلاف منظر خورشید نمایانده شده است. در این شکل

حروف و علامات به شرح زیرند:



شکل (۵۱-۶) - اختلاف منظر خورشید.

O = مرکز زمین.

A = محل ناظر و یا محل رصد.

S = محل خورشید به هنگام رصد.

S' = محل خورشید بر افق محسوس.

OC = افق سماوی یا افق حقیقی^۱.

AB = افق محسوس^۲.

$\widehat{SAB} = a'$ = ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری.

$\widehat{SOC} = a$ = ارتفاع واقعی^۳.

$\widehat{ASB} = p_a$ = تصحیح اختلاف منظر.

$\widehat{ASO} = p_h$ = اختلاف منظر خورشید در افق^۴.

وقتی که خورشید بر صفحه افق محسوس قرار می‌گیرد، ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری^۵ آن صفر است و زاویه p_h که زاویه دید شعاع زمین (OA) از نقطه S است، اختلاف منظر خورشید در افق، نامیده می‌شود. با توجه به شکل، واضح است که خواهیم داشت:

$$\sin p_h = \frac{R}{OS'}$$

بنابراین مقدار اختلاف منظر خورشید در افق با فاصله خورشید از مرکز زمین نسبت معکوس دارد. مقدار آن از $۸''/۹۵$ در اوایل ژانویه تا $۸''/۶۶$ در اوایل ژوئیه تغییر می‌کند، و در جداول نجومی، مقادیر اختلاف منظر خورشید در افق، ده روز بده روز در تمام طول سال داده شده است. مقدار متوسط اختلاف منظر خورشید در افق $۸''/۸$ است. حال با توجه به شکل خواهیم داشت:

$$ارتفاع حقیقی = a = \widehat{SOC} = \widehat{SBS'}$$

$$= \widehat{SAB} = \widehat{ASB}$$

$$= a' + p_a$$

- | | | |
|------------------------------|----------------------|------------------|
| 1. Celestial (True) Horizon | 2. Sensible Horizon | 3. True Altitude |
| 4. Sun's Horizontal Parallax | 5. Apparent Altitude | |

و یا

$$(۶-۲۳) \quad \text{تصحیح اختلاف منظر} + \text{ارتفاع ظاهری} = \text{ارتفاع حقیقی}$$

بنابراین

$$p_a = (a - a') = \text{تصحیح اختلاف منظر}$$

در مثلث AOS خواهیم داشت

$$\frac{\sin \hat{ASO}}{\sin \hat{OAS}} = \frac{OA}{OS}$$

$$\sin \hat{ASO} = \sin \hat{OAS} \times \frac{OA}{OS}$$

و یا

$$\sin p_a = \sin(90^\circ + a') \times \frac{OA}{OS}$$

اما

$$\sin p_a = \cos a' \times \frac{OA}{OS}$$

پس

$$\frac{OA}{OS} = \frac{OA}{OS'} = \sin p_h$$

$$\sin p_a = \sin p_h \cos a' \quad (۶-۲۴)$$

از آنجاییکه زوایای p_a و p_h ، زوایای بسیار کوچکی هستند، در نتیجه

$$p_a = p_h \cos a'$$

یعنی

(ارتفاع ظاهری) $\times \cos$ اختلاف منظر در افق = تصحیح اختلاف منظر

$$(۶-۲۵) \quad \text{تصحیح اختلاف منظر} = \Delta'' / \Delta \cos a'$$

وقتی که خورشید در سطح افق قرار می‌گیرد ($a' = 0$)، اندازه تصحیح اختلاف

منظر بیشترین مقدار و هرچه خورشید به سمت الرأس نزدیک‌تر شود، میزان تصحیح

اختلاف منظر کاهش می‌یابد.

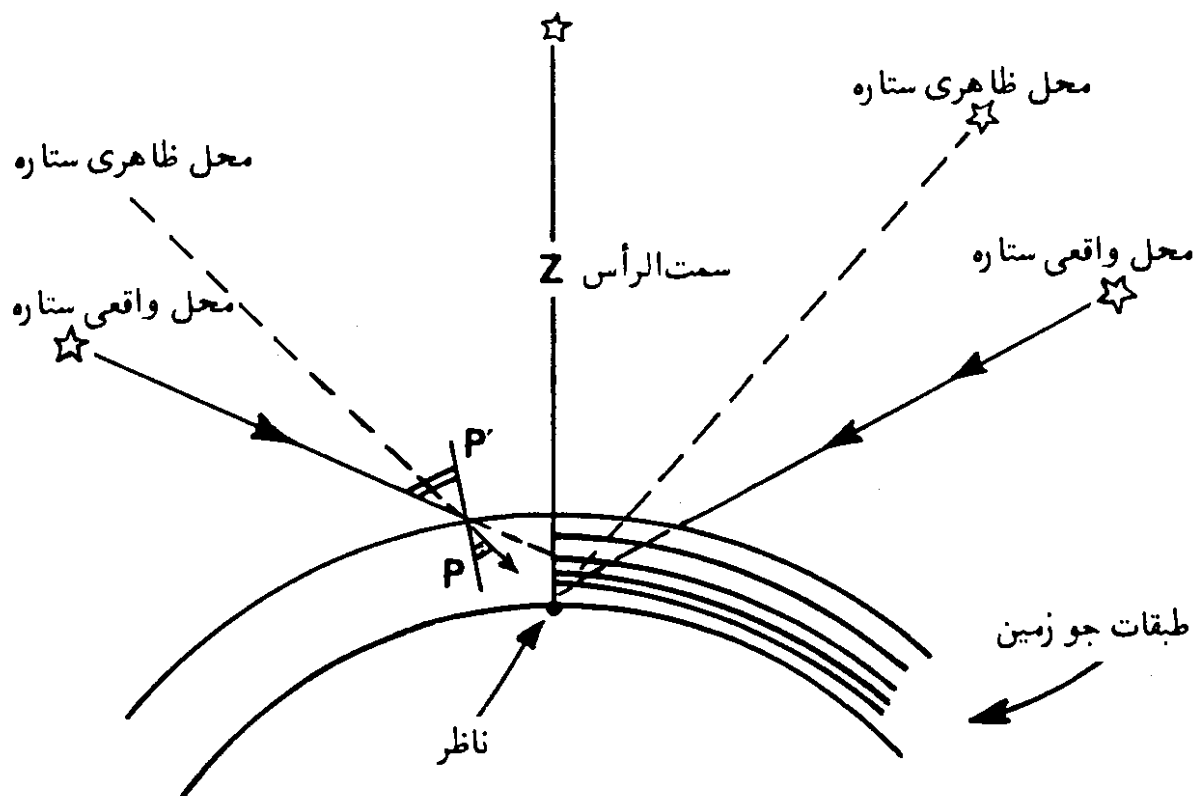
۲. تصحیح شکست نور: اشعه نوری که از یک ستاره می‌آید، قبل از رسیدن

به چشم ناظر، می‌بایست از جو کره زمین عبور کند. در نتیجه، تشعشع مورد نظر در جو،

شکست پیدا می‌کند. وزن مخصوص جو در طبقه پایینی آن 0.001 گرم در متر مکعب

است و لذا اشعه آمده از فضای تقریباً خلا بین ستاره‌ای، در آن شکست یافته و یا خم می‌شود. نحوه خم شدن امتداد اشعه، بصورتی است که اشعه بطرف امتداد عمود بر سطح طبقات جو نزدیکتر می‌شود، امتداد PP' در شکل (۶-۵۲). عمل شکست نور در جو زمین همانند شکست آن در یک عدسی و یا یک منشور است. برخلاف حالت یک عدسی، اتمسفر دارای طبقات مختلفی است که وزن مخصوص آنها با نزدیکتر شدن به سطح زمین افزایش می‌یابد. در نتیجه با عبور نور از طبقات اتمسفر، میزان شکست آن بیشتر و بیشتر شده و اندازه خم شدگی امتداد آن افزایش می‌یابد. این مطلب در طرف راست شکل (۶-۵۲) نمایانده شده است. تمام اجرام سماوی بجز آنهایی که در سمت الرأس اند و نور آنها عمود بر اتمسفر می‌آید، در آسمان، در محلی بالاتر از محل واقعی خود بنظر می‌رسند. بنابراین ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری ستارگان و سایر اجرام سماوی را می‌بایست برای شکست نور در اتمسفر تصحیح کرد.

زاویه بین امتداد اشعه یک ستاره، بهنگام ورود به اتمسفر و امتداد اشعه آن به هنگام رسیدن به سطح زمین زاویه تصحیح شکست نور، نام دارد. تصحیح برای



شکل (۶-۵۲) — شکست نور در اتمسفر زمین. نحوه خم شدن امتداد اشعه یک ستاره در جو زمین بصورتی است که محل ستاره بالاتر از محل واقعی آن به چشم ناظر می‌رسد. امتداد PP' ، امتداد خط عمود بر سطح اتمسفر است و دیده می‌شود که زاویه تابش بزرگتر از زاویه شکست است.

1. Refraction Angle of Correction

شکست نور می‌بایست همیشه از ارتفاع ظاهری کسر گردد. میزان تصحیح شکست نور بستگی به عوامل زیر دارد:

وزن مخصوص هوا،

درجه حرارت هوا،

فشار جو و

ارتفاع.

میزان تصحیح شکست نور برای تمام اجرام سماوی، یکسان می‌باشد و تابع فاصله آنها نیست. اندازه تصحیح شکست نور از صفر دقیقه برای ستاره واقع در سمت الرأس تا ۳۵ دقیقه (بیشتر از نیم درجه) برای ستاره واقع در افق، تغییر می‌کند. ستاره‌ای که ۵ درجه در بالای افق است، تصحیح شکست نور آن تقریباً ۱۰ دقیقه است. در اجرام سماوی که در نزدیک سطح افق قرار دارند، بعلت عبور اشعه آنها از ضخامت بیشتری از جو زمین، تصحیح شکست نور زیادتر است. در حقیقت خورشید که دارای قطر زاویه‌ای در حدود ۳۰ دقیقه و یا نیم درجه است، در طلوع و غروب، باندازه قطر آن بالاتر دیده می‌شود و لذا طول روز، در مقایسه با حالتی که زمین اتمسفری نداشته باشد، چند دقیقه‌ای بیشتر است.

در فشار ۲۹/۶ اینچ جیوه و درجه حرارت ۵۰ درجه فارنهایت، اندازه تصحیح شکست نور را می‌توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$(۶-۲۶) \quad \text{تصحیح شکست نور بر حسب ثانیه قوسی} = 58'' \cot a = 58'' \tan z$$

که در آن a ارتفاع ظاهری جرم سماوی و z فاصله سمت الرأس مشاهده شده آنست. میزان تصحیح شکست نور در شرایط فوق را به نام شکست نور متوسط می‌نامند. برای شرایط دیگر، می‌بایست فرمولهای دیگری را بکار گرفت. این فرمول را در حالتی که ارتفاع یک جرم سماوی کمتر از ۲۰ درجه است، نباید بکار برد، چه، اندازه تصحیح خیلی زیاد می‌شود. میزان تصحیح شکست نور در ارتفاعهای کم نامعین است و لذا رصدهای نجومی برای تعیین دقیق پارامترها، نمی‌بایست در ارتفاعهای کم اجرام سماوی، در حالیکه نزدیک افق اند، صورت پذیرد.

مقادیر تصحیح شکست نور برای ارتفاعهای مختلف بر حسب فشار اتمسفریک،

درجه حرارت هوای بیرونی و درجه حرارت متصل به فشارسنج، در جداول ریاضی چمبر^۲ داده شده است.

شکست نور در جو زمین اثری در اندازه سمت اجرام سماوی ندارد. وجود طبقات اتمسفر با وزن مخصوصهای متفاوت و همچنین حرکت افقی و قائم این طبقات، موجب ایجاد شکست نور بصورت متغیر می‌گردد که این پدیده خود باعث چشمک زدن نور ستارگان می‌شود. شکست نور متغیر برای یک‌رصد خوب و مناسب، مطلوب نیست و یک‌رصد مناسب در غیاب شکست نور متغیر صورت می‌پذیرد.

۳. تصحیح شیب افق: زاویه بین افق محسوس و افق مرئی، شیب افق نامیده می‌شود.

از آنجایی که صفحه افق محسوس بموازات صفحه افق حقیقی است، لذا شیب افق به زاویه بین افق حقیقی و افق مرئی نیز اطلاق می‌شود. زمانی که رصد در سطح دریا توسط سکستان صورت می‌پذیرد، ارتفاع ستاره و یا خورشید نسبت به افق مرئی دریا اندازه‌گیری می‌شود. بعلت کروی بودن زمین، افق مرئی، در زیر افق حقیقی قرار می‌گیرد. لذا زاویه شیب افق می‌بایست از ارتفاع مشاهده شده، کسر گردد.

در شکل (۵۳-۶):

A = محل ناظر.

h = AB = ارتفاع ناظر نسبت به سطح دریا.

S = وضعیت ستاره و یا خورشید.

AD = افق مرئی.

AC = افق محسوس.

OH = افق حقیقی.

$\hat{SAD} = \alpha$ = ارتفاع ظاهری و یا ارتفاع مشاهده شده ستاره و یا خورشید.

$\hat{SAC} = a$ = ارتفاع حقیقی ستاره و یا خورشید.

$\hat{CAD} = \beta$ = زاویه شیب افق، و

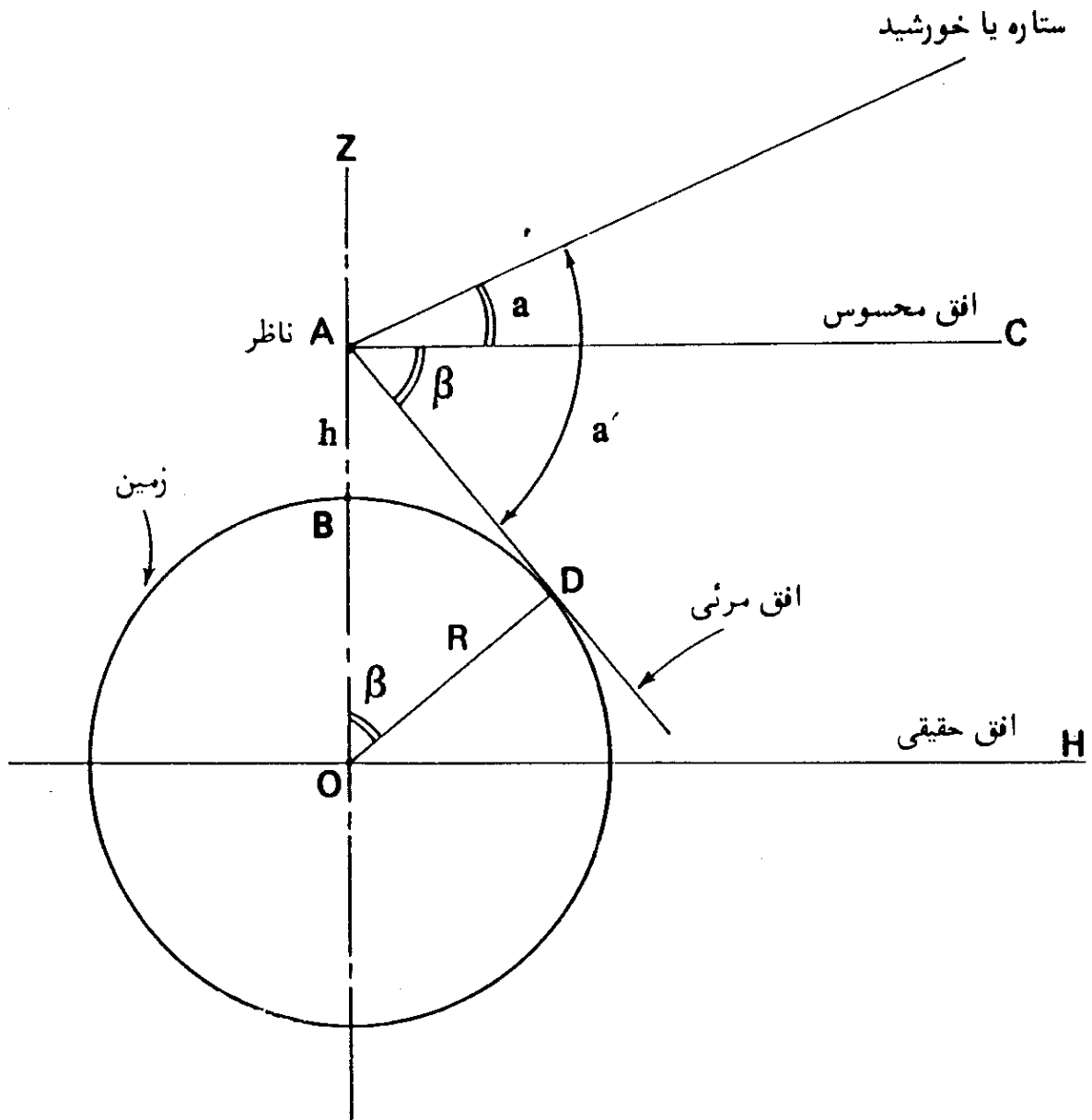
R = شعاع زمین، می‌باشند.

بسادگی می‌توان نوشت،

$$BO = R \quad ; \quad AO = (R + h)$$

$$AD = \sqrt{(R+h)^2 - R^2}$$

$$\tan \beta = \frac{AD}{OD} = \frac{\sqrt{(R+h)^2 - R^2}}{R}$$



شکل (۶-۵۳) - تصحیح شیب افق.

$$\tan \beta = \sqrt{\frac{h(2R+h)}{R^2}}$$

(۶-۲۷)

و یا به‌طور تقریبی

(۶-۲۸)

$$\tan\beta = \sqrt{\frac{2h}{R}}$$

اگر β کوچک باشد، ممکن است نوشت،

$$\tan\beta = \beta \text{ (برحسب رادیان)} = \sqrt{\frac{2h}{R}}$$

اما،

$$\text{یک رادیان} = ۳۴۳۸'$$

و

$$R = ۲,۰۹۰,۰۰۰ \text{ فوت}$$

$$\beta \text{ (برحسب دقیقه)} = \sqrt{\frac{2h}{۲۰,۰۹۰,۰۰۰}} \times ۳۴۳۸'$$

$$= ۱/۰۶۴\sqrt{h}$$

و یا تقریباً

$$\beta \approx \sqrt{h} \text{ (برحسب دقیقه)}$$

(۶-۲۹)

که h ارتفاع برحسب فوت است.

بنابراین شیب افق برحسب دقیقه، تقریباً برابر جذر ارتفاع ناظر برحسب فوت است. تصحیح مربوط به شیب افق، می بایست همیشه از ارتفاع مشاهده شده و یا ارتفاع ظاهری کسر گردد.

۴. تصحیح نیم قطر: نیم قطر خورشید و یا یک ستاره، عبارت از نصف زاویه ای

است که تحت آن می توان خورشید و یا ستاره را از مرکز زمین، مشاهده کرد.

از آنجایی که قرص خورشید بزرگ است، لذا رصد مرکز آن مستقیماً، نمی تواند

بطور دقیق صورت پذیرد و معمولاً خط روی عدسی دستگاه^۱ (خط چلیپا) بر کنار تصویر

خورشید، مماس می گردد. وقتی که خط افقی عدسی، بر لبه پایینی قرص خورشید مماس

است، اصطلاحاً گفته می شود که رصد در لبه پایینی^۲ قرص خورشید صورت گرفته است،

شکل (۶-۵۴) الف. به همین صورت وقتی که خط افقی عدسی بر لبه بالایی خورشید

مماس گردد، گفته می‌شود که رصد، در لبه بالایی اقرص خورشید صورت گرفته است، (شکل ۶-۵۴) - ب. شکل‌های (۶-۵۴) - ج و (۶-۵۴) - د، نمایانگر رصد خورشید در لبه طرف راست (شرقی) ^۲ و لبه طرف چپ (غربی) ^۳ آن هستند.

تصحیح نیم‌قطر، در صورتی که رصد برای دو لبه مقابل خورشید صورت بگیرد و معدل آن گرفته شود، دیگر لازم نیست.

در شکل (۶-۵۵)، OA شعاع نورانی مربوط به لبه پایینی قرص خورشید و a_1 ارتفاع مشاهده شده مربوط به آنست. اما ارتفاع صحیح خورشید مربوط به مرکز قرص آن یعنی a است که a_1 کوچکتر از a است. به همین ترتیب OB شعاع نوزانی مربوط به لبه بالایی قرص خورشید و a_2 ارتفاع مشاهده شده مربوط به آنست که از a بزرگتر است. اگر نیم‌قطر خورشید، مطابق شکل، برابر $\frac{y}{2}$ باشد، خواهیم داشت:

$$a = a_1 + \frac{y}{2} = a_2 - \frac{y}{2} \quad (6-30)$$

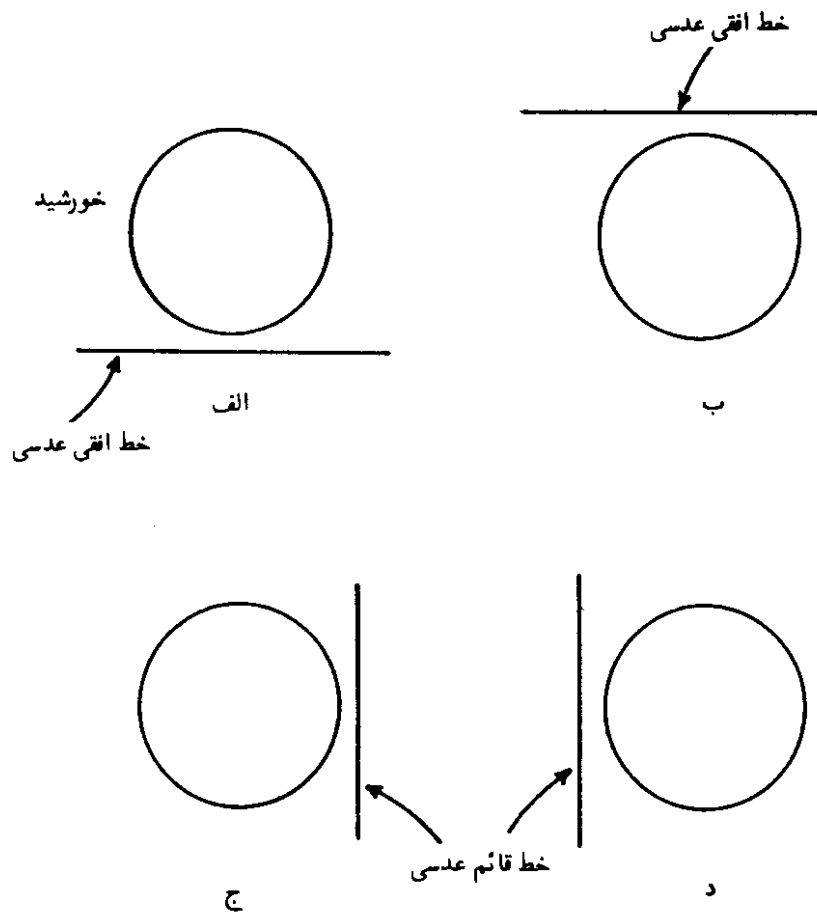
اگر فاصله مرکز زمین از مرکز خورشید، برابر D، یعنی (OC = D)، و شعاع قرص خورشید (AC = r) باشد، خواهیم داشت:

$$\sin \frac{y}{2} = \frac{r}{D}$$

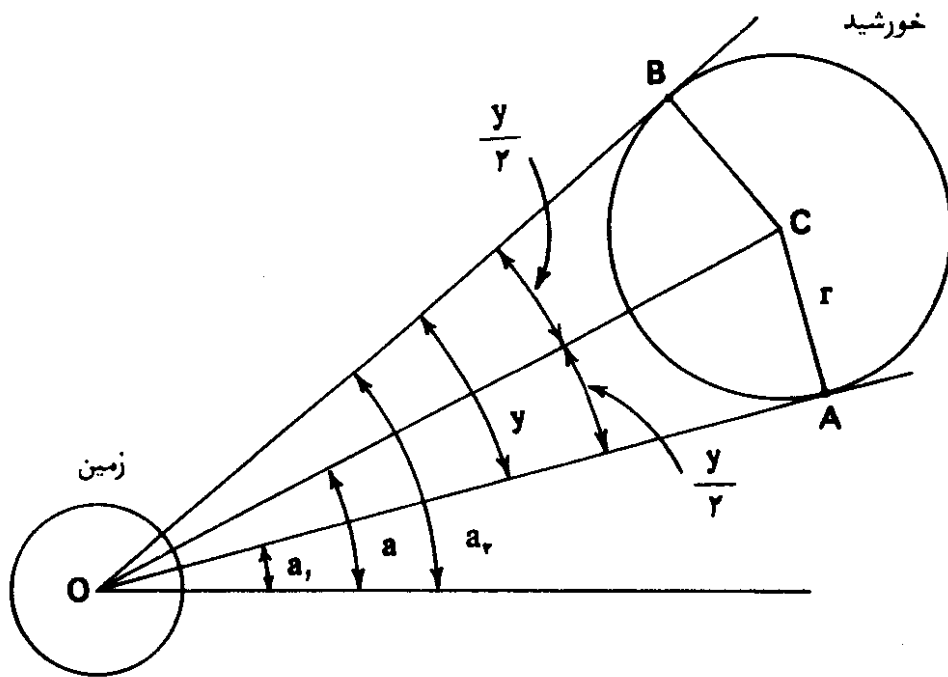
$$\frac{y}{2} = \frac{r}{D} \quad \text{بر حسب رادیان} \quad (6-31)$$

مسلم است که مقدار این تصحیح، بستگی به وضعیت زمین بر روی مدار آن دارد. از آنجایی که فاصله زمین از خورشید در تمام طول سال یکسان نیست، لذا نیم‌قطر از ۱۵ دقیقه و ۴۶ ثانیه در ماه ژوئیه تا ۱۶ دقیقه و ۱۸ ثانیه در ماه ژانویه تغییر می‌کند و مقدار آن در متوسط فاصله زمین از خورشید، ۱۶ دقیقه و ۱/۱۸ ثانیه است. در جداول نجومی، مقادیر تصحیح نیم‌قطر برای خورشید در روزهای مختلف سال داده شده است. بنابراین اگر در موقع اندازه‌گیری ارتفاع خورشید، لبه پایینی آن در نظر گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر، به آن اضافه و در صورتی که لبه بالایی خورشید در نظر گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر از آن کم می‌گردد.

در اندازه‌گیری زوایای افقی، در صورتی که لبه شرقی و یا لبه غربی قرص خورشید در نظر گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر، برابر زاویه‌ای خواهد بود که نیم‌قطر خورشید در



شکل (۶-۵۴) - چگونه مشاهده خورشید نسبت به خطهای قائم و افقی عدسی دستگاه.

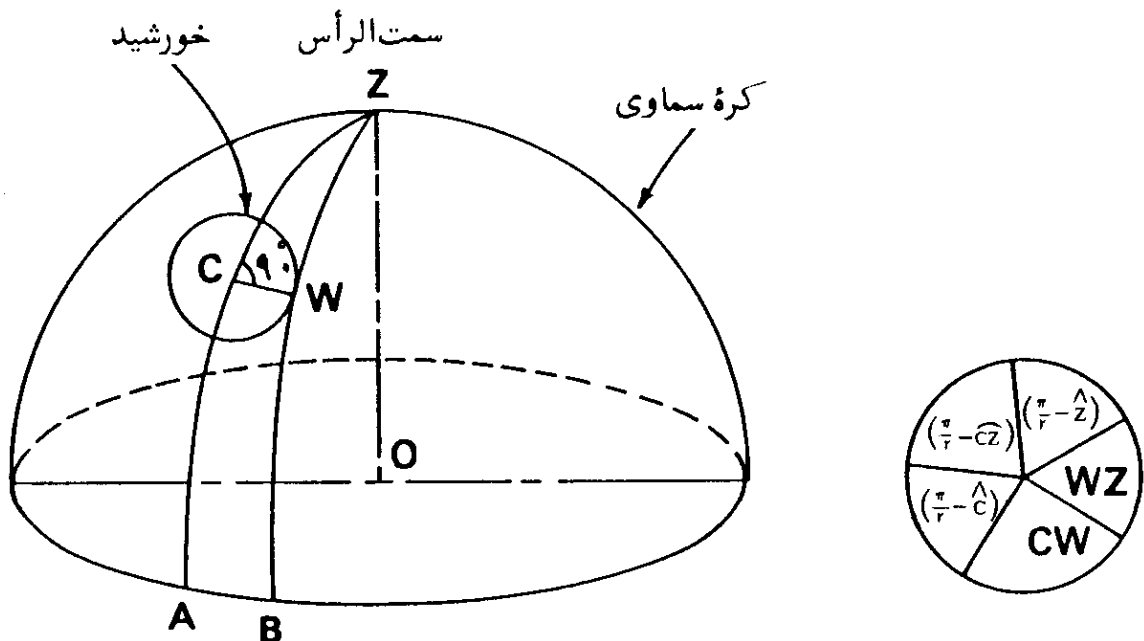


شکل (۶-۵۵) - تصحیح نیم قطر.

سمت الرأس، تحت آن قرار می گیرد. مقدار تصحیح نیم قطر، چنانکه خواهد آمد، برابر با

حاصلضرب کمان نیم‌قطر خورشید و سکانت ارتفاع مرکز خورشید است. در شکل (۶-۵۶)، مرکز قرص مدور خورشید و Z سمت‌الرأس است. دایره ارتفاع (عمودی) نقطه C و دایره ارتفاع لبه غربی قرص خورشید در شکل رسم شده است. در نتیجه، تصحیح مربوط به نیم‌قطر، زاویه‌ای است که تحت آن قطر CW از نقطه Z (سمت‌الرأس) دیده می‌شود، یعنی زاویه \widehat{WZC} . مقدار این تصحیح، از حل روابط مثلث کروی قائم‌الزاویه ZCW ، با بکار بردن قاعده نیپر، محاسبه می‌شود، لذا خواهیم داشت:

$$\begin{aligned} \sin \widehat{CW} &= \cos\left(\frac{\pi}{2} - \widehat{CZ}\right) \cos\left(\frac{\pi}{2} - Z\right) \\ &= \sin CZ \sin Z \end{aligned}$$



شکل (۶-۵۶) — تصحیح نیم قطر درست خورشید.

اما اندازه‌های کمان CW و زاویه Z ، مقادیر کوچکی هستند و می‌توان نوشت:

$$\widehat{CW} = (\sin \widehat{CZ}) \times Z$$

$$Z = \frac{\widehat{CW}}{\sin \widehat{CZ}} = \widehat{CW} \times \operatorname{cosec} \widehat{CZ}$$

$$= \widehat{CW} \times \sec a \quad (۶-۳۲)$$

که در آن a ارتفاع مرکز خورشید است. دیده می‌شود که این فرمول، همان مطلب قبلی است که در ابتدای امر به آن اشاره شد.

۶۸. خورشید نیمه شب^۱

در عرض جغرافیایی منطقه معتدله شمالی، خورشید همیشه در طول روز دیده می‌شود و مابقی بیست و چهار ساعته شبانه روز، از دیده پنهان است. اما در منطقه منجمده شمالی، در شمال مدار شمالگان (مدار $۶۶/۵۵$ درجه شمالی) و در منطقه منجمده جنوبی، در جنوب مدار جنوبگان (مدار $۶۶/۵۵$ درجه جنوبی) طلوع و غروب خورشید به گونه دیگری است؛ بدین ترتیب که در طول روز بلندی مدت قطبی، خورشید در بیست و چهار ساعت، یک شبانه روز بطور مداوم در پهنه آسمان است، و اصطلاح خورشید نیمه شب نیز به همین مطلب اطلاق می‌شود. از آنجایی که مسیر حرکت سالانه ظاهری خورشید به دور زمین بر روی کره سماوی (دایرة البروج) نسبت به سطح استوای سماوی متمایل است، لذا فاصله زاویه‌ای خورشید از قطب شمال سماوی (متمم میل)، در طول سال، متغیر است. در نقطه انقلاب زمستانی، فاصله زاویه‌ای خورشید از قطب شمال سماوی بیشترین مقدار و برابر $۱۱۳/۴۵$ ، در نقاط اعتدالین برابر ۹۰° و در انقلاب تابستانی کمترین مقدار و برابر $۶۶/۵۵$ است. چنانکه متمم میل یک جرم سماوی، کمتر از عرض جغرافیایی ناظری باشد، آن جرم سماوی غروب نمی‌کند و بین نقطه قطب شمال سماوی و افق ناظر، در حال حرکت خواهد بود؛ چنین ستاره‌ای برای آن ناظر، ستاره دور قطبی^۲ نامیده می‌شود. بنابراین در یک نقطه، با عرض جغرافیایی مشخص، مادامی که متمم میل خورشید کمتر از عرض جغرافیایی است، خورشید غروب نداشته و در بالای افق باقی خواهد ماند. برای محلی بر روی دایرة شمالگان ($\varphi =$

۵۵/۶۶)، خورشید نیمه‌شب، فقط یک‌شب در سال و در نقطه انقلاب تابستانی وجود خواهد داشت؛ در دایره جنوبگان، این مطلب در نقطه انقلاب زمستانی واقع می‌شود. در نقطه شمال زمین، خورشید ۶ ماه از سال در پهنه آسمان و ۶ ماه دیگر زیر افق است. در عرض جغرافیایی ۷۰ درجه شمالی خورشید بمدت دو ماه، و در عرض جغرافیایی ۷۸ درجه شمالی، بمدت ۴ ماه، غروب ندارد.

بعلت شکست نور خورشید در جو زمین، خورشید ممکن است در زمانی کاملاً زیر افق باشد، اما به چشم ناظر، در بالای افق بنظر برسد. با توجه به این مطلب و همچنین اندازه ظاهری قرص خورشید در آسمان، طول مدتهای داده شده در فوق، اندکی تغییر می‌یابد. تمام خورشید و یا قسمتی از قرص آن، در عرضهای جغرافیایی ۷۰ درجه، ۷۸ درجه و ۹۰ درجه شمالی به ترتیب به مدت ۷۳ روز، ۱۲۸ روز و ۱۹۲ روز در بالای افق قرار دارد. دیده می‌شود که مدتها، اندکی بیشتر از مدتهای داده شده قبلی است. مدتهای مشابه، برای عرضهای مشابه جنوبی، قابل مقایسه با آنها هستند اما دقیقاً برابر نمی‌باشند، چه، سرعت مداری زمین به دور خورشید در نزدیکی حضیض، در حوالی چهارم، ژانویه، بیشتر از نقطه اوج آنست. این بدان معنی است که مدت بودن خورشید در جنوب دایره استوا، کمتر از مدت بودن آن در شمال دایره استواست. لذا برای عرضهای جغرافیایی مشابه در نیمکره‌های شمالی و جنوبی، طول مدت زمان خورشید نیمه شب در نیمکره شمالی، بیشتر از نیمکره جنوبی است. مطلب خورشید نیمه شب در فصل پنجم کتاب نیز مورد بررسی قرار گرفته است.

زمان

در فصول قبلی در بسیاری از موارد، با اصطلاحاتی مانند وقت شمسی حقیقی (ظاهری)، وقت شمسی متوسط، تعدیل زمان (معادله زمان) و غیره... برخورد شد. همچنین رابطه (۱-۳) در فصل اول برای تبدیل وقت استاندارد به وقت شمسی حقیقی، داده شد. در این فصل، موضوع زمان و وقت مورد بررسی قرار می‌گیرد تا در فهم آنچه که قبلاً داده شده است، مؤثر باشد.

۱. زمان

طول مدت سپری شده بین دو لحظه و یا دو رویداد، به زمان، موسوم است. ابزاری مانند انواع ساعت و کرومتر (زمان‌سنج) برای اندازه‌گیری طول مدت زمان سپری شده بین دو رویداد در دو لحظه وقوع آنهاست.

۲. اندازه‌گیری و تعیین زمان

در شرح یک واقعه، می‌بایست مبداء زمانی اتفاق آن، و مدتی که واقعه، بطول انجامیده معین گردد. بنابراین ثبت زمان، شامل دو پدیده است، یکی مبداء زمانی^۱ رویداد که لحظه شروع آن را معلوم می‌کند و دیگری فاصله^۲، که نمایانگر فاصله زمانی بین شروع و خاتمه رویداد است. در کارهای روزانه، عملیات دریانوردی^۳، عملیات زمین‌پیمایی^۴ و تعقیب قمرهای مصنوعی^۵، مبداء زمانی مطرح می‌شود در حالیکه

در فیزیک فقط فاصله زمانی مطرح است.

۳. مقیاسهای زمان

در علم اندازه‌گیری زمان، به مقیاسهای زمان نیاز پیدا می‌شود تا بتوان بوسیله آنها رویدادها و فاصله‌های زمانی^۲ را سنجید. هر رویداد فیزیکی قابل تکرار را می‌توان برای اندازه‌گیری گذشت زمان بکار گرفت. البته باید این اطمینان وجود داشته باشد که تکرار رویداد، در فواصل زمانی کاملاً مساوی صورت می‌پذیرد. زمان تکرار یک رویداد فیزیکی را دوره^۳، نامند. بنابراین رویدادی را که دارای دوره ثابت باشد، می‌توان برای اندازه‌گیری زمان بکار برد. پدیده‌هایی که کم و بیش دارای این خاصیت هستند، عبارتند از ضربان نبض^۴ و یا هر ضربان تناوبی، حرکت دورانی زمین حول محورش، نوسان پاندول و ارتعاش الکترونها در اتم. وقتی که یک اتم و یا مولکول از یک حالت انرژی بالا^۵ به یک حالت انرژی کمتر می‌رسد، تشعشع الکترومغناطیسی^۶ ایجاد می‌گردد. در حقیقت هر کدام از این پدیده‌ها، در سنجش زمان بکار گرفته شده است. مقیاسهای مختلف برای منظوره‌های گوناگون، بکار می‌روند. زمانی که بر مبنای حرکت دورانی زمین حول محورش، استوار است، زمان دورانی^۷ نامیده می‌شود. وقت تقویمی یا وقت جدول نجومی^۸، بوسیله حرکت گردش زمین به دور خورشید تعریف شده و زمانی است که در مکانیک سماوی^۹ بکار می‌رود. زمان اتمی^۱ از کارکرد ساعت اتمی، بدست آمده است.

قبلاً زمان دورانی و یا وقت شمسی متوسط^{۱۱}، هم برای ثبت مبداء زمانی، و هم برای اندازه‌گیری واحد فاصله زمانی، یعنی ثانیه، بکار گرفته می‌شد. اما بعداً روشن شد که سرعت دورانی زمین بر حسب وقت تقویمی و زمان اتمی، متغیر است. در نتیجه، در سال ۱۹۵۶، ثانیه شمسی متوسط^{۱۲} جای خود را به ثانیه تقویمی^{۱۳} داد. ثانیه تقویمی نیز در سال ۱۹۶۷ توسط ثانیه اتمی^{۱۴} جایگزین گردید.

روش اندازه‌گیری زمان که فعلاً بکار می‌رود، برای مبداء زمانی بر مبنای وقت

- | | | | |
|------------------------|------------------------------|------------------------|---------------|
| 1. Time Scales | 2. Time Intervals | 3. Period | 4. Pulse Beat |
| 5. Higher Energy State | 6. Electromagnetic Radiation | | |
| 7. Rotational Time | 8. Ephemeris Time | 9. Celestial Mechanics | |
| 10. Atomic Time | 11. Mean Solar Time | 12. Mean Solar second | |
| 13. Ephemeris second | 14. Atomic second | | |

شمسی متوسط و برای فاصله زمانی بر مبنای زمان اتمی است. در ادامه مطلب مقیاسهای مختلف زمانی مورد بررسی قرار می‌گیرد.

۴. وقتِ نجومی^۱

در سنجش زمان، زمانهای دورانی مختلفی بکار گرفته می‌شود. زمان دورانی که در نجوم مورد عمل قرار می‌گیرد، وقتِ نجومی است.

چنانکه همگان می‌دانند، زمین حول محور خود دارای حرکتی دورانی است. ممکن است حرکت دورانی زمین، یک حرکت کاملاً منظم فرض شود. مدتها، این فرض کاملاً صحیح انگاشته می‌شد و سرعت حرکت دورانی زمین را کاملاً ثابت می‌گرفتند. اما سرعت حرکت دورانی زمین مطلقاً ثابت نیست. در تعریف وقتِ نجومی، حرکت دورانی زمین، کاملاً منظم فرض شده و سرعت آن مطلقاً ثابت گرفته می‌شود.

در اثر حرکت دورانی زمین حول محورش، چنین بنظر می‌رسد که ستارگان، یک دور کامل را حول قطب سماوی، در یک مدت زمان ثابت، نسبت بطول مدت حرکت دورانی زمین، طی می‌کنند و خود زمین بصورت ثابت بنظر می‌رسد. حرکت دورانی ستارگان حول قطب سماوی، به نام حرکت دورانی ظاهری^۲ نامیده می‌شود. اطلاق کلمه ظاهری بدان سبب است که در حقیقت، زمین ثابت نیست و در اثر حرکت دورانی که دارد، ستارگان ظاهراً به دور قطب سماوی می‌گردند.

از آنجایی که حرکت دورانی زمین به دور محورش منظم و با سرعتی ثابت فرض شد، لذا حرکت دورانی و ظاهری ستارگان به دور قطب سماوی نیز منظم و با سرعتی ثابت فرض می‌شود. این حرکت یکنواخت ستارگان وسیله خوبی برای اندازه‌گیری زمان است.

دوره یک دور کامل ستارگان، حول قطب سماوی، به نام روز نجومی^۳ معروف است. ریشه لغت انگلیسی روز نجومی، از یک لغت لاتینی^۴ به معنای ستاره^۵ گرفته شده است. روز نجومی، در حقیقت طول مدتی است که زمین یک دور کامل حول محورش می‌گردد. عملاً حرکت دورانی هیچ ستاره‌ای حول قطب سماوی، بعنوان تعیین روز نجومی، در نظر گرفته نمی‌شود. ستاره مبنای یک ستاره فرضی^۶، یعنی نقطه اعتدال بهاری

1. Sidereal Time

2. Apparent Revolution

3. Sidereal Day

4. Sidus

5. Star

6. Hypothetical Star

و وقت نجومی نسبت به ستاره فرضی واقع در این نقطه، در نظر گرفته می‌شود. بنابراین روز نجومی را بعنوان فاصله زمانی بین دو عبور پیاپی نقطه اعتدال بهاری از همان نصف‌النهار، نیز تعریف می‌کنند. یک روز نجومی به ۲۴ قسمت برابر به نام ساعت نجومی^۱ تقسیم شده و هر ساعت نجومی ۶۰ دقیقه نجومی^۲ و هر دقیقه نجومی ۶۰ ثانیه نجومی^۳ است. در یک محل، یک ساعت نجومی^۴ بدین ترتیب میزان می‌شود: باید بهنگام عبور نصف‌النهار محل از نقطه اعتدال بهاری، ساعت نجومی صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه را نشان دهد و بعد از گذشت ۲۴ ساعت نجومی، بوقت عبور مجدد نصف‌النهار محل از نقطه اعتدال بهاری، ساعت دوباره صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه را نشان دهد.

از آنجایی که زمین در ۲۴ ساعت نجومی، نسبت به یک ستاره ثابت، ۳۶ درجه به دور خود می‌چرخد، نتیجه می‌شود که اختلاف ۱۵ درجه طول جغرافیایی برابر یک ساعت نجومی و هر ۱۵ دقیقه قوسی، برابر یک دقیقه نجومی و هر ۱۵ ثانیه قوسی مساوی یک ثانیه نجومی است. اگر دو محل، بر روی یک نصف‌النهار واقع باشند، ساعت‌های نجومی قرار گرفته در آنها، در هر لحظه، وقتی یکسان را نشان خواهند داد. اما اگر محلی مانند نقطه A بر روی یک نصف‌النهار و محلی دیگر مانند نقطه B، ۱۵ درجه در مغرب نصف‌النهار محل A باشد، ساعت‌های نجومی قرار گرفته در نقاط A و B یک ساعت نجومی اختلاف وقت نشان خواهند داد. یعنی مثلاً اگر ساعت نجومی قرار گرفته در A، ساعت ۱۰ نجومی را نشان دهد، ساعت نجومی واقع در B، در مغرب A، ساعت ۹ نجومی را نشان خواهد داد. اگر نقطه B، ۱۵ درجه در مشرق نصف‌النهار بود، ساعت نجومی واقع در آن ساعت ۱۱ نجومی را نشان می‌داد. برای دو نقطه که بر روی یک دایره عظیمه‌ای که از دو قطب می‌گذرد و در دو طرف قطب قرار گرفته باشند، ساعت نجومی آنها ۱۲ ساعت اختلاف، نشان خواهد داد.

دیدیم که برحسب تعریف، روز نجومی عبارت از یک گردش کامل زمین به دور محورش نسبت به یک ستاره ثابت است. مشاهده شده است، چنانکه نقطه مبنا بجای یک ستاره ثابت، نقطه اعتدال بهاری باشد، طول روز نجومی نسبت به حالت یک ستاره ثابت فرق دارد. اگر وضعیت نقطه اعتدال بهاری نسبت به ستارگان ثابت، خود ثابت می‌بود، قطعاً طول روز نجومی در هر دو حالت یکی می‌شد. اما چنانکه در فصل ششم

1. Sidereal Hour

2. Sidereal Minutes

3. Sidereal second

4. Sidereal Clock

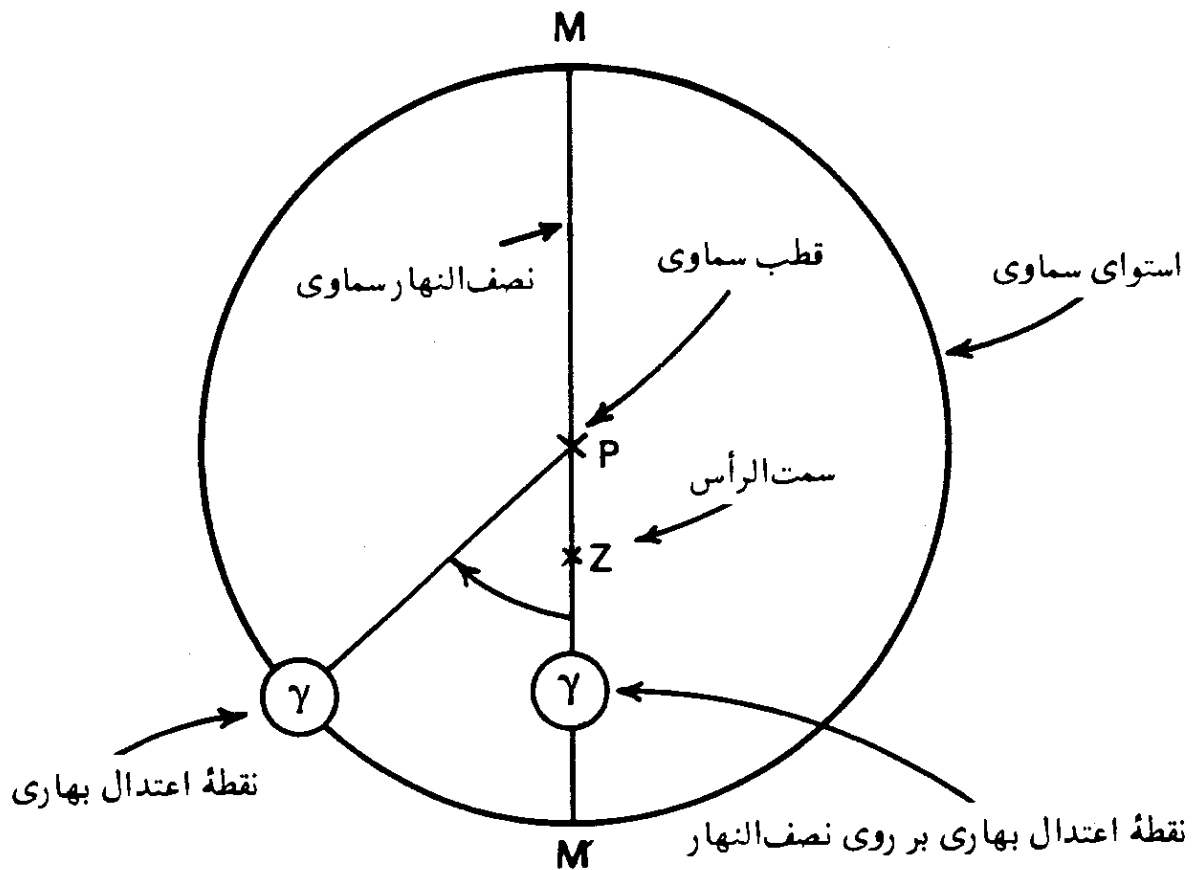
توضیح داده شده، نقطه اعتدال بهاری خود دارای حرکت تقدیمی است و نقطه ثابتی نمی باشد. حرکت نقطه اعتدال بهاری یک حرکت آرام و متغیر بطرف مغرب است. طول مدت یک دور زمین نسبت به نقطه اعتدال بهاری در حدود $0/01$ ثانیه از طول مدت یک دور کامل آن (نسبت به یک ستاره ثابت) کمتر است.

روز نجومی، از واحدهای اصلی زمان در نجوم است و در اینجا فقط به منظور بهتر فهمیدن سایر واحدهای زمان، توضیح داده شده است.

۵. وقت نجومی محلی^۱

توضیح داده شد، زمانی که نقطه اعتدال بهاری بر روی نصف النهار سماوی محلی قرار می گیرد، ساعت نجومی قرار گرفته در آن، صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه نجومی را نشان خواهد داد. لحظه عبور نصف النهار سماوی از نقطه اعتدال بهاری را اصطلاحاً ظهر نجومی^۲ نامند. در سایر اوقات، وقت نجومی محلی یک نقطه، برحسب زمان نجومی گذشته از لحظه عبور نصف النهار سماوی آن از نقطه اعتدال بهاری، بیان می گردد.

در شکل (۱-۷)، کره سماوی بنحوی که از طرف قطب سماوی دیده می شود، نشان داده شده است. نقطه P، قطب سماوی و Z سمت الرأس و خط MPZM' نصف النهار سماوی نقطه ای مانند A است. در حالت اول نقطه اعتدال بهاری بر روی نصف النهار مکان قرار گرفته که در آن لحظه ساعت نجومی، صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه نجومی را نشان خواهد داد. وقتی که در اثر حرکت دورانی زمین، نقطه اعتدال بهاری باندازه کمان $M'\gamma$ به سمت مغرب تغییر مکان می دهد، ساعت نجومی محل A از تبدیل قوس $M'\gamma$ (برحسب درجه) به ساعت نجومی، از قرار هر ۱۵ درجه برابر یک ساعت نجومی، بدست خواهد آمد. بنابراین اگر دو محل، مانند A و B بر روی دو نصف النهار مختلف قرار بگیرند و وقت نجومی یکی از آنها مثلاً محل A معلوم باشد، از روی اختلاف طول جغرافیایی آنها می توان وقت نجومی محل B را معین کرد. در اینصورت اختلاف طول جغرافیایی را به زمان نجومی تبدیل و از وقت محل A کم و یا به آن اضافه می کنیم، اگر محل B در مغرب محل A باشد زمان نجومی بدست آمده (معادل اختلاف طولهای جغرافیایی) از وقت نجومی محل A کسر و چنانکه محل B در



شکل (۷-۱) - عبور نصف النهار سماوی یک نقطه از نقطه اعتدال بهاری.

مشرق محل A باشد، به آن اضافه می‌گردد. برای مثال: وقتی که نقطه اعتدال بهاری بر روی نصف النهار گرینیچ در انگلستان قرار می‌گیرد، دیگر، بر روی نصف النهار شهر واشنگتن دی سی^۱ (غربی 77°) قرار نخواهد داشت. نقطه اعتدال بهاری، زمانی بر روی نصف النهار واشنگتن قرار خواهد گرفت که زمین، باندازه 77 درجه و یا معادل $5/13$ ساعت دوران کند. وقتی که نقطه اعتدال بهاری از نصف النهار سماوی واشنگتن عبور می‌کند، ساعت نجومی قرار گرفته در گرینیچ، وقت 5 ساعت و 7 دقیقه و 48 ثانیه نجومی را نشان خواهد داد، در حالیکه ساعت نجومی قرار گرفته در واشنگتن دی سی، صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه نجومی را معلوم خواهد کرد. چون طول جغرافیایی گرینیچ صفر درجه است، نتیجه می‌شود که طول جغرافیایی هر محلی بر روی زمین، برابر اختلاف وقت نجومی گرینیچ و آن محل است. این در حقیقت همان روش تعیین طول جغرافیایی مذکور در فصل اول در بخش (۱-۵) است.

با راه ساده‌ای می‌توان وقت نجومی را به بعد و زاویه ساعتی ارتباط داد. چنانکه

1. Washington D. C.

تعاریف بُعد (R.A.)^۱، زاویه ساعتی (H.A.)^۲ و وقت نجومی محلی^۳ (L.S.T.) را در نظر بگیریم، رابطه بین آنها بسادگی معلوم می‌گردد.

بُعد یک ستاره عبارت از کمانی از استوای سماوی است که بین دو دایره عظیمه، یکی دایره اعتدال^۴ و دیگری دایره ساعتی^۵ (دایره میل) قرار گرفته و از نقطه اعتدال بهاری بجهت مشرق اندازه‌گیری می‌شود. در شکل (۷-۲)، کمان S γ ، بُعد ستاره S است. همچنین این کمان برحسب زمان، عبارت از طول مدتی (برحسب ساعت، دقیقه ثانیه نجومی) است که توسط ستاره S طی می‌شود تا بعد از عبور نقطه اعتدال بهاری از نصف‌النهار سماوی محل، از همان نصف‌النهار عبور کند. در نتیجه وقت نجومی محلی برابر با بُعد نصف‌النهار سماوی آنست.

زاویه ساعتی یک‌ستاره، کمانی از استوای سماوی است که بین نصف‌النهار سماوی و دایره ساعتی (میل) عبورکننده از ستاره قرار می‌گیرد و چنانکه از بالای قطب سماوی نگاه شود، به جهت مغرب اندازه‌گیری می‌شود. وقتی که بطرف مغرب اندازه‌گیری شود علامت آن مثبت و بجانب مشرق منفی است. در شکل (۷-۲)، که به همان صورت شکل (۷-۱) در نظر گرفته شده، کمان M'S زاویه ساعتی ستاره S است. این کمان برحسب زمان برابر مدت زمانی است که از عبور ستاره از نصف‌النهار سماوی مکان سپری شده است (در صورتیکه ستاره در مغرب نصف‌النهار قرار داشته باشد، ستاره S) و یا با طول مدتی که ستاره، برای رسیدن به نصف‌النهار لازم دارد، برابر است (در صورتیکه ستاره در مشرق نصف‌النهار قرار داشته باشد، ستاره S). بنابراین وقت نجومی برابر با زاویه ساعتی نقطه اعتدال بهاری از صفر ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه تا ۲۴ ساعت و صفر دقیقه و صفر ثانیه، اندازه‌گیری شده بطرف مغرب است.

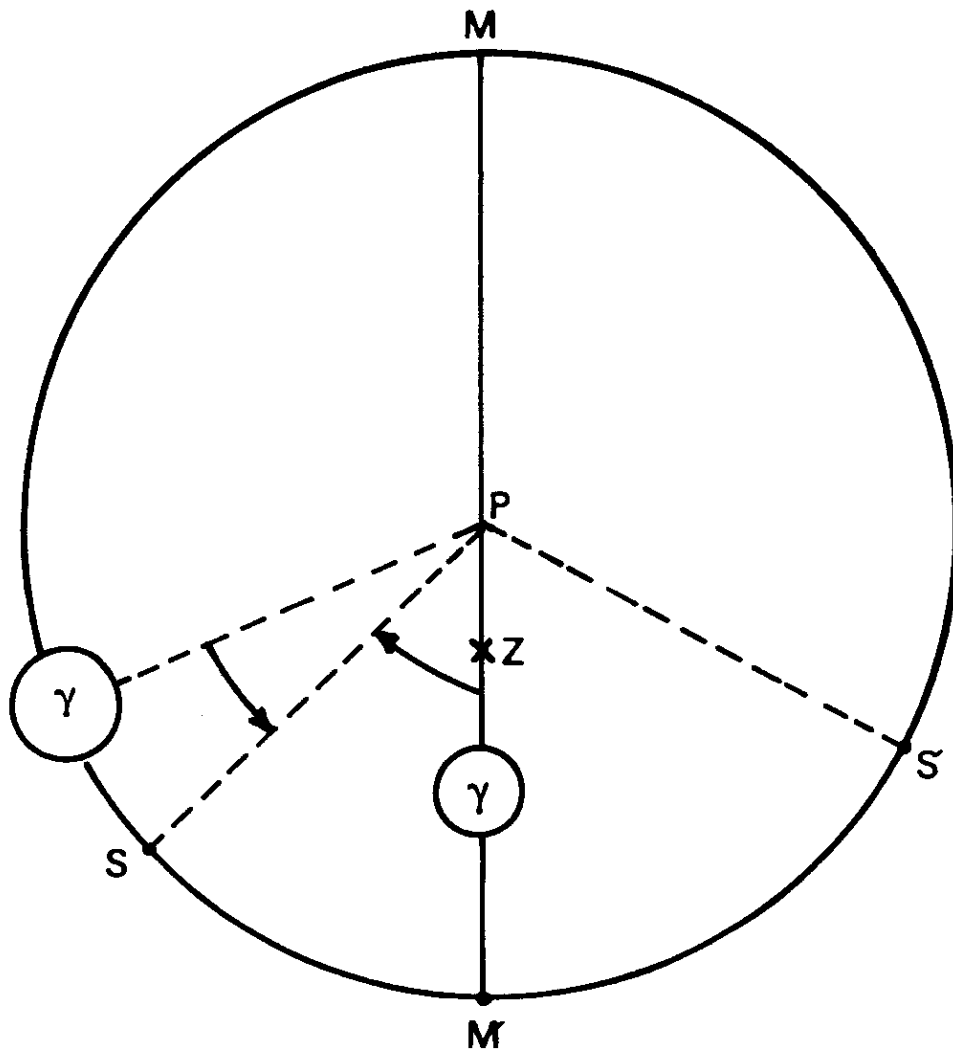
حال با توجه به شکل (۷-۲) می‌توان نوشت:

$$\widehat{\gamma M'} = \widehat{\gamma S} + \widehat{SM'}$$

و یا
زاویه ساعتی ستاره + بُعد ستاره = وقت نجومی محلی
همچنین برای ستاره S' در مشرق نصف‌النهار سماوی،

$$\widehat{\gamma M'} = \widehat{\gamma S'} - \widehat{M'S'}$$

- | | | |
|-----------------------|----------------|-----------------------|
| 1. Right Ascension | 2. Hour Angle | 3. Local Sideral Time |
| 4. Equinoctial Colure | 5. Hour Circle | 6. Declination Circle |



شکل (۷-۲) - رابطه بین وقت نجومی محلی، بُعد و زاویه ساعتی.

و یا

زاویه ساعتی ستاره - بُعد ستاره = وقت نجومی محلی

و به طور کلی خواهیم داشت،

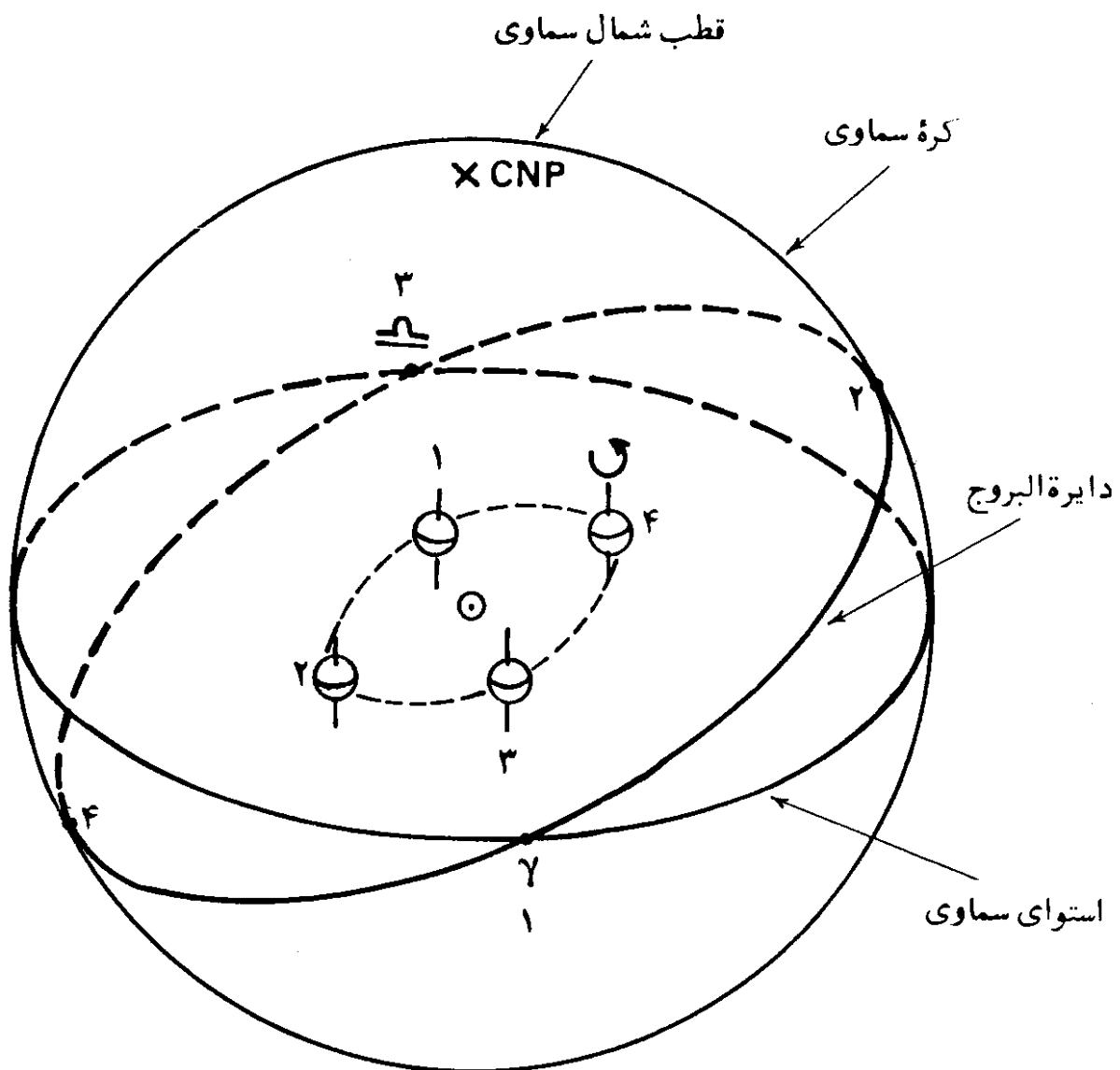
$$L.S.T. = R.A. \pm H.A. \left(\frac{W}{E} \right) \quad (۷-۱)$$

اگر R.A. کمتر از H.A. باشد ۲۴ ساعت به آن اضافه می شود. وقتی که ستاره در مغرب نصف النهار سماوی باشد علامت H.A. مثبت و زمانی که در مشرق آن باشد، علامتش منفی است.

۶. وقت شمسی ظاهری (حقیقی)

نوع دیگری از زمان دورانی، وقت شمسی ظاهری (حقیقی) است. گرچه روش اندازه گیری زمان توسط ساعت نجومی، روش مناسبی است، اما مناسب منظوره های عادی زندگی نیست. عادات و قواعد ما بر مبنای خورشید استوار است نه بر مبنای ستارگان. بعلاوه به دلایل عملی، زمان نجومی در زندگی روزمره کاربرد ندارد. بعنوان مثال، یک روز کاری را در ساعت ۶ روز نجومی شروع می کنیم:

در شکل (۷-۳) در اول پاییز زمین در وضعیت (۳) است و خورشید بر روی



شکل (۷-۳) — نشان دادن اینکه وقت نجومی، زمان مناسبی برای زندگی روزمره نمی باشد. در وضعیت (۳) در ساعت شش نجومی، خورشید در حال طلوع و نقطه اعتدال بهاری (γ) در حال غروب است، اما در وضعیت (۳) هم خورشید و هم نقطه اعتدال بهاری در حال غروب اند.

استوای سماوی ۱۸۰ درجه یا ۱۲ ساعت از نقطه اعتدال بهاری (۷) فاصله دارد. در ساعت ۶ نجومی، زاویه ساعتی نقطه اعتدال بهاری، ۶ ساعت (۹۰ درجه) است و در نتیجه، نقطه اعتدال بهاری در حال غروب (حرکت دورانی زمین از مغرب به مشرق) است و خورشید که ۱۲ ساعت از نقطه اعتدال بهاری فاصله دارد، در حال طلوع می‌باشد و لذا شروع روز، مطابق معمول، در صبح خواهد بود. اما ۶ ماه بعد، زمین در اول بهار در وضعیت ۱ است و در ساعت ۶ نجومی، هم خورشید و هم نقطه اعتدال بهاری در حال غروب‌اند. لذا در صورتی که قرار بر این بوده باشد که روز همیشه در در همان ساعت ۶ نجومی آغاز شود، در این حالت شروع روز در غروب آفتاب خواهد بود. دیده می‌شود که شروع روز، زمانی در صبح و زمانی دیگر در غروب، مناسب نیست. به همین علت وقتی که توسط خورشید سنجیده شود، بهتر از سنجش توسط ستارگان، با زندگی روزمره مناسبت دارد.

وقتی که مبنای اندازه‌گیری زمان، خورشید باشد، آن را وقت شمس‌ی ظاهری (حقیقی) نامند. زندگی روزمره ما توسط وقت شمس‌ی ظاهری تنظیم می‌شود و وقت نجومی، در این مورد کاربرد ندارد.

زمانی که مرکز قرص خورشید بر روی نصف‌النهار سماوی محلی قرار می‌گیرد، اصطلاحاً ظهر ظاهری محلی^۱ است و در سایر اوقات روز، وقت، توسط زاویه ساعتی خورشید معلوم می‌شود. روز شمس‌ی ظاهری^۲ فاصله دو عبور پیاپی مرکز قرص خورشید از نصف‌النهار سماوی مکان است. وقتی که مرکز قرص خورشید بر روی نصف‌النهار محلی قرار می‌گیرد، ساعت شمس‌ی ظاهری^۳، یعنی ساعت خورشیدی^۴، ساعت ۱۲ را نشان خواهد داد و این لحظه، ظهر ظاهری محل است. ساعت خورشیدی، یکی از قدیمی‌ترین ابزار سنجش وقت است و وقت شمس‌ی ظاهری را در محل، مشخص می‌کند. متأسفانه، روز شمس‌ی ظاهری، دارای طول زمانی ثابتی نیست و متغیر است. ساختن ساعتی مکانیکی همانند ساعت‌های مکانیکی متداول که در لحظه عبور دقیق خورشید از نصف‌النهار محل، درست ساعت ۱۲ ظهر را نشان دهد و یا بتواند وقت شمس‌ی ظاهری را تعیین کند، غیرممکن است. بعداً دلیل تغییر طول مدت روز شمس‌ی ظاهری، خواهد آمد. ابتدا طول مدت یک روز شمس‌ی ظاهری را با یک روز نجومی مقایسه می‌کنیم.

1. Local Apparent Noon

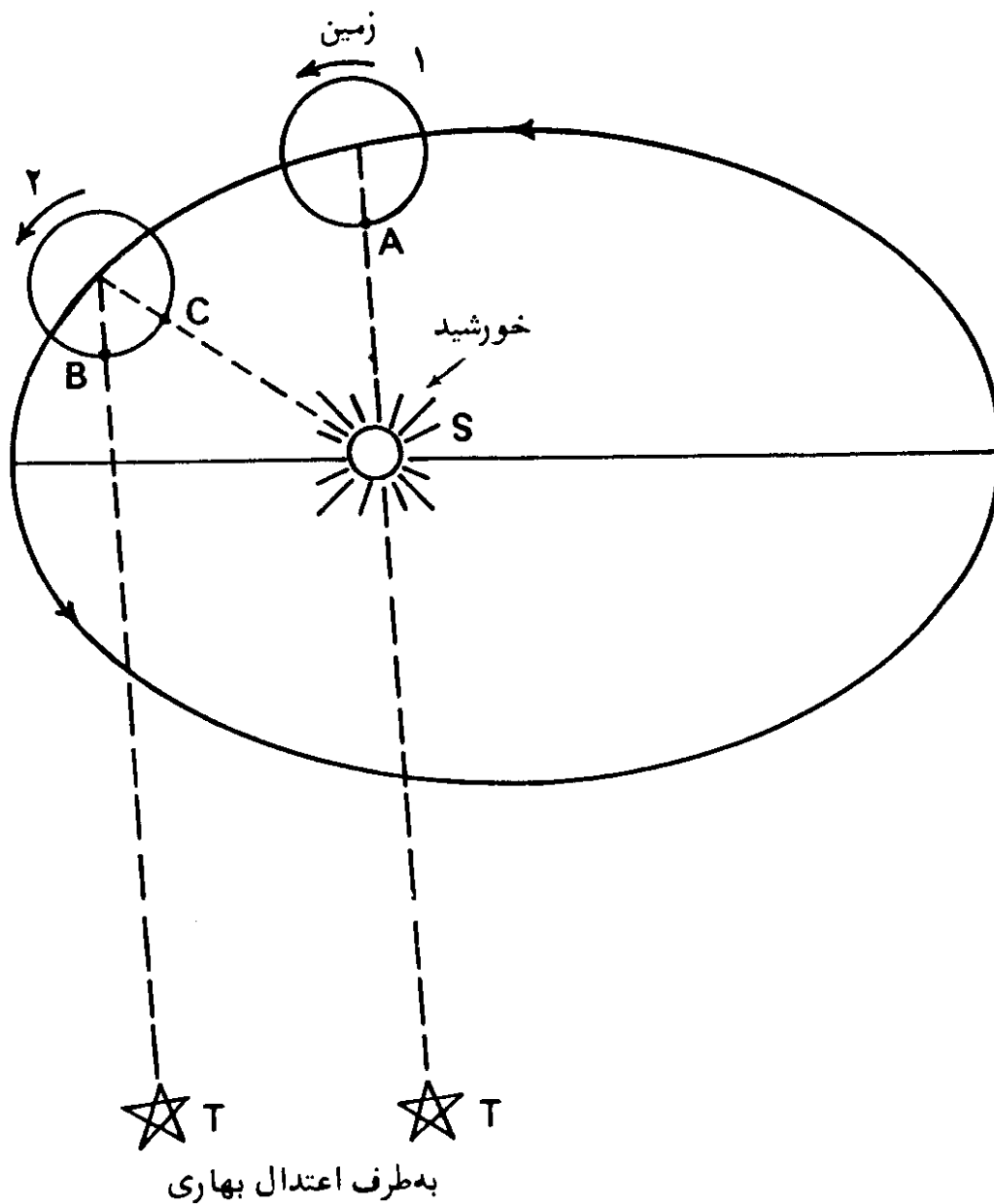
2. Apparent Solar Day

3. Apparent Solar Clock

4. Sundial

طول مدت یک روز شمسی ظاهری، از طول مدت یک روز نجومی بلندتر است. دلیل این مطلب با توجه به شکل (۷-۴) مشخص می‌شود. در این شکل، مسیر بیضی شکل حرکت انتقالی زمین به دور خورشید نشان داده شده که خورشید در نقطه S - یکی از کانونهای بیضی - نمایانده شده است.

ملاحظه کنید که خورشید برای ناظر A در وضعیت شماره ۱ زمین، درست در بالای سر او قرار دارد. همچنین فرض کنید که بر روی امتداد خط AS، ستاره‌ای ثابت مانند T نیز درست در بالای سر ناظر قرار داشته باشد. می‌دانیم که زمین دارای دو حرکت است، یکی به دور محورش و دیگری به دور خورشید در امتداد مدار بیضی شکل.



شکل (۷-۴) - مقایسه طول روز شمسی ظاهری و روز نجومی.

و وقتی که زمین به وضعیت ۲ می‌رسد، ناظر A در اثر حرکت دورانی زمین به وضعیت B خواهد رسید و این در حالی است که ستاره T بعثت بُعد مسافت، کماکان در بالای سر او خواهد بود؛ عبارت دیگر بعثت بُعد مسافت ستاره T، امتداد BT بموازات امتداد AT است. این لحظه، پایان روز نجومی است که طبق تعریف، فاصله بین دو عبور پیاپی ستاره ثابت (فرض بر اینست که ستاره ثابت در محل نقطه اعتدال بهاری باشد) از نصف النهار محل است. اما برای پایان یافتن روز شمسی ظاهری، ناظر می‌بایست مدتی صبر کند تا در اثر حرکت‌های زمین، طول کمان BC پیموده شود و خورشید مجدداً به بالای سر او برسد. در نتیجه، روز شمسی ظاهری باندازه مدت زمان لازم برای پیمودن کمان BC، در اثر حرکت‌های زمین، بلندتر است. یعنی برای تعیین روز شمسی ظاهری می‌بایست باندازه مدت لازم در پیمودن کمان BC، بطول روز نجومی اضافه شود.

چنانکه طول روز نجومی را ثابت بگیریم، در صورتیکه طول مدت لازم برای پیمودن کمان BC توسط زمین نیز ثابت باشد، طول روز شمسی ظاهری ثابت خواهد بود. اما طول مدت لازم برای پیمودن کمان BC، در اثر حرکت‌های زمین ثابت نیست. می‌دانیم که مدار حرکت انتقالی زمین به دور خورشید یک بیضی با خروج از مرکز^۱ بزرگتر از صفر است که این مطلب نتیجه قانون گرانش^۲ (قوانین کپلر^۳) است. چنانکه یک شیء بر مداری بیضی شکل در حرکت باشد، سرعت حرکتش در طول یک دوره حرکت آن یکنواخت نخواهد بود. وقتی که فاصله زمین از خورشید کمترین است، یعنی در زمان حضیض، سرعت حرکت آن بیشتر از وقتی است که فاصله زمین از خورشید بیشترین (نقطه اوج) است. بدین ترتیب، وقتی که زمین در نزدیکی حضیض است، بُعد خورشید در امتداد استوای سماوی در اثر حرکت آن به سمت مشرق، تقریباً ۱ درجه و ۶/۶ دقیقه در روز تغییر می‌کند، در حالی که در نزدیکی نقطه اوج، حرکت ظاهری آن به سمت مشرق تقریباً یک درجه و ۵/۲ دقیقه در روز است. مقدار اختلاف ۴/۱ دقیقه قوسی، بر حسب زمان برابر ۱۶ ثانیه است. به همین سبب طول روز شمسی ظاهری، باندازه ۱۶ ثانیه در ماه ژانویه (زمان حضیض) و ژوئیه (زمان اوج) تغییر می‌کند. در نتیجه، زمان لازم برای پیمودن کمان BC که باید به روز نجومی اضافه شود تا روز شمسی ظاهری بدست آید، یکسان نیست. این نخستین دلیل یکنواخت نبودن روزهای شمسی ظاهری است. دلیل دیگر غیر یکنواختی روزهای شمسی ظاهری، تمایل ۲۳/۴۵ درجه‌ای

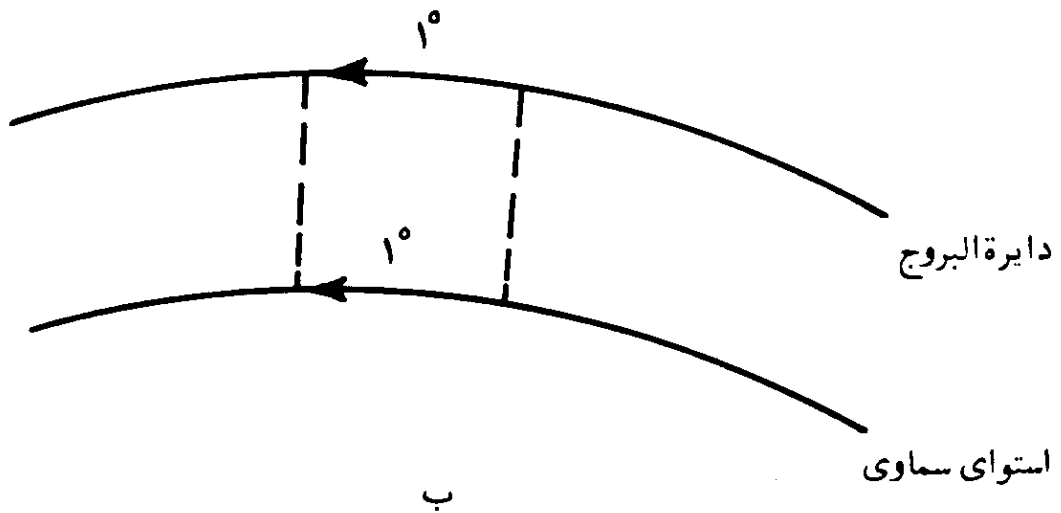
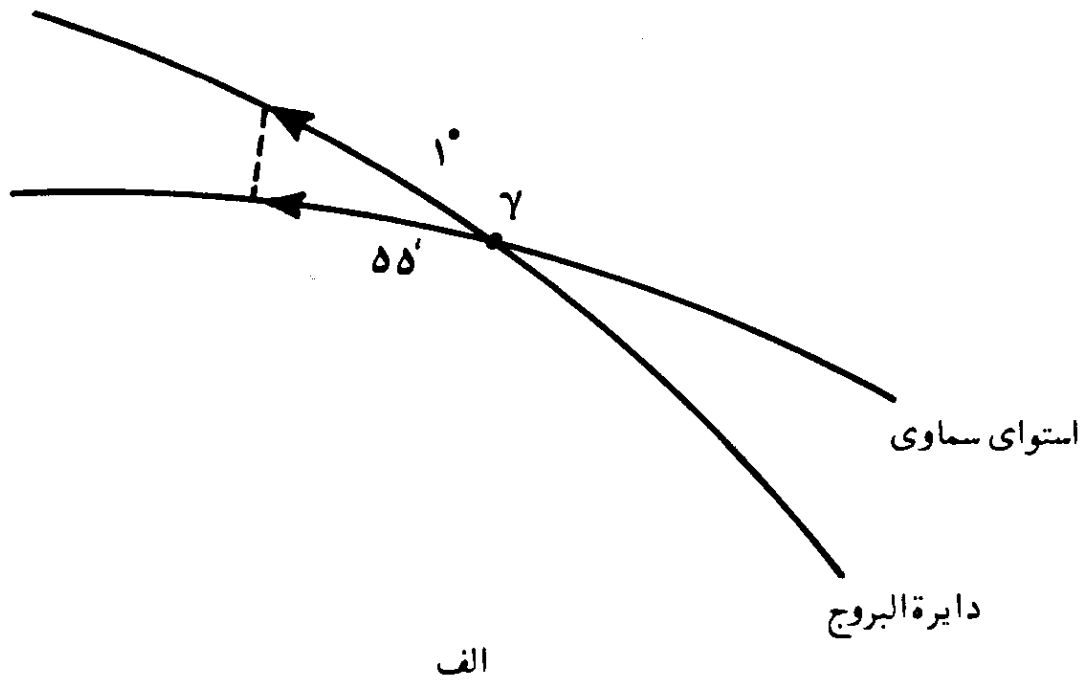
صفحه استوای زمین، نسبت به صفحه مدار حرکت زمین بدور خورشید یعنی تمایل دایرة البروج^۱ است. حتی اگر مدار حرکت انتقالی زمین به دور خورشید دایره‌ای شکل بود، یعنی اینکه سرعت حرکت ظاهری خورشید در امتداد دایرة البروج بطرف مشرق یکسان می‌بود، باز هم زمان بین دو عبور پیاپی خورشید از نصف‌النهار، یکسان نمی‌شد، زیرا افزایش زمان^۲ در امتداد استوای سماوی در نظر گرفته می‌شود، در حالی که تغییر وضعیت خورشید، بر روی دایرة البروج سنجیده می‌شود. تصور کنید که خورشید با حرکتی یکنواخت بر روی دایرة البروج باندازه یک درجه در روز بطرف مشرق حرکت کند. در روز اول بهار، خورشید در نقطه اعتدال بهاری (وضعیت ۱ در شکل (۳-۷)) خواهد بود. روز بعد باندازه یک درجه، در امتداد دایرة البروج به نقطه‌ای بالاتر از دایرة استوای سماوی می‌رسد و زمین باید علاوه بر دور ۳۶۰ درجه‌ای، معادل فاصله زاویه‌ای یک درجه‌ای بر روی دایرة البروج را، بر روی استوای سماوی طی کند. تصویر این فاصله بر روی دایرة استوای سماوی، همان یک درجه نیست و بلکه ۰/۹ درجه و یا ۵۵ دقیقه است. این مطلب در فصل چهارم در مثال (۶-۴)، محاسبه شده است. لذا روز شمسی ظاهری در فاصله روز اول تا دوم بهار معادل دور ۳۶۰ درجه‌ای زمین بعلاوه دور مداری ۵۵ دقیقه‌ای آنست، شکل (۵-۷) الف.

سه ماه بعد در نقطه انقلاب تابستانی—وضعیت ۲ در شکل (۳-۷)— حرکت یک درجه‌ای روزانه خورشید بر مسیر دایرة البروج، برابر همان یک درجه بر روی دایرة استوای سماوی است، شکل (۵-۷) ب.

در نتیجه، یک روز شمسی ظاهری معادل یک دور ۳۶۰ درجه‌ای زمین بعلاوه یک دور مداری ۶۰ دقیقه‌ای آنست. بنابراین تفاوت بین روزهای شمسی ظاهری در فاصله روز اول تا دوم بهار و اول تا دوم تابستان، حدود ۵ دقیقه قوسی (۵ = ۵۵ - ۶۰) و یا بطور تقریب ۲۰ ثانیه است.

۷. وقت ظاهری محلی^۳

چنانکه وقت، وسیله وقت شمسی ظاهری سنجیده شود؛ عبارت دیگر زاویه ساعتی خورشید در سنجش زمان مورد عمل باشد، در صورتی دو نقطه دارای وقت یکسان خواهند بود که هر دو بر روی یک نصف‌النهار قرار بگیرند و یکی مستقیماً در



شکل (۷-۵) - حرکت ظاهری خورشید بر روی دایرة البروج بطرف مشرق، و تصویر آن بر دایرة استوای سماوی. قسمت (الف) مربوط به فاصله روز اول تا دوم بهار و قسمت (ب) مربوط به فاصله روز اول تا دوم تابستان است. در هر دو مورد فرض شده است که خورشید، یک درجه را بر روی دایرة البروج در یک روز طی کند. تصویر میزان سیر طی شده بر روی دایرة استوای سماوی، در حدود ۵۵' در فاصله روز اول تا دوم بهار و برابر همان یک درجه در فاصله روز اول تا دوم تابستان است. این مطلب موجب نابرابری روزهای شمسی ظاهری است.

شمال دیگری قرار داشته باشد. بدین ترتیب وقت، محلی می باشد و فقط برای نصف النهار

معینی است و از آنجایی که این وقت بر اساس حرکت ظاهری خورشید است، آن را وقت ظاهری محلی (L. A. T.) می نامند. قبلاً هم توضیح داده شده که ظهر ظاهری محلی، لحظه ای است که مرکز قرص خورشید از نصف النهار محل، عبور می کند و این در حقیقت همان ظهر شرعی است.

وقت ظاهری محلی، همان وقتی است که توسط ساعت خورشیدی، معین می شود که تا حدود یک قرن پیش تقریباً در سطح دنیا برای سنجش وقت بکار می رفت. اما ساعت خورشیدی، بعلاوه دو نقیصه مهم، توسط انواع دیگر وسایل سنجش وقت، جایگزین گردید. یکی از دو نقیصه که قبلاً هم بحث شد، اینست که روزهایی که توسط خورشید سنجش می شوند، از نظر طول مدت روز متغیر است.

نقیصه دیگر وقت ظاهری محلی، مناسب نبودن این نوع از سنجش وقت است که تا این اندازه به محل، بستگی دارد. وقت دو محل را فقط وقتی می توان سنجید که اختلاف طول جغرافیایی آنها معین باشد. دو شهر که بر روی یک نصف النهار قرار دارند و یا بعبارت دیگر فقط از نظر شمالی و جنوبی از هم فاصله دارند، دارای وقت یکسانند، اما در صورتیکه دو شهر از جهت شرقی-غربی از هم فاصله داشته باشند، دارای وقت ظاهری محلی متفاوتی خواهند بود. برای توضیح اینکه وقت ظاهری محلی تا چه حد به محل بسته است، به ذکر چند مثال می پردازیم. در بخش (۲-۵) در فصل اول، چگونگی تعیین فاصله شرقی-غربی دو محل، با اختلاف طول جغرافیایی معین، توضیح داده شد. با توجه به آنچه که قبلاً داده شده، هر ۱۵۲۰ فوت در امتداد مشرق-مغرب، بر روی دایره استوا، برابر اختلاف یک ثانیه در وقت است. در سایر عرضهای جغرافیایی، برای بدست آوردن فاصله معادل یک ثانیه، می بایست عدد ۱۵۲۰ در کسینوس عرض جغرافیایی محل ضرب شود. مثلاً در عرض جغرافیایی 35° ، کسینوس 35° برابر 0.8192 است و حاصل ضرب آن در ۱۵۲۰ می شود ۱۲۴۵ فوت. بنابراین در عرض جغرافیایی 35° ، هر ۱۲۴۵ فوت در امتداد مشرق-مغرب برابر یک ثانیه اختلاف در وقت است. با استفاده از همین روش، جدول (۱-۷) تنظیم شده است. در این جدول، طول شرقی-غربی معادل یک ثانیه زمانی در عرضهای جغرافیایی مختلف داده شده است.

جدول (۷-۱) طول شرقی-غربی معادل یک ثانیه اختلاف وقت، در عرضهای جغرافیایی مختلف:

عرض جغرافیایی	۱۵°	۲۰°	۲۵°	۳۰°	۳۵°	۴۰°	۴۵°	۵۰°	۵۵°
فاصله شرقی-غربی بر حسب فوت	۱۴۶۸	۱۴۲۸	۱۳۷۸	۱۳۱۶	۱۲۴۵	۱۱۶۴	۱۰۷۵	۹۷۷	۸۷۲

فرض کنید که یک زمین فوتبال در امتداد مشرق-مغرب قرار گرفته باشد، حال می‌خواهیم بدانیم که اختلاف وقت ظاهری محلی بین دو سرزمین چقدر است. در یک زمین فوتبال واقع در امتداد مشرق-مغرب، با طول ۳۰۰ فوت، و در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه، اختلاف وقت در دوسر یک ضلع شرقی-غربی آن برابر ۰/۲۴۱ ثانیه و یا در حدود یک چهارم ثانیه است. دیده می‌شود که در چنین فاصله کوتاهی، اختلاف وقت ظاهری محلی قابل ملاحظه است و در فواصل بیشتر، میزان اختلاف بیشتر می‌شود. چنانکه فاصله شرقی-غربی دو شهر در عرض جغرافیایی ۳۵ درجه برابر یکصد مایل باشد، میزان اختلاف وقت ظاهری محلی برابر ۷/۰۷ دقیقه می‌شود. اختلاف وقت دو شهر در فاصله شرقی-غربی ۱۴/۱۵ مایل، برابر یک دقیقه است.

۸. وقت متوسط^۱

تا بحال دریافته‌ایم که چرا طول روزهای شمسی ظاهری^۲ متغیر است. دو دلیل تغییر طول روزهای شمسی ظاهری یکی دایره‌ای نبودن مدار حرکت انتقالی زمین است که دیده شد تقریباً بیضی شکل می‌باشد و دیگری تمایل دایره استوای زمین نسبت به سطح مدار حرکت انتقالی آنست. بطور کلی، روز شمسی ظاهری در ماه دسامبر به ۲۴ ساعت و ۳۰ ثانیه و در ماه سپتامبر به ۲۳ ساعت و ۵۹ دقیقه و ۳۹ ثانیه می‌رسد. مقادیر جزئی اختلاف روزانه روزهای شمسی ظاهری در طول یکسال جمع شده و به حدود نیمساعت می‌رسد، که در موارد علمی قابل قبول نیست و حتی در زندگی روزمره

امروزی هم نمی تواند قابل قبول باشد.

به منظور اینکه واحد زمانی غیرمتغیری براساس حرکت خورشید داشته باشیم و دو علت تغییر طول روزهای شمسی ظاهری جبران گردد، منجمین، خورشیدی فرضی به نام خورشید متوسط یا میانگین در نظر گرفته اند. این خورشید فرضی، در طول یکسال حرکت ظاهری خورشید واقعی^۲ در امتداد دایرة البروج، یک بار دایرة استوای سماوی را با سرعتی یکنواخت می پیماید. ظهر متوسط^۳، لحظه ای است که خورشید متوسط از نصف النهار یک محل عبور می کند و آن را ظهر متوسط محلی^۴ می نامند. روز شمسی متوسط^۵ فاصله زمانی دو عبور پیاپی خورشید متوسط از نصف النهار محل است. در سایر اوقات، ساعات روز شمسی متوسط، توسط زاویه ساعتی خورشید متوسط از نصف النهار محل بطرف مغرب، از صفر تا ۲۴ ساعت مشخص می گردد. برای اوقات رسمی، مناسبتر است، که روز متوسط در نیمه شب، بعنوان ساعت صفر، شروع گردد که آن را نیمه شب متوسط محلی^۶ می نامند. روز شمسی متوسط به بیست و چهار ساعت و هر ساعت متوسط^۷ به ۶۰ دقیقه و هر دقیقه متوسط^۸ به ۶۰ ثانیه متوسط^۹ تقسیم شده است. روز شمسی متوسط همان روزی است که در تنظیم ساعاتهای معمولی بکار می رود و طوری میزان شده است که در هر روز سال، لحظه ظهر متوسط، هنگام عبور خورشید متوسط فرضی از نصف النهار محل، در سر ساعت ۱۲ اتفاق می افتد. ساعتی که ساعت منظم نجومی را نشان می دهد، در یک روز شمسی متوسط نسبت به ساعتی که وقت شمسی متوسط را می نماید ۳ دقیقه و ۵۶/۵۵۵ ثانیه نجومی جلو می افتد؛ بعبارت دیگر طول روز شمسی متوسط ۲۴ ساعت و ۳ دقیقه و ۵۶/۵۵۵ ثانیه نجومی است.

در عمل، منجمین، بدون رصد خورشید، وقت شمسی متوسط را تعیین می کنند. ستارگان را برای تعیین زمان نجومی، مورد رصد قرار داده، و سپس آن را به وقت شمسی متوسط، توسط فرمول ریاضی، که از رصدهای قبلی خورشید نسبت به ستارگان بدست آمده است، تبدیل می کنند.

۹. تبدیل فواصل زمانی شمسی متوسط به فواصل زمانی نجومی و برعکس

قبلا طول روز نجومی را با طول روز شمسی متوسط مقایسه کردیم و دیده شد که

- | | | |
|--------------------|-------------------|------------------------|
| 1. Mean Sun | 2. True Sun | 3. Mean Noon |
| 4. Local Mean Noon | 5. Mean Solar Day | 6. Local Mean Midnight |
| 7. Mean Hour | 8. Mean Minute | 9. Mean second |

طول روز شمسی متوسط ۳ دقیقه و ۵۶/۵۵۵ ثانیه از روز نجومی بلندتر است. همچنین پیش از این در فصل ششم، در مثال (۴-۶) دیدیم که در هر سال شمسی، که از ۳۶۵/۲۴۲۲ روز شمسی متوسط تشکیل شده است، ۳۶۶/۲۴۲۲ روز نجومی موجود است، یعنی:

$$366/2422 \text{ روز نجومی} = 365/2422 \text{ روز شمسی متوسط}$$

$$\text{روز نجومی} = \left(1 + \frac{1}{365/2422}\right) = 1 \text{ روز شمسی متوسط}$$

$$56/555 \text{ ثانیه نجومی و } 3 \text{ دقیقه و } 24 \text{ ساعت} = 1 \text{ روز شمسی متوسط}$$

بنابراین

۹/۸۵۶۵ ثانیه نجومی + یک ساعت نجومی = یک ساعت شمسی متوسط
 ۰/۱۶۴۲ ثانیه نجومی + یک دقیقه نجومی = یک دقیقه شمسی متوسط
 ۰/۰۰۲۷ ثانیه نجومی + یک ثانیه نجومی = یک ثانیه شمسی متوسط
 بنابراین برای تبدیل ساعت شمسی متوسط به ساعت نجومی، می بایست به ازاء هر ساعت شمسی متوسط ۹/۸۵۶۵ ثانیه نجومی، به آن اضافه شود. این مقدار تصحیح، شتاب^۱، نامیده می شود. به همین ترتیب:

$$365/2422 \text{ روز شمسی متوسط} = 366/2422 \text{ روز نجومی}$$

$$\text{روز شمسی متوسط} = \frac{365/2422}{366/2422} = 1 \text{ روز نجومی}$$

$$\text{روز شمسی متوسط} = \left(1 - \frac{1}{366/2422}\right) = 1 \text{ روز نجومی}$$

یا
 ۴/۰۹ ثانیه شمسی متوسط و ۵۶ دقیقه و ۲۳ ساعت = یک روز نجومی
 ۹/۸۲۹۶ ثانیه شمسی متوسط - یک ساعت شمسی متوسط = یک ساعت نجومی
 ۰/۱۶۳۸ ثانیه شمسی متوسط - یک دقیقه شمسی متوسط = یک دقیقه نجومی
 ۰/۰۰۲۷ ثانیه شمسی متوسط - یک ثانیه شمسی متوسط = یک ثانیه نجومی
 بنابراین برای تبدیل ساعت نجومی به ساعت شمسی متوسط، می بایست به ازای هر ساعت نجومی، ۹/۸۲۹۶ ثانیه از ساعت نجومی کاسته شود. این مقدار تصحیح به نام پس افت^۲ معروف است.

مثال (۷-۱) - فاصله زمانی ۴ ساعت و ۲۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه شمسی متوسط را به وقت نجومی تبدیل کنید.

راه حل - مطابق آنچه که توضیح داده شد، برای تبدیل ساعت شمسی متوسط

به ساعت نجومی، می بایست اول مقدار شتاب، به ازای $9/8565$ ثانیه برای هر ساعت شمسی متوسط، محاسبه گردد، بنابراین،

$$4 \times 9/8565 = 39/426 \text{ ثانیه}$$

$$20 \times 0/1642 = 3/284 \text{ ثانیه}$$

$$30 \times 0/0027 = 0/81 \text{ ثانیه}$$

$$\text{ثانیه } 42/791 \text{ جمع}$$

$$+ 30 \text{ ثانیه و } 20 \text{ دقیقه و } 4 \text{ ساعت} = \text{فاصله زمانی شمسی متوسط}$$

$$\text{ثانیه } 42/791$$

$$12/791 \text{ ثانیه و } 21 \text{ دقیقه و } 4 \text{ ساعت} = \text{فاصله زمانی نجومی}$$

مثال (۷-۲) — فاصله زمانی ۸ ساعت و ۴۰ دقیقه و ۵۰ ثانیه نجومی را به وقت شمسی متوسط تبدیل کنید.

راه حل — مطابق آنچه که توضیح داده شد، برای تبدیل ساعت نجومی به وقت

شمسی متوسط، می بایست اول مقدار پس افت را به ازای $9/8296$ ثانیه برای هر ساعت نجومی، محاسبه کرد، بنابراین،

$$8 \times 9/8296 = 78/637 \text{ ثانیه}$$

$$40 \times 0/1638 = 6/552 \text{ ثانیه}$$

$$50 \times 0/0027 = 0/135 \text{ ثانیه}$$

$$\text{ثانیه } 85/324 \text{ جمع}$$

$$- 50 \text{ ثانیه و } 40 \text{ دقیقه و } 8 \text{ ساعت} = \text{فاصله زمانی نجومی}$$

$$\text{ثانیه } 25/324 \text{ و } 1 \text{ دقیقه}$$

$$24/676 \text{ ثانیه و } 39 \text{ دقیقه و } 8 \text{ ساعت} = \text{فاصله زمانی متوسط شمسی}$$

۱۰. وقت متوسط محلی

وقت متوسط محلی هر مکان، بدین ترتیب سنجیده می شود که لحظه عبور خورشید متوسط از نصف النهار محل، ساعت ۱۲ ظهر است و روز متوسط، از نیمه شب از ساعت صفر آغاز می گردد. حرکت روزانه ظاهری خورشید از مشرق به مغرب است، بنابراین اگر دو محل A و B طوری قرار گرفته باشند که محل B در مغرب محل A باشد، واضح

است که ظهر متوسط در محل A زودتر از محل B واقع می‌شود. لذا اختلاف ظهر متوسط در نقاط مختلف، بستگی به اختلاف طول جغرافیایی آنها دارد. ظهر متوسط نقاط واقع بر روی یک نصف‌النهار، در یک لحظه، اتفاق می‌افتد. بنابراین اگر دو محل A و B دارای طولهای جغرافیایی مختلف بوده و وقت متوسط یکی از آنها مثلاً A معلوم باشد، وقت متوسط محل دیگر، در همان لحظه از روی اختلاف طولهای جغرافیایی آنها قابل محاسبه است. برای این کار کافی است که اختلاف طولهای جغرافیایی را به زمان تبدیل کرده (هر ۱۵° اختلاف طول جغرافیایی معادل یک ساعت)، نتیجه را از وقت A کسر (در صورتیکه محل B در مغرب A) و یا آن را به وقت A اضافه (در صورتیکه محل B در مشرق محل A باشد) کرد.

وقت متوسط محلی با وجود یکنواخت بودن، مناسب نیست چه، باز محلی بوده و بستگی به نصف‌النهار محل دارد و معایب مذکور در مورد وقت شمسی ظاهری محلی در این مورد هم صادق است، چه، خورشید متوسط، مانند خورشید حقیقی، در هر لحظه فقط می‌تواند بر روی یک نصف‌النهار قرار گیرد.

۱۱. وقت تقویمی^۱ و زمان اتمی^۲

وقت نجومی، وقت شمسی ظاهری و وقت شمسی متوسط بر مبنای حرکت دورانی زمین استوار است. برای قرن‌ها، ثانیه واحد اساسی زمان را، بعنوان یک هشتادوشش هزارو چهارصدم $\frac{1}{86400} = \left(\frac{1}{24} \times \frac{1}{60} \times \frac{1}{60}\right)$ یک روز شمسی متوسط محسوب می‌داشتند و بدین سبب ثانیه، مستقیماً به میزان حرکت دورانی زمین ارتباط داشت. در اثر بررسیهای انجام شده در نیمه اول قرن بیستم، چنین نتیجه گرفته شد که آهنگ حرکت دورانی زمین متغیر است.

دوره حرکت دورانی زمین در ۲۴ ساعت و یا $86,400/$ ثانیه، بوسیله فاصله دو عبور پیاپی خورشید متوسط از نصف‌النهار محل تعیین شده بود. سؤال اینست که آیا این دوره ثابت است یا خیر. از آنجایی که خود حرکت دورانی زمین، اساس اندازه‌گیری زمان را تشکیل می‌دهد، لذا فهمیدن هر نوع تغییر در آن، مشکل است، چه، چنین ساعتی که بتواند روزهای متوالی بصورت کاملاً یکنواخت کار کند، ساخته نشده بود.

اولین علامت تغییر طول روز، از مقایسهٔ رصدِ گرفتگیهای خورشید و ماه در ایام قدیم و جدید حاصل شد. با نظریهٔ منظومهٔ شمسی، می توان گرفتگیهای ماه و خورشید در ایام گذشته و آینده را دقیقاً حساب کرد. گرفتگیهای خورشید و ماه در ایام زودتری نسبت به نتیجهٔ محاسبه، اتفاق افتاده بود و در ابتدا چنین تصور می شد که آهنگ حرکت ماه به دور زمین، سریعتر شده باشد. اما چون تسریع ظاهری حرکت ماه با توجه به نیروی گرانشی سایر اعضای منظومهٔ شمسی، قابل توجیه نبود. لذا آهسته تر شدن حرکت دورانی زمین و در نتیجه، افزایش طول واحد زمان، قابل توجیه شد. این پدیده در اثر اصطکاک جزرومدی^۲، حاصل می گردد و در یک قرن، موجب افزایش طول روز بمیزان $16/000$ ثانیه و یا افزایش طول روز به میزان $10^{-8} \times 5$ ثانیه در روز می شود. میزان تغییر طول روز، بی اندازه کم است، اما در طول قرون، بر روی هم جمع شده و مقادیر قابل توجهی را پدید می آورد.

چنانکه ناظری در ابتدای شروع یک قرن، ساعت مکانیکی کاملی داشته باشد که در فاصلهٔ دو عبور پیاپی و اولیهٔ خورشید متوسط از نصف النهار محل دقیقاً $86,400$ ثانیه را نشان دهد، ساعت، در پایان قرن اشتباه خواهد داشت، چه در اولین روز شروع قرن بعدی، طول یک روز، برابر $86,400/0016$ ثانیه خواهد بود. متوسط طول روز در قرن اولی مثلاً در وسط قرن برابر $86,400/0008$ ثانیه بوده، و از آنجایی که در یک قرن $36,525 = 100 \times 365/25$ روز وجود دارد، لذا اشتباهات جمع شده در طی سالها برابر است با:

$$\text{ثانیه } 29 = 36,525 \times 0/0008$$

در ابتدای قرن بعدی میزان ساعت باندازهٔ $0/0016$ ثانیه در روز در اشتباه خواهد بود و در پایان قرن بعدی، ساعت، طول روز را $86,400/0032$ ثانیه نشان خواهد داد. در نتیجه در نیمهٔ قرن بعدی متوسط طول روز برابر

$$\frac{0/0016 + 0/0032}{2} = 0/0024$$

ثانیه می شود و لذا اشتباه جمع شدهٔ ساعت، در پایان قرن بعدی برابر است با:

$$\text{ثانیه } 88 = 36,525 \times 0/0024$$

اما ساعت در ابتدای قرن دوم دارای اشتباه جمع شدهٔ 29 ثانیه ای بود، در نتیجه، اشتباه جمع شدهٔ ساعت، در پایان قرن بعدی خواهد شد:

ثانیه $29 + 88 = 117$

با ادامه این محاسبه، میزان اشتباه جمع شده ساعت در جدول (۷-۲) داده شده است. یکنواخت نبودن طول روز، نه تنها در اوقات گرفتگی ماه و خورشید که با دقت زیادی قابل رصدند، تأثیر دارد، بلکه در تمام پدیده‌های دوره‌ای جهان مانند حرکت سیارات و اقمار و غیره نیز تأثیر می‌گذارد.

علاوه بر افزایش طول روز در اثر اصطکاک جزر و مد، تغییرات کم و نامنظمی نیز موجود است که موجب افزایش سرعت مداری ماه و یا کاهش آن می‌شود. چنین تغییراتی در طول روز، سبب جمع شدن اشتباه در ساعت، در حد نیم دقیقه کند و یا تند رفتن آن می‌شود. علت این امر ممکن است در اثر تغییرات در پخش ماده در درون زمین صورت پذیرد.

جدول (۷-۲) جمع شدن اشتباه ساعت در قرنهای متوالی

تاریخ قرن	اشتباه ساعت (تند رفتن ساعت)	ثانیه
۰	(ثانیه ۰)	۰
۱۰۰	(۲۹ »)	۲۹ »
۲۰۰	(۱۱۷ »)	۱ و ۵۷ دقیقه »
۳۰۰	(۲۶۳ »)	» ۴ و ۲۳ »
۴۰۰	(۴۶۸ »)	» ۷ و ۴۸ »
۵۰۰	(۷۳۰ »)	» ۱۲ و ۱۰ »
۶۰۰	(۱،۰۵۲ »)	» ۱۷ و ۳۲ »
۷۰۰	(۱،۴۳۲ »)	» ۲۳ و ۵۲ »
۸۰۰	(۱،۸۷۰ »)	» ۳۱ و ۱۰ »
۹۰۰	(۲،۳۶۷ »)	» ۳۹ و ۲۷ »
۱،۰۰۰	(۲،۹۲۲ »)	» ۴۸ و ۴۰ »
۲،۰۰۰	(۱۱،۶۸۸ »)	» ۱۴ و ۴۸ ساعت

بعد از ساخته شدن ساعت‌های دقیقی که می‌توانند میزان خود را در طی یکسال و یا بیشتر نگاه دارند، تغییر دیگری در طول روز پیدا شد که در اثر چگونگی پخش توده هوا و برف بر روی کره زمین صورت می‌پذیرد. هوا در زمستانها، بعلاوه سرد بودن

زیاد، بر روی قاره آسیا، مجتمع می شود.

بعلت تغییرات طول روز که ذکر شد، ثانیه، توسط جامعه علمی بین المللی در سال ۱۹۶۵ دوباره تعریف شد. طبق تعریف جدید، ثانیه عبارت از کسر

$$\frac{1}{31,556,925/9747}$$

از یک سال شمسی در تاریخ ۳۱ دسامبر ۱۸۹۹، در ساعت ۱۲ تقویمی است—در متون نجومی، ۳۱ دسامبر ۱۸۹۹ بصورت صفرم ژانویه ۱۹۰۰ نوشته می شود—این ثانیه، به نام ثانیه تقویمی^۱ یا ثانیه جداول نجومی موسوم گشته، تا از ثانیه های دیگر قابل تشخیص باشد و وقت مربوط، وقت تقویمی و یا وقت جداول نجومی نامیده می شود. علت بکار بردن تاریخ مشخص، اینست که طول سال شمسی، دقیقاً ثابت نیست و به آرامی کم می شود، اگرچه مقدار تغییر آن کمتر از یک ثانیه در یک قرن است. سال شمسی^۲ که به سال برجی^۳ و سال اعتدالی^۴ نیز موسوم است عبارت از فاصله زمانی بین دو عبور پیاپی خورشید از نقطه اعتدال بهاری است که تقریباً برابر ۳۶۵/۲۴۲۲۰ روز متوسط خورشیدی و یا مساوی ۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه و ۴۶/۰۸ ثانیه است.

گرچه وقت تقویمی را می توان یکنواخت فرض کرد، اما در عمل، دارای دو نقیصه است. اول اینکه: می بایست از طریق رصد اجرام سماوی مانند ماه، تعیین شود که دارای دقت مورد لزوم نیست. دوم اینکه: تقریباً بعد از گذشت شش ماه، تعیین آن ممکن می شود. و نمی توان این مدت را صبر کرد تا فهمید که ۶ ماه قبل، وقت، چگونه بوده است. اما بهر صورت روش اساسی تعیین وقت تقویمی، بر مبنای حرکت مداری زمین بدور خورشید صورت می گیرد و وضعیت زمین با رصد خورشید نسبت به ستارگان، در رابطه با دایره نصف النهار ناظر انجام می شود.

وقت تقویمی در عمل، کاربرد ندارد؛ عبارت دیگر ساعتی که بتواند وقت تقویمی را نشان دهد، موجود نیست. اما وقت تقویمی در مکانیک سماوی^۵ اهمیت داشته و در جداول نجومی سیارات و ماه^۶ بکار می رود.

به سبب نقیصه های مذکور و پیشرفت تکنولوژی، از سال ۱۹۵۶ به بعد و همچنین بعلت نیاز کارهای علمی، ثانیه، بار دیگر مطابق ساعت اتمی تعریف شد.

1. Ephemeris second
2. Solar Year
3. Tropical Year
4. Equinoctial Year
5. Celestial Mechanics
6. The Ephemeris of the Planets and the Moon

اصولاً چگونه می‌توان تعیین کرد که دوره یک پدیده تناوبی که برای سنجش زمان بکار می‌رود، ثابت می‌ماند و تغییر نمی‌کند؟ این عمل، با مقایسه پدیده تناوبی با یک پدیده تناوبی دیگر صورت می‌پذیرد.

مثلاً حرکت دورانی زمین به دور خود را می‌توان با حرکت نوسانی یک آونگ که متصل به یک دستگاه شمارشگر است و در نتیجه، یک ساعت پاندولی^۱ را تشکیل می‌دهد، سنجید. چنانکه نوسان پاندول، ثابت نگاه داشته شود، مشاهده خواهد شد که تعداد حرکات نوسانی پاندول در طی یک گردش زمین به دور محورش، در حد دقت ساعت پاندولی، ثابت و قابل تکرار است. تا سال ۱۹۳۰ میزان دقت بهترین ساعت پاندولی در حدود ۰/۰۰۲ ثانیه در روز بود. بعداً اینگونه ساعتها، در سنجش دقیق وقت، توسط ساعت‌های بلور کوارتز^۲ و ساعت‌های اتمی جایگزین شدند. ساعت‌های کوارتز بر اساس دوره نوسان بلور کوارتز استوارند.

یک ساعت اتمی بر اساس نوسانات الکترونیهای اتمهای سزیم^۳ که به یک ماشین شمارشگر الکترونیکی متصل است، ساخته می‌شود. از مقایسه ساعت‌های دقیق اتمی مختلف، دیده شد که تا حد یک قسمت در ۱۰ به توان ۱۱ (۱۰^{۱۱}) قابل تکرارند. اما در مقایسه حرکت دورانی زمین با ساعت اتمی، ملاحظه شد که حرکت دورانی زمین یکنواخت و قابل تکرار نیست که البته چگونگی آن توضیح داده شد.

در نتیجه، ثانیه، در سال ۱۹۶۷ بر مبنای دوره نوسان الکترونیها در اتمهای سزیم^۳ استوار شد. ثانیه در حال حاضر دقیقاً شامل تعداد —/۷۷۰،۶۳۱،۱۹۲،۹ نوسان است.

این نوع ثانیه را ثانیه اتمی^۵ نامند و بفوریت و با دقت بسیار زیاد قابل دسترسی است و در کلیه موارد اندازه‌گیری زمان، بجز در موارد نجومی که همان وقت تقویمی در آن کاربرد دارد، بکار می‌رود.

ثانیه اتمی، تا حد امکان نزدیک ثانیه تقویمی انتخاب شده است، اما تساوی ثانیه اتمی و ثانیه تقویمی صد درصد نیست و میزان ثانیه اتمی از ثانیه تقویمی، به مرور زمان فاصله خواهد گرفت، مگر اینکه هر چند مدتی، میزان آن دوباره تصحیح شود. در حال حاضر روش اندازه‌گیری فواصل زمانی، بر اساس ساعت اتمی استوار است.

۱۲. تعدیل زمان^۲ (معادله زمان)

سنجش مبده زمانی، توسط ساعت شمسی متوسط صورت می گیرد، لذا رابطه بین وقت شمسی ظاهری و وقت شمسی متوسط، حائز اهمیت است. تفاوت بین ساعت شمسی متوسط و ساعت شمسی ظاهری در هر لحظه را تعدیل زمان (معادله زمان) نامند.

از آنجایی که خورشید متوسط، یک خورشید فرضی است، لذا بهیچ صورتی نمی توان آن را مستقیماً رصد کرد. قبلا وقت شمسی ظاهری، از روی رصد خورشید تعیین می شد. سپس بر مبنای آن، با بکار بردن تعدیل زمان، وقت شمسی متوسط محاسبه می گردید. در حال حاضر وقت شمسی متوسط، خیلی راحتتر از تبدیل وقت نجومی، که از رصد اجرام سماوی تعیین می شود، توسط علائم بی سیم، بدست می آید. بنابراین مناسبتر است که تعدیل زمان را مقدار تصحیحی بدانیم که در مورد وقت شمسی متوسط اعمال می شود تا وقت شمسی ظاهری بدست آید. اما در جداول نجومی، مفهوم تعدیل زمان توسط تفاوت وقت شمسی ظاهری و وقت شمسی متوسط، بیان می گردد، یعنی:

$$(وقت\ شمسی\ متوسط، MT) - (وقت\ شمسی\ ظاهری، AT) = \text{تعدیل\ زمان}$$

$$EOT = AT - MT \quad (7-1)$$

در نتیجه، تعدیل زمان در حالی که وقت شمسی ظاهری از وقت شمسی متوسط بیشتر است، مثبت، و در حالی که وقت شمسی ظاهری از وقت شمسی متوسط کمتر است، منفی خواهد بود. بعبارت دیگر وقتی که خورشید حقیقی زودتر از خورشید متوسط از نصف النهار ناظر می گذرد، تعدیل زمان مثبت و وقتی که خورشید حقیقی بعد از خورشید متوسط از نصف النهار ناظر عبور می کند، تعدیل زمان، منفی است. بنابراین مقادیر تعدیل زمان می بایست بصورت جبری با وقت شمسی متوسط جمع گردد، تا زمان شمسی ظاهری بدست آید:

$$AT = MT + EOT \quad (7-2)$$

در حقیقت وقتی که وقت شمسی ظاهری و وقت شمسی متوسط مقایسه می گردند، آنها برای نصف النهار محل در نظر گرفته می شوند؛ بعبارت دیگر مفهوم فرمول فوق و فرمول بعدی یکی است:

تعدیل زمان + وقتِ شمسی متوسط محلی^۲ = وقتِ شمسی ظاهری محلی^۱

$$LAT = LMT + EOT \quad (۷-۳)$$

مقادیر تعدیل زمان در طول سال متغیر است و اندازه‌های آن در جداول نجومی، در لحظه نیمه شب ظاهری^۳ هر روز سال، برای محل‌های واقع بر نصف‌النهار گرینویچ، داده می‌شود. واضح است که مقادیر تعدیل زمان بر حسب وقت داده شده و در هر لحظه برابر اختلاف زاویه‌های ساعتی و یا بُعد مربوط به خورشید واقعی و خورشید متوسط، داده شده بر حسب زمان است.

تغییر تعدیل زمان در طول سال، بسبب بیضوی بودن مدار^۴ حرکت انتقالی زمین بدور خورشید و تمایل دایرة البروج^۵ نسبت به سطح دایرة استوای زمین است.

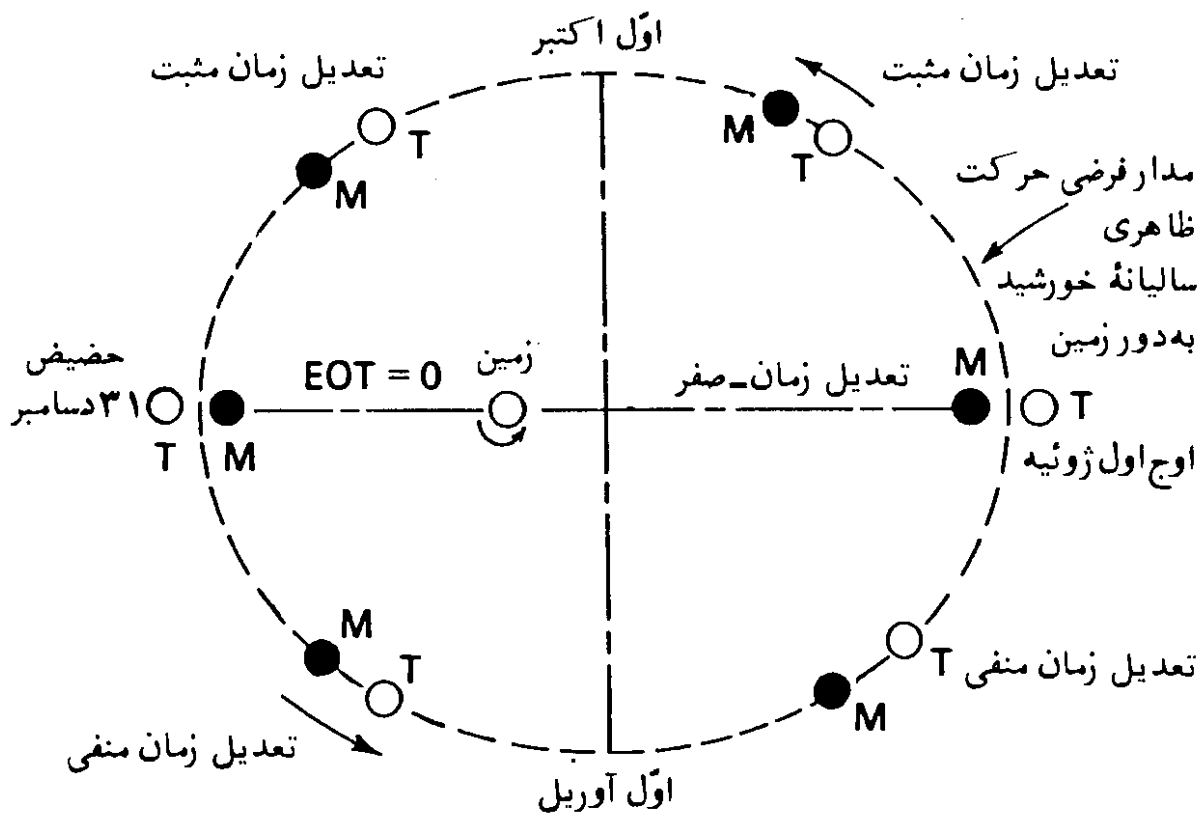
اساساً دو دلیل ذکر شده در فوق، همان دلیلهایی است که در مورد علت نابرابری روزهای شمسی ظاهری، در طول سال، داده شد. مدار حرکت انتقالی زمین بدور خورشید بشکل بیضی است که خورشید در یکی از کانونهای آن قرار دارد. در نتیجه، مطابق قانون گرانش^۶، زمانی که زمین به خورشید نزدیکتر است سرعت حرکت آن بیشتر از وقتی است که از آن دورتر است. بنابراین سرعت حرکت ظاهری خورشید بر روی دایرة البروج با تغییر فاصله زمین از خورشید تغییر می‌کند. در حالی که سرعت حرکت خورشید متوسط بر روی دایرة استوای سماوی یکنواخت است.

همچنین سطح مدار حرکت ظاهری خورشید واقعی، بر روی دایرة البروج، نسبت به سطح مدار حرکت خورشید متوسط، بر روی دایرة استوای سماوی، باندازه ۲۳/۴۵^۰ متمایل است. حرکت یکنواخت در امتداد دایرة البروج، نمایانگر حرکت یکنواخت خورشید متوسط بر روی دایرة استوای سماوی نیست.

برای بدست آوردن مقدار کل تغییرات تعدیل زمان، در اثر دو دلیل فوق‌الذکر، اثر هر کدام از علتها جداگانه مورد بحث قرار گرفته، سپس جمع جبری تغییرات ناشی از هر علت، حساب می‌شود.

در مرحله اول، فرض می‌کنیم که مدار دایرة البروج نسبت به مدار دایرة استوا تمایل نداشته و مدار حرکت ظاهری خورشید را بر روی یک بیضی واقع بر صفحه استوای سماوی فرض می‌کنیم، شکل (۷-۶).

1. Local Apparent Time (LAT)
2. Local Mean Time (LMT)
3. Apparent Midnight
4. Ellipticity of the Orbit
5. Obliquity of the Ecliptic
6. The Law of Gravitation



شکل (۶-۷) - اثر بیضی شکل بودن مدار زمین بر روی تعدیل زمان.

در این شکل چنین تصور شده که خورشید متوسط (M) و خورشید واقعی (T) هر دو، حرکت خود را، از نقطه حیض در ۳۱ ماه دسامبر، بر روی مدار بیضی شکل، در جهت ارائه شده، شروع کنند. خورشید متوسط، دارای حرکت یکنواختی است و مسیر بیضی را در مدت زمان مساوی با مدت حرکت سالیانه خورشید واقعی، می پیماید، در حالی که خورشید واقعی در نزدیکی حیض، دارای سرعت زاویه ای^۱ بیشتری نسبت به خورشید متوسط است. به همین جهت بعد از ۳۱ دسامبر، خورشید واقعی جلوتر از خورشید متوسط قرار می گیرد.

حال نظر به اینکه جهت حرکت دورانی زمین به دور محورش (از مغرب به مشرق)، هم جهت حرکت ظاهری خورشید بر روی مدار بیضی شکل است (جهت فلش در شکل)، لذا نصف النهار هر محلی بر روی زمین، اول بار مقابل خورشید متوسط و بعداً مقابل خورشید واقعی قرار خواهد گرفت، و این بدان معنی است که ظهر متوسط^۲ زودتر از ظهر ظاهری^۳ شروع و یا بعبارت دیگر وقت شمسی متوسط، جلوتر از وقت شمسی ظاهری بوده، در نتیجه، تعدیل زمان منفی است. در این مسیر، خورشید حقیقی تا زمانی جلوتر از خورشید متوسط باقی می ماند که سرعت آن از متوسط سرعت، در کل مسیر مدار

1. Angular Velocity 2. Mean Noon 3. Apparent Noon

بیشتر باشد و این تا زمانی است که فاصله زاویه‌ای آن از نقطه حضيض، تقریباً ۹۰ درجه باشد و خورشید حقیقی در اوّل ماه آوریل، به چنین نقطه‌ای می‌رسد. بعد از رسیدن به این نقطه گرچه هنوز خورشید حقیقی جلوتر از خورشید متوسط است، اما با کمتر شدن سرعت زاویه‌ای خورشید حقیقی، فاصله آن از خورشید متوسط کمتر و کمتر می‌شود و خورشید متوسط کم کم در اوّل ماه ژوئیه در نقطه اوج، به خورشید حقیقی می‌رسد که در حقیقت اندازه تعدیل زمان، صفر می‌شود. بنابراین بین ۳۱ ماه دسامبر و اوّل ماه ژوئیه، مقادیر تعدیل زمان منفی است. بعد از اوّل ماه ژوئیه، سرعت زاویه‌ای خورشید حقیقی کمتر از سرعت یکنواخت خورشید متوسط است و لذا خورشید حقیقی از خورشید متوسط عقبتر حرکت می‌کند. در این حالت، ظهر شمسی ظاهری زودتر از ظهر شمسی متوسط واقع می‌شود و بعبارت دیگر، وقت شمسی ظاهری، جلوتر از وقت شمسی متوسط می‌باشد و در نتیجه، تعدیل زمان مثبت است. فاصله بین وقت شمسی ظاهری و وقت شمسی حقیقی تا موقعی که فاصله زاویه‌ای در اوّل ماه اکتبر به ۹۰ درجه برسد، بطور مداوم بیشتر می‌شود. بعد از این تاریخ، فاصله دو خورشید، تدریجاً کمتر می‌شود تا زمانی که دوباره آنها در نقطه حضيض در ۳۱ دسامبر بهم برسند که در این حالت مقدار تعدیل زمان نیز صفر است. بنابراین تعدیل زمان از اوّل ژوئیه تا ۳۱ دسامبر مثبت است.

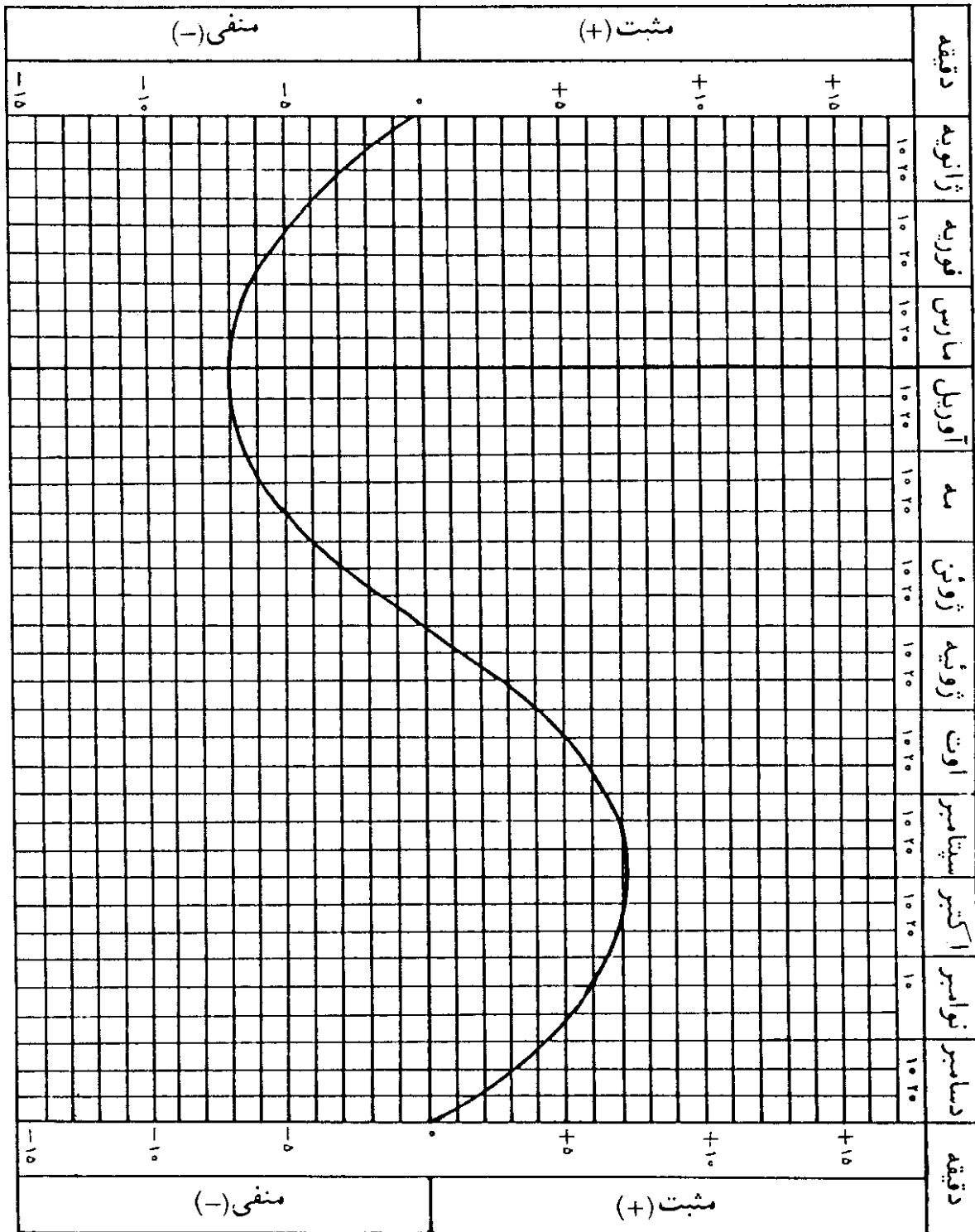
در شکل (۷-۷)، منحنی تغییرات تعدیل زمان، ناشی از بیضی شکل بودن مدار حرکت انتقالی زمین به تنهایی داده شده است.

در مرحله دوم، تغییرات تعدیل زمان تنها در اثر متمایل بودن دایرة البروج نسبت به سطح استوای سماوی را مورد بررسی قرار داده و از بیضی شکل بودن مدار، صرفنظر می‌شود؛ یعنی فرض می‌شود که مدار دایره‌ای شکل باشد.

در شکل (۷-۸)، فرض می‌شود که خورشید حقیقی بر روی دایرة البروج $R \gamma S - \sim - R$ با سرعتی یکنواخت (مسیر دایره‌ای شکل) در حال حرکت است و خورشید متوسط هم بر روی دایرة استوای سماوی $E \gamma Q - \sim - E$ با سرعتی یکنواخت — برابر سرعت یکنواخت خورشید حقیقی — در حال دوران باشد و همچنین زمین هم در مرکز کره سماوی، از مغرب به مشرق، در حال دوران به دور محور سماوی است.

اگر دو خورشید حقیقی و متوسط، از نقطه اعتدال بهاری، در مسیرهای خود، با سرعتهای مساوی شروع به حرکت کنند، در هر زمانی کمانهای پیموده شده توسط دو خورشید، بر روی دایرة البروج و دایرة استوای سماوی، برابر خواهند بود. وقتی که خورشید حقیقی در محل T باشد، خورشید متوسط در نقطه‌ای مانند M است بنحوی که

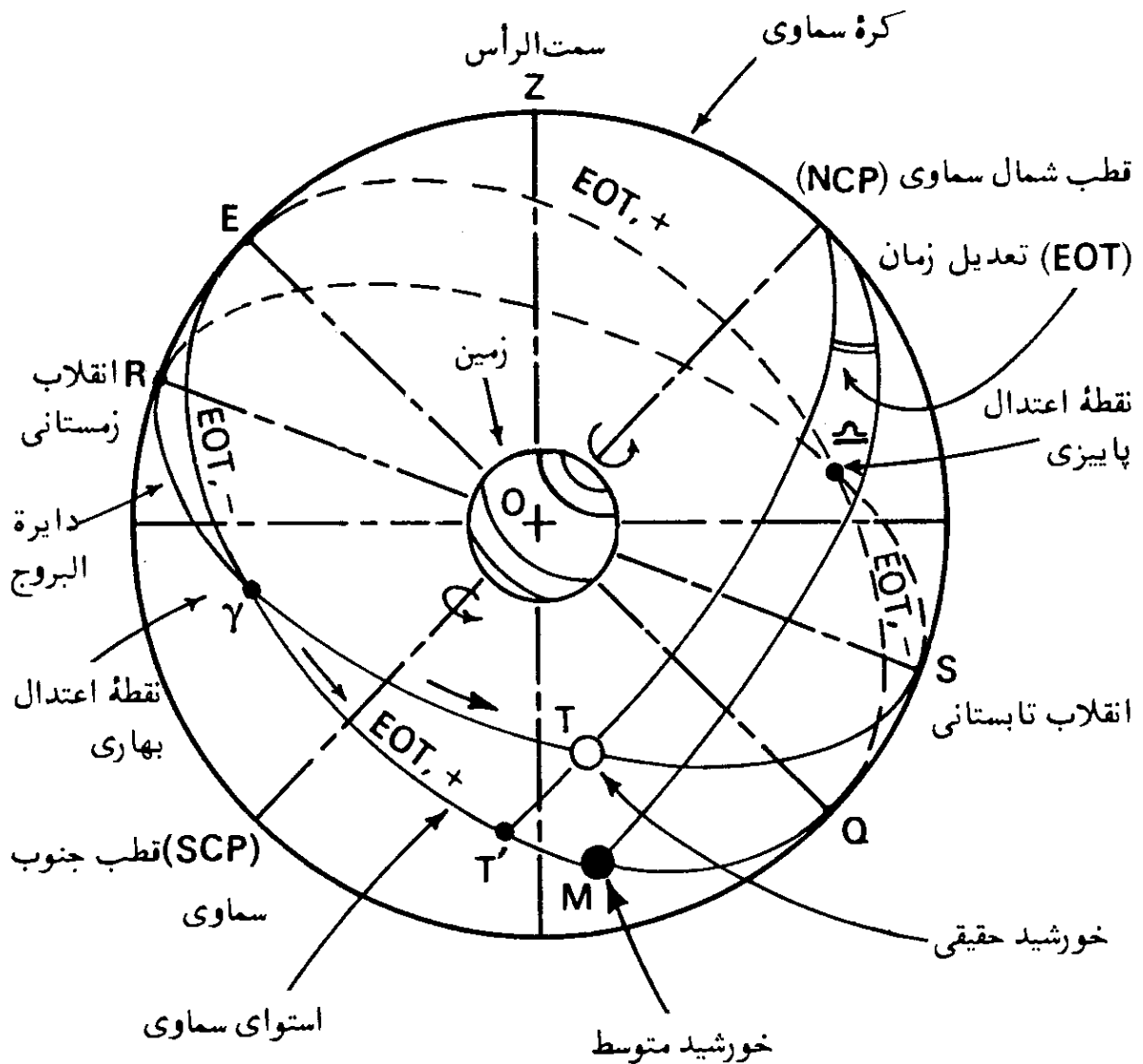
(زمان شمسی متوسط - زمان شمسی ظاهری) = تعدیل زمان



(زمان شمسی متوسط - زمان شمسی ظاهری) = تعدیل زمان

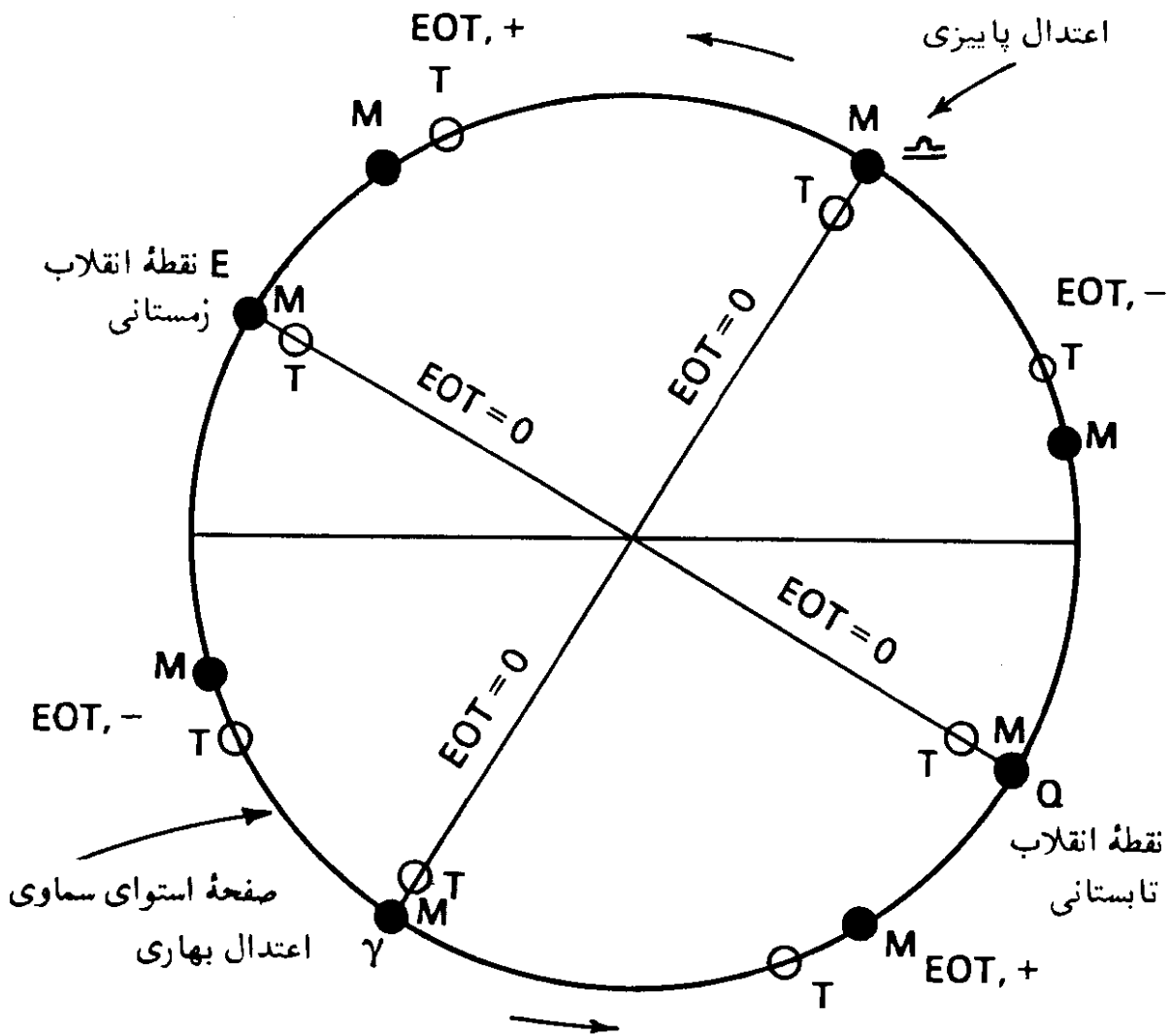
شکل (۷-۷) - تغییرات تعدیل زمان ناشی شده از بیضی شکل بودن مدار حرکت انتقالی زمین.

باشد. $\widehat{\gamma}_T = \widehat{\gamma}_M$ چنانکه کمان های $(NCP) T$ و $(NCP) M$ ، قسمتی از دایره های میل عبورکننده از نقاط T و M باشند، دایره میل نقطه T ، دایره استوای سماوی را در



شکل (۷-۸) - اثر تمایل دایرة البروج، نسبت به سطح دایرة استوای سماوی، در تعدیل زمان،

نقطه T' قطع می‌کند بطوری که زاویه $\angle T'(NCP)M$ که زاویه بین دایره‌های میل نقاط M و T است، برابر تعدیل زمان می‌شود، چه، این زاویه، تفاوت بُعد خورشید متوسط و خورشید حقیقی است. در شکل (۷-۹)، صفحه دایرة استوای سماوی به همراه وضعیت خورشید متوسط و خورشید حقیقی در ایام مختلف سال نشان داده شده است. با توجه به این شکل به همراه شکل (۷-۸)، دیده می‌شود که خورشید متوسط (M)، از نقطه اعتدال بهاری در γ ، تا نقطه انقلاب تابستانی در نقطه S ، جلوتر از خورشید حقیقی (T) است و لذا هر نصف‌النهاری زودتر در مقابل خورشید حقیقی قرار می‌گیرد. این بدان معنی است که ظهر شمسی ظاهری زودتر از ظهر شمسی متوسط واقع شده و

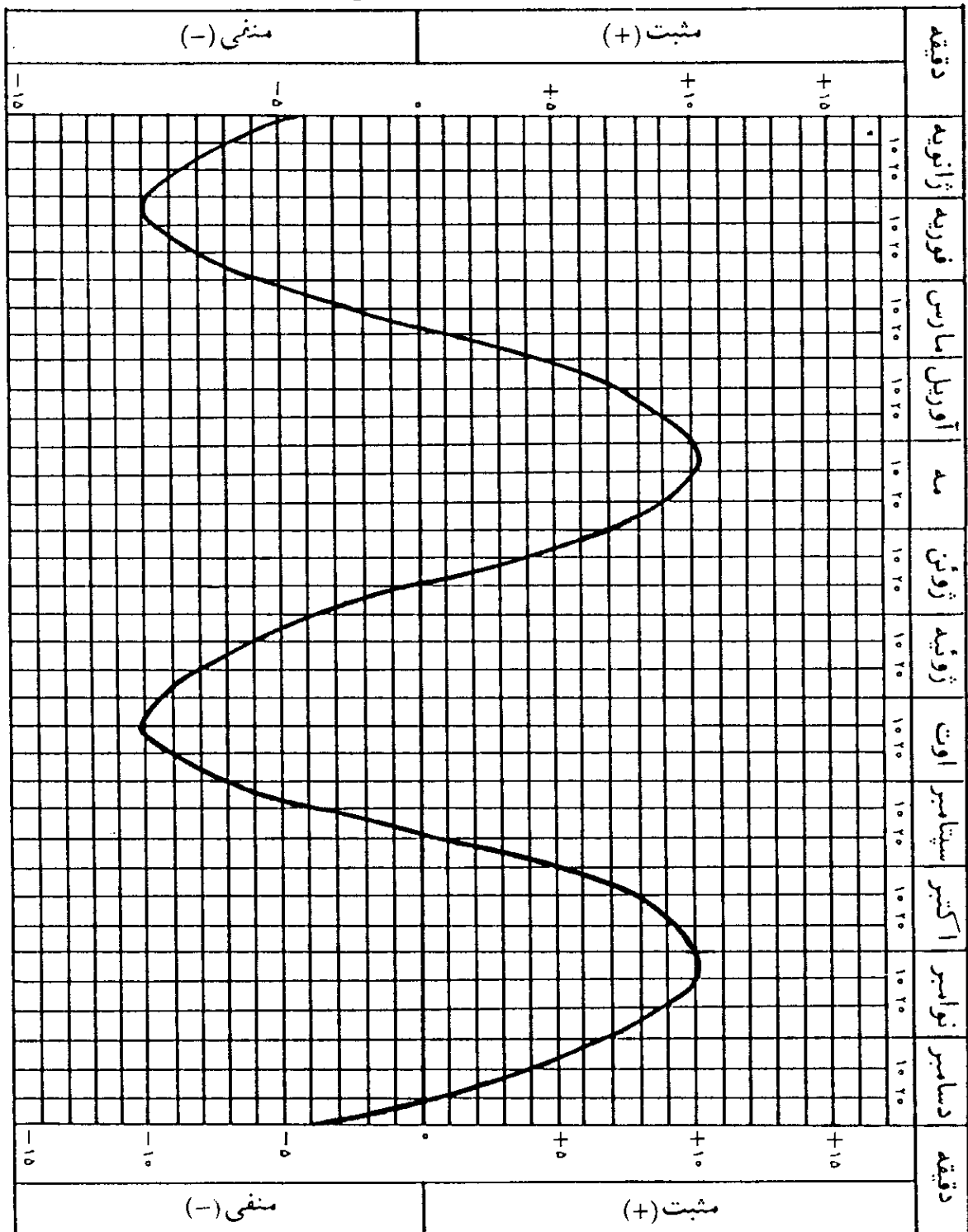


شکل (۷-۹) — تأثیر متمایل بودن دایرة البروج در تعدیل زمان، نشان داده شده بر روی دایرة استوای سماوی.

در نتیجه تعدیل زمان مثبت است. خورشید حقیقی و خورشید متوسط فقط در نقاط اعتدالین و دو نقطه انقلاب تابستانی و زمستانی به همدیگر می‌رسند. از نقطه انقلاب تابستانی در S تا نقطه اعتدال پاییزی ω ، خورشید حقیقی از خورشید متوسط جلوتر حرکت می‌کند و در نتیجه، تعدیل زمان، منفی است. بعد از آن دوباره از نقطه اعتدال پاییزی ω تا نقطه انقلاب زمستانی در R، مقادیر تعدیل زمان مثبت می‌شود. از نقطه انقلاب زمستانی در R تا نقطه اعتدال بهاری در γ ، تعدیل زمان دوباره منفی است.

در شکل (۷-۱۰)، تغییرات مقادیر تعدیل زمان تنها در اثر متمایل بودن دایرة البروج، داده شده است. وقتی که تغییرات تعدیل زمان ناشی از بیضی شکل بودن مدار زمین و متمایل بودن دایرة البروج، بصورت جبری با همدیگر جمع شوند، منحنی

(زمان شمسی متوسط - زمان شمسی ظاهری) - تعدیل زمان



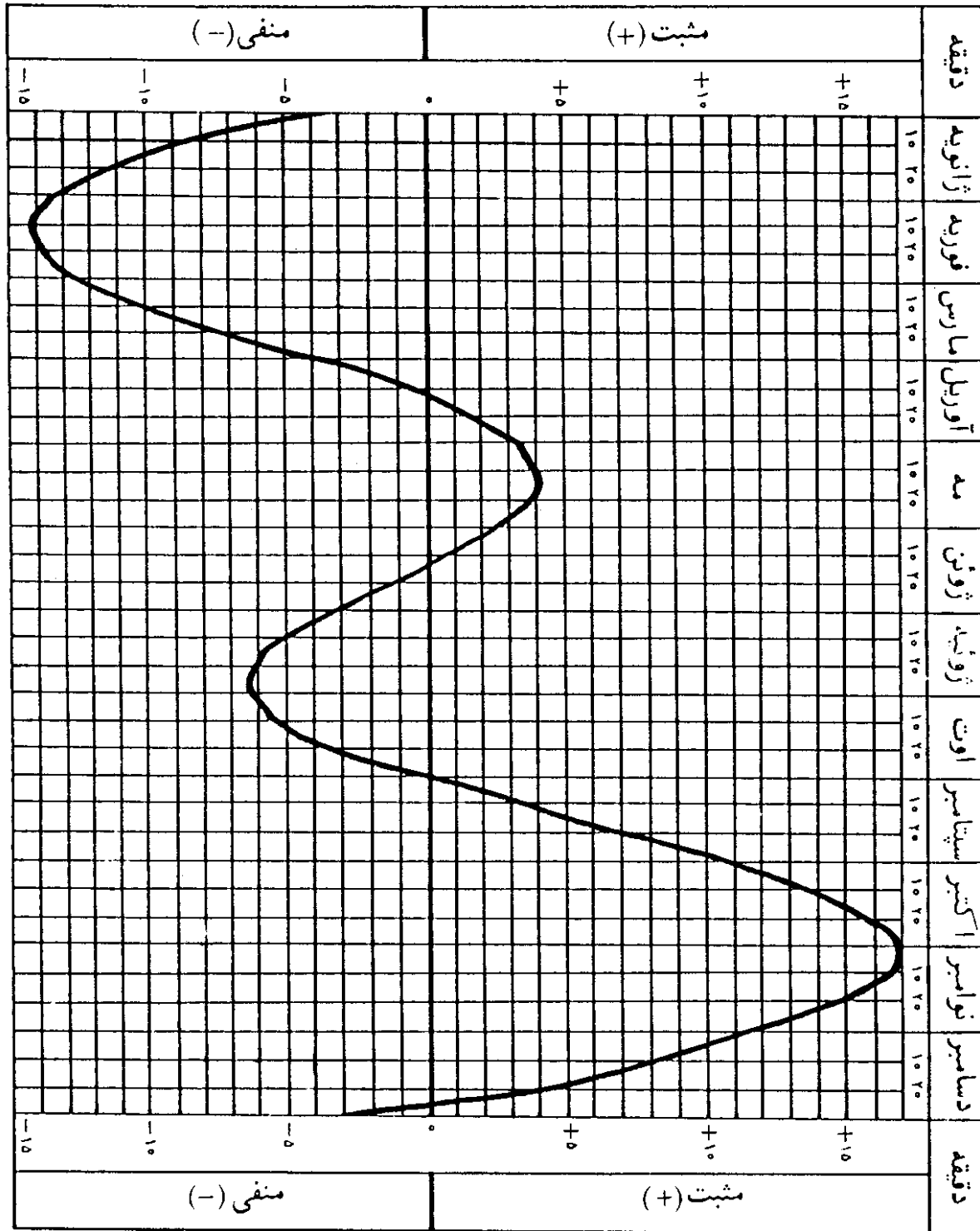
(زمان شمسی متوسط - زمان شمسی ظاهری) - تعدیل زمان

شکل (۷-۱۰) - تغییرات تعدیل زمان ناشی شده از متمایل بودن صفحه دایرة البروج.

تغییرات منظور در شکل (۷-۱۱)، حاصل می شود.

این منحنی همچنین نشان می دهد که یک ساعت خورشیدی تا چه اندازه نسبت به یک ساعت معمولی، جلو تر و یا عقب تر کار می کند. وقتی که تعدیل زمان مثبت است،

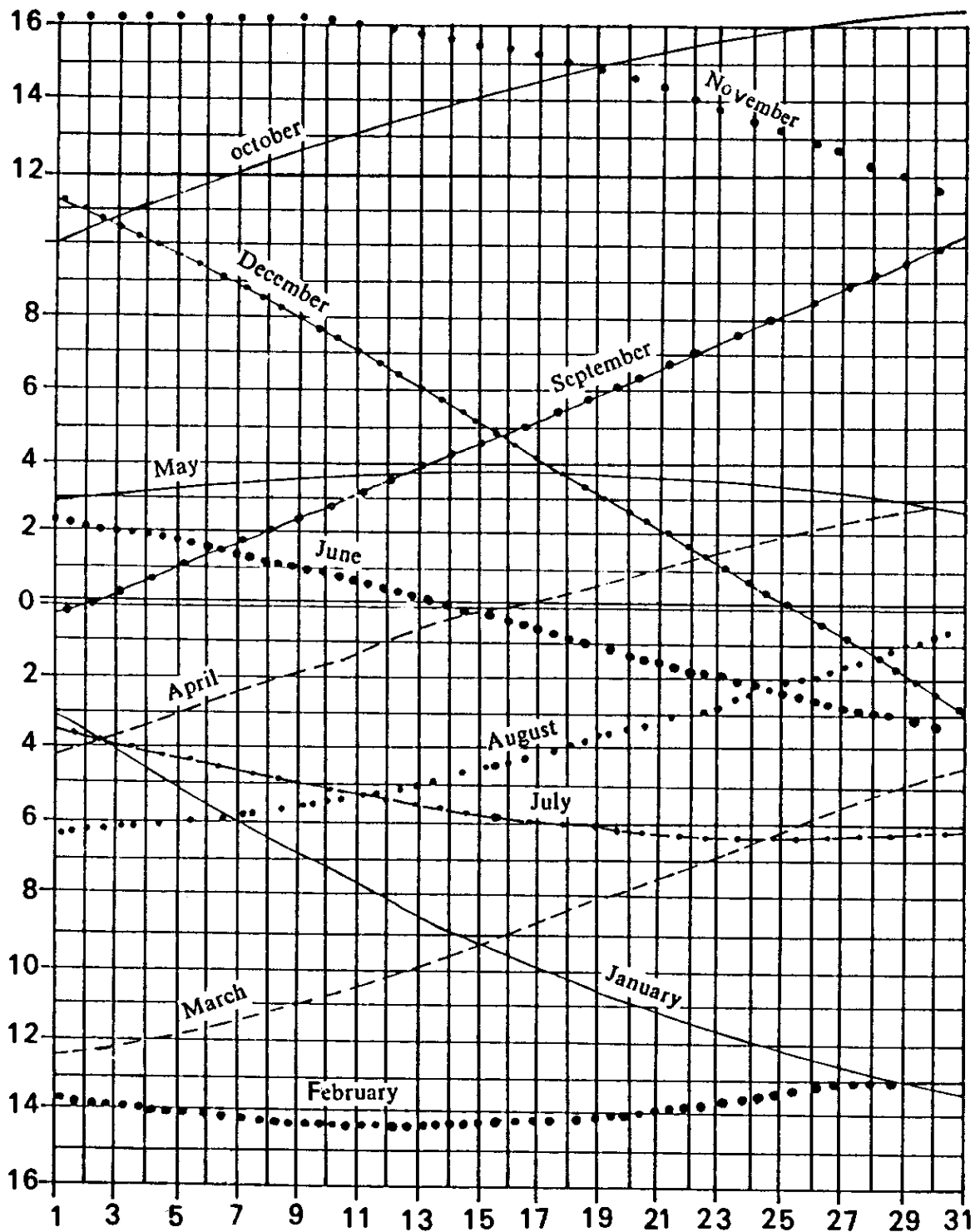
(زمان شمسی متوسط - زمان شمسی ظاهری) = تعدیل زمان



(زمان شمسی متوسط - زمان شمسی ظاهری) = تعدیل زمان

شکل (۷-۱۱) - کل تغییرات تعدیل زمان در طول سال.

ساعت خورشیدی جلوتر و وقتی که منفی است، ساعت خورشیدی عقبتر کار می کند. این منحنی چگونگی تغییرات تعدیل زمان در طول سال را بخوبی نمودار می سازد. دیده می شود که مقادیر تعدیل زمان در اوایل سال گرگوری منفی و با مقادیر بیشتر در



شکل (۷-۱۲) - مقادیر تعدیل زمان در روزهای مختلف ماه.

اواخر سال، مثبت است. در بین این دو حالت، در اواسط سال، منحنی تغییرات تعدیل زمان، تقریباً یک منحنی سینوسی شکل است. این منحنی را نمی‌توان با دقت زیاد بکار برد و برای دقت بیشتر می‌شود مقادیر تعدیل زمان را، در روزهای مختلف ماه، از روی منحنی شکل (۷-۱۲) بدست آورد. اما مقادیر دقیقتر در جدول (۷-۳) ذکر شده است. در این جدول، مقادیر تعدیل زمان در روزهای سال برحسب دقیقه و ثانیه داده شده

جدول (۷-۳) - معادله زمان در روزهای سال

روز	ژانویه		فوریه		مارس		آوریل		مه		ژوئن	
	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه
۱	۱۲	-۳	۳۲	-۱۳	۲۴	-۱۲	۸	-۴	۵۱	+۲	۲۵	+۲
۲	۴۰	-۳	۴۱	-۱۳	۲۳	-۱۲	۵۰	-۳	۵۹	+۲	۱۶	+۲
۳	۸	-۴	۴۸	-۱۳	۱۱	-۱۲	۳۲	-۳	۶	+۳	۶	+۲
۴	۳۶	-۴	۵۵	-۱۳	۵۸	-۱۱	۱۴	-۳	۱۲	+۳	۵۶	+۱
۵	۳	-۵	۱	-۱۴	۴۵	-۱۱	۵۷	-۲	۱۸	+۳	۴۶	+۱
۶	۳۰	-۵	۶	-۱۴	۳۱	-۱۱	۴۰	-۲	۲۳	+۳	۳۶	+۱
۷	۵۷	-۵	۱۰	-۱۴	۱۷	-۱۱	۲۳	-۲	۲۷	+۳	۲۵	+۱
۸	۲۳	-۶	۱۴	-۱۴	۳	-۱۱	۶	-۲	۳۱	+۳	۱۴	+۱
۹	۴۹	-۶	۱۶	-۱۴	۴۸	-۱۰	۴۹	-۱	۳۵	+۳	۳	+۱
۱۰	۱۴	-۷	۱۸	-۱۴	۳۳	-۱۰	۳۲	-۱	۳۸	+۳	۵۱	+۰
۱۱	۳۸	-۷	۱۹	-۱۴	۱۸	-۱۰	۱۶	-۱	۴۰	+۳	۳۹	+۰
۱۲	۲	-۸	۲۰	-۱۴	۲	-۱۰	۰	-۱	۴۲	+۳	۲۷	+۰
۱۳	۲۵	-۸	۱۹	-۱۴	۴۶	-۹	۴۴	-۰	۴۴	+۳	۱۵	+۰
۱۴	۴۸	-۸	۱۸	-۱۴	۳۰	-۹	۲۹	-۰	۴۴	+۳	۳	+۰
۱۵	۱۰	-۹	۱۶	-۱۴	۱۳	-۹	۱۴	-۰	۴۴	+۳	۱۰	-۰
۱۶	۳۲	-۹	۱۳	-۱۴	۵۶	-۸	۱	+۰	۴۴	+۳	۲۳	-۰
۱۷	۵۲	-۹	۱۰	-۱۴	۳۹	-۸	۱۵	+۰	۴۳	+۳	۳۶	-۰
۱۸	۱۲	-۱۰	۶	-۱۴	۲۲	-۸	۲۹	+۰	۴۱	+۳	۴۹	-۰
۱۹	۳۲	-۱۰	۱	-۱۴	۴	-۸	۴۳	+۰	۳۹	+۳	۲	-۱
۲۰	۵۰	-۱۰	۵۵	-۱۳	۴۶	-۷	۵۶	+۰	۳۷	+۳	۱۵	-۱
۲۱	۸	-۱۱	۴۹	-۱۳	۲۸	-۷	۰	+۱	۳۴	+۳	۲۸	-۱
۲۲	۲۵	-۱۱	۴۲	-۱۳	۱۰	-۷	۲۱	+۱	۳۰	+۳	۴۱	-۱
۲۳	۴۱	-۱۱	۳۵	-۱۳	۵۲	-۶	۳۳	+۱	۲۴	+۳	۵۴	-۱
۲۴	۵۷	-۱۱	۲۷	-۱۳	۳۴	-۶	۴۵	+۱	۲۱	+۳	۷	-۲
۲۵	۱۲	-۱۲	۱۸	-۱۳	۱۶	-۶	۵۶	+۱	۱۶	+۳	۲۰	-۲
۲۶	۲۶	-۱۲	۹	-۱۳	۵۸	-۵	۶	+۲	۱۰	+۳	۳۳	-۲
۲۷	۳۹	-۱۲	۵۹	-۱۲	۴۰	-۵	۱۶	+۲	۳	+۳	۴۵	-۲
۲۸	۵۱	-۱۲	۴۸	-۱۲	۲۱	-۵	۲۶	+۲	۵۶	+۲	۵۷	-۲
۲۹	۳	-۱۳	۴۲	-۱۲	۲	-۵	۳۵	+۲	۴۹	+۲	۹	-۳
۳۰	۱۴	-۱۳	۰۰	۰۰	۴۴	-۴	۴۳	+۲	۴۱	+۲	۲۱	-۳
۳۱	۲۴	-۱۳	۰۰	۰۰	۲۶	-۴	۰۰	۰۰	۳۳	+۲	۰۰	۰۰

جدول (۷-۳) - دنباله - معادله زمان در روزهای سال

روز	زونیه		اوت		سپتامبر		اکتبر		نوامبر		دسامبر	
	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه	ثانیه	دقیقه
۱	۲۳	-۳	۱۶	-۶	۱۲	-۰	۵	+۱۰	۲۰	+۱۶	۱۱	+۱۱
۲	۴۵	-۳	۱۳	-۶	۷	+۰	۲۴	+۱۰	۲۲	+۱۶	۴۹	+۱۰
۳	۵۷	-۳	۹	-۶	۲۶	+۰	۴۳	+۱۰	۲۳	+۱۶	۲۶	+۱۰
۴	۸	-۴	۴	-۶	۴۵	+۰	۲	+۱۱	۲۳	+۱۶	۲	+۱۰
۵	۱۹	-۴	۵۹	-۵	۵	+۱	۲۰	+۱۱	۲۲	+۱۶	۳۸	+۹
۶	۲۹	-۴	۵۳	-۵	۲۵	+۱	۳۸	+۱۱	۲۰	+۱۶	۱۳	+۹
۷	۳۹	-۴	۴۶	-۵	۴۵	+۱	۵۶	+۱۱	۱۸	+۱۶	۴۸	+۸
۸	۴۹	-۴	۳۹	-۵	۵	+۲	۱۳	+۱۲	۱۵	+۱۶	۲۲	+۸
۹	۵۸	-۴	۳۱	-۵	۲۶	+۲	۳۰	+۱۲	۱۱	+۱۶	۵۶	+۷
۱۰	۷	-۵	۲۳	-۵	۴۷	+۲	۴۶	+۱۲	۶	+۱۶	۲۹	+۷
۱۱	۱۶	-۵	۱۴	-۵	۸	+۳	۲	+۱۳	۰	+۱۶	۲	+۷
۱۲	۲۴	-۵	۵	-۵	۲۹	+۳	۱۸	+۱۳	۵۳	+۱۵	۳۴	+۶
۱۳	۳۲	-۵	۵۵	-۴	۵۰	+۳	۳۳	+۱۳	۴۶	+۱۵	۶	+۶
۱۴	۳۹	-۵	۴۴	-۴	۱۱	+۴	۴۷	+۱۳	۳۷	+۱۵	۳۸	+۵
۱۵	۴۶	-۵	۳۳	-۴	۳۲	+۴	۱	+۱۴	۲۸	+۱۵	۹	+۵
۱۶	۵۲	-۵	۲۱	-۴	۵۳	+۴	۱۴	+۱۴	۱۸	+۱۵	۴۰	+۴
۱۷	۵۸	-۵	۹	-۴	۱۴	+۵	۲۷	+۱۴	۷	+۱۵	۱۱	+۴
۱۸	۳	-۶	۵۷	-۳	۳۵	+۵	۳۹	+۱۴	۵۶	+۱۴	۴۲	+۳
۱۹	۸	-۶	۴۴	-۳	۵۶	+۵	۵۱	+۱۴	۴۳	+۱۴	۱۳	+۳
۲۰	۱۲	-۶	۳۰	-۳	۱۸	+۶	۲	+۱۵	۳۰	+۱۴	۴۳	+۲
۲۱	۱۵	-۶	۱۶	-۳	۴۰	+۶	۱۲	+۱۵	۱۶	+۱۴	۱۳	+۲
۲۲	۱۸	-۶	۱	-۳	۱	+۷	۲۲	+۱۵	۱	+۱۴	۴۳	+۱
۲۳	۲۰	-۶	۴۶	-۲	۲۲	+۷	۳۱	+۱۵	۴۵	+۱۳	۱۳	+۱
۲۴	۲۲	-۶	۳۰	-۲	۴۳	+۷	۴۰	+۱۵	۲۸	+۱۳	۴۳	+۰
۲۵	۲۴	-۶	۱۴	-۲	۴	+۸	۴۷	+۱۵	۱۱	+۱۳	۱۳	+۰
۲۶	۳۵	-۶	۵۸	-۱	۲۵	+۸	۵۴	+۱۵	۵۳	+۱۲	۱۷	-۰
۲۷	۲۵	-۶	۴۱	-۱	۴۶	+۸	۱	+۱۶	۳۴	+۱۲	۴۷	-۰
۲۸	۲۴	-۶	۲۴	-۱	۶	+۹	۶	+۱۶	۱۴	+۱۲	۱۶	-۱
۲۹	۲۳	-۶	۷	-۱	۲۶	+۹	۱۱	+۱۶	۵۴	+۱۱	۴۵	-۱
۳۰	۲۱	-۶	۴۹	-۰	۴۶	+۹	۱۵	+۱۶	۳۳	+۱۱	۱۴	-۲
۳۱	۱۹	-۶	۳۱	-۰	۰۰	۰۰	۱۸	+۱۶	۰۰	۰۰	۴۳	-۲

است. مثلاً در روز چهارم ژوئیه، اندازه تعدیل زمان منهای ۴ دقیقه و ۸ ثانیه است. مقادیر این جدول، متوسط مقادیر است و سال بسال به مقدار کمی تغییر می کند و تغییرات آن، بستگی به نزدیکی سال مربوط، به سال کبیسه را دارد. مقادیر این جدول ممکن است بمیزان ۱۰ الی ۱۵ ثانیه در ماههای دسامبر و ژانویه، در بعضی سالها، اشتباه داشته باشد، اما میزان اختلاف مقادیر داده شده با مقادیر واقعی، هیچوقت در حدود یک دقیقه نخواهد بود.

تعدیل زمان (EOT) را می توان همچنین از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$EOT = 9/87 \sin 2B - 7/53 \cos B - 1/5 \sin B \quad (7-4)$$

$$B = \frac{360(n-81)}{364}$$

که در آن n، شماره ترتیب روز در سال است (1 ≤ n ≤ 365).

جدول (۷-۴)

اسم ماه در تقویم گرگوری	تعداد روزهای ماه	n
ژانویه	۳۱	i
فوریه	۲۸	۳۱+i
مارس	۳۱	۵۹+i
آوریل	۳۰	۹۰+i
مه	۳۱	۱۲۰+i
ژوئن	۳۰	۱۵۱+i
ژوئیه	۳۱	۱۸۱+i
اوت	۳۱	۲۱۲+i
سپتامبر	۳۰	۲۴۳+i
اکتبر	۳۱	۲۷۳+i
نوامبر	۳۰	۳۰۴+i
دسامبر	۳۱	۳۳۴+i

مقادیر n در ماههای سال گرگوری، در جدول (۷-۴) داده شده است. حرف i در این جدول نمایانگر شماره ترتیب روز در ماه است. در این جدول، تعداد روزهای ماه فوریه ۲۸ روز است، و بنابراین این جدول برای سالهای غیر کبیسه است. در سالهای کبیسه،

می بایست به مقادیر داده شده از ماه مارس به بعد، عدد یک اضافه شود.
 در ادامه مطلب، فرمول (۷-۴) در طی یک مثال، بکار گرفته می شود.
 مثال (۷-۳) - مقدار تعدیل زمان در روز چهارم ماه ژوئیه را محاسبه کنید.
 راه حل - در روز چهارم ژوئیه مقدار i برابر چهار و در نتیجه با استفاده از جدول (۷-۴) خواهیم داشت:

$$n = 181 + 4 = 185$$

حال با استفاده از فرمول (۷-۴)،

$$B = \frac{360(185 - 81)}{364} = 102/85711$$

$$EOT = 9/87 \sin(205/71422) - 7/53 \cos(102/85711)$$

$$- 1/5 \sin(102/85711)$$

$$EOT = -4/0692364$$

$$EOT = - (4 \text{ ثانیه و } 4 \text{ دقیقه})$$

با مقایسه با جدول این مقدار در حدود ۴ ثانیه کمتر است.
 برای بدست آوردن مقادیر خیلی دقیقتر، می بایست از جداول نجومی استفاده شود. در جداول نجومی، مقادیر تعدیل زمان در نیمه شب تمام روزهای سال، برای تمام نقاط واقع بر روی نصف النهار گرینیچ داده شده و همچنین میزان تغییر مقادیر در طول یک ساعت نیمه شب نیز بیان شده است. مقادیر تعدیل زمان در لحظه نیمه شب گرینیچ برای تمام نقاط دیگر کره زمین یکسان است.
 چنانکه محاسبه تعدیل زمان در ساعات دیگری غیر از نیمه شب مورد نیاز باشد، از روش درونیایی (انترپولاسیون) می توان آن را محاسبه کرد. در این مورد به ذکر یک مثال می پردازیم:

مثال (۷-۴) - مقدار تعدیل زمان را در ساعت ۱۲ شمسی متوسط به وقت گرینیچ (GMT)، در روز اول ژوئیه سال ۱۹۵۱، از روی مقادیر زیر که از جدول نجومی

استخراج شده، محاسبه کنید.

(ثانیه ۲۸/۴۱ و دقیقه ۳) — EOT = در نیمه شب متوسط گرینیچ در اول ژوئیه ۱۹۵۱

ثانیه ۱۱/۸۲ — مقدار تغییر بین ساعت صفر (شروع روز) اول ژوئیه و ساعت صفر دوم ژوئیه (مقدار تغییر در ۲۴ ساعت)

را محل — مقدار تغییر تعدیل زمان در ۱۲ ساعت خواهد شد:

$$\frac{-11/82}{24} \times 12 = -5/91 \text{ ثانیه}$$

ثانیه ۵/۹۱ — (ثانیه ۲۸/۴۱ و دقیقه ۳) — تعدیل زمان در ساعت ۱۲ گرینیچ

ثانیه ۳۴/۳۲ و دقیقه ۳ — تعدیل زمان در ساعت ۱۲ گرینیچ

در این ساعت مقدار تعدیل زمان در سایر نقاط دنیا به همین اندازه خواهد بود.

در ادامه مطلب، به فرمول شماره (۷-۳) برمی گردیم و آنرا در مثال زیر بکار

می گیریم:

مثال (۷-۵) — وقت شمسی ظاهری در گرینیچ را در روز شانزدهم فوریه ۱۹۵۱، در

حالی که ساعت شمسی متوسط در گرینیچ ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح است، محاسبه

کنید. مقدار تعدیل زمان در ظهر شمسی متوسط در گرینیچ در این تاریخ، منهای

۱۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه و مقدار اضافه شدن آن را در ساعت، ۱ ثانیه بگیرید.

را محل — مقدار تعدیل زمان در ظهر متوسط گرینیچ، منهای ۱۴ دقیقه و ۱۰ ثانیه

است و از آنجایی که مقادیر تعدیل زمان در حال اضافه شدن است، لذا مقدار آن در

ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح، کمتر از مقدارش در ظهر است. ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه

صبح در گرینیچ، ۱/۵ ساعت زودتر از ظهر متوسط بوقوع می پیوندد و لذا مقدار تغییر

تعدیل زمان در مدت ۱/۵ ساعت، خواهد شد: ثانیه ۱/۵ = (ثانیه ۱) × ۱/۵

در نتیجه، مقدار تعدیل زمان در ساعت ۱۰ و ۳۰ دقیقه صبح گرینیچ، می شود:

$$-(8/5 \text{ ثانیه و } 14 \text{ دقیقه}) = -(1/5 \text{ ثانیه} - 10 \text{ ثانیه و } 14 \text{ دقیقه}) -$$

با استفاده از فرمول (۷-۳) خواهیم داشت:

$$GAT = GMT + EOT$$

$$GAT = 10 \text{ ساعت و } 30 \text{ دقیقه} - (14 \text{ دقیقه و } 8/5 \text{ ثانیه})$$

$$GAT = 10 \text{ ساعت و } 15 \text{ دقیقه و } 51/5 \text{ ثانیه}$$

که این جواب مسئله است.

روش محاسبه، برای تمام نقاط دیگر دنیا نیز به همین ترتیب است، فقط می‌بایست وقت متوسط گرینیچ در لحظه مورد نظر، محاسبه گردد
علاوه بر جداول نجومی، تعداد زیادی از کشورها، جداولی را برای استفاده نقشه‌برداران و دریانوردان بچاپ می‌رسانند که می‌توان مقادیر تعدیل زمان را از آنها نیز استخراج کرد. در جداول نجومی ساده‌تر که فقط مربوط به خورشید، ستاره قطبی و بعضی ستارگان انتخاب شده دیگر است، مقادیر تعدیل زمان نیز داده می‌شود.

۱۳. وقت استاندارد^۱

در بحثی که در بخشهای (۷-۷) و (۷-۱۰) بعمل آمد، نامناسب بودن وقت محلی تشریح شد. لحظه‌ای که خورشید به نصف‌النهار یک ناظر می‌رسد، به طول جغرافیایی ناظر، بستگی دارد. چون زمین در ۲۴ ساعت یکبار به دور خود یعنی ۳۶۰ درجه، می‌گردد، لذا تفاوت وقت محلی برای دو نقطه با اختلاف طول جغرافیایی ۱۵ درجه، برابر یکساعت می‌باشد و وقت، برای محل‌های واقع در مشرق ناظر، جلوتر است. قبل از عصر تلگراف و راه‌آهن، مسئله تفاوت وقت محلی، از محلی به محل دیگر، بسیار مهم نبود و فقط بعنوان مسئله‌ای جزئی قلمداد می‌شد. سرعت مسافرت، آرام بود و میزان لازم تصحیح وقت—به وقت محل جدید—زیاد نمی‌شد. تا قرن نوزدهم، وقت محلی، مبنای سنجش زمان در هر مکانی بود، اما رشد وسایل حمل و نقل، با سرعت زیاد و ارتباطات، نامناسب بودن سنجش وقت توسط زمان محلی را آشکار ساخت. به همین سبب در یک کنفرانس بین‌المللی در سال ۱۸۸۴، نصف‌النهار گرینیچ در انگلستان، بعنوان نصف‌النهار مبدء، در سنجش طول جغرافیایی، در نظر گرفته شد، و جهان به ۲۴ منطقه وقت استاندارد^۲ تقسیم گشت. علت انتخاب ۲۴ منطقه، بسبب چرخش ۱۵ درجه‌ای زمین در ساعت است ($24 = 360 \div 15$). در این طبقه‌بندی، وقت هر منطقه، یکساعت از وقت مناطق همسایه جلوتر و یا عقب‌تر است و تمام محل‌های واقع در یک منطقه، وقتی مشابه را بکار می‌گیرند که مربوط به وقت نصف‌النهار مرکزی منطقه است.

برای مثال، وقت شمسی متوسط منطقه وقت استاندارد در گرینیچ، بر روی مدار صفر درجه استوار است و منطقه وقت، از ۷/۵ درجه غربی تا ۷/۵ درجه شرقی امتداد

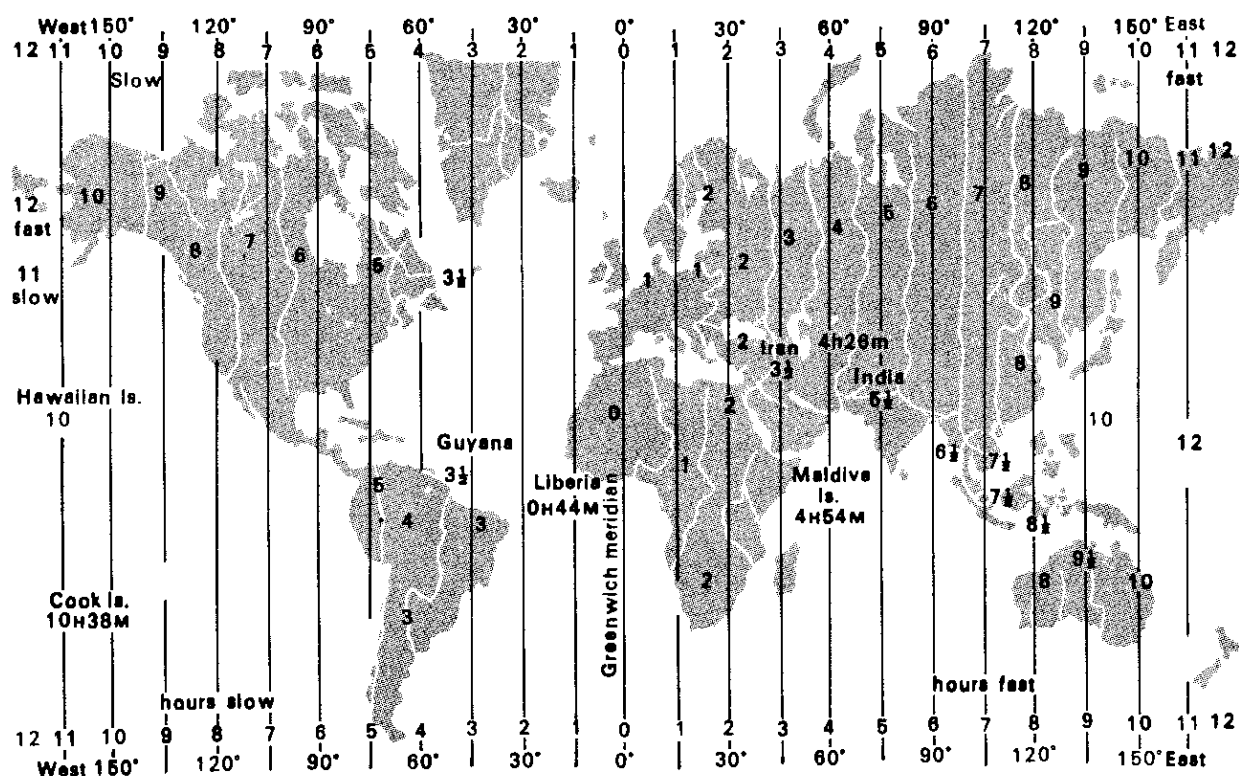
دارد. مناطق وقت استاندارد پشت سر هم واقع در مشرق نصف النهار گرینیچ، دارای وقتی جلوتر از وقت منطقه وقت استاندارد گرینیچ، به ازای یکساعت برای هر ۱۵ درجه طول جغرافیایی است. بنابراین در طول جغرافیایی ۴۵ درجه شرقی، وقت، سه ساعت ($3 = 15 \div 45$) از وقت گرینیچ جلوتر است و وقتی که در گرینیچ ساعت ۱۲ ظهر است، در طول جغرافیایی ۴۵ درجه شرقی، وقت ۳ بعد از ظهر است. مناطق وقت استاندارد واقع در مغرب نصف النهار گرینیچ دارای وقتی عقبتر از وقت گرینیچ با ازای یکساعت برای هر ۱۵ درجه طول جغرافیایی است.

منطقه وقت استاندارد در گرینیچ با وقت صفر ساعت و مناطق وقت استاندارد واقع در مشرق آن با وقت‌های (۱-) ساعت، (۲-) ساعت، (۳-) ساعت و غیره... و همچنین مناطق وقت استاندارد واقع در مغرب گرینیچ با وقت‌های (۱+) ساعت، (۲+) ساعت، (۳+) ساعت و غیره... مشخص می‌شوند. مناطق وقت استاندارد پشت سر هم، در نیمکره مقابل در خط بین المللی تاریخ^۱، بهم می‌رسند که در آن، منطقه وقت استاندارد واقع در مغرب خط، منطقه (۱۲-) ساعت و منطقه وقت واقع در مشرق خط، منطقه (۱۲+) ساعت است. در خط بین المللی تاریخ، شخصی که از جهت مشرق بطرف مغرب، خط را قطع می‌کند، یک روز را از دست می‌دهد و یا بعبارت دیگر باید تاریخ مورد احتساب خود را یک روز به جلو بکشد، مثلاً اگر قبل از عبور از خط، یکشنبه بوده است، بعد از عبور از خط برای او دوشنبه است. برعکس شخصی که از جهت مغرب بطرف مشرق، خط را قطع می‌کند، یک روز، بدست می‌آورد. خط بین المللی تاریخ، در سطح بین المللی شناخته شده و در اقیانوس آرام قرار دارد. بطور کلی این خط، در امتداد نصف النهار 180° است، اما برای راحت بودن کاربرد آن، خط فقط از دریا عبور می‌کند و خشکیها را شامل نمی‌شود. کشتیها در عبور از نصف النهار 180° بطرف مشرق، یک روز از تاریخ کم و آنهایی که بطرف مغرب می‌روند یک روز به تاریخ اضافه می‌کنند.

نصف النهار مرکزی منطقه وقت استاندارد^۲، که وقت منطقه بر آن استوار است، نصف النهار استاندارد^۳ نامیده می‌شود و وقتی که بر مبنای نصف النهار استاندارد در نظر گرفته می‌شود، وقت استاندارد^۴ نام دارد.

با توجه به تعریف منطقه وقت استاندارد، می‌بایست حدود هر منطقه را یک نصف النهار معین، از قطب شمال تا قطب جنوب فرا گیرد، اما تعداد کمی از مناطق

1. International Date Line
2. Central Meridian of the Standard Zone
3. Standard Meridian
4. Standard Time



شکل (۷-۱۳) - مناطق وقت استاندارد در دنیا. وقت استاندارد ایران ۳/۵ ساعت و با مربوط به نصف‌النهار استاندارد ۵۲/۵ درجه غربی است.

وقت استاندارد دارای چنین حدودی هستند و بعلت ملاحظات سیاسی و اقتصادی، حدود مناطق وقت استاندارد طوری انتخاب شده است که مناسب همه کشورهای باشد. تعداد کمی از کشورهای از روش تعیین وقت با توجه به نصف‌النهار محل استفاده می کنند و روش جدید مناطق وقت استاندارد را، بکار نبرده اند، در بعضی از کشورهای نیز بجای یکساعت کامل، از نصف ساعت استفاده شده، مثلا نصف‌النهار استاندارد مربوط به وقت استاندارد ایران، ۵۲/۵ درجه غربی (۳/۵ ساعت) است. مناطق وقت استاندارد دنیا، در شکل (۷-۱۳)، نمایانده شده است.

بعنوان مثال نصف النهارهای استاندارد، که مبنای وقت استانداردند، برای چند کشور، در ذیل می آید:

کشور	طول جغرافیایی نصف النهار استاندارد	
	درجه	ساعت
انگلستان	۰	۰ دقیقه و ۰ ساعت
هند	۸۲/۵ شرقی	۳۰ دقیقه و ۵ ساعت شرقی
مناطق مرکزی آمریکا	۹۰ غربی	۰ دقیقه و ۶ ساعت غربی
آلمان	۱۵ شرقی	۰ دقیقه و ۱ ساعت شرقی
ایران	۵۲/۵ شرقی	۳۰ دقیقه و ۳ ساعت شرقی

۱۴. وقت جهانی^۱

وقت شمسی متوسط گرینیچ^۲، در بسیاری از موارد علمی و فنی به منظور هماهنگی بکار گرفته می شود. کاربرد وقت شمسی متوسط گرینیچ، در نقاط دیگر را اصطلاحاً وقت جهانی می نامند که بطور خلاصه با حروف (UT) نشان داده می شود، اما گاهی با اصطلاح وقت متوسط گرینیچ^۳ و یا با حروف (GMT) نیز مشخص می شود. وقت جهانی در موارد اندازه گیری مبداء زمانی، در سطح وسیعی بکار گرفته می شود، مثلاً در ارتباطات جهانی و برنامه پروازهای هوایی مورد عمل بوده و گاهی با حرف «Z» مشخص می شود. در رصدهای نجومی که در رصدخانه های مختلف صورت می گیرد، با توجه به عبور ستاره، اول وقت جهانی (UT) بصورت (UTO) تعیین می شود. اما این فرم زمان جهانی، هنوز با توجه به یک موافقتنامه بین المللی، نیازمند تصحیحات جزئی است. UTO، به منظور تغییرات کم طول جغرافیایی در اثر حرکت قطبی^۴، به UT1 تصحیح می گردد. UT1 به نوبه خود برای تصحیحات مورد لزوم ناشی از تغییرات فصلی در سرعت حرکت دورانی زمین، به UT2 تصحیح می شود. در حقیقت تفاوت بین UTO، UT1 و UT2 بسیار اندک است و معمولاً کمتر از ۰/۰۵ ثانیه می باشد.

وقت جهانی هماهنگ شده (UTC)، بر مبنای ساعتهای اتمی، که طوری

1. Universal Time
2. The Mean solar Time of Greenwich
3. Greenwich Mean Time (GMT)
4. Polar Motion
5. Coordinated Universal Time

میزان می‌شوند که تا در اندازه‌گیری مبداء زمانی نزدیک به (UT2) باشند، تا حد ۰/۵ ثانیه بدست می‌آید. وقت جهانی هماهنگ شده، سالی یک بار میزان می‌شود و در سطح وسیعی توسط علائم رادیویی در دنیا، پخش می‌گردد و این علائم، به نوبه خود، برای میزان کردن ساعتها بکار گرفته می‌شوند.

۱۵. نامگذاری و اصطلاحات مربوط به در زندگی روزمره

در زندگی روزمره، اصطلاحات مختلفی در مورد وقت، بکار گرفته می‌شود. در بعضی از کشورها، اوقات و ساعت‌های بین نصف شب و ظهر را با حروف A. M. مشخص می‌کنند. اما اصطلاحات 12 A.M. و 12 p. M. را نباید بکار برد چه، تولید اشتباه می‌کند. اصطلاح ۱۲ ظهر^۱، واضح است و فقط به یک وقت معین در ظهر، مربوط می‌شود، اما ساعت ۱۲ نصف شب^۲ مربوط به وقت مشخصی نیست، زیرا برای مثال ممکن است منظور ساعت ۱۲ شب روز ۹-۱۰ یا ماه ژوئن و یا روز ۱۱-۱۰ ماه ژوئن باشد. لذا بجای ساعت ۱۲ نصف شب، اصطلاح نصف شب ۹-۱۰ ژوئن^۳ بکار می‌رود.

برای رفع هرگونه اشکالی، در وقت‌های نظامی روش نامگذاری ۲۴ ساعته مورد استفاده قرار می‌گیرد. وقت توسط یک عدد چهاررقمی بیان می‌شود که دو رقم اول آن مربوط به ساعت و دو رقم بعدی مربوط به دقیقه است. شروع روز در نصف شب در ساعت 0000 و آخرین دقیقه روز در ساعت 23,59 است. کلمه ساعت بعد از عدد چهاررقمی آورده نمی‌شود. بنابراین 0830 به معنای 8:30 A. M. و 2315 به معنای 11:15 P. M. است. در اینجا عدد 2400 در دهم ماه ژوئن^۴ با عدد 0000 در یازدهم ماه ژوئن^۵ مشخص کننده یک وقت اند. روش تقسیم ۲۴ ساعته روز در قاره اروپا بکار رفته و اوقات برنامه‌های پروازها در دنیا بر این مبناست.

۱۶. تبدیل وقت شمسی ظاهری محلی به وقت شمسی استاندارد

تابحال با توجه به فرمول (۷-۳)، روش تبدیل وقت ظاهری محلی (LAT) به وقت متوسط محلی (LMT) را دریافته‌ایم. بنابراین برای تبدیل وقت استاندارد^۶

1. Twelve Noon
2. Twelve Midnight
3. Midnight of June 9-10
4. 2400 of 10 June
5. 0000 of 11 June
6. Standard Time (ST)

(ST) به وقت ظاهری محلی، لازم است ابتدا وقت متوسط استاندارد را به وقت متوسط محلی تبدیل کرده، سپس با استفاده از فرمول (۷-۳)، آن را به وقت ظاهری محلی تبدیل کنیم.

اختلاف بین وقت استاندارد و وقت متوسط محلی در یک محل، برابر اختلاف طول جغرافیایی محل و طول جغرافیایی نصف النهار استاندارد است. اگر نصف النهار محل در مشرق نصف النهار استاندارد باشد، خورشید در حرکت روزانه ظاهری خود از مشرق به مغرب، اول بار از نصف النهار محل عبور می کند و در نتیجه، وقت محلی، از وقت استاندارد جلوتر است. همچنین اگر نصف النهار محل در مغرب نصف النهار استاندارد باشد، خورشید ابتدا از نصف النهار استاندارد عبور می کند و لذا وقت استاندارد، جلوتر از وقت محلی است. قبلا هم گفته شده که هر ۱۵ درجه طول جغرافیایی برابر یک ساعت و هریک درجه، برابر چهار دقیقه زمانی است، لذا بسادگی می توان رابطه زیر را بین وقت متوسط محلی (LMT) و وقت استاندارد (ST) نوشت:

$$LMT = ST \pm LA \left(\frac{E}{W} \right) \quad (7-5)$$

LA عبارت مربوط به تصحیح طول جغرافیایی است و خود از رابطه زیر بدست می آید:

$$LA = 4 \text{ (طول جغرافیایی محل - طول جغرافیایی نصف النهار استاندارد)} \quad (7-6)$$

در فرمول (۷-۵) علامت LA، در صورتی که نصف النهار محل در مشرق نصف النهار استاندارد باشد، مثبت (+) و در صورتیکه در مغرب نصف النهار استاندارد باشد، منفی (-) است و عبارت $\pm \frac{E}{W}$ نیز به همین معنی است.

از ادغام فرمولهای (۷-۳) و (۷-۵) فرمول زیر بدست می آید که می توان آن را برای تبدیل وقت ظاهری محلی به وقت استاندارد، بکار برد:

$$LAT = ST + EOT \pm LA \left(\frac{E}{W} \right) \quad (7-7)$$

در این فرمول، تصحیح مربوط به تغییر وقت، که معمولا در ماه مارس یا آوریل، وقت، به مدت یک ساعت جلو کشیده می شود و دوباره در ماه سپتامبر یا اکتبر به وقت طبیعی برگردانده می شود، منظور نشده است. این فرمول همان فرمولی است که تحت شماره (۱-۳) در فصل اول کتاب آورده شده است. در ادامه مطلب، چگونگی استفاده از فرمول، در طی یک مثال، نشان داده می شود.

مثال (۷-۵) — تعیین کنید که در روز ۲۲ مهرماه (چهاردهم اکتبر)، در محلی در تهران با طول جغرافیایی 51° و $25'$ و $39''$ شرقی، ظهر شمسی ظاهری در چه ساعتی است.

راه حل — وقتی که ظهر شمسی ظاهری است، خورشید واقعی از نصف النهار محل عبور کرده و ساعت شمسی ظاهری محلی، ساعت ۱۲ ظهر است ($LAT = 12$). نصف النهار استاندارد وقت استاندارد ایران، $52/5$ درجه شرقی است و نصف النهار محل مورد نظر ($51^{\circ}/4275$ شرقی) در مغرب نصف النهار استاندارد است، پس خواهیم داشت:

$$LAT = ST + EOT - LA$$

$$LA = 4(52^{\circ}/5 - 51^{\circ}/4275) = 4/29 \text{ دقیقه}$$

تعدیل زمان در چهاردهم ماه اکتبر با استفاده از جدول (۷-۳)، برابر (۴۷ ثانیه و ۱۳ دقیقه) + و یا ($13/783333 +$ دقیقه) است، پس خواهیم داشت:

$$12 = ST + 13/783333 - 4/29$$

$$ST = 11 \text{ ساعت و } 50/50667 \text{ دقیقه}$$

$$ST = 11 \text{ ساعت و } 50 \text{ دقیقه و } 30/40 \text{ ثانیه}$$

بنابراین در روز ۲۲ مهرماه، خورشید در ساعت ۱۱ و ۵۰ دقیقه و ۳۰ ثانیه قبل از ظهر از نصف النهار محل مورد نظر در تهران عبور می کند. چنانکه قبلاً هم توضیح داده شده، لحظه عبور خورشید از نصف النهار محل، همان ظهر شرعی است و لذا مثال مذکور، روش محاسبه ظهر شرعی را نیز نشان می دهد.

۱۷. جلو بردن ساعت به منظور استفاده بیشتر از روشنایی روز

تعداد زیادی از کشورها وقت خود را در ماههای تابستان باندازه یک ساعت به جلو می برند، مثلاً ساعت ۶ صبح (6 A.M.)، مبدل به ساعت ۷ صبح می شود (7 A.M.). این عمل، باعث می گردد که یک ساعت از روشنایی ساعات اولیه روز، که کمتر مورد استفاده است، به ساعات آخر روز، که بیشتر مورد استفاده است، منتقل

گردد. این کار عملاً در مناطق شهری موجب صرفه جویی است، چه، تولید کنندگان و کارخانه ها در مصرف برق صرفه جویی می کنند و در منازل از روشنایی ساعات غروب خورشید استفاده می شود. البته این روش در کشورهای شمالی که طبیعتاً دارای روزهای بلند و شبهای کوتاه هستند و یا در مناطق حاره که طول شب و روز تقریباً برابر می باشد، فایده زیادی ندارد. در کشورهایی که ساعت، به جلو برده می شود، باید بخاطر داشت که آنچه را که ساعت نشان می دهد، یکساعت جلوتر از وقت واقعی است، و لذا هنگامی که فرمول (۷-۷) به منظور محاسبه وقت ظاهری محلی (LAT) بکار برده می شود، می بایست در مقدار وقت استاندارد (ST) تصحیح لازم صورت گیرد.

شکل زمین

شکل زمین تقریباً کروی است و به منظور ساده‌تر کردن محاسبات ریاضی، آن را به شکل کره کامل فرض می‌کنند. در بیشتر روشهای تعیین جهت قبله، که در فصل پنجم مورد بحث قرار گرفت، شکل زمین کاملاً کروی فرض می‌شود. این تصور، موجب شد که با کاربرد فرمولهای مثلثات کروی، حل مسئله، کاملاً آسان شود. اما زمانی که تعیین جهت قبله از راه امتداد سایه یک شیء قائم در تاریخهای معین صورت می‌گیرد، توجه به شکل واقعی کره زمین بسیار اهمیت پیدا می‌کند. این مطلب با مطالعه مختصری در علم زمین‌پیمایی^۱ (ژئودزی)، روشنتر می‌شود.

ژئودزی رشته‌ای از علوم است که در آن، دربارهٔ تعیین شکل ریاضی سیارهٔ زمین، ابعاد و میدان گرانشی^۲ آن، بحث می‌شود. در این فصل، منظور، پرداختن به علم زمین‌پیمایی نیست و فقط پاره‌ای از مباحث آن بصورت مختصر شرح داده می‌شود.

۱. کره^۳

کره، سطح مسدودی است که تمام نقاط واقع بر روی آن، از نقطه‌ای به نام مرکز، دارای فواصل مساوی است، که این فاصله مساوی را شعاع کره، نامند. فصل مشترک هر صفحهٔ مسطحی با کره، یک دایره است. فصل مشترک هر صفحهٔ مسطحی، که از مرکز کره بگذرد، با کره، یک دایرهٔ عظیمه^۴ است.

۲. بیضوی^۱

بیضوی سطح مسدودی است که مقطع مسطح آن در تمام جهات، بیضی باشد؛ این بدان معنی است که فصل مشترک هر صفحه مسطح با بیضوی، یک بیضی است. در علم زمین پیمایی، معمولاً بین انواع مختلف بیضوی از قبیل بیضوی دوار^۲ یا بیضوی دو محوره^۳ و بیضوی سه محوره^۴ وجه تمایز وجود دارد. بیضوی سه محوره، یک بیضوی است که طول سه محور اصلی آن، مختلف باشد.

۳. شبه کره^۵

سطح مسدودی که از دوران یک بیضی، حول یکی از محورهای اصلی (قطرهای آن)، بدست می آید، شبه کره نامیده می شود. همچنین شبه کره را بیضوی دوار^۶ نیز می نامند. شبه کره در حقیقت یک بیضوی است که دو محور از سه محور اصلی آن برابر است و به همین جهت، آن را بیضوی دو محوره می نامند. اگر محور دوران، قطر اطول بیضی باشد، شبه کره را، شبه کره کشیده^۷ و در صورتیکه قطر اقصی آن باشد، شبه کره را، شبه کره پخت^۸ نامند. یک بیضوی پخت دارای مشخصات زیر است:

۱. بجز صفحات مسطحی که بر محور دورانی^۹ (محور اقصی) بیضوی پخت عمودند، فصل مشترک هر صفحه مسطح دیگری با آن، یک بیضی است. فصل مشترک صفحات مسطح عمود بر محور دورانی، دایره ای است.
۲. چنانکه محور کوچکتر یک بیضوی پخت را محور قطبی^۱ و محور بزرگتر آن را، محور استوایی^{۱۲} بنامیم، سطح مقطع صفحات مسطحی که از محور قطبی می گذرند، با بیضوی پخت، یک بیضی است که قطر بزرگتر آن قطر استوایی^{۱۳} و قطر کوچکتر آن قطر قطبی^{۱۴} است. معمولاً بیضوی پخت را با طول نصف قطر اطول^۵ (a) و یکی از روابط زیر

- | | | |
|-----------------------|--------------------------------|----------------------------|
| 1. Ellipsoid | 2. Rotational Ellipsoid | 3. Biaxial Ellipsoid |
| 4. Triaxial Ellipsoid | 5. Spheroid | 6. Ellipsoid of Revolution |
| 7. Prolate Ellipsoid | 8. Oblate (Flattened) Spheroid | 9. Rotation Axis |
| 10. Minor Axis | 11. Polar Axis | 12. Equatorial Axis |
| 14. Polar Diameter | 15. Semimajor Axis | 13. Equatorial Diameter |

مشخص می کنند:

$$f = \frac{a-b}{a} \quad (۸-۱)$$

که در آن (f)، فشردگی^۱ بیضوی و (b) نصف قطر اقصی^۲ است.

$$e = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{a^2}} \quad (۸-۲)$$

که (e) خروج از مرکز اولیه^۳ است.

$$e' = \sqrt{\frac{a^2 - b^2}{b^2}} \quad (۸-۳)$$

که (e') خروج از مرکز ثانویه^۴ است.

۴. تاریخچه شکل زمین

اولین تصور بشر از زمین، یک سطح مسطح محکم، واقع در مرکز عالم بوده است. خورشید، ماه، سیارات و ستارگان، در حال چرخش به دور این سطح مسطح بنظر می رسیدند.

اولین متفکری که از نظریه کروی شکل بودن زمین دفاع کرده پارمندیز^۵، یک یونانی در قرن پنجم قبل از میلاد از اهالی ایلیا^۶ (شهری در جنوب غربی یونان قدیم) بوده است. فیثاغورث^۷ و افلاطون^۸ نیز گرد بودن زمین را اظهار کرده اند و ارسطو^۹ دلایل قانع کننده ای برای گرد بودن آن ارائه کرده است.

ارسطو خاطر نشان ساخت که چون لبه سایه زمین بر روی ماه، بهنگام ماه گرفتگی، گرد است، لذا زمین گرد است. او همچنین اظهار داشت که مردم نقاط مختلف، ستارگان مختلفی را در آسمان مشاهده می کنند و این نمی تواند در مورد یک زمین مسطح مصداق داشته باشد و فقط در صورت گرد بودن زمین این مطلب، ممکن می گردد.

بعد از ارسطو، دانشمند سرشناسی، کروی شکل بودن زمین را انکار نکرده است. یک افسانه بی اساس در مورد سفر کلمبوس^{۱۰} وجود دارد که او سفر مشهور خود را در

- | | | |
|------------------------|-------------------|-----------------------|
| 1. Flattening | 2. Semiminor Axis | 3. First Eccentricity |
| 4. Second Eccentricity | 5. Parmendies | 6. Elea |
| 7. Pythagoras | | |
| 8. Plato | 9. Aristotle | 10. Columbus |

سال ۱۴۹۲ به منظور ثابت کردن گردی زمین انجام داد.

نخستین تغییر در تصورات راجع به شکل زمین از کشف انجام شده توسط ژان ریچر^۱، یک منجم فرانسوی، حاصل شد. ریچر کشف کرد که دوره نوسان یک پاندول ساده از یک عرض جغرافیایی به یک عرض جغرافیایی دیگر، تغییر می کند.

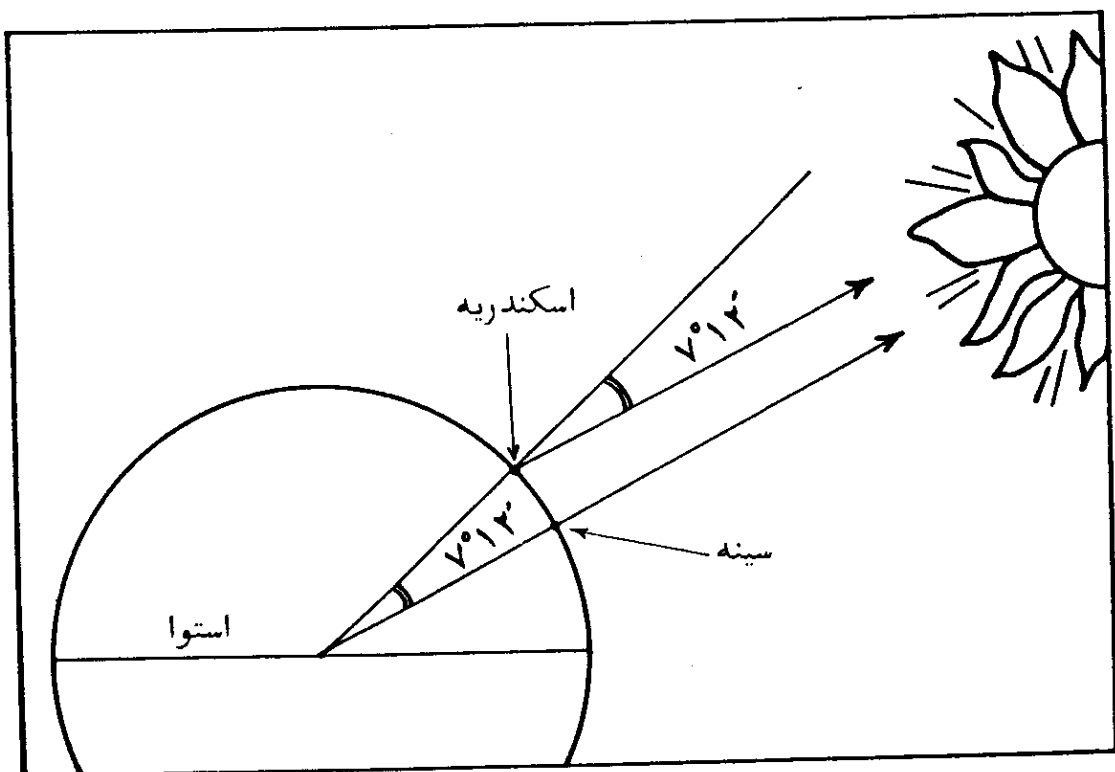
اسحق نیوتن^۲ در اثر خود به نام پرنسیپیا^۳، (در سال ۱۶۸۷)، کشف ریچر را چنین توجیه کرد که شکل زمین یک شبه کره پخت دوار^۴ است، بدین ترتیب که در قطبها فشرده و پخت و در نواحی استوایی برجسته است. به عقیده نیوتن چنین شکلی نتیجه حرکت دورانی زمین حول محورش بوده که نیروی گریز از مرکز بر روی ذرات، موجب برآمدگی ناحیه استوایی شده است. از این مطلب چنین نتیجه شد که گرانش در سطح زمین^۵ (و دوره نوسان یک پاندول) از ناحیه استوایی، به طرف قطبها، باندازه ضریب $\frac{2}{289}$ که توسط نیوتن محاسبه شد، افزایش می یابد.

گرچه فیلسوفان قبلی، نتیجه گیری کرده بودند که زمین به شکل کره است، اما نخستین تلاش شناخته شده در اندازه گیری اندازه زمین، توسط ارسطو در قرن چهارم قبل از میلاد گزارش شده است. اندازه ای که ارسطو برای محیط زمین داده است $400,000$ استادیای^۶ است. — استادیا، یا استادیومز^۷ جمع کلمه استادیوم^۸ است. — استادیوم هر یک از واحدهای مختلف طول در یونان باستان است که طول آن برابر 607 تا 738 فوت انگلیسی^۹ و یا برابر اندازه های متغیر دیگر است. قطر زمین با توجه به اندازه داده شده توسط ارسطو، در حدود $12,461$ مایل ($20,054$ کیلومتر) می شده است که اندازه واقعی آن $7,930$ مایل ($12,762$ کیلومتر) است.

در 250 سال قبل از میلاد، یک یونانی اهل اسکندریه^{۱۰} به نام اراتوس تنز^{۱۱}، علم هندسه را در اندازه گیری ابعاد کلی زمین بکار گرفت. اراتوس تنز ($276-195$ قبل از میلاد) یک منجم، ریاضی دان، جغرافی دان، فیلسوف و شاعر یونانی بود که بخاطر اندازه گیری استادانه محیط زمین بخوبی شناخته شده است. در سینه^{۱۲} (آسوان^{۱۳} فعلی)، که یک شهر در مصر، در قسمت بالای رود نیل است، در حدود $5,000$ استادیا (500 مایل) بطرف جنوب اسکندریه^{۱۴}، یک چاه عمیق خشک وجود داشت. اراتوس تنز

- | | | |
|--------------------------------|---------------------------------------|-----------------|
| 1. Jean Richer | 2. Isaac Newton | 3. Principia |
| 4. Oblate Spheroid of Rotation | 5. The gravity at the earth's surface | |
| 6. Stadia | 7. Stadiums | 8. Stadium |
| | | 9. English Foot |
| 10. Alexandrian Greek | 11. Eratosthenes | 12. Syene |
| | | 13. Aswan |
| | | 14. Alexandria |

دریافته بود که در روز انقلاب تابستانی، اشعه نور خورشید، در محل چاه، کاملاً بصورت عمودی تابیده و ته چاه را روشن می‌کند؛ این بدان معنی است که خورشید در آن روز در سینه کاملاً در سمت الرأس و یا بالای سر قرار داشته‌است. در اسکندریه در همان روز، اشعه نور خورشید در ظهر بصورت قائم نمی‌تابید و اشیاء قائم دارای سایه بودند. او، زاویه بین اشعه نور خورشید و امتداد قائم را در اسکندریه، در روز انقلاب تابستانی اندازه‌گیری کرد. با توجه به دور بودن خورشید از زمین، تمام اشعه نور خورشید بصورت موازی به زمین می‌رسند و با فرض اینکه سینه و اسکندریه بر روی یک نصف‌النهار واقعند، او توانست با کاربرد روابط ساده هندسی، دریابد که اختلاف زاویه بین سینه و اسکندریه در حدود $\frac{1}{5}$ محیط یک دایره یعنی ۷ درجه و ۱۲ دقیقه می‌باشد که نمایانگر اختلاف عرض جغرافیایی بین دو محل است، شکل (۸-۱). فاصله مستقیم بین دو محل که از اندازه‌گیری مستقیم بدست آمد در حدود ۵،۰۰۰ استادیا بود که نمایانگر $\frac{1}{5}$ محیط زمین می‌شد. به ۲۵۰،۰۰۰ استادیای بدست آمده برای محیط زمین، حدود ۲،۰۰۰ استادیا، برای جبران اشتباهات، اضافه کرد و رقم ۲۵۲،۰۰۰ استادیا را بدست



شکل (۸-۱) - چگونگی محاسبه محیط زمین توسط اراتوس تنزه او، دریافت که در ظهر روز انقلاب تابستانی در سینه، خورشید کاملاً از بالای سر می‌تابید، اما در اسکندریه به فاصله ۵۰۰ مایلی (۸۰۰ کیلومتری) در شمال سینه، امتداد اشعه موازی خورشید با امتداد قائم در آنجا، زاویه 7° و $12'$ می‌ساخت. از این مطلب او قطر زمین را در حدود ۷۸۰۰ مایل (۱۲۷۳۰ کیلومتر) محاسبه کرد.

آورد. این رقم، محتملاً برابر ۲۴،۵۰۰ مایل و یا حدود ۴۰،۰۰۰ کیلومتر است. روش اراتوس تنز، کاملاً از نظر تئوری صحیح است. اما معادل امروزی یک استادیوم، قضاوت در دقت اندازه‌گیری او را مشکل می‌کند.

نتیجه اندازه‌گیری اسکندریه، به‌طریقی فراموش و یا گم شد. تا اینکه کلمبوس در ۱۷۰۰ سال بعد، مسافرت خود به‌دور زمین و بسوی مغرب را آغاز کرد تا به‌هند شرقی برسد، اما او زمین کوچکتری را در مد نظر داشت. علی‌رغم آنچه که در افسانه است، کلمبوس مانند هر ناخدای هم‌زمان خود می‌دانست که زمین کروی است، اما آنچه که او نمی‌دانست، اندازه واقعی کره زمین و یا نتیجه اندازه‌گیری اراتوس تنز بود که در قرن شانزدهم، با دریانوردی به‌دور زمین، دوباره مسجل شد.

در عهد رنسانس^۱ مهمترین اندازه‌گیری زمین توسط منجم فرانسوی، ژان فرنل^۲ در قرن شانزدهم صورت گرفت، نتیجه کار او تا حدود ۸۰ مایل (۱۲۸ کیلومتر) اندازه واقعی بود. در روش او و سایر اندازه‌گیریهای دیگر، طول یک قسمت از یک نصف-النهاریین دو محل، اندازه‌گیری می‌شد و سپس با تعیین عرض جغرافیایی ابتدا و انتهای قطعه نصف‌النهاری، از راه رصد های نجومی، محیط زمین محاسبه می‌شد.

قرنها قبل از رنسانس و در دوران درخشان تمدن اسلامی، اندازه‌گیریهایی به‌منظور تعیین طول شعاع زمین صورت گرفته است.

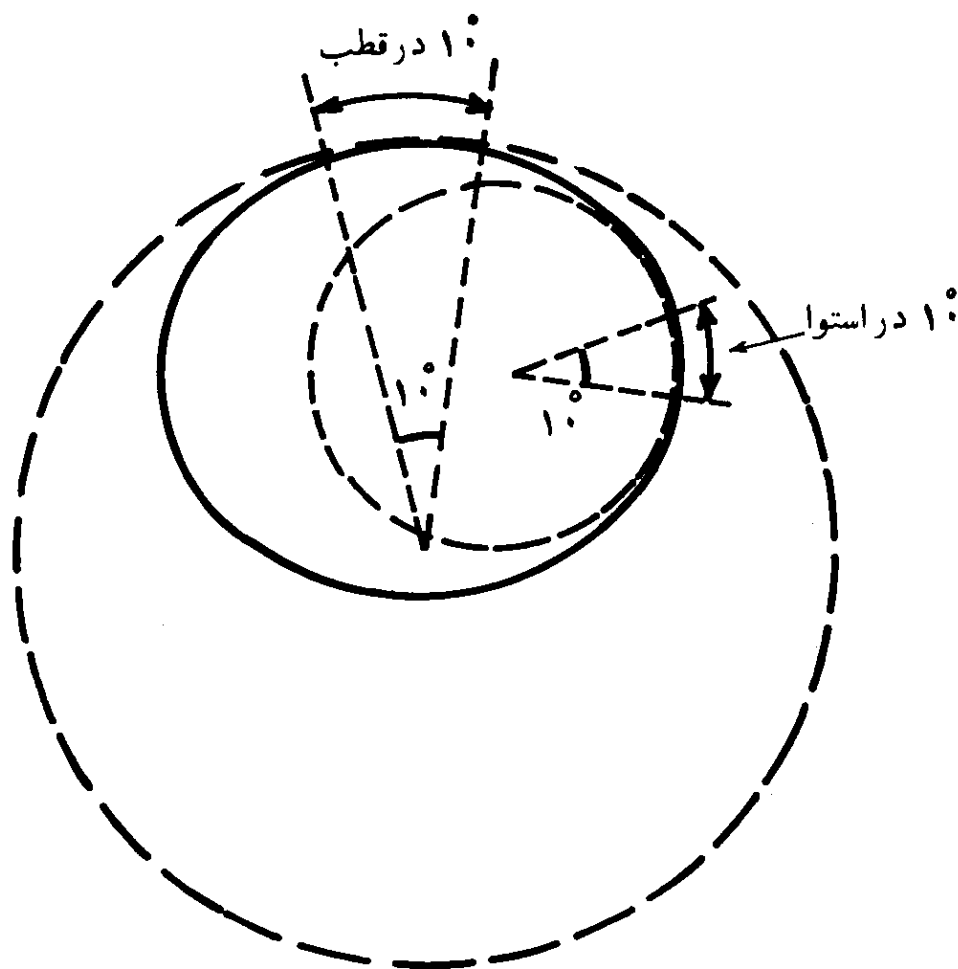
در قرن هفدهم، روش استاندارد اندازه‌گیری، تعیین طول یک درجه از نصف-النهاری برحسب مایل بود که سپس قطر زمین از روی آن محاسبه می‌شد. تعداد زیادی اندازه‌گیری با کاربرد این روش صورت گرفت، اما اولین اندازه‌گیری واقعاً دقیق توسط منجم فرانسوی، ژان پیکارد^۴، صورت پذیرفت. او در سال ۱۶۷۱ در نزدیکی پاریس با دقت چند یارد طول یک درجه نصف‌النهاری را اندازه گرفت.

بعدها چندین سفر ژئودتیکی مهم برای اندازه‌گیری یک درجه از نصف‌النهاری، در عرضهای جغرافیایی مختلف، صورت گرفت. مهمترین سفر توسط دولت فرانسه و آکادمی علوم پاریس^۵ ترتیب داده شد. یک هیئت، در سال ۱۷۳۵ به پرو رفت و حدود ده سال را در آنجا گذراندند، هیئت دیگر در سالهای ۱۷۳۶ و ۱۷۳۷ برای اندازه‌گیریهای مشابه به لاپلند^۷ (منطقه‌ای در شمال اروپا در بالای مدار قطب شمال^۸

1. Indies (East Indies)
2. Renaissance
3. Jean Frenel
4. Jean Picard
5. Paris Académie des Sciences
6. Peru
7. Lapland (Lapland)
8. Arctic Circle

در کشورهای نروژ^۱، سوئد^۲ و فنلاند^۳ رفت. اندازه یک درجه نصف‌النهار در لاپلند بزرگتر از اندازه بدست آمده در پرو بود و این خود نظریه نیوتن را در مورد اینکه زمین به شکل یک شبه کره پخت است، تأیید کرد، شکل (۲-۸).

تا پایان قرن هجدهم، اندازه‌گیریهای ژئودتیکی در اروپا انجام شد. محرک چنین تحقیقاتی مجلس مبعوثان فرانسه^۴، در سال ۱۷۹۱ بود، که تصمیم گرفت یک واحد جدید طول یعنی متر را پیشنهاد کند. از آنجایی که متر بعنوان ده میلیونیم نصف-النهار ۹۰ درجه‌ای تعریف شده بود، لذا تعیین دقیق اندازه زمین امری واجب می‌نمود. در قرن نوزدهم اندازه‌گیریهای وسیعی در آسیا، آفریقا و نیم کره غربی^۵ صورت پذیرفت که اطلاعات جامعی را برای اندازه‌گیری فواصل نقاط دوردست بر روی زمین، با



شکل (۲-۸) - پختی زمین. طول ده درجه از یک نصف‌النهار، که نمایانگر ده درجه اختلاف در عرض جغرافیایی است، در ناحیه قطبی بیشتر از ناحیه استوایی است. لذا انحنا^۷ زمین، که توسط دایره‌های خط‌چین نمایانده شده‌اند، در استوا بیشتر از قطب است.

- | | | | |
|-----------------------|---------------|--------------|--------------------------------|
| 1. Norway | 2. Sweden | 3. Finland | 4. French Constituent Assembly |
| 5. Western Hemisphere | 6. Oblateness | 7. Curvature | |

تقریب ۲،۰۰۰ فوت (۶۱۰ متر)، بدست داد. در سال ۱۸۸۶، ژئودزیست^۱ انگلیسی به نام الکساندر کلارک^۲ شکل زمین را بعنوان شبه کره‌ای پخت با ابعاد زیر، پیشنهاد کرد:

نصف قطر اطول، ۳۹۶۳/۲۶۶ مایل (۶،۳۷۸/۲۸۲ کیلومتر)،
نصف قطر اقصر، ۳،۹۴۹/۷۹۰ مایل (۶،۳۵۶/۵۹۴ کیلومتر) و

$$\frac{1}{294/1723063} \quad \text{درجه فشردگی}$$

در سالهای بعد از کار الکساندر کلارک، پیشرفت وسایل اندازه‌گیری و روشها، تعیین دقیقتر شکل و اندازه زمین را ممکن ساخت.

امروزه با کمک اطلاعات بدست آمده در سال بین‌المللی جغرافیایی^۳ (۱۹۵۸-۱۹۵۷)، اطلاعات دقیقی راجع به ابعاد زمین در دسترس است.

چنانکه قبلاً توضیح داده شد زمین دوار به شکل یک شبه کره پخت درآمده است. بنابراین یک بیضوی دوار بهتر از یک کره می‌تواند نمایانگر شکل زمین باشد، اگرچه چنین بیضوی خود یک سطح ریاضی کاملی است.

پارامترهای بهترین بیضوی دواری که می‌تواند نمایانگر شکل زمین باشد، به نام بیضوی مبنای^۴، توسط انجمن بین‌المللی ژئودزی^۵ در سال ۱۹۶۷، به شرح زیر تعیین شد:

نیم قطر اطول (a)، ۳،۹۶۳/۱۹۷ مایل (۶،۳۷۸/۱۶۰ کیلومتر)،
نیم قطر اقصر (b)، ۳،۹۴۹/۹۰۹ مایل (۶،۳۵۶/۷۷۴ کیلومتر) و

$$\frac{1}{298/2471674} \quad \text{فشردگی (f) و یا } \left(\frac{a-b}{a}\right) \text{ برابر}$$

چنین بنظر می‌رسد که این ارقام تا رقم ششم دقیق باشد.

با توجه به این ارقام، اندازه قطر زمین در استوا، ۲۶/۵۷۶ مایل از اندازه آن از قطب به قطب، بیشتر است.

حتی اندازه‌گیریهای دقیقتر، که توسط قمر مصنوعی آمریکایی وانگاردیک^۶ صورت گرفته، چنین نشان داده است که برجستگی استوایی، دقیقاً متقارن نیست و بلندترین نقطه آن (کم و بیش در حدود ۲۵ فوت) کمی در جنوب خط میانی استوایی^۷ قرار دارد.

1. Geodesist
2. Alexander Clarke
3. Degree of Flattening
4. International Geographical Year
5. Reference Ellipsoid
6. International Association of Geodesy
7. IGY Vanguard I Satellite
8. Equatorial Mid-Line

در اثر اندازه‌گیریهای دقیقتر، عده‌ای از نویسندگان، شکل شبه کره پخت را برای زمین، فراموش کرده و بجای آن، شباهتی مانند شکل گلابی^۱ را ذکر کرده‌اند. برای تصور اختلاف بین قطر زمین در استوا و از قطب به قطب، می‌توان مقیاس کوچکتري را در نظر گرفت. چنانکه ابعاد زمین را تا حدی کوچک کنیم که قطر آن ۵ فوت باشد، چشم انسان قادر به تشخیص اختلاف طول، بین دو قطر آن که در حدود $\frac{1}{5}$ اینچ می‌شود، نخواهد بود. بر روی چنین کره کوچکی، چشم دیگر قادر به تشخیص ارتفاعات نیست و بعبارتی دیگر چنانکه سطح چنین کره‌ای را رنگ کنیم. پستی و بلندیهای بسیار کوچک رنگ، در مقیاس خود از پستی و بلندیهای زمین بزرگتر خواهند بود.

سوراخ کوچکی که توسط یک سوزن بر سطح چنین کره‌ای ایجاد شود، در مقیاس خود عمیقتر از هرگونه حفاریهای انجام شده بر سطح زمین است.

۵. سطوح مبنای ژئودتیک^۲

وضعیت یک نقطه بر روی زمین، بنحوی که توسط سازندگان نقشه، تفسیر می‌شود، عبارت از وضعیت نقطه نسبت به یک سطح مبناست؛ چنانکه در رسم نقشه مرسوم است، سطح مبنا بعنوان جایگزین سطح واقعی زمین انتخاب می‌شود.

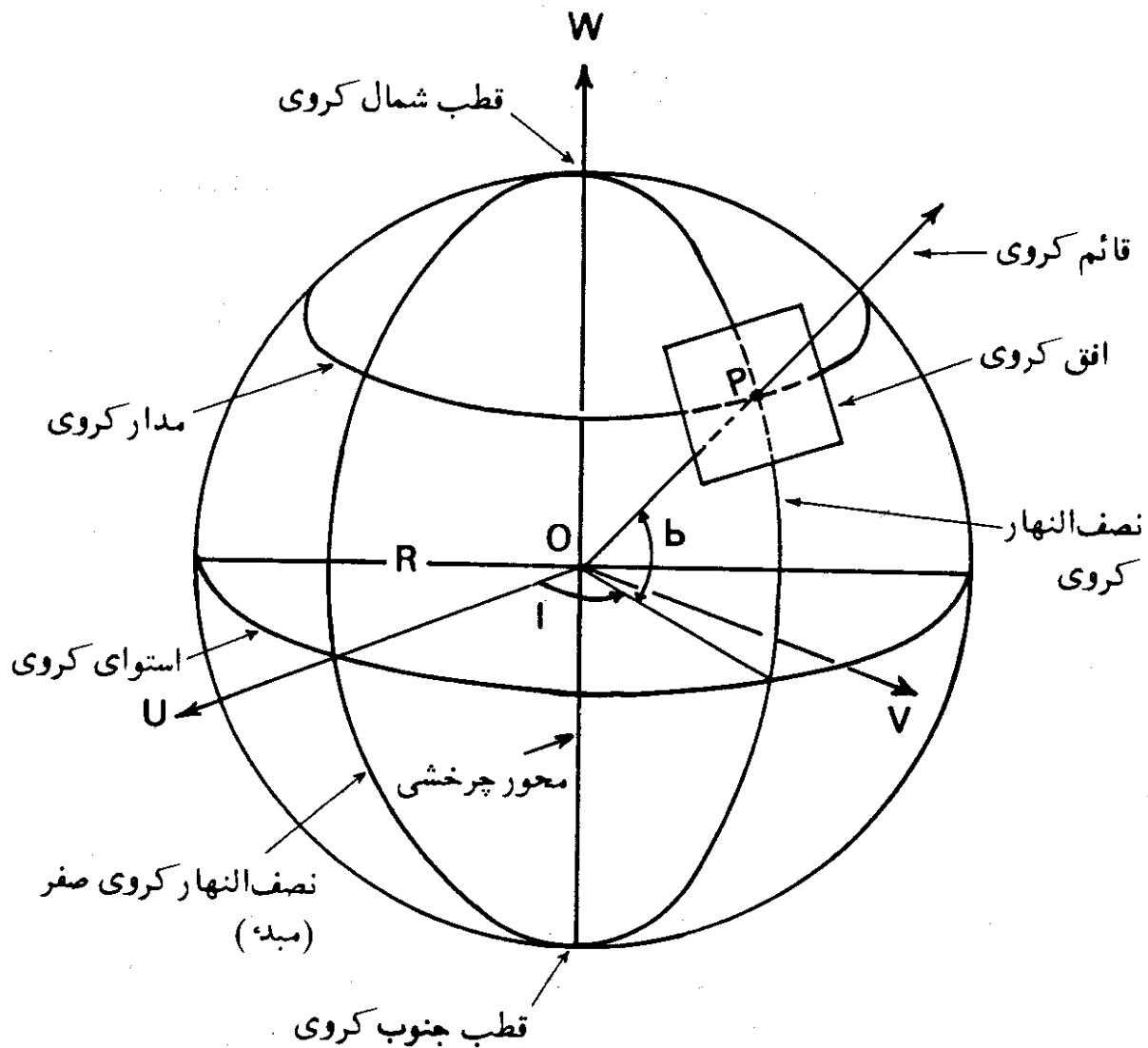
مهمترین سطوح مبنا که معمولا بکار می‌روند عبارتند از، کره، شبه کره و شکل زمین گون^۳ است. وضعیت یک نقطه، معمولا توسط مختصاتمانند عرض، طول و ارتفاع نسبت به سطح مبنا، تعریف می‌شود. اغلب، بین مختصات کروی^۴، مختصات ژئودتیک^۵ و مختصات نجومی^۶ که سطح مبنای آنها به ترتیب کره، شبه کره و شکل زمین گون است، تفاوت وجود دارد. با توجه به این تفسیر، مختصات جغرافیایی^۷، یک اصطلاح کلی است و شامل هر سه نوع مختصات ذکر شده است.

۱-۵. مختصات کروی—در فصل اول کتاب، مختصات کروی، مورد استفاده قرار گرفته است، اما در اینجا این نوع مختصات به همراه انواع دیگر، تشریح می‌گردد که فهم مطلب ساده‌تر شده و اثر هر کدام از دستگاههای مختصات در قبله‌یابی روشن گردد. در اینجا اصطلاحات مختلفی نسبت به آنچه که در فصل اول بکار رفت، بکار

- | | | |
|--------------------------|--------------------------------------|----------|
| 1 Pear Shaped | 2. Geodetic Reference Surfaces | 3. Geoid |
| 4 Spherical Coordinate | 5. Geodetic (Spheroidal) Coordinates | |
| 6 Astronomic Coordinates | 7. Geographic Coordinates | |

گرفته می‌شود. این مطلب بعلت بکار بردن سطح مبناهای مختلف است. مختصات کروی، چنانکه از اسم آن پیداست، دستگاه مختصاتی است که سطح مبنای آن یک کره است. اگر کره مبنا، حول محوری که از مرکز آن می‌گذرد، دوران داشته باشد، سطح عمود بر محور دوران، استوای کروی^۱ نامیده می‌شود. دوائر عظیمه‌ای که سطح مولد آنها شامل محور دوران است، به نام نصف‌النهارات کروی^۲ موسوم‌اند. محل برخورد نصف‌النهارات کروی به نام قطبهای کروی^۳، شناخته می‌شوند، یکی از قطبها، قطب جنوب کروی^۴، و دیگری قطب شمال کروی^۵ است.

در شکل (۸-۳)، یک نقطه مانند P، بر روی کره انتخاب شده است، O مرکز کره با شعاع R است. خط OP عمود بر سطح کره است و قائم کروی^۶ نامیده می‌شود.



شکل (۸-۳) - دستگاه مختصات کروی.

- | | | |
|-------------------------|-------------------------|---------------------|
| 1. Spherical Equator | 2. Spherical Meridians | 3. Spherical Poles |
| 4. South Spherical Pole | 5. North Spherical Pole | 6. Spherical Normal |

زاویه b ، زاویه بین قائم کروی و صفحه عمود بر محور چرخشی^۱ در مرکز کره (استوای کروی^۲)، عرض کروی^۳ نامیده می شود. اندازه عرض کروی از صفر تا ۹۰ درجه با علامت مثبت در نیمکره شمالی کره و با علامت منفی در نیمکره جنوبی کره تغییر می کند. نقاط با عرض کروی برابر، بر روی مدار کروی^۴ قرار می گیرند.

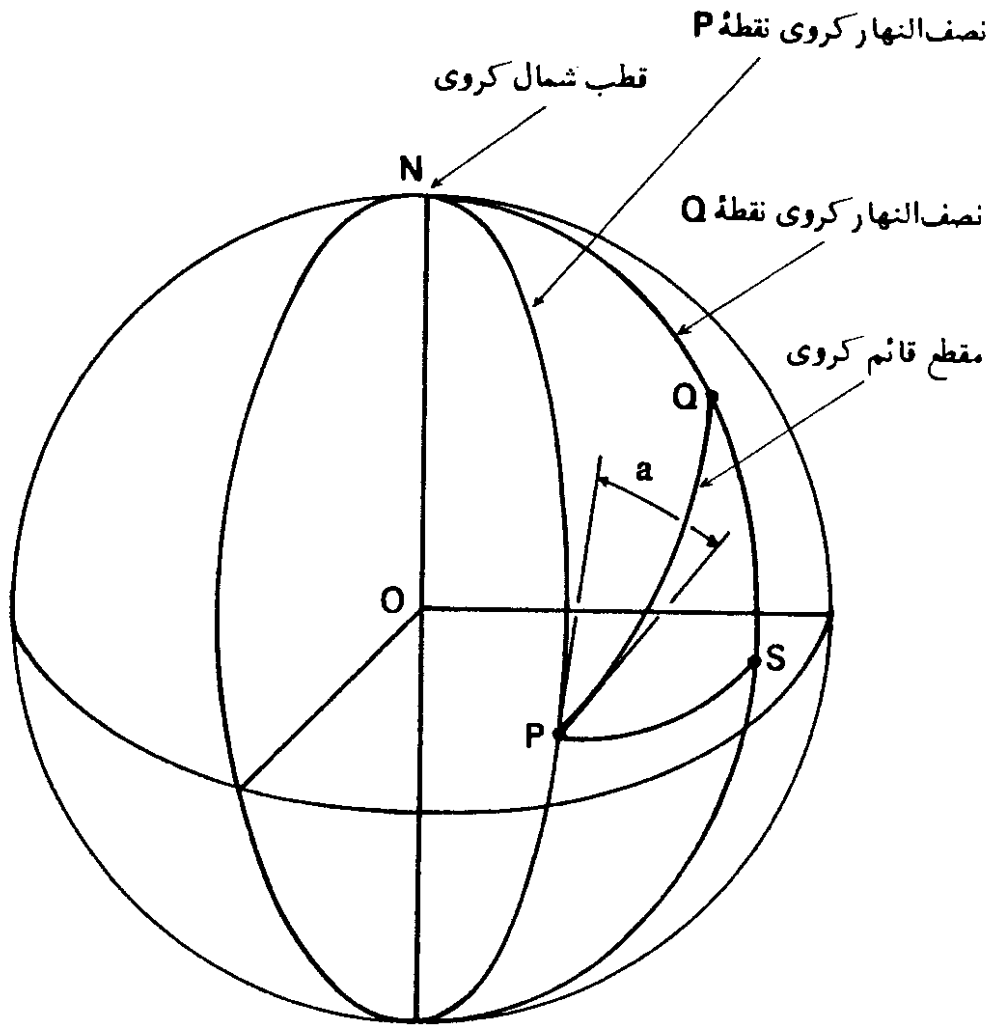
یکی از نصف النهارهای کروی، بعنوان نصف النهار کروی صفر^۵ (مبدء) مشخص می شود. زاویه a ، زاویه بین صفحه نصف النهار کروی صفر و صفحه نصف النهار کروی نقطه P ، که در صفحه استوای کروی در نظر گرفته می شود، طول کروی^۶ نقطه P نامیده می شود. طول کروی، از نصف النهار کروی مبدء بطرف مشرق مثبت و از صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر می کند. نقاطی که دارای طول کروی برابرند بر روی یک نصف النهار کروی قرار می گیرند.

صفحاتی که شامل قائم کروی در یک نقطه اند، صفحات قائم کروی^۷ نامیده می شوند. محل برخورد صفحات قائم کروی با کره را مقاطع قائم کروی^۸ نامند. مقاطع قائم کروی همیشه دایره عظیمه اند. در حقیقت مقطع قائم کروی در تعیین جهت قبله، بکار گرفته می شود، بدین ترتیب که با فرض کروی شکل بودن زمین، صفحه ای که شامل قائم کروی محل مورد نظر و قائم کروی خانه کعبه باشد، کره را در دایره عظیمه ای قطع می کند که جهت قبله در امتداد آنست. صفحه عمود بر قائم کروی در نقطه P ، که در نتیجه بر سطح کره مماس می شود، افق کروی^۹ نقطه P نامیده می شود.

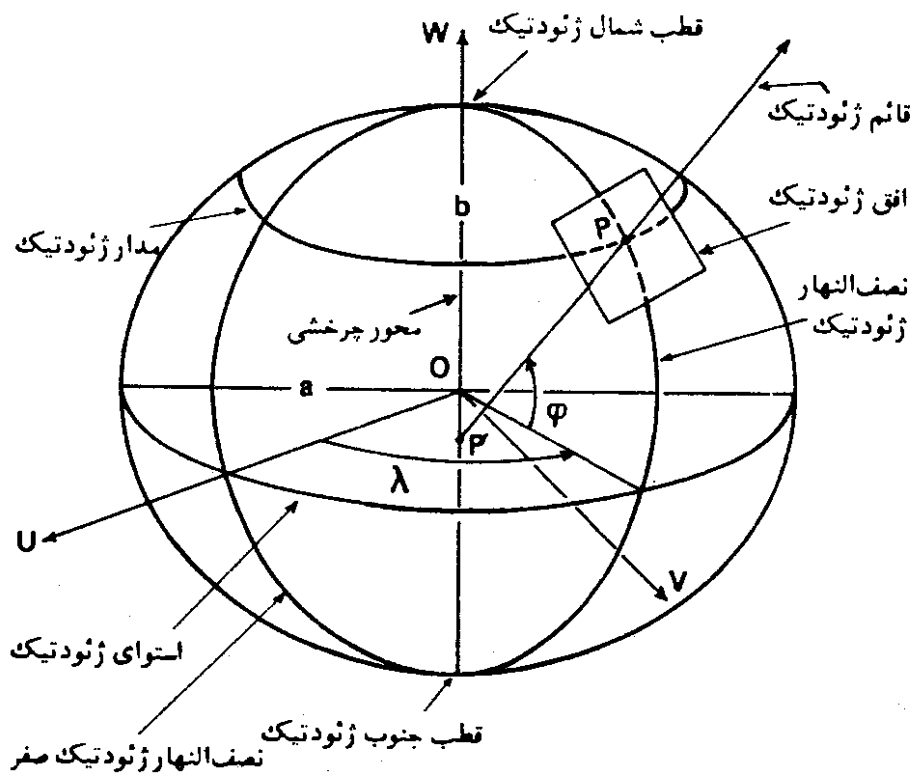
در شکل (۴-۸)، علاوه بر نقطه P ، نقطه دیگری مانند Q بر روی کره نشان داده شده است. زاویه a ، زاویه بین صفحه نصف النهار کروی نقطه P و صفحه قائم کروی نقطه P که از نقطه Q می گذرد، و بر روی صفحه افقی کروی نقطه P در نظر گرفته شود، سمت کروی^{۱۰} نقطه Q نامیده می شود. این زاویه، از سمت شمال نصف النهار اندازه گیری شده و در جهت عقربه های ساعت از صفر تا ۳۶۰ درجه تغییر می کند.

اگر نقطه دیگری بر روی سطح کره، مثلا مانند نقطه S ، جدا از نقاط P و Q در نظر گرفته شود، کمانهای دایره های عظیمه PQ ، PS و QS تشکیل یک مثلث کروی می دهند. مثلث PQN در شکل (۴-۸) نیز یک مثلث کروی است.

- | | | |
|------------------------------|----------------------------|-----------------------|
| 1. Rotation Axis | 2. Spherical Equator | 3. Spherical Latitude |
| 4. Spherical Parallel | 5. Zero Spherical Meridian | |
| 6. Spherical Longitude | 7. Spherical Normal Planes | |
| 8. Spherical Normal Sections | 9. Spherical Horizon | 10. Spherical Azimuth |



شکل (۸-۴) --- سمت بر روی کره.



شکل (۸-۵) --- دستگاه مختصات ژئودتیک.

۵-۲ مختصات ژئودتیک—شبه کره یا بیضوی دوار در ژئودزی، بیشتر بعنوان سطح مبنا در نظر گرفته می شود.

در شکل (۵-۸)، یک شبه کره با مرکز O، نصف قطر اطول (a) و نصف قطر اقتر (b) نشان داده شده است. این شبه کره پخت، حول محوری که از مرکز O می گذرد، دوران می کند. فصل مشترک صفحه عمود بر محور دوران در مرکز O، با سطح بیضوی، استوای ژئودتیک نامیده می شود. استوای ژئودتیک به شکل یک دایره با شعاع (a) است. سایر دایره های موازی با سطح استوای ژئودتیک که بر روی سطح شبه کره واقعند، مدارات ژئودتیک^۲ نامیده می شوند.

بیضی هایی که صفحات مولد آنها شامل محور چرخشی است، نصف النهارات ژئودتیک^۳ نام دارند. نصف النهارات ژئودتیک همدیگر را در قطبهای ژئودتیک^۴ قطع می کنند که یکی از آنها قطب شمال ژئودتیک^۵ و دیگری قطب جنوب ژئودتیک^۶ است.

در شکل (۵-۸)، نقطه P یک نقطه اختیاری بر روی بیضوی دوار است. خط PP' عمود بر سطح شبه کره بوده و قائم ژئودتیک^۷ نامیده می شود. صفحه عمود بر قائم ژئودتیک در نقطه P، افق ژئودتیک^۸ نقطه P نامیده می شود. زاویه ϕ —زاویه بین قائم ژئودتیک و استوای ژئودتیک—عرض ژئودتیک^۹ نقطه P نامیده می شود. اندازه عرض ژئودتیک از صفر تا ۹۰ درجه با علامت مثبت در نصفه شمالی شبه کره و با علامت منفی در نیمه جنوبی آن تغییر می کند. نقاط دارای عرض ژئودتیک، مساوی بر یک مدار ژئودتیک^۱ قرار می گیرند.

یکی از نصف النهارات ژئودتیک، بصورت نصف النهار مبنا (صفر) در نظر گرفته می شود. زاویه λ ، زاویه بین صفحه نصف النهار صفر و صفحه نصف النهار نقطه P که در صفحه استوای ژئودتیک در نظر گرفته شود، به نام طول ژئودتیک^{۱۱} نقطه P موسوم است. اندازه طول ژئودتیک از صفر تا ۳۶۰ درجه با علامت مثبت بطرف مشرق نصف-لنهار مبنا، تغییر می کند.

در شکل (۶-۸)، سه نوع عرض مخصوص، به منظور استفاده در محاسبات، نشان داده شده است. بیضی مشهود در این شکل با نصف قطر اطول a و نصف قطر

- | | | |
|-----------------------|------------------------|------------------------|
| 1. Geodetic Equator | 2. Geodetic Parallels | 3. Geodetic Meridian |
| 4. Geodetic Poles | 5. North Geodetic pole | 6. South Geodetic pole |
| 7. Geodetic Normal | 8. Geodetic Horizon | 9. Geodetic Latitude |
| 10. Geodetic Parallel | 11. Geodetic Longitude | |

اطول b ، صفحه نصف النهار نقطه P است. خط OP برابر ρ (رُ) شعاع ژئودتیک^۱ نقطه P است. زاویه φ' ، زاویه بین شعاع ژئودتیک و صفحه استوای ژئودتیک، عرض زمین مرکزی^۲، نامیده می شود. زاویه Ψ (پسی^۳)، زاویه بین خط OP و استوای ژئودتیک، عرض کاهش یافته^۴ نام دارد، که نقطه P'' محل برخورد خطی است که از نقطه P ، بموازات محور چرخشی، رسم شده است، و دایره رسم شده به مرکز O و شعاع به طول a است.

رابطه بین عرضهای ژئودتیک (φ) ، زمین مرکزی (φ') و کاهش یافته (Ψ) ، به صورت زیر است:

$$\tan\varphi' = \frac{b}{a} \tan\Psi = \frac{b^2}{a^2} \tan\varphi \quad (۸-۴)$$

$$\tan\varphi' = (1 - f) \tan\Psi = (1 - f)^2 \tan\varphi \quad (۸-۵)$$

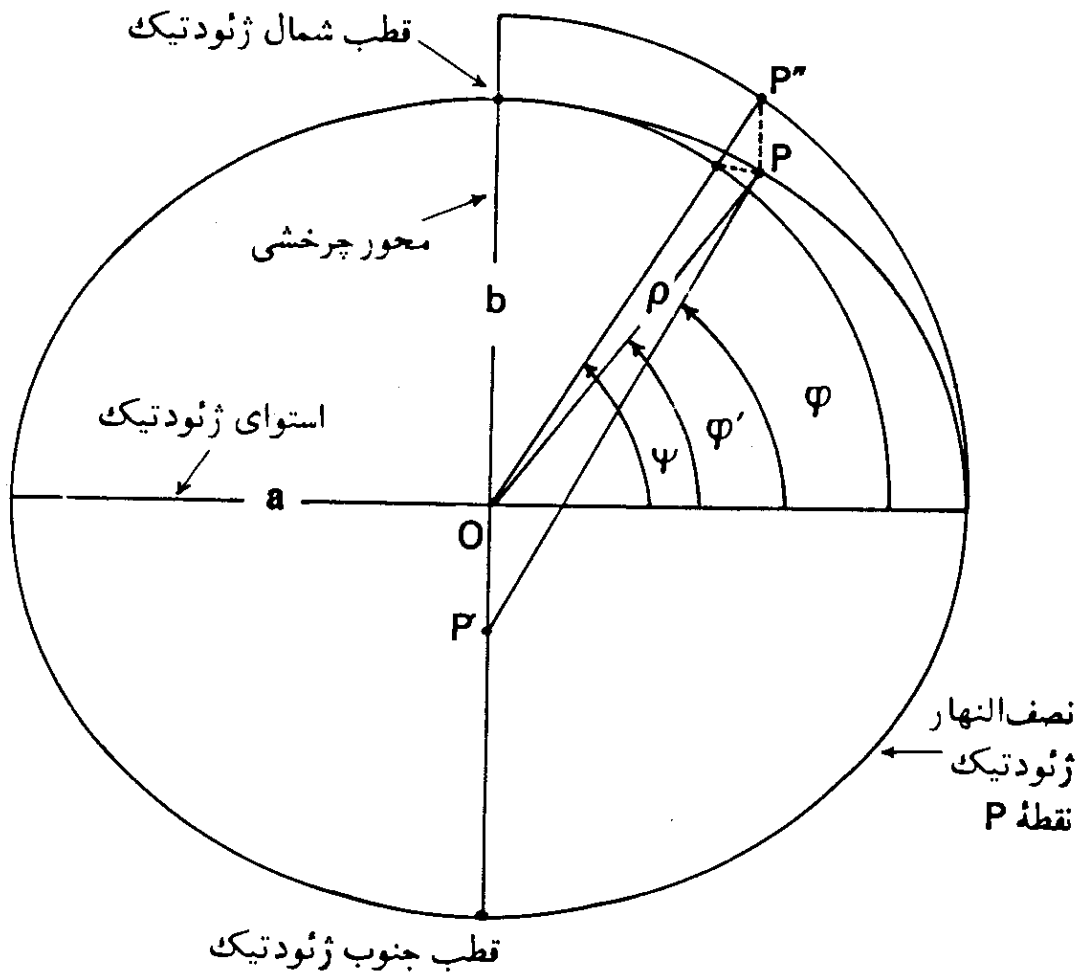
$$\tan\varphi' = \sqrt{1 - e^2} \tan\Psi = (1 - e^2) \tan\varphi \quad (۸-۶)$$

که در آنها، f ضریب فشردگی^۵ و e خروج از مرکز^۶ است. طول شعاع ژئودتیک (ρ) ، از رابطه زیر بدست می آید:

$$\rho = \frac{a\sqrt{1 - e^2}}{\sqrt{1 - e^2 \cos^2\varphi}} \quad (۸-۷)$$

قائم ژئودتیک قبلاً تعریف شد. صفحاتی که قائم ژئودتیک یک نقطه در آنها قرار دارد، به نام صفحات قائم ژئودتیک^۷ موسوم اند. منحنیهای حاصل از فصل مشترک صفحات قائم ژئودتیک با سطح شبه کره، به نام مقاطع قائم ژئودتیک^۸ معروف است. شعاعهای مقاطع قائم ژئودتیک، برخلاف دستگاه کروی، با توجه به جهت مقاطع قائم ژئودتیک، متغیر است. دو شعاع اصلی، در رابطه با دو مقطع قائم ژئودتیک در نظر گرفته می شوند؛ یکی مقطع قائم ژئودتیک که بر نصف النهار ژئودتیک منطبق است و دیگری مقطع قائم ژئودتیک عمود بر نصف النهار ژئودتیک است. شعاع مقطع قائم

- | | | | |
|---------------------------|-----------------------------|------------------------|--------|
| 1. Rho | 2. Geodetic Radius | 3. Geocentric Latitude | 4. Psi |
| 5. Reduced Latitude | 6. Flattening | 7. Eccentricity | |
| 8. Geodetic Normal Planes | 9. Geodetic Normal Sections | | |



شکل (۸-۶) - عرض زمین مرکزی و عرض کاهش یافته.

ژئودتیک منطبق بر نصف النهار ژئودتیک، شعاع انحنای نصف النهاری^۱ نام دارد و با حرف (M) نشان داده می‌شود. شعاع مقطع قائم ژئودتیک عمود بر نصف النهار ژئودتیک، شعاع انحنای عرضی^۲ نامیده می‌شود و با حرف (N) مشخص می‌گردد. شعاعهای انحنای نصف النهاری و عرضی از فرمولهای زیر محاسبه می‌شوند:

$$M = \frac{a(1 - e^2)}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{3/2}} \quad (8-8)$$

$$N = \frac{a}{(1 - e^2 \sin^2 \varphi)^{1/2}} \quad (8-9)$$

1. Meridional Radius of Curvature

2. Transverse Radius of Curvature

جهت یک مقطع قائم ژئودتیک، توسط سمت آن مشخص می شود. سمت مقطع قائم ژئودتیک^۱ نقطه ای مانند P از نقطه ای دیگر مانند نقطه Q، عبارت از زاویه بین صفحه نصف النهار نقطه P و صفحه قائم ژئودتیک^۲ نقطه P که از نقطه Q می گذرد، می باشد، این زاویه از صفر تا ۳۶۰ درجه، در جهت حرکت عقربه های ساعت، اندازه گیری می شود.

چنانکه به مطلب شعاع انحنا^۳ برگردیم، شعاع انحنا یک مقطع قائم ژئودتیک اختیاری (R_α)، از فرمول زیر تعیین می گردد:

$$\frac{1}{R_{\alpha}} = \frac{\cos^2 \alpha}{M} + \frac{\sin^2 \alpha}{N} \quad (8-10)$$

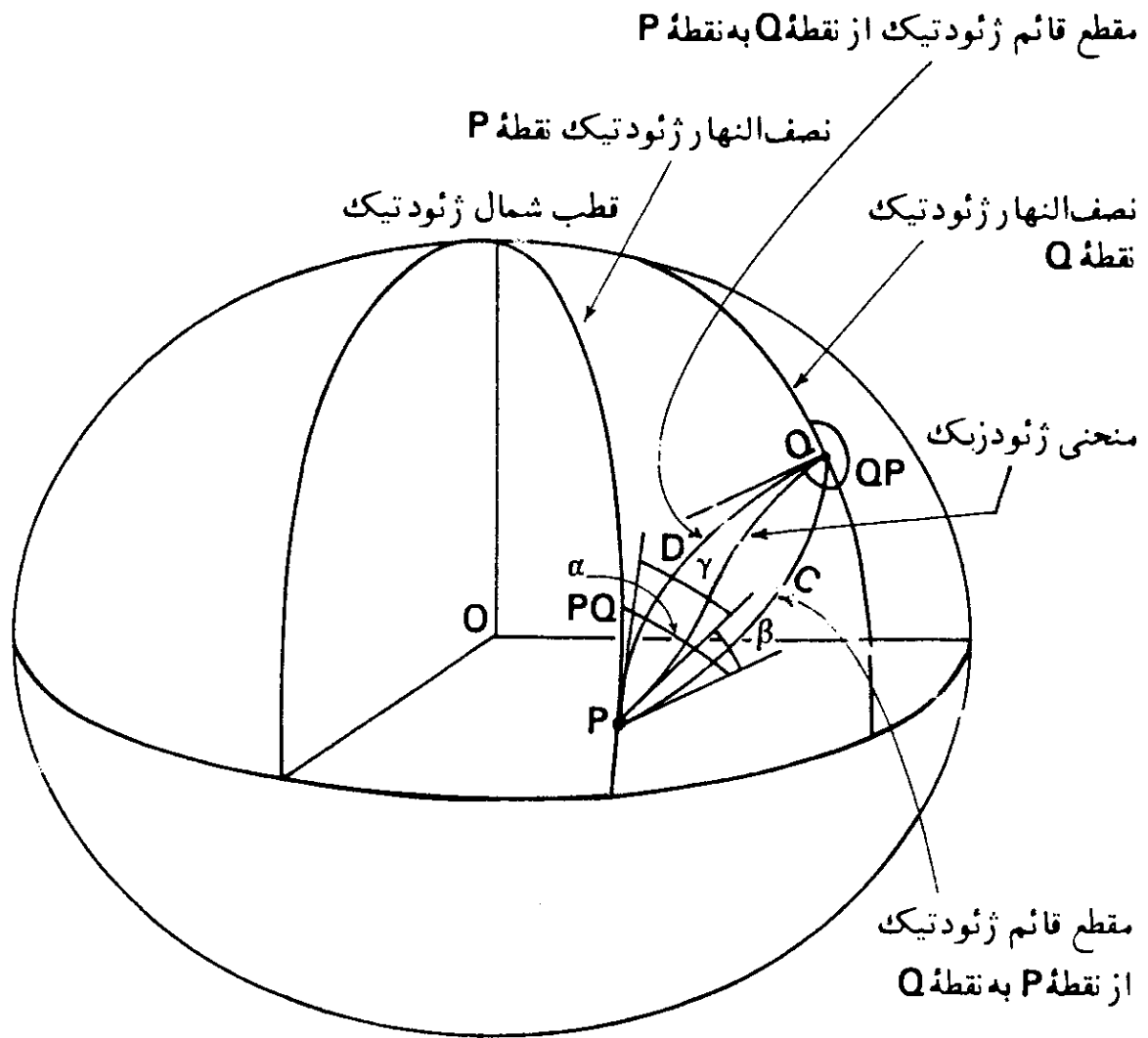
که در آن (α)، سمت مقطع قائم ژئودتیک نقطه مورد نظر است. متوسط اندازه شعاعهای انحنا تمام مقاطع ژئودتیک (r) یک نقطه، از سمت صفر درجه (α = ۰) تا سمت ۳۶۰ درجه (α = ۳۶۰)، بر روی شبه کره، از رابطه زیر بدست می آید:

$$r = \sqrt{M \times N} \quad (8-11)$$

سمت مقطع قائم ژئودتیک نیازمند پاره ای توضیحات است. بر روی یک کره، صفحه قائم کروی نقطه P از نقطه Q یا صفحه قائم کروی نقطه Q از نقطه P، یک صفحه است و تشکیل دو صفحه مجزا را نمی دهند. اما بر روی یک شبه کره، وضعیت متفاوت است. مقطع قائم ژئودتیک نقطه P که از نقطه Q می گذرد و مقطع قائم ژئودتیک نقطه Q که از نقطه P می گذرد، تشکیل دو منحنی جداگانه را می دهند و بر هم منطبق نیستند، شکل (۸-۷). بنابراین در هر یک از دو نقطه P و Q، دو مقطع قائم ژئودتیک موجود است که ممکن است در سنجیدن سمت مقطع قائم ژئودتیک تولید اشتباه شود، بدین ترتیب که این ابهام پیش آید که سمت را نسبت به کدام یک از مقاطع باید در نظر گرفت.

برای جلوگیری از اشتباه، اصطلاح سمت ژئودتیک^۴ تعریف می شود. اما قبل از تعریف سمت ژئودتیک خط منحنی ژئودزیک^۵ تعریف می شود.

1. Azimuth of the Normal Section
2. Geodetic Normal plane
3. Radius of curvature
4. Spherical Normal plane
5. Geodesic Azimuth
6. Geodesic Line curve



شکل (۸-۷) - سمت بر روی شبه کره.

در شکل (۸-۷)، منحنی \widehat{PDQ} ، مقطع قائم ژئودتیک از نقطه Q به نقطه P و منحنی \widehat{PCQ} ، مقطع قائم ژئودتیک از نقطه P به نقطه Q است. این دو منحنی هر کدام منحنی مسطح اند، بدین معنی که هر کدام در یک صفحه مسطح قرار دارند. به همین جهت منحنی \widehat{PDQ} به نام منحنی مسطح از نقطه Q به نقطه P، و منحنی \widehat{PCQ} به نام منحنی مسطح از نقطه P به نقطه Q نیز نامیده می‌شوند. چنانکه در شکل (۸-۷) نمایانده شده، اگر نقطه Q در شمال شرقی نقطه P باشد، منحنی \widehat{PDQ} در شمال منحنی \widehat{PCQ} قرار خواهد گرفت. تفاوت طولی زیادی بین دو منحنی \widehat{PDQ} و \widehat{PCQ} وجود ندارد. همچنین زاویه بین دو منحنی، در نقطه P، زاویه بسیار کوچکی است و با افزایش

طول منحنی زیاد می شود.

بر روی یک کره، کوتاهترین فاصله بین دو نقطه، در امتداد دایره عظیمه ای است که از دو نقطه می گذرد. اما بر روی یک شبه کره، شرایط، کاملاً متفاوت است. در این حالت، کوتاهترین فاصله در امتداد یک منحنی است که به نام خط ژئودزیک^۱ موسوم است. خط ژئودزیک در بین دو منحنی مسطح قرار دارد و دارای انحنای برگشته^۲ است، انحنای برگشته، بدان معنی است که منحنی، از دو کمان با شعاعهای برابر یا نامساوی تشکیل می یابد و مرکز هر کمان در یکطرف منحنی قرار دارد. در شکل (۷-۸)، زوایای بین خط ژئودزیک و هر یک از مقاطع قائم ژئودتیک در نقطه p، با زاویه های β و γ نشان داده شده است. نسبت این دو زاویه به نسبت یک به دو دو است، یعنی $\frac{\beta}{\gamma} = \frac{1}{2}$. زاویه β زاویه خیلی کوچکی است و بیشترین مقدار آن

($\beta_{Max} = 0/014$) برای مقطع قائم ژئودتیک با طول برابر ۱۰۰ کیلومتر

است و اندازه این زاویه با افزایش طول، اضافه می شود.

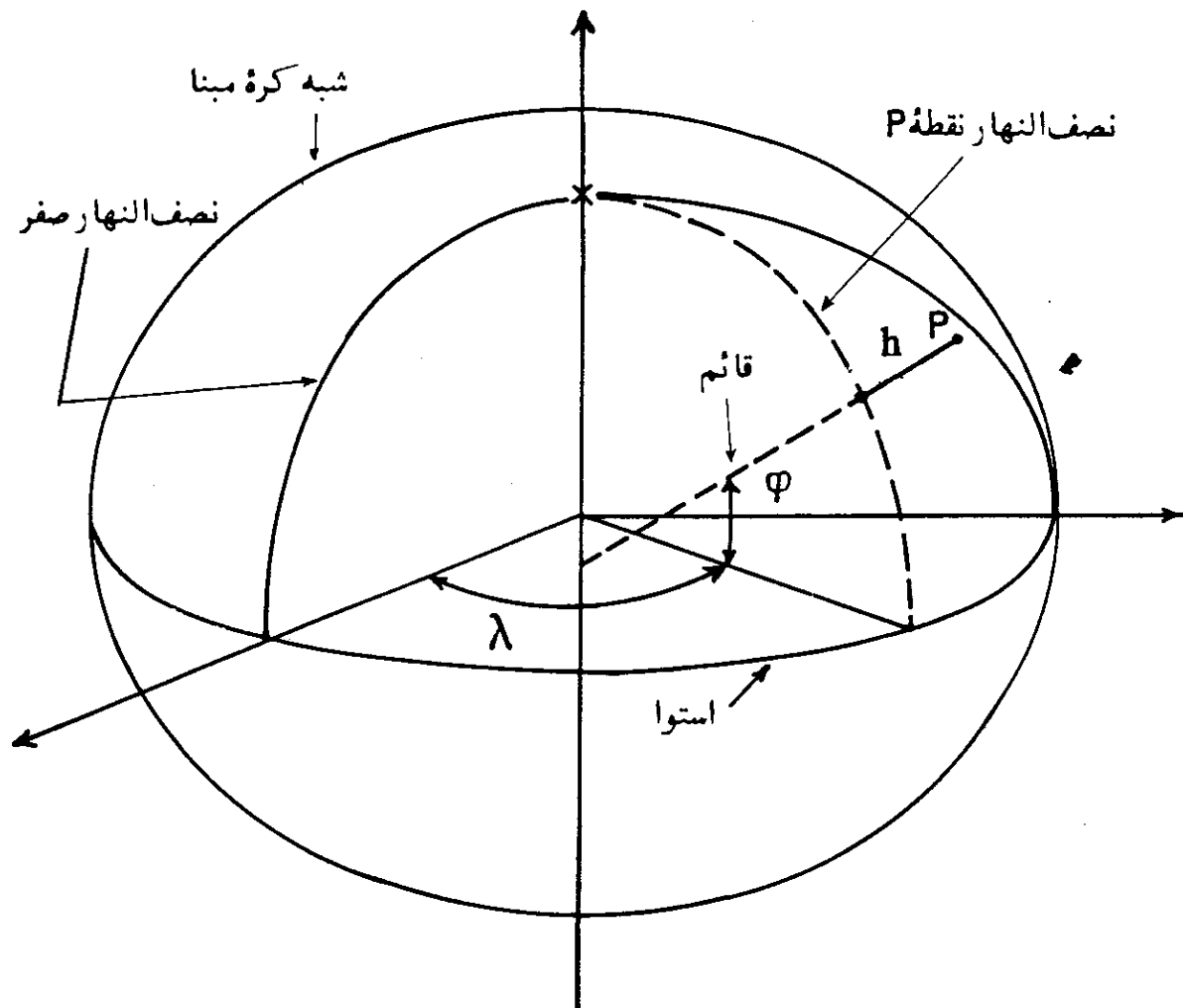
حال سمت ژئودتیک تعریف می شود: سمت ژئودتیک زاویه بین نصف النهار ژئودتیک و مماس بر خط منحنی ژئودزیک است.

مختصات ژئودتیک ممکن است نسبت به یک شبه کره یا وضعیت و جهت اختیاری سنجیده شود و یا نسبت به یک شبه کره که مرکز آن در گرانیگاه زمین^۳ قرار دارد و دارای جهت اختیاری است و قطر اقصی آن بر محور چرخشی میانگین^۴ زمین منطبق می باشد، سنجیده شود. در حالت نخست، وضعیت، وضعیت نسبی^۵ نامیده می شود و در حالت دوم، وضعیت مطلق^۶ و یا زمین مرکزی^۷. مختصات ژئودتیک در دستگاه مطلق و یا زمین مرکزی، مختصات ژئودتیک مطلق^۸ و یا مختصات ژئودتیک زمین مرکزی^۹ نامیده می شود. مختصات ژئودتیک زمین مرکزی را نباید با مختصات زمین مرکزی^۱ که طی رابطه های (۴-۸)، (۵-۸) و (۶-۸)، بیان شد، اشتباه گرفت.

مختصات ژئودتیک معمولی عبارت است از، عرض ژئودتیک (φ)، طول ژئودتیک (λ) و ارتفاع ناظر نسبت به سطح شبه کره مینا، که در امتداد قائم ژئودتیک اندازه گیری می شود. این ارتفاع به نام ارتفاع ژئودتیک^{۱۱} نامیده شده و با حرف (h)

1. Geodesic Line
2. Reversed Curvature
3. The Center of Gravity of the Earth
4. Average Rotation Axis
5. Relative
6. Absolute
7. Geocentric
8. Absolute Geodetic Coordinates
9. Geocentric Geodetic Coordinates
10. Geocentric Coordinates
11. Geodetic Height

نمایش داده می‌شود که علامت آن ممکن است منفی هم باشد. پارامترهای λ ، φ و h ، وضعیت ناظر را نسبت به شبه کره مبنا تعیین می‌کند، شکل (۸-۸).



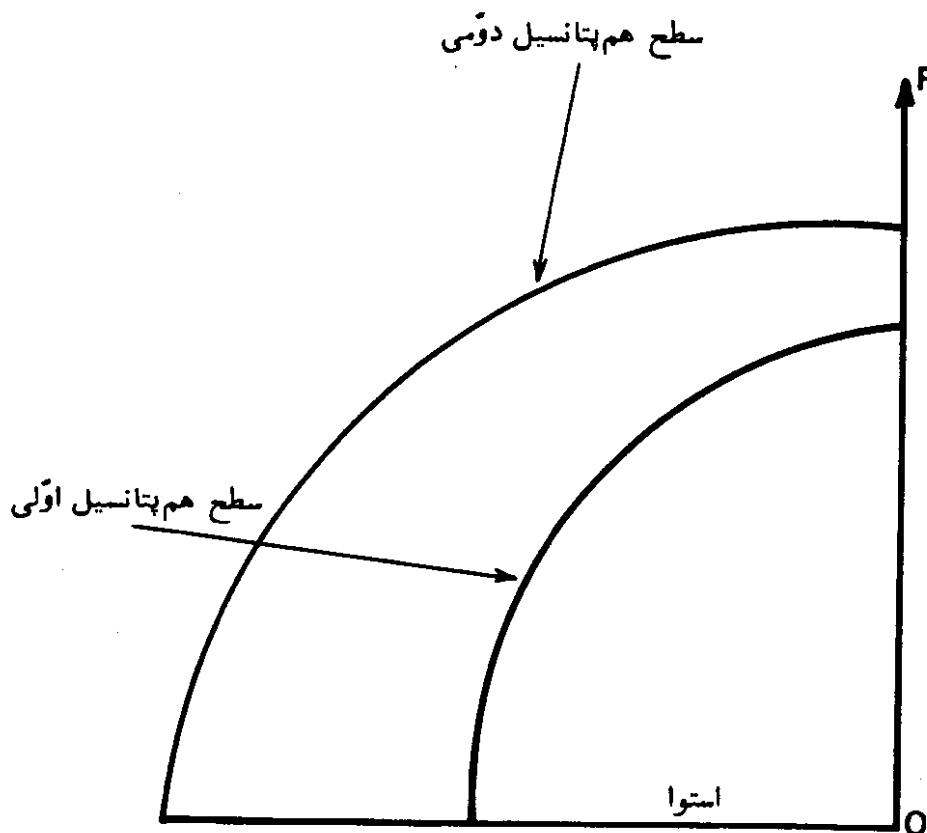
شکل (۸-۸) — مختصات ژئودتیک یک شبه کره مبنا برای نمایاندن وضعیت نقطه P بر روی زمین بکار برده شده است. خط قائم ژئودتیک عبارت از عمودی که از نقطه P بر سطح شبه کره مبنا رسم شده که h فاصله نقطه P از سطح مبناست. زاویه بین خط عمود بر سطح شبه کره مبنا و سطح استوا، عرض (φ) است. زاویه بین نصف النهار نقطه P و نصف النهار صفر، طول (λ) می‌باشد.

در محاسبات ژئودتیک که دقت محاسبه کمتری مورد نیاز است، ممکن است شبه کره را با یک کره، بعنوان شکل زمین با دقت کمتر، جایگزین کرد. شعاع چنین کره‌ای که دارای حجم (جرم) مساوی شبه کره باشد، از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$R = a\sqrt[3]{1 - f} \quad (۸-۱۲)$$

۳-۵. مختصات نجومی^۱ - سطح مبنای مرسوم در مختصات نجومی، شکل زمین-گون^۲ (ژئوئید) است. قبل از تشریح شکل زمین گون، سطح هم پتانسیل^۳ تعریف می شود. سطح هم پتانسیل: پتانسیل ثقل^۴ زمین در نقاط مختلف واقع بر روی سطح آن، در عرضهای جغرافیایی مختلف، متفاوت است. یک سطح هم پتانسیل و یا یک سطح دارای پتانسیل برابر، عبارت از سطحی است که پتانسیل ثقل زمین در تمام نقاط واقع بر آن برابر باشند. یک تغییر در پتانسیل، برابر با کار صورت گرفته از انتقال یک واحد جرم از یک سطح هم پتانسیل به یک سطح دیگر است. سطح هم پتانسیل در همه جا عمود بر امتداد شاقولی^۵ و جهت ثقل^۶ زمین است. سطح هم پتانسیل را سطح ژئو پتانسیل^۷ و یا ژئوپ^۸ نیز می نامند.

پتانسیل قابل مقایسه با ارتفاع است. بنابراین سطح ژئو پتانسیل، سطحی است که تمام نقاط واقع بر روی آن دارای نیروی ثقل^۹ برابر است. نیروی ثقل در قطبها، بیشتر از استواست. لذا چنانکه دو سطح، هم پتانسیل در نظر گرفته شوند، فاصله آنها در قطبها، بهم نزدیکتر از فاصله آنها در استواست، شکل (۹-۸).



شکل (۹-۸) - سطح هم پتانسیل.

- | | | |
|---------------------------|---------------|--------------------------|
| 1. Astronomic Coordinates | 2. Geoid | 3. Equipotential Surface |
| 4. Gravity Potential | 5. Plumb Line | 6. Direction of Gravity |
| 7. Geopotential Surface | 8. Geop | 9. Force of Gravity |

نیروی ثقل زمین، بعلت تغییر جرم زمین، از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر تغییر می‌کند، چه، در جاهای کوهستانی جرم بیشتری نسبت به جرم موجود در دریاها نهفته است. بنابراین شکل سطح پتانسیل، بستگی به تقسیم نامنظم جرم در داخل زمین دارد و در نتیجه، نمی‌شود آن را با یک فرمول ریاضی بسته^۱ مانند سطح یک شبه کره، نمایاند. لذا در معنای مرسوم آن، سطح هم‌پتانسیل یک سطح ریاضی نمی‌باشد و بلکه یک سطح فیزیکی است.

شکل زمین گون (ژئوئید): شکل زمین گون، سطحی است که تقریباً منطبق بر سطح متوسط آب آرام اقیانوسهاست. بنابراین چنانکه سطح آب اقیانوسها را توسط کانالهایی بر روی زمین، به همدیگر متصل کنیم، سطح آب آنها بر سطح ژئوئید قرار خواهد گرفت.

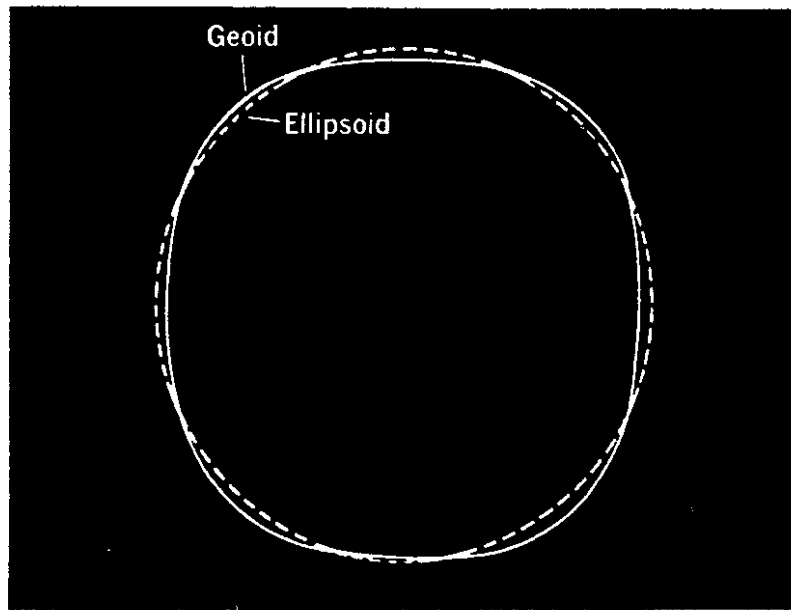
نیروی ثقل، مجموعه پتانسیل گرانشی^۲ (جذب) و پتانسیل نیروی گریز از مرکز^۳ است. بنابراین چنانکه دقیقتر بگوئیم، سطح هم‌پتانسیل، سطحی است که در آن نیروی ثقل و چرخش زمین، در توازن‌اند. و شکل زمین گون، آن سطح هم‌پتانسیل از میدان ثقل^۴ زمین است که بهتر از همه سطوح دیگر بر سطح متوسط آب اقیانوسها منطبق می‌شود.

از آنجایی که سطح متوسط آب اقیانوسها بیشتر از یک متر با چنین سطحی اختلاف ندارد، لذا شکل زمین گون را می‌توان با سطح آب آرام اقیانوسها متصور ساخت، اگر می‌شد آب آنها را از زیر قاره‌ها به هم متصل کرد. چنین سطحی دارای این خاصیت است که در همه جای آن امتداد عمودی (امتداد جاذبه^۵) بر سطح آن عمود است.

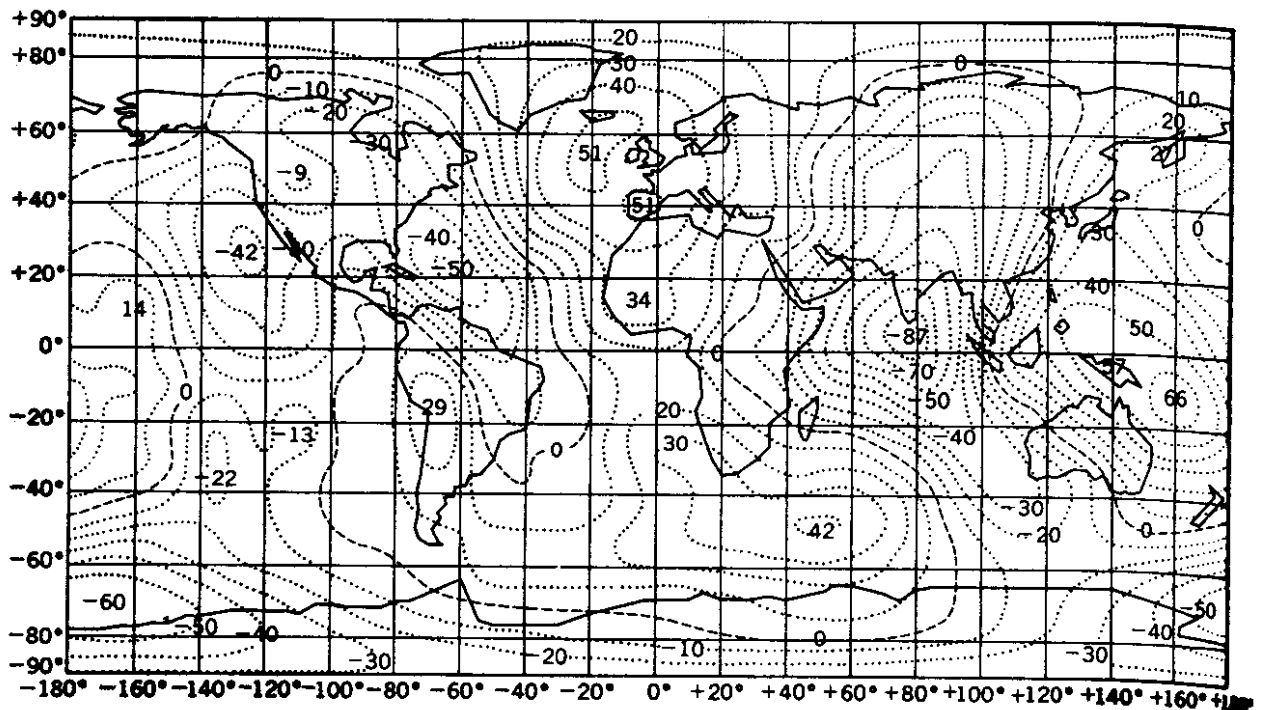
شکل زمین گون در علم ژئودزی دارای اهمیت اساسی است. از نظر ریاضی، دارای شکل ویژه‌ای است، چه سطح آن، مطابق تغییرات جرم در زمین، تغییر می‌کند، و سطح آن بیشتر از ۱۰۰ متر بطرف بالا و یا پایین نسبت به سطح بهترین شبه کره منطبق شده، تغییر نمی‌کند، شکل (۸-۱۰).

در شکل (۸-۱۱)، منحنیهای تراز ارتفاعات ژئوئید نسبت به سطح بهترین شبه کره منطبق شده، نمایانده شده است، این نقشه، براساس اطلاعات بدست آمده از

- | | |
|--|---------------------------------------|
| 1. Closed Mathematical Formula | 2. Cravitational Attraction Potential |
| 3. Potential of Centrifugal Force | 4. Gravity Field |
| 5. The Direction of Gravitational Pull | |



شکل (۸-۱۰) - مقایسه شکل زمین گون (ژئوئید) با بیضوی



شکل (۸-۱۱) - منحنیهای تراز اختلاف ارتفاع سطح ژئوئید نسبت به سطح شبه کره منطبق شده بر سطح زمین.

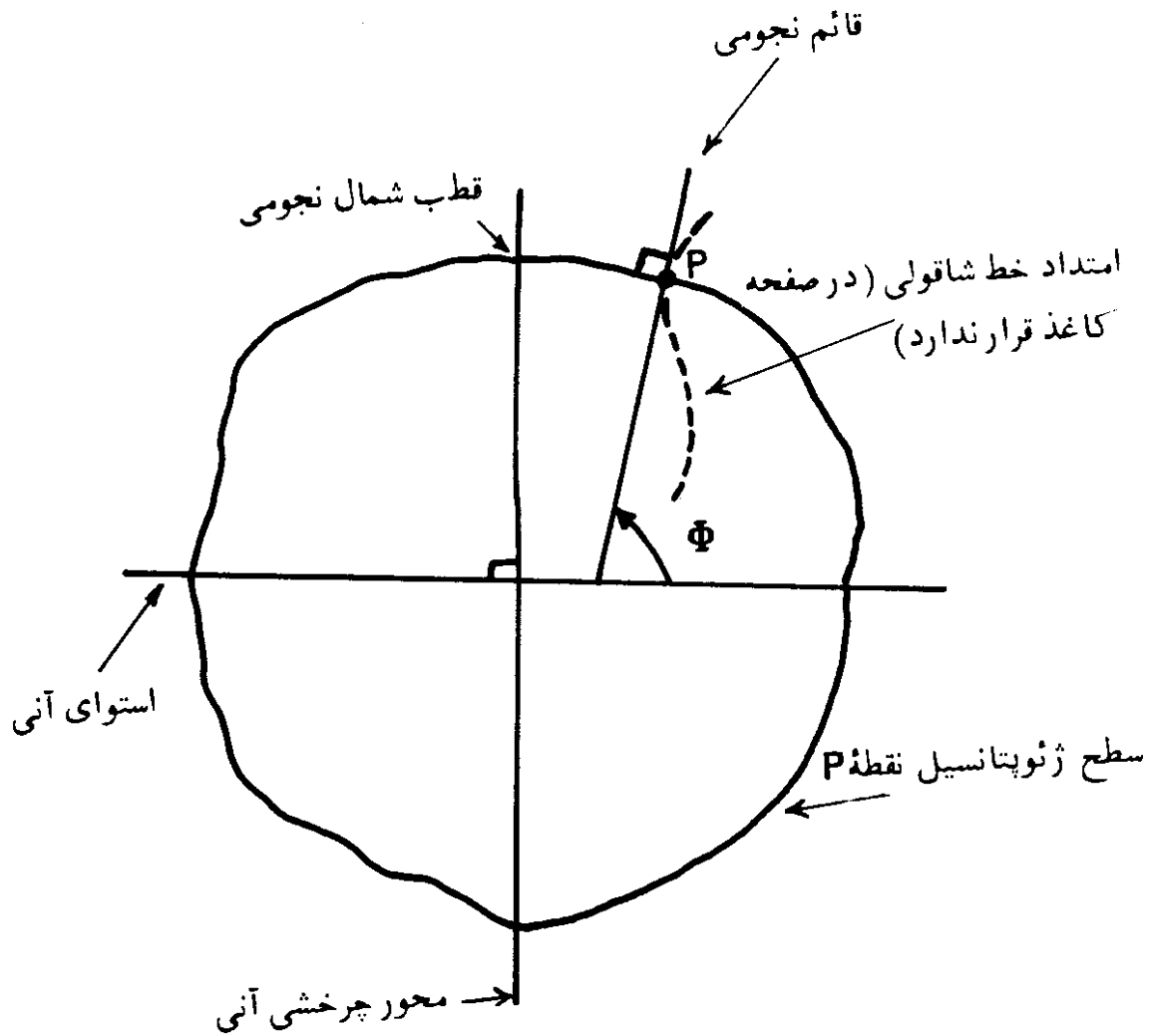
قمرهای مصنوعی تهیه شده است.

در شرایط خاص، می‌توان شکل زمین‌گون را بصورت عددی^۱، نقطه به نقطه تعیین و نقشه آن را تهیه کرد و چنانکه جزئیات، مورد نیاز نباشد و به یک فرم کلی کفایت شود، می‌توان آن را بصورت تحلیلی^۲ مشخص ساخت. معادله‌ای که چنین فرم کلی شکل زمین‌گون را مشخص می‌کند، دارای ۲۰۰ جمله^۳ است. در ژئودزی شکل زمین‌گون را بعنوان شکل تقریبی زمین با تقریب اول^۴ و یا شکل تئوری زمین بکار می‌برند.

تعیین ارتفاع h که در دستگاه مختصات ژئودتیک بیان شد بسادگی قابل تعیین نیست و بجای آن ارتفاع نقطه، از سطح ژئوئید با عمل تراز کردن تعیین می‌گردد. **سطح مبنای نجومی^۵**: بطور کلی سطح مبنای مختصات نجومی^۶ یک نقطه، سطح هم‌پتانسیل آن نقطه است. مهمترین خواص یک سطح هم‌پتانسیل که از همدیگر نتیجه‌گیری شده‌اند، عبارت است از اینکه پتانسیل ثقل^۷ بر روی آن ثابت بوده و امتداد خط نیرو^۸ (امتداد خط شاقولی) در همه جا بر سطح آن عمود می‌باشد. مماس بر خط شاقولی^۹، بر جهت ثقل^۱ منطبق است. سطح هم‌پتانسیل، یک سطح صاف و پیوسته است. اما انحناى آن دارای عدم پیوستگی است و این عدم پیوستگی وقتی ایجاد می‌شود که وزن مخصوص جرم قطع شده، توسط سطح تغییر کند. امتداد خط شاقول دارای همان خواص است. بنابراین خط شاقولی، یک منحنی صاف سه بعدی است که دارای هیچگونه بریدگی نیست اما انحناى آن دارای پیوستگی نمی‌باشد، و عدم پیوستگی انحنا، زمانی صورت می‌گیرد که وزن مخصوص جرمی که توسط خط شاقولی قطع می‌شود، تغییر کند.

شکل (۸-۱۲)، مقطعی از یک سطح هم‌پتانسیل است که مماس بر خط شاقولی، در نقطه اختیاری P ، در آن قرار گرفته است و خود خط شاقولی، در آن قرار ندارد. خط افقی واقع در مرکز آن، محل تقاطع مقطع سطح هم‌پتانسیل با سطح استوای آن^{۱۱} است، که سطح استوای آنی، سطح عمود بر محور چرخشی آنی^{۱۲} است. خط مماس بر خط شاقولی در نقطه P ، قائم نجومی^{۱۳} نامیده می‌شود. زاویه Φ ، زاویه بین

- | | | | |
|---------------------------------|---------------------------|------------------------------------|------------------------|
| 1. Numerically | 2. Analytically | 3. Term | 4. First Approximation |
| 5. Astronomic Reference Surface | 6. Astronomic Coordinates | | |
| 7. Potential of Gravity | 8. Line of Force | 9. Tangent to the Plumb Line | |
| 10. Direction of Gravity | 11. Instantaneous Equator | 12. Instantaneous Axis of Rotation | 13. Astronomic Normal |



شکل (۸-۱۲) - سطح ژئوپتانسیل.

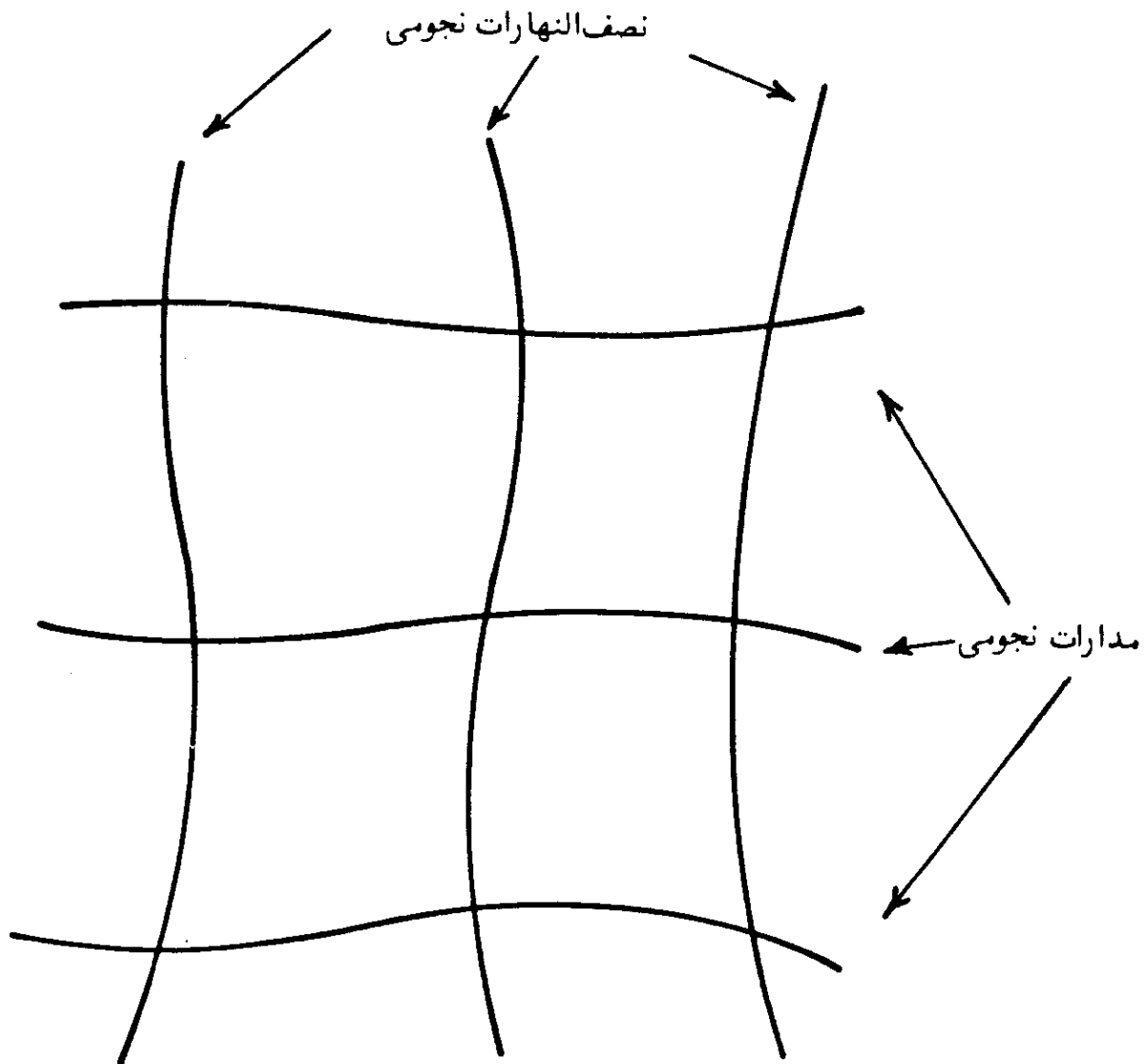
قائم نجومی و صفحه استوای آبی، عرض نجومی^۱ نقطه P است. اندازه آن می تواند از صفر تا ۹۰ درجه تغییر کند که در نیمه شمالی سطح هم پتانسیل، علامت آن مثبت و در نیمه جنوبی، علامت آن منفی است.

صفحه ای که بموازات محور چرخشی آبی زمین، از قائم نجومی می گذرد، صفحه نصف النهار نجومی^۲ نامیده می شود. در اینجا صفحه نصف النهار، نمی تواند بصورتی که قبلاً تعریف شد (صفحه ای که هم از قائم و هم از محور چرخشی می گذرد) تعریف شود، زیرا قائم نجومی لزوماً محور چرخشی را قطع نمی کند. زاویه Λ (لاندا بزرگ^۳)، زاویه بین صفحه یک نصف النهار نجومی مشخص شده صفر درجه (مبنا) و صفحه نصف النهار نجومی در نقطه P، طول نجومی^۴ نقطه P نامیده می شود. اندازه آن از صفر

- 1.) Astronomic Latitude
2. Astronomic meridian plane
- 3.) Capital Lambda
4. Astronomic Longitude

تا ۳۶۰ درجه بطرف مغرب، تعیین می‌گردد. نقاط دارای عرض نجومی برابر، بر روی یک مدار نجومی^۱ قرار می‌گیرند. همچنین نقاط واقع بر روی یک نصف‌النهار نجومی^۲، دارای طول نجومی برابرند. منحنیهای مدارات و نصف‌النهارات نجومی نه دایره‌ای (حالت کره) و نه بیضی (حالت شبه کره) شکل اند بلکه منحنیهای فضائی^۳ اند، شکل (۸-۱۳).

قطبهای نجومی^۴، محل برخورد محور چرخشی آنی زمین با سطح هم‌پتانسیل است که یکی از آنها قطب شمال نجومی^۵ و دیگری قطب جنوب نجومی^۶ است. با توجه به تعریف عرض نجومی، لزوماً عرض نجومی در قطبهای نجومی برابر $90^\circ \pm$ نیست



شکل (۸-۱۳) — مدارات و نصف‌النهارات نجومی.

- | | | |
|------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1. Astronomic parallel | 2. Astronomic Meridian | 3. Space Curve |
| 4. Astronomic Poles | 5. North Astronomic pole | 6. South Astronomic Pole |

و عرض نجومی در نقطه‌ای غیر از قطبهای نجومی، می‌تواند $90^\circ \pm$ باشد. این مطلب بستگی به شکل سطح هم‌پتانسیل و یا چگونگی پخش جرم دارد.

صفحه عمود بر قائم نجومی نقطه p ، در نقطه p ، افق نجومی^۱ آنست. صفحاتی که از قائم نجومی نقطه p می‌گذرند، صفحات قائم نجومی^۲ نقطه p نامیده می‌شوند.

چنانکه نقطه‌ای مانند Q ، جدا از نقطه p را در نظر بگیریم، زاویه بین صفحه نصف‌النهار نجومی نقطه p با صفحه قائم نجومی نقطه p که از نقطه Q بگذرد و در صفحه افق نجومی نقطه p در نظر گرفته شود، سمت نجومی^۳ نقطه Q نامیده می‌شود. سمت نجومی از قسمت شمالی نصف‌النهار نجومی در جهت عقربه‌های ساعت اندازه‌گیری شده و از صفر تا 360° درجه متغیر است.

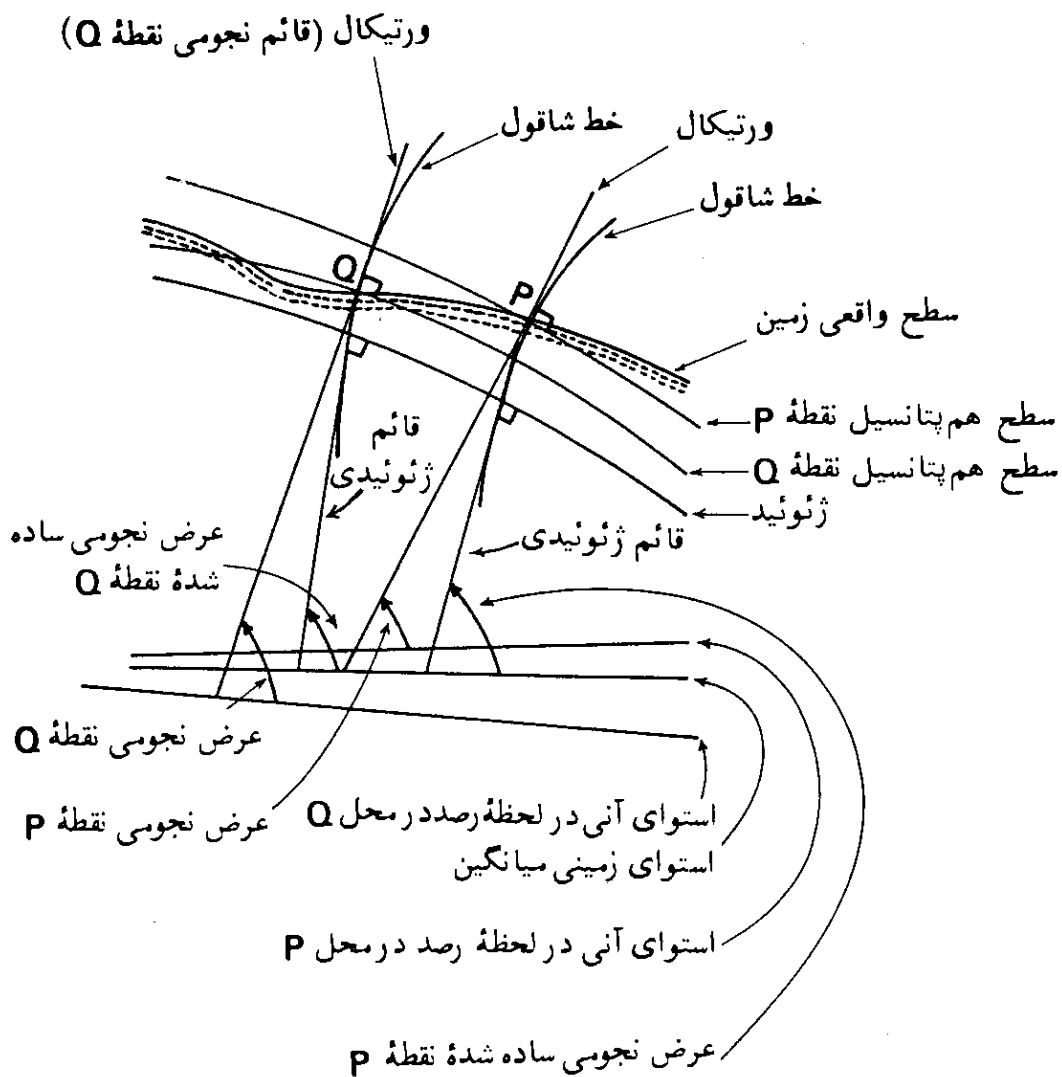
در عمل، سطح هم‌پتانسیلی که دستگاه نجومی مذکور در فوق، غالباً نسبت به آن سنجیده می‌شود، آن سطحی است که از نقطه رصد بر روی زمین گذر می‌کند. در چنین حالتی پارامترهای مختلف نجومی، از قبیل عرض، طول، سمت، قطبها و غیره دارای پسوند مشاهده شده^۴ یا آنی^۵، هستند. مثلاً می‌گوییم عرض نجومی مشاهده شده^۶ یا عرض نجومی آنی^۷. لذا پارامترهای نجومی مشاهده شده و یا آنی همگی نسبت به سطح هم‌پتانسیلی که از نقطه رصد عبور می‌کند، سنجیده می‌شوند. اما به منظور سادگی ممکن است پارامترهای مختلف را فقط بعنوان مقادیر نجومی^۸ نامید. اما در زبان انگلیسی قائم نجومی و صفحه قائم نجومی وقتی که نسبت به سطح هم‌پتانسیل ناظر در نظر گرفته شوند بصورت دیگری هم بیان می‌شوند؛ قائم نجومی به نام ورتیکال^۹ و صفحه قائم نجومی به نام صفحه ورتیکال^{۱۰} معروفند. بنابراین وقتی که گفته می‌شود عرض نجومی، منظور زاویه بین ورتیکال ناظر و صفحه استوای آنی است.

چنانکه آشکار است، تعریف مقادیر نجومی، بصورتی که گذشت خالی از اشکال نیست. از آنجایی که نقاط مختلف رصد لزوماً بر روی یک سطح هم‌پتانسیل قرار ندارند، لذا رصدهای انجام شده، در جاهای مختلف، نسبت به سطحهای مختلف مبنای نظر گرفته می‌شوند و در نتیجه، مدارات و نصف‌النهارات نجومی معنی خود را از دست می‌دهند. همچنین وضعیت محور چرخشی زمین نسبت به جسم سخت^{۱۱} زمین متغیر است (حرکت

- | | | | |
|---------------------------------|--------------------------------------|--------------------|----------------|
| 1. Astronomic Horizon | 2. Astronomic Normal Planes | | |
| 3. Astronomic Azimuth | 4. Observed | 5. Instantaneous | |
| 6. Observed Astronomic Latitude | 7. Instantaneous Astronomic Latitude | | |
| 8. Astronomic Quantities | 9. Vertical | 10. Vertical Plane | 11. Solid Body |

قطبی^۱، و از آنجایی که رصدها محتملا همزمان انجام نمی‌شوند، لذا آنها نسبت به محورهای چرخشی آنی^۲ مختلف و استوای آنی^۲ متعدد در نظر گرفته می‌شوند، شکل (۸-۱۴).

برای رفع این اشکال، مقادیر نجومی را ممکن است نسبت به سطح ژئوئید، که یک سطح مشترک برای همه رصد کنندگان است، و نسبت به یک محور چرخشی (مبنای) میانگین^۴ و بالاخره نسبت به استوای مربوط به این محور چرخشی، بر روی زمین، در نظر گرفت. در این حالت مقادیر نجومی، به نام مقادیر عادی^۵، مقادیر ساده شده^۶ و یا مقادیر میانگین^۷ نامیده می‌شوند. بنابراین عرض نجومی ساده شده^۸، زاویه بین قائم ژئوئیدی^۹ و استوای زمینی (مبنای) میانگین^۱ است. فرق مقادیر نجومی ساده شده^۱ با مقادیر نجومی



شکل (۸-۱۴) - عرضهای نجومی.

1. Polar Motion
2. Instantaneous Rotation Axes
3. Instantaneous Equators
4. Average (Reference) Rotation Axis
5. Ordinary
6. Reduce
7. Average
8. Reduced Astronomic Latitude
9. Geoidal Normal
10. Average Terrestrial (Reference) Equator
11. Reduced Astronomic Quantities

مربوط، در تصحیح لازم برای حرکت قطبی و انحناى خط شاقولى^۱ است. مختصات نجومى مرسوم عبارت است از عرض نجومى ساده شده Φ^2 ، طول نجومى ساده شده Λ^3 و ارتفاع^۴ ناظر از سطح ژئوئید در امتداد خط شاقول (H) که این ارتفاع، ارتفاع ارتومتریک^۵ نامیده می شود. مقادیر Φ ، Λ و H ، وضعیت ناظر را نسبت به سطح زمین گون (ژئوئید) و محور چرخشى میانگین زمین^۶، تعیین می کنند. در این بخش روابط بین دستگاه های مبنای ژئودتیک مختلف داده نشده است. در حقیقت مطالب این بخش، فقط به منظور فهم بخش نهم است، که در آن یک برنامه تحقیقات بین المللی، در مورد تعیین دقیق قبله با نگرشی نو، مطرح می شود.

1. Curvature of Plumb Line
2. Reduced Astronomic Latitude
3. Reduced Astronomic Longitude
4. Height
5. Orthometric Height
6. The Average Rotation Axis of the Earth

یک برنامه تحقیقاتی بین‌المللی در مورد تعیین همزمان قبله در دنیا

در فصل هشتم، چگونگی شکل زمین را مطالعه کردیم. همچنین چگونگی تعیین جهت قبله را در تاریخهای تقریبی هشتم خرداد (بیست و نهم ماه مه) و بیست و پنجم تیرماه (شانزدهم ژوئیه)، از راه تعیین جهت سایه یک‌شی قائم، در بخش (۵-۵) فصل پنجم، دیدیم. امکان دارد که این روش را بتوان در سطح بین‌المللی بکار گرفت و چنانکه توضیح داده شده است، می‌بایست لحظه قرارگرفتن خورشید در سمت الرأس مکه، برحسب زمان استاندارد، در محل مربوط، محاسبه گردد.

امروزه سیگنالهای دقیق وقت، توسط ایستگاههای قوی رادیویی، در کشورهای مختلف، مطابق اوقات استاندارد آنها، پخش می‌شود. بنابراین امکان پخش همزمان لحظه قرارگیری خورشید در سمت الرأس مکه معظمه، از طریق ایستگاههای رادیویی در کشورهای مختلف، وجود دارد. لذا با پخش همزمان لحظه قرارگیری خورشید در سمت الرأس مکه معظمه، هر کس قادر خواهد بود امتداد جهت قبله را از راه تعیین سایه نخ یک‌شاقول، بدست آورد.

اما قبل از بکارگیری این روش در سطح بین‌المللی، می‌بایست نکاتی چند را مورد تحقیق قرار داد.

در این فصل، پارامترهای متعددی که در این روش، مؤثرند مورد بررسی قرار می‌گیرد. در حین اجرای برنامه تحقیقات مورد لزوم، ممکن است اثر پارامترهای دیگری آشکار شود.

۱. اثر مختصات جغرافیایی مکه

در فصل پنجم، اثر مختصات دقیق کعبه معظمه در تعیین جهت قبله، تشریح گردید. همچنین چنانکه قبلاً هم گفته شده، میل خورشید کمیتی است که دائماً در حال تغییر بوده و مقادیر دقیق آن بر حسب درجه، دقیقه، ثانیه و حتی دهم ثانیه، در جداول نجومی داده می‌شود. چون میل خورشید با دقت زیادی تعیین می‌شود و در این روش عرض جغرافیایی کعبه با میل خورشید مقایسه می‌گردد، لذا تعیین دقیق عرض جغرافیایی کعبه، امری ضروری است.

همچنین در محاسبه دقیق لحظه عبور خورشید از سمت الرأس مکه، بر حسب وقت استاندارد محل دیگر، طول جغرافیایی کعبه مورد نیاز است. بنابراین در کاربرد این روش، در تعیین جهت قبله، باید مختصات جغرافیایی دقیق کعبه در دسترس باشد.

۲. امکان عبور خورشید از سمت الرأس مکه در لحظه ظهر خورشیدی

چنانکه گفته شد، اساس این روش، بر تساوی میل خورشید با عرض جغرافیایی کعبه، در لحظه دقیق ظهر ظاهری محلی، استوار است. امکان این برابری در لحظه خاص، همیشه وجود ندارد. برای فهمیدن چگونگی و میزان برابری میل خورشید و عرض جغرافیایی کعبه، لازم است مقادیر میل خورشید در سالهای گذشته، از جداول نجومی استخراج و با عرض جغرافیایی دقیق کعبه مقایسه گردد.

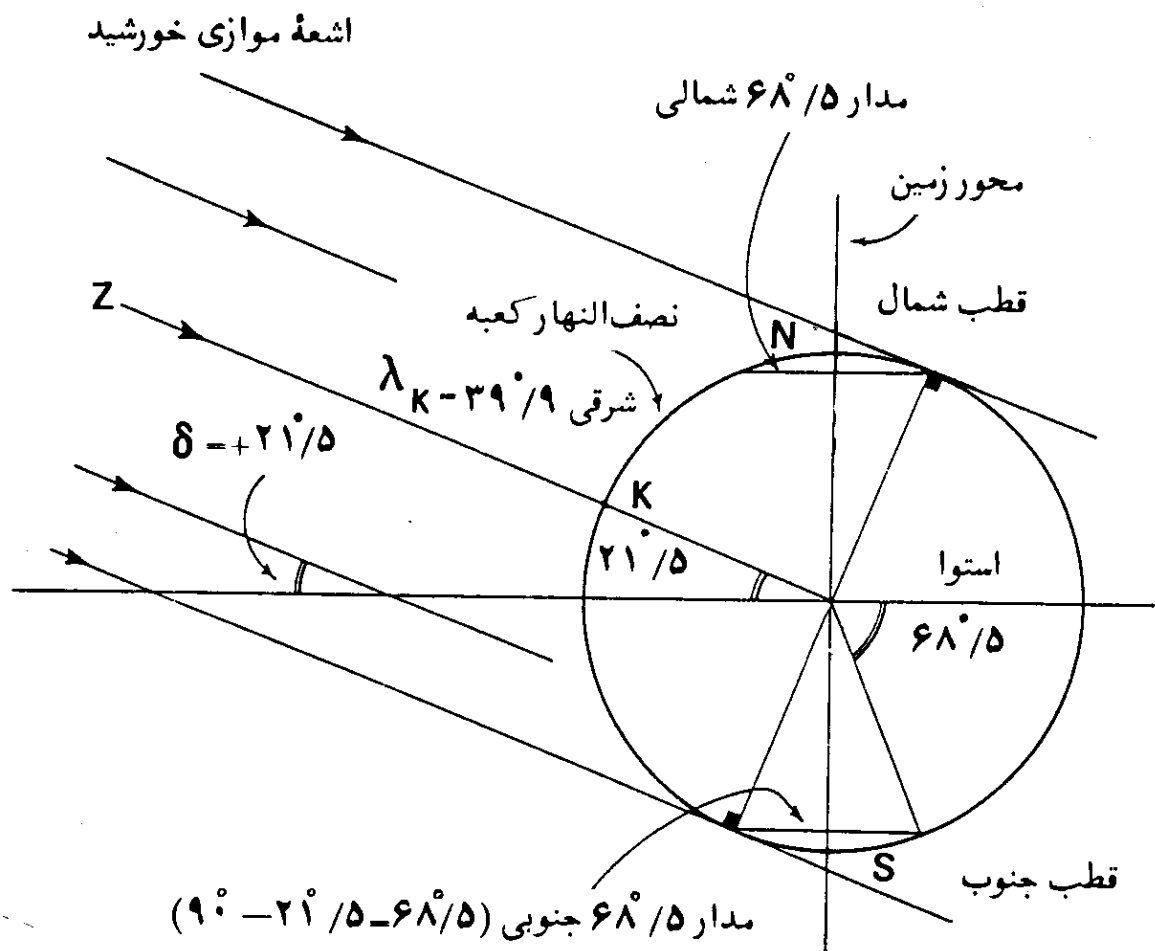
این مسئله روشن است که دوبار در سال میل خورشید در زمانهای خاص، دقیقاً با عرض جغرافیایی کعبه، برابر می‌شود. تاریخهای تقریبی برابری، با توجه به اطلاعات ارائه شده در این کتاب چنانکه ملاحظه شد، در هشتم خرداد (بیست و نهم مه) و بیست و پنجم تیر (شانزدهم ژوئیه) است. همچنین لازم می‌آید که میل خورشید در این دو روز، در لحظه ظهر خورشیدی در کعبه، تقریباً نزدیک اندازه عرض جغرافیایی کعبه باشد، اما چنانکه کاربرد روش، در سطح بین المللی، مطرح باشد، می‌بایست چگونگی و میزان برابری میل خورشید و عرض جغرافیایی کعبه تعیین گردد.

۳. مناطقی از زمین که می‌توان روش را بکار گرفت

کاربرد این روش، در هشتم خرداد (بیست‌ونهم ماه مه) و ۲۵ تیر (شانزدهم ژوئیه)، در تمام نقاط کره زمین ممکن نیست، چه، در لحظه ظهر ظاهری در کعبه، فقط تقریباً نصف کره زمین در روشنایی روز قرار می‌گیرد و خورشید قابل رؤیت است و در نیمه دیگر، شب است و بنابراین این روش نمی‌تواند کاربرد داشته باشد.

چنانکه از شکست نور توسط اتمسفر زمین صرف‌نظر کنیم، زمانی که خورشید در سمت الرأس کعبه قرار می‌گیرد ($\delta \approx 21^\circ/5$)، در مناطقی از کره زمین که در جنوب مدار $68^\circ/5$ جنوبی ($\varphi = 90^\circ - 21^\circ/5 - 68^\circ/5$) واقع‌اند، خورشید در آسمان دیده نمی‌شود (شب‌های طولانی مناطق قطبی).

لذا وقتی که روش، در تاریخهای ذکر شده بکار گرفته شود، فقط در نواحی شمالی مدار $68^\circ/5$ جنوبی کاربرد خواهد داشت، شکل (۹-۱). البته در مناطق قطبی شمالی، روز طولانی قطب در جریان است و روش، کاربرد دارد.



شکل (۹-۱) - اشعه موازی خورشید نسبت به کره زمین، وقتی که خورشید در سمت‌الرأس کعبه قرار می‌گیرد.

همچنین چنانکه طول جغرافیایی کعبه تقریباً برابر $۳۹^{\circ}/۹$ شرقی ($\lambda_K = ۳۹^{\circ}/۹E$) باشد، تقریباً مناطقی که باندازه ۹۰ درجه در مشرق و مغرب نصف النهار کعبه قرار دارند، در موقع کاربرد روش، خورشید را در آسمان خواهند داشت. پس تقریباً مناطق بین نصف النهار $۵۰^{\circ}/۱$ غربی ($۵۰^{\circ}/۱ = ۳۹^{\circ}/۹ - ۹۰^{\circ}$) و $۱۲۹^{\circ}/۹$ شرقی ($۱۲۹^{\circ}/۹ = ۳۹^{\circ}/۹ + ۹۰^{\circ}$)، در زمانی که خورشید در سمت الرأس کعبه قرار دارد، آن را در آسمان خواهند دید. البته حدود این دونصف النهار برای نواحی استوایی است و مناطق مربوط، در نیمکره شمالی، در مشرق نصف النهار $۱۲۹^{\circ}/۹$ شرقی و در مغرب نصف النهار $۵۰^{\circ}/۱$ غربی نیز ادامه خواهد داشت و از وسعت مناطق مربوط، در نیمکره جنوبی، بطرف مغرب نصف النهار $۱۲۹^{\circ}/۹$ شرقی و بجانب مشرق نصف النهار $۵۰^{\circ}/۱$ غربی، کاسته خواهد شد. در پاره‌ای از مناطق، خورشید در لحظه قرارگیری در سمت الرأس کعبه، در حال طلوع و یا غروب خواهد بود. در ادامه مطلب، در این بخش، راجع به مناطق تحت پوشش روش، بیشتر بحث خواهد شد.

بنابراین وقتی که روش، در تاریخهای ذکر شده بکار رود، بیشتر مناطق نیمکره شرقی^۱ را دربر خواهد داشت. تقریباً این مناطق از طرف مغرب شامل: گرین‌لند^۲، منطقه شرقی برزیل^۳، تمام قاره‌های اروپا و آفریقا، و از طرف مشرق، بیشتر قاره آسیا تا مناطق شرقی شوروی، چین، ژاپن و بیشتر مناطق اندونزی و مناطق غربی استرالیا را شامل خواهد شد. روش، در تاریخهای مربوط، در بیشتر مناطق نیمکره غربی، از قبیل: آمریکا، کانادا، منطقه شرقی استرالیا، نیوزلند و اغلب مناطق آمریکای جنوبی، بجز مناطق شرقی برزیل، کاربرد نخواهد داشت.

اما اساس روش را، در تاریخهای دیگر، در نیمکره غربی هم می‌توان بکار گرفت و چنانکه تشریح خواهد شد، آن، وقتی است که خورشید در سمت‌القدم کعبه قرار گیرد. در حقیقت کاربرد این روش در نیمکره غربی، برای اولین بار است که در این کتاب بیان می‌گردد و قبلاً در سایر منابع، راجع به کاربرد روش در تاریخهای دیگر، در نیمکره غربی، در حد اطلاع نگارنده، مطلبی نیامده است.

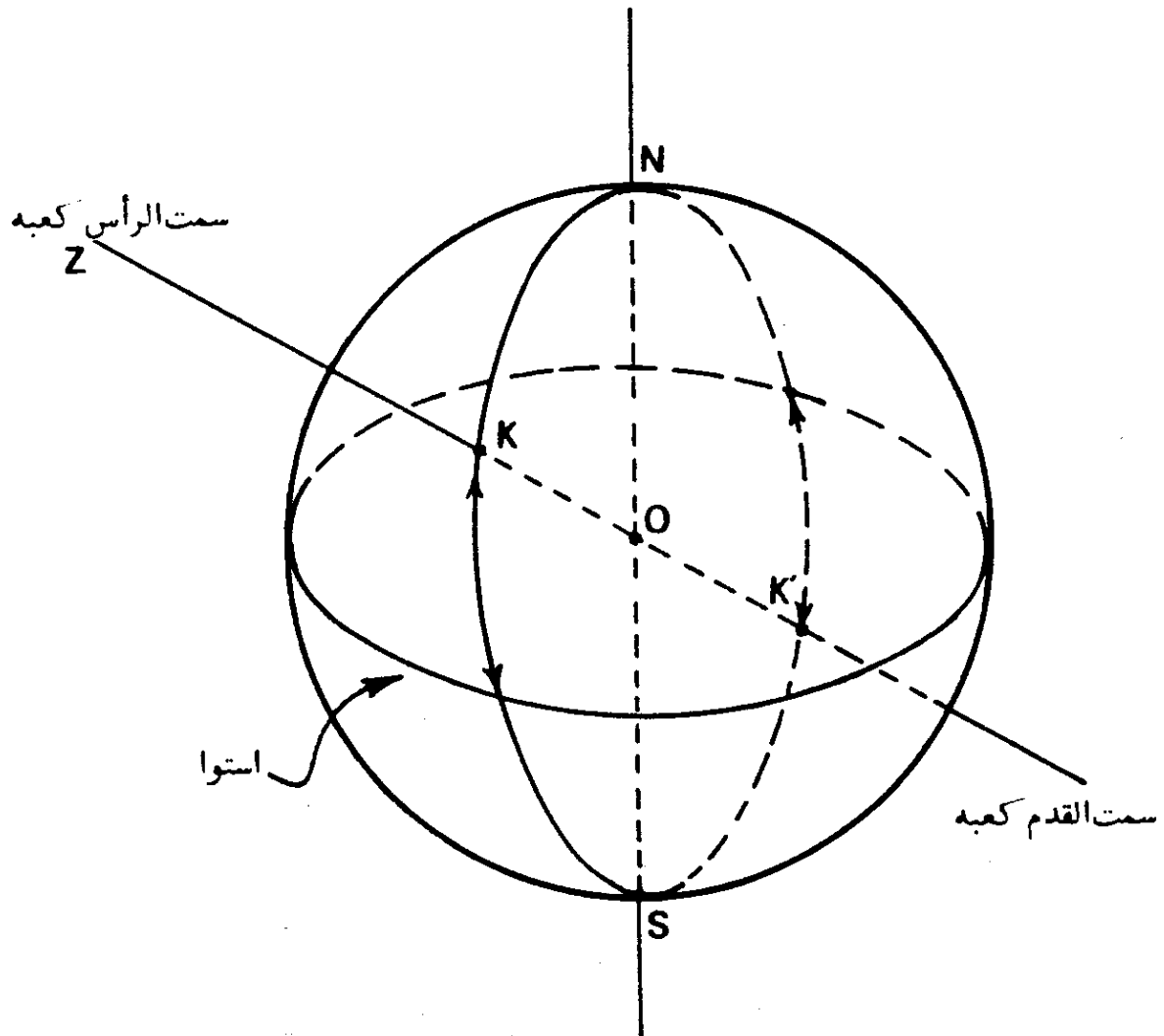
اساس روش، در نیمکره غربی، همانست که برای کاربرد روش در نیمکره شرقی بیان شده است. بر روی یک کره، کوتاهترین فاصله مابین دو نقطه، در امتداد کمانی از دایره عظیمه‌ای است که از دو نقطه می‌گذرد و چنانکه دیدیم، جهت قبله در هر

نقطه‌ای در امتداد کمانی از دایره عظیمه‌ای است که از آن نقطه و کعبه می‌گذرد، البته در صورتیکه زمین را به شکل کره کاملی فرض کنیم، قطری از کره زمین که از کعبه می‌گذرد، همیشه در صفحه دایره عظیمه مربوطه قرار خواهد داشت؛ این بدان معنی است که دایره عظیمه همیشه از نقطه متقابل کعبه بر روی زمین خواهد گذشت، شکل (۹-۲). مختصات جغرافیایی نقطه متقابل کعبه بر روی زمین، با فرض کره‌ی شکل بودن زمین، به شرح زیر است:

$$\varphi_{K'} = 21^{\circ} 30' \text{ جنوبی}$$

$$\lambda_{K'} = 140^{\circ} 6' \text{ غربی}$$

این مختصات، مربوط به محلی در جنوب شرقی جزیره تاهیتی^۱ در میان سلسله کوهها و تپه‌های تواموتو^۲ واقع در اقیانوس آرام^۳ است. هر دایره عظیمه‌ای که از



شکل (۹-۲) - نقطه متقابل کعبه بر روی زمین. نقطه K و کعبه در نقطه K بر روی یک قطر قرار دارند و وقتی که خورشید در سمت‌القدم کعبه (در نقطه K) است، در نقطه K در سمت‌الرأس خواهد بود.

1. Tahiti Island 2.) Tuamotu Ridge 3. Pacific Ocean

این نقطه بگذرد، از نقطه متقابل آن، یعنی کعبه خواهد گذشت، البته در صورتیکه زمین به شکل کره کامل فرض شود. این مطلب قبلاً هم در فصل پنجم در بخش (۱-۷-۵) نیز بیان شده است. و دیدیم که در این نقطه به هرسویی که ناظری بایستد، جهت او به سوی قبله خواهد بود. اما در اینجا، این نکته مورد توجه نیست و منظور تعیین امتداد قبله از روی امتداد سایه یک میله قائم در نیمکره غربی است. نقطه متقابل کعبه را که شرح آن گذشت، می توان به منظور تعیین امتداد قبله، در بیشتر مناطق نیمکره غربی و یا مناطقی که امکان کاربرد روش در آنها، در تاریخهای تقریبی هشتم خرداد (بیست و نهم ماه مه) و بیست و پنجم تیر ماه (شانزدهم ژوئیه) ممکن نیست، بکار گرفت.

دوباره به جدول (۱-۶) در فصل ششم نظری می افکنیم، دیده می شود که میل خورشید در چهاردهم ماه ژانویه (بیست و چهارم دیماه در ۱۳۶۴) برابر $\delta = -21^{\circ} 27'$ ، و درسی ام نوامبر (نهم آذرماه در ۱۳۶۴) برابر $\delta = -21^{\circ} 33'$ است. این بدان معنی است که دوبار در سال، میل خورشید تقریباً برابر عرض جغرافیایی نقطه متقابل کعبه بر روی زمین (جنوبی $\phi_K' = 21^{\circ} 30'$) می شود؛ و یا بعبارت دیگر، دوبار در سال در این تاریخها، خورشید در سمت الرأس نقطه متقابل کعبه قرار خواهد گرفت. وقتی که خورشید در سمت الرأس نقطه متقابل کعبه قرار گیرد، در حقیقت در سمت القدم کعبه قرار دارد. بنابراین دوبار در سال، در نهم آذرماه و بیست و چهارم دیماه خورشید در سمت القدم کعبه قرار دارد، که یک بار زمانی که خورشید از اعتدال پاییزی (در اول پاییز) بسوی انقلاب زمستانی (در اول زمستان) می رود، و بار دیگر وقتی است که دوباره از انقلاب زمستانی، بسوی اعتدال بهاری برمی گردد.

چنانکه در این دو تاریخ و در لحظه های معین، امتداد سایه نخ یک شاقول و یا یک میله قائم را تعیین کنیم، امتداد سایه، در جهت قبله خواهد بود. دلیل این کار همانست که در فصل پنجم داده شده است و تنها فرق موجود در این حالت اینست که برخلاف حالت قبلی که امتداد سایه، در جهت مخالف امتداد آن، بسوی قبله قرار می گرفت، خود امتداد سایه در جهت قبله قرار خواهد داشت.

تعیین زمان عبور خورشید از سمت القدم کعبه و یا سمت الرأس نقطه متقابل کعبه، نیز مانند حالت قبلی است. چگونگی محاسبه زمان مربوط، در طی مثالهای بعدی می آید.

مثال (۹-۱) — محاسبه کنید که خورشید در چه زمانی به وقت مونترال^۱ در کانادا، در تاریخهای چهاردهم ژانویه و سی ام نوامبر، از سمت القدم کعبه عبور می کند.
 راه حل — نصف النهار استاندارد وقت استاندارد در مونترال ۱۰۵ درجه غربی است و بنابراین نصف النهار نقطه متقابل کعبه (غربی ۱۴۰° / ۱) در مغرب آن قرار داشته و در نتیجه علامت LA در فرمول (۳-۱) منفی است، پس در چهاردهم ژانویه خواهیم داشت:

$$LAT = ST + EOT - LA$$

$$۱۲ = ST - ۸/۸ - ۴ \times (۱۴۰^\circ / ۱ - ۱۰۵^\circ)$$

بعد از ظهر ۲۹/۲ دقیقه و ۲ ساعت = ST

در نتیجه، بدون در نظر داشتن تغییر ساعت، به منظور استفاده بیشتر از روشنایی روز، در چهاردهم ژانویه، زمانی خورشید به وقت استاندارد مونترال، در سمت القدم کعبه قرار خواهد گرفت، که ساعت ۲ و ۲۹/۲ دقیقه بعد از ظهر است، و این وقتی است که در این تاریخ می توان جهت قبله را از روی امتداد سایه یک میله قائم تعیین کرد. برای سی ام نوامبر خواهیم داشت:

$$۱۲ = ST + ۱۱/۵۵ - ۴ \times (۱۴۰^\circ / ۱ - ۱۰۵^\circ)$$

بعد از ظهر ۸/۸۵ دقیقه و ۲ ساعت = ST

زمان تقریبی قرار گرفتن خورشید در سمت القدم کعبه را نیز می توان به وقت گرینویچ محاسبه کرد:

مثال (۹-۲) — محاسبه کنید که در چه وقتی به وقت گرینویچ، خورشید در روزهای چهاردهم ژانویه و سی ام نوامبر، در سمت القدم کعبه قرار می گیرد.

راه حل — نصف النهار غربی ۱ / ۱۴۰° در مغرب نصف النهار گرینویچ (λ_G = ۰) است، پس در چهاردهم ژانویه خواهیم داشت:

$$۱۲ = GMT - ۸/۸ - ۴ \times (۱۴۰^\circ / ۱ - ۰^\circ)$$

بعد از ظهر ۲۹/۲ و ۹ ساعت = GMT

برای سی ام نوامبر:

$$۱۲ = GMT + ۱۱/۵۵ - ۴ \times ۱۴۰^\circ / ۱$$

بعد از ظهر ۸/۸۵ دقیقه و ۹ ساعت = GMT

به همان دلیلی که در مورد قبلی ذکر شد (شکل (۱-۹))، در این حالت، روش را می توان در بیشتر مناطق نیمکره غربی در جنوب مدار $۶۸^{\circ}/۵$ شمالی بکار گرفت. مناطقی که می توان روش را در چهاردهم ژانویه و سی ام نوامبر بکار گرفت، عبارتند از: آمریکا، کانادا، نیوزیلند، بیشتر مناطق آمریکای جنوبی بجز مناطق شرقی برزیل و مناطق شرقی استرالیا.

در ابتدای این بخش، حدود مناطقی را که امکان کاربرد روش در آنها در هشتم خردادماه و بیست و پنجم تیرماه وجود دارد، نسبت به خط استوا تعیین کردیم. در اینجا راجع به چگونگی تعیین حدود مناطق، شرح بیشتری داده می شود. چنانکه قبلاً هم اشاره شده حدود نصف النهارهای داده شده، فقط در مورد مناطق استوایی صدق می کند، زیرا طول شب و روز در آنها همیشه برابر است.

زاویه ساعتی (h) خورشید را در لحظه غروب و طلوع آن، یعنی موقعی که ارتفاع (a) آن صفر است، می توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$\cosh = -\tan\delta \tan\varphi \quad (۹-۱)$$

این همان فرمول (۱۵-۶) است که در مطلب شماره (۳۹) در فصل ششم نیز داده شده است.

بنابراین کافی است که در هر عرض جغرافیایی، در شمال و یا جنوب استوا، زاویه ساعتی طلوع و یا غروب خورشید را محاسبه کرده، آنگاه آن را به ساعت ظاهری محلی و سپس به وقت استاندارد تبدیل ساخت. پس از اعمال تصحیح لازم برای شکست نور، ساعت طلوع یا غروب خورشید را با ساعتی که خورشید در سمت الرأس کعبه قرار می گیرد، مقایسه کرد و بدینوسیله بسادگی می توان دریافت که آیا امکان کاربرد روش، در منطقه وجود دارد یا خیر؟ بعبارت دیگر، حدود منطقه کاربرد روش، تا زمانی است که وقت قرارگیری خورشید بر سمت الرأس مکه، در هر محل، بین ساعات طلوع و غروب خورشید باشد.

ممکن است در پاره ای از مناطق، ساعت طلوع و غروب خورشید برابر ساعت قرارگیری خورشید بر سمت الرأس (سمت القدم) کعبه باشد. در چنین مناطقی، خورشید بهنگام طلوع و یا غروب درست در امتداد قبله قرار می گیرد که سمت (A) خورشید بهنگام طلوع و یا غروب و در نتیجه، جهت قبله در چنین مناطقی را می توان از فرمول زیر محاسبه کرد:

$$\cos A = \frac{\sin\delta}{\cos\varphi} = \sin\delta \sec\varphi \quad (۹-۲)$$

این فرمول همان فرمول (۱۴-۶) است که در مطلب شماره (۳۹) در فصل ششم نیز داده شده است.

۴. اثر تصحیحات نجومی

تصحیحات نجومی در فصل ششم تشریح شد. اثر تصحیحات نجومی در نتیجه این روش، موضوعی است که می‌بایست مورد توجه قرار گیرد. از آنجایی که امتداد سایه نخ یک شاقول، اساس روش را تشکیل می‌دهد لذا می‌بایست اثر تصحیحات نجومی بر روی سمت، مورد بررسی قرار گیرد.

وقتی که خورشید در سمت الرأس کعبه قرار می‌گیرد، ارتفاع ظاهری خورشید ۹۰ درجه خواهد بود و با توجه به فرمول (۲۹-۶) در فصل ششم، اثر شکست نور برابر صفر می‌شود. همچنین شکست نور اثری در سمت ندارد و لذا شکست آن تغییری در امتداد سایه میله قائم یا نخ شاقول ایجاد نمی‌کند.

در حقیقت وقتی که لحظه عبور خورشید از نصف‌النهار کعبه محاسبه می‌شود، لحظه عبور برای گذر مرکز خورشید از نصف‌النهار محاسبه می‌گردد، و لذا زمانی که سایه میله قائم در این لحظه گرفته شود، تصحیح نیم‌قطر، اثری در امتداد سایه نخواهد داشت.

اختلاف منظر نیز تأثیری در سمت نداشته و در نتیجه روش اثر نخواهد داشت.

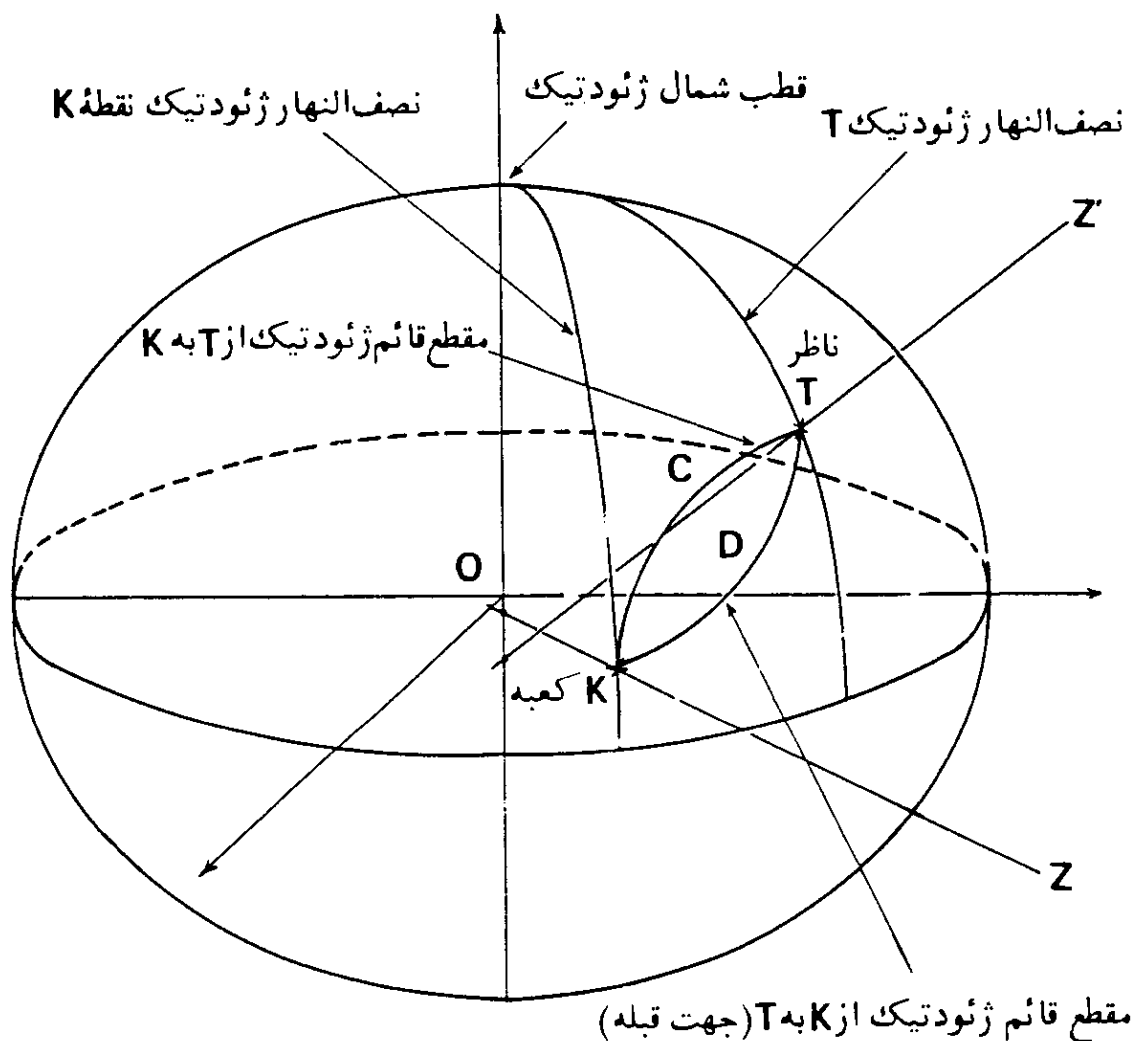
۵. اثر شکل زمین

اثر شکل زمین مهمترین مطلبی است که در اجرای این روش می‌بایست مورد رسیدگی قرار گیرد. چنانکه در فصل پنجم گفته شده است، اساس روش، بر این فرض است که زمین به شکل کره‌ای کامل باشد. در شکل (۳-۹)، زمین به شکل یک کره کامل با مرکز O فرض شده است. کعبه در نقطه K و با سمت الرأس Z نشان داده شده، که در نتیجه، خط KZ از نقطه O می‌گذرد. ناظری در نقطه T با سمت الرأس Z' ، بسوی کعبه ایستاده است که TZ' نیز از نقطه O عبور می‌کند. با فرض کره‌ی شکل بودن زمین، جهت قبله در نقطه T در امتداد کمان TK است که این کمان، قسمتی از دایره

در یک صفحه قرار می‌گیرند. لذا صفحه قائم در نقطه T ، که از نقطه K گذر کند، بر صفحه قائم در نقطه K که از T عبور کند، منطبق می‌شود. این بدان معنی است که مقطع قائم کروی نقطه T به نقطه K و مقطع قائم کروی نقطه K به نقطه T بر هم منطبق اند (کمان TK).

با فرض کروی شکل بودن زمین، چنانکه در فصل پنجم دیدیم، با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، محاسبه جهت قبله ساده است و با اشکالی مواجه نمی‌شود. اما چنانکه در فصل هشتم دیدیم، زمین به شکل کره کامل نیست و وقتی که امتداد سایه یک میله قائم یا نخ یک شاقول در نظر گرفته می‌شود، در حقیقت با شکل واقعی زمین سروکار داریم.

حال با تقریب بهتری، شکل زمین را به شکل یک شبه کره پخت (بیضوی دوار) فرض می‌کنیم. در شکل (۹-۴)، زمین، بصورت یک شبه کره با مرکز O نشان داده



شکل (۹-۴) — جهت قبله بر روی شبه کره.

شده است. کعبه در نقطه K با سمت الرأس Z نمایانده شده و ناظری در نقطه T با سمت الرأس Z' به سوی قبله ایستاده است.

در این حالت، برخلاف حالت زمین کروی شکل، قائم ژئودتیک در نقطه T (خط TZ')، قائم ژئودتیک در نقطه K (خط KZ) را قطع نمی کند، چه دو خط TZ' و KZ در یک صفحه قرار ندارند. بنابراین مقطع قائم ژئودتیک از نقطه T به نقطه K و مقطع قائم ژئودتیک از نقطه K به نقطه T برهم منطبق نیستند و در هر نقطه، دو مقطع قائم ژئودتیک موجود است (منحنیهای KCT و KDT)، وجود دو مقطع قائم ژئودتیک در نقطه T (محل ناظر) این ابهام را پیش می آورد که جهت قبله بر کدامیک از مقاطع قائم قرار می گیرد.

منحنی KDT ، فصل مشترک سطح شبه کره با صفحه قائم ژئودتیک در نقطه K است که از نقطه T می گذرد. این بدان معنی است که منحنی KDT و خط قائم ژئودتیک KZ در یک صفحه قرار دارند. همچنین منحنی KCT ، فصل مشترک سطح شبه کره با صفحه قائم ژئودتیک در نقطه T است که از نقطه K می گذرد، و این بدان معنی است که منحنی KCT و خط قائم ژئودتیک TZ' در یک صفحه قرار دارند. اما با توجه به آنچه که در مورد شکل (۳-۹) بیان شد، ناظر مستقر در T که بسوی کعبه می نگرد، خط دیدش در صفحه افقی ژئودتیک (صفحه عمود بر قائم ژئودتیک در نقطه T) قرار دارد و بعلت انحناى سطح، قادر به دیدن کعبه نیست و در صورتی که بتواند مسافتهای دوردست را ببیند، قسمت بالای قائم ژئودتیک کعبه را خواهد دید.

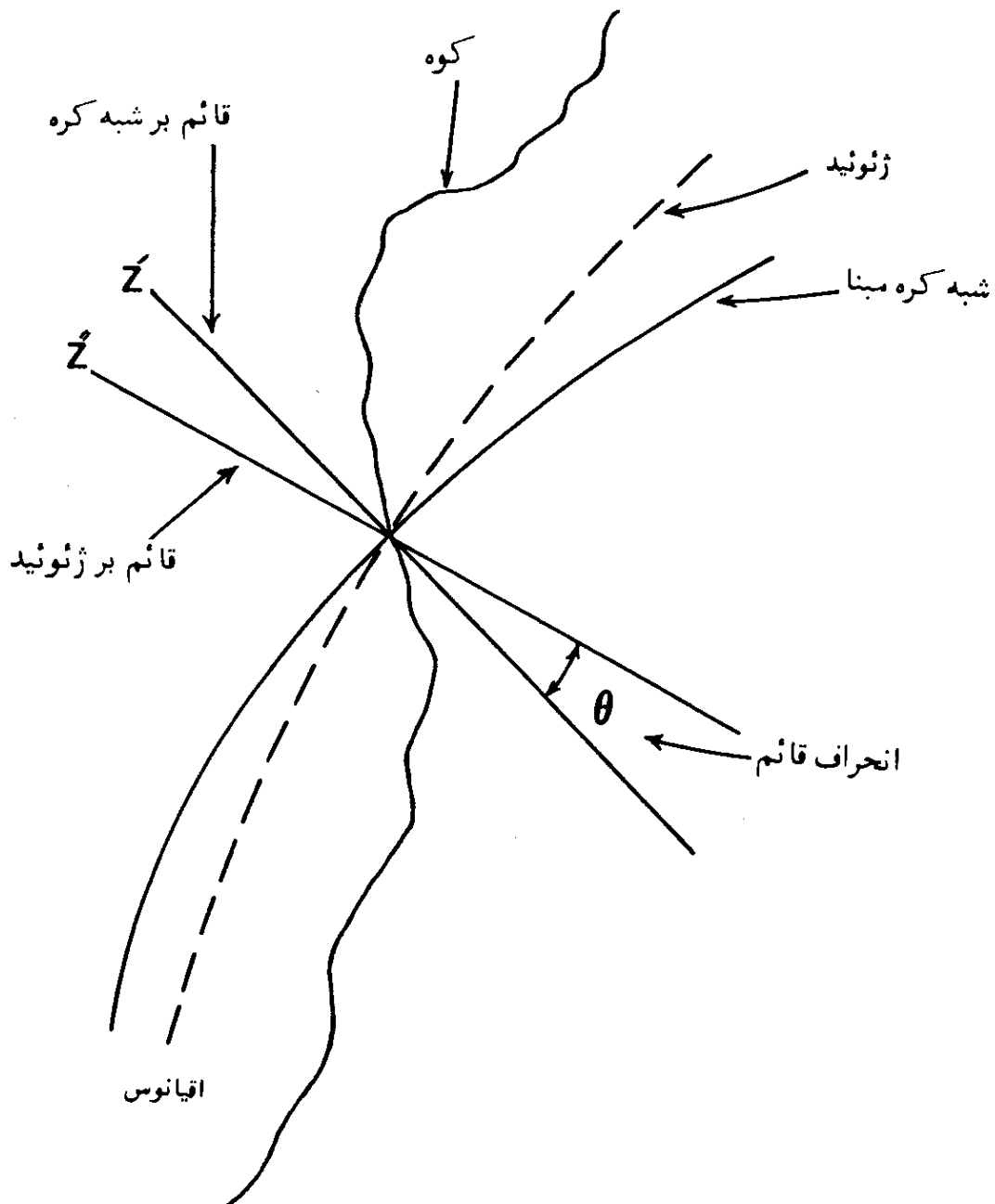
از آنجایی که ناظر از نظر ابعاد، موجود کوچکی است، لذا می توان آن را بعنوان یک نقطه، مانند T فرض کرد. لذا جهت قبله در نقطه T در امتداد منحنی KDT خواهد بود که مقطع قائم ژئودتیک کعبه از نقطه محل ناظر است. منحنی KCT را نمی توان بعنوان جهت قبله بکار برد، زیرا نمی شود خط KZ را بعنوان یک نقطه در K فرض کرد، چه، ناظر قادر به دیدن آن نیست.

حال که معلوم شد جهت قبله در امتداد منحنی KDT است، این سؤال باقی می ماند که چگونه می توان این جهت را در روش مورد نظر تعیین کرد.

صفحه قائم ژئودتیک نقطه K از T ، قائم ژئودتیک نقطه T را در بر ندارد. بنابراین، صفحه شامل منحنی KDT و خط KZ ، قائم ژئودتیک محل ناظر را در بر ندارد. در نتیجه، حتی اگر قائم ژئودتیک محل ناظر را در دست داشته باشیم، نمی توان از سایه آن برای تعیین جهت قبله در تاریخهای محاسبه شده (هشتم خرداد، بیست و

پنجم تیر، بیست و چهارم دی و نهم آذرماه) استفاده کرد. بعلاوه، قائم ژئودتیک خود یک امتداد فیزیکی معین نیست و فقط از طریق محاسبات ژئودتیکی، می توان امتداد آن را نسبت به قائم بر سطح ژئوئید، تعیین کرد.

در شکل (۹-۵)، سه سطح مربوط به سه شکل مختلف زمین نمایانده شده است. سه سطح عبارتند از: شبه کره مبنا، زمین گون (ژئوئید) و توپوگرافیک. TZ' قائم بر سطح شبه کره مبنا و TZ'' قائم بر سطح ژئوئید، رسم شده است. دو قائم رسم شده بر هم منطبق نیستند. زاویه بین قائم بر سطح ژئوئید و قائم بر سطح شبه کره مبنا، انحراف قائم θ ، نامیده می شود.



شکل (۹-۵) - انحراف قائم.

1. Reference Spheroid

2.) Topographical Surface

3. Deflection of Vertical

امتداد مناسبی که می توان در روش مورد نظر، سایه یک میله قائم را در راستای آن، برای تعیین سایه قرار داد، خطی است که از نقطه T، در شکل (۴-۹)، طوری رسم شود که در صفحه قائم ژئودتیک نقطه K از T قرار گرفته باشد. اما قرار دادن یک میله در چنین صفحه ای بسادگی ممکن نیست. در عمل، امتداد فیزیکی را که می شود در روش بکار برد، امتداد خط شاقول است.

شاقول^۱ که برای همگان شناخته شده است، وسیله ای است که برای تعیین امتداد قائم در نقشه برداری، علوم مهندسی و در عملیات ساختمانی بکار گرفته می شود. شاقول از یک نخ و یک وزنه^۲ که به انتهای نخ وصل می شود، تشکیل شده است و زمانی که وزنه توسط نخ آویزان می شود، نخ در امتداد قائم قرار می گیرد. اما وزنه شاقول بطرف مرکز ثقل^۳ زمین جذب می شود و بجانب مرکز هندسی^۴ آن جذب نمی گردد، بنابراین امتداد خط شاقول در جاهای مختلف بر روی زمین فرق می کند.

گاهی شاقول بر روی تخته باریکی نصب می شود که آن را خطکش شاقول^۵ نامند.

افق محسوس در یک نقطه، بعنوان صفحه مماس بر سطح زمین در آن نقطه و عمود بر امتداد شاقولی تعریف می گردد.

چون قرار است روش مورد نظر در سطح بین المللی بکار رود، لذا باید بهترین تقریب شکل زمین بکار گرفته شود. چنانکه در فصل هشتم بیان شد، چنین شکلی می تواند ژئوئید باشد که تقریباً بر سطح آرام آب اقیانوسها منطبق است.

اما وقتی که ناظری در ارتفاع زیادی نسبت به سطح دریا قرار دارد و یک شاقول را بکار می برد، در حقیقت او با سطح ژئوئید سروکار ندارد، بلکه سطح مورد نظر او می تواند سطح هم پتانسیل باشد و صفحه افق او افق نجومی است که بر امتداد شاقولی عمود بوده و یا بر سطح هم پتانسیل مماس است. همچنین در فصل هشتم بیان شد که وقتی قائم نجومی^۶ و صفحه قائم نجومی^۷، نسبت به سطح هم پتانسیل ناظر در نظر گرفته شوند به ترتیب ورتیکال^۸ و صفحه ورتیکال^۹ نامیده می شوند.

- | | | |
|--------------------------|----------------------------|-------------------|
| 1.) Plumb Line (Plummet) | 2. Plumb Hob | 3. Center of Mass |
| 4. Geometrical Center | 5. Plumb Rule | |
| 6. Astronomic Normal | 7. Astronomic Normal plane | 8. Vertical |
| 9. Vertical plane | | |

زاویه‌ای که خط قائم بر سطح هم‌پتانسیل (ورتیکال) کعبه با سطح استوای آنی^۱ در لحظه رصد در کعبه، می‌سازد، عرض نجومی^۲ کعبه است—شکل (۱۴-۸) در فصل هشتم—.

لحظه‌ای که خورشید درست در ورتیکال کعبه قرار می‌گیرد، می‌بایست سایه امتداد نخ شاقول، در جاهای دیگر، برای تعیین امتداد قبله بکار رود.

اما ورتیکال یک محل خاص، ممکن است ورتیکال کعبه را قطع نکند و یا عبارت دیگر امتداد خط شاقولی در آن محل، امتداد خط شاقولی کعبه را قطع نکند، در نتیجه، دو امتداد شاقولی در یک صفحه قرار نمی‌گیرد و لذا امتداد سایه نخ شاقول، دیگر امتداد دقیق قبله نخواهد بود. این مطلب بیشتر از هر نکته دیگری احتیاج به تحقیق گسترده دارد تا وقتیکه روش، در سطح بین‌المللی بکار می‌رود، میزان دقت آن روشن باشد.

تا بحال با مطالعه‌ای که انجام داده‌ایم، امکان تعیین امتداد جهت قبله با سه روش، عملی است: یک روش از راه مثلثات کروی و با فرض اینست که زمین به شکل کره کامل باشد. روش دیگر با استفاده از محاسبات ژئودتیکی و با فرض بیضوی شکل بودن زمین است. روش آخر تعیین امتداد سایه یک شاقول در اوقات معین است. این روش، بر مبنای تعیین امتداد سایه نخ یک شاقول، بر روی افق محسوس یک نقطه استوار است، در حالی که خورشید بر ورتیکال کعبه قرار گرفته باشد. دیدیم که این روش دوبار در سال در بیشتر مناطق نیمکره شرقی و دوبار دیگر در بیشتر مناطق نیمکره غربی عملی است.

در طی این بحثها، مزایا و معایب هر روش، بیان شده و در اینجا به پاره‌ای از آنها اشاره‌ای می‌شود: محاسبات در روش تعیین قبله با استفاده از فرمولهای مثلثات کروی، ساده است اما فرض شکل زمین، بعنوان یک کره کامل، در مقایسه با سایر مدلها، دارای تقریب زیادی است. بعلاوه مختصات جغرافیایی که در این روش بکار می‌رود ممکن است بر مبنای شبه کره تعیین شده باشند و در این روش، عرض جغرافیایی به عرض زمین مرکزی^۳ و یا عرض کاهش یافته^۴، که در فصل هشتم تشریح شد، تبدیل نمی‌شود. این مطلب نیز خود نیازمند تحقیق است، تا معلوم شود اثر کاربرد مختصات مختلف تا چه حد است.

1. Instantaneous Equator

2. Astronomic Latitude

3. Geocentric Latitude

4. Reduced Latitude

محاسبات در روش ژئودتیک، پیچیده تر ولی فرض شکل زمین بصورت یک شبه کره پخت، دارای تقریب بهتری است.

اما روش مورد نظر تعیین سایه نخ شاقول در اوقات معین، روشی ساده است و هر کس می تواند آن را بکار گیرد. اما دقت کاربرد این روش در نقاط مختلف دنیا، هنوز تعیین نشده است.

تنها عیب این روش، شرایط جوی است که ممکن است هوا در وقت محاسبه شده، در محلی ابری باشد و مانع تعیین امتداد سایه گردد. مخصوصاً که در تاریخهای هشتم خرداد و بیست و پنج تیرماه در نیمکره جنوبی فصل زمستان در جریان است. و همچنین در تاریخهای بیست و چهارم دیماه و نهم آذر که در نیمکره شمالی فصل زمستان است و امکان تابش آفتاب در روزهای مربوط کمتر است. لذا رنگ صفحه ای که سایه نخ شاقول بر آن می افتد، می بایست از رنگهای روشن انتخاب گردد تا امکان تعیین سایه در تابش کم آفتاب ممکن تر باشد.

۶. پیشنهاد یک برنامه تحقیقات بین المللی

با توجه به آنچه که تا کنون بحث شد، یک برنامه تحقیقات در سطح بین المللی را می توان به شرح زیر پیشنهاد کرد:

۱. تعیین مختصات نجومی کعبه معظمه. در این اندازه گیری، در صورت دقت زیاد، می توان تغییرات عرض در اثر حرکات قطب را نیز در نظر داشت (مطلب شماره ۴، فصل اول).

۲. روشن ساختن این نکته که چندبار از گذشته تا به حال، خورشید دقیقاً بر روی ورتیکال کعبه (خط قائم بر صفحه هم پتانسیل کعبه) قرار گرفته است. این مطلب با مراجعه به جداول نجومی سالهای قبل ممکن می گردد.

۳. مطالعه بیشتر در زمینه اثر تصحیحات نجومی در نتیجه روش.

۴. انتخاب چند محل در سطح زمین با ارتفاع و ثقل مختلف در ممالک متعدد و تعیین قبله از سه راه مثلثات کروی، محاسبات ژئودتیک و تعیین امتداد سایه در اوقات معین. از مقایسه نتایج، دقت کلی روشهای مختلف، آشکار خواهد شد. چون ثقل یک منطقه در امتداد خط شاقول تأثیر می گذارد، لذا انجام این اندازه گیریها، می بایست به همراه مطالعات ثقل زمین صورت پذیرد.

در صورتی که نتیجه مطالعات نشان دهد که دقت روش تعیین جهت قبله از راه تعیین امتداد سایه نخ یک شاقول در اوقات معین، در حد خوبی است، آنگاه ممالک مختلف می‌توانند با طرح یک برنامه عمومی و اعلام اوقات معین محاسبه شده برحسب وقت استاندارد، از رادیوهای خود، مردم را به تعیین جهت قبله در خانه‌های خود دعوت کنند. همچنین در طی این برنامه، می‌توان جهات موجود قبله را که از سالیان پیش تعیین شده است، نیز کنترل کرد.

همچنین نتیجه تحقیقات، صحیح‌ترین روش تعیین جهت قبله را مشخص خواهد کرد که می‌توان آن را در تعیین جهت قبله بناها و مساجد جدید بکار گرفت. انجام یک چنین برنامه تحقیقات در سطح بین‌المللی، نیازمند همکاری افراد مختلف است؛ از جمله، می‌توان از متخصصان نجوم، نقشه‌برداری، ژئودزی، جغرافیا و مهندسان و غیره نام برد. مطالب شرعی مطالعات هم می‌تواند توسط عالمان مسائل دینی مورد راهنمایی قرار گیرد. انجام این تحقیق در یک دانشگاه معتبر بین‌المللی میسر است.

مراحل مختلف تحقیقات مذکور در فوق، فقط مراحل اولیه است که در حال حاضر بنظر می‌رسد و در حین انجام تحقیقات ممکن است مراحل مختلف دیگری نیز آشکار گردد.

۷. کاربرد اساس روش، در ژئودزی

تغییر مداوم میل خورشید، نشانگر آنست که خورشید در هر لحظه دقیقاً بر روی سمت‌الرأس یک محلی بر روی زمین قرار می‌گیرد، البته این مطلب فقط برای مناطق واقع در بین دو مدار $23^{\circ}/5'$ شمالی و $23^{\circ}/5'$ جنوبی صادق است.

بنابراین با تعیین میل خورشید از روی جداول نجومی، می‌توان بسادگی معین کرد که در چه موقعی خورشید دقیقاً بر روی سمت‌الرأس نقطه‌ای مانند A، با طول و عرض معین قرار می‌گیرد. آنگاه از نقطه دیگر با عرض و طول مشخص، بر روی زمین، مانند نقطه B، می‌توان جهت نقطه A از نقطه B را با استفاده از دو روش محاسبات مثلثات کروی و محاسبات ژئودتیکی بدست آورد. سپس نتایج بدست آمده را با امتداد سایه یک میله قائم در نقطه B، در لحظه مربوط، مقایسه کرد. تفاوت بین نتایج، نموداری از تفاوت موجود بین سطح هم‌پتانسیل و سطح کروی و بیضوی، در نقطه B

خواهد بود.

۸. تذکر

پاره‌ای از خوانندگان نکته‌سنج ممکن است بر این باور باشند، که در نظر گرفتن چنین مطالب دقیق علمی آنهم در تعیین جهت قبله مورد نیاز نباشد. موضوع تعیین قبله یک بحث علمی است و در یک تحقیق علمی، نهایت دقت در کلیه موارد، اصلی لازم‌الاجراست و ساده‌اندیشی مبنایی ندارد. متأسفانه موضوع قبله یابی در اغلب کشورهای اسلامی دچار ساده‌اندیشی شده است. دانشمند جهانی، ابوریحان بیرونی جهت قبله غزنین را در ده قرن قبل در نهایت دقت تعیین کرده است، اما امروز مشاهده می‌شود که اشتباهات موجود در جهت قبله پاره‌ای از مساجد و ابنیه اسلامی غیر قابل اغماض است.

جا دارد موضوع قبله یابی در یک دانشگاه معتبر بین‌المللی مورد تحقیق و بررسی همه‌جانبه قرار گیرد.

روش‌های ساده موجود در کتاب

این کتاب تا حد امکان برای استفاده همگان تهیه شده است. و لذا افرادی ممکن است حوصله و وقت خواندن کلیه فصلها و بخشهای کتاب را پیدا نکنند و با این وجود علاقه‌مند باشند که با روشهای ساده‌ای، جهت قبله را پیدا کنند. تفصیل مطالب در این کتاب، بیشتر بعلت آماده شدن برای فهم فصل نهم است که یک برنامه تحقیقات بین‌المللی را مطرح می‌سازد.

در این فصل مطالبی از کتاب که با استفاده از آنها، می‌توان بسادگی جهت قبله را تعیین کرد، مشخص می‌شود تا خواننده، با مراجعه به آنها بتواند براحتی از کتاب استفاده کند.

راهنمای استفاده از روشهای آسان کتاب، در قبله‌یابی:

برای تعیین جهت قبله باید مراحل زیر انجام گیرد:

۱. تعیین مختصات جغرافیایی محل — مختصات جغرافیایی محل را می‌توان از روی نقشه‌ها و یا اطلسهای جغرافیایی بدست آورد. در این مورد می‌شود به مطالب شماره (۲-۲) و (۲-۵) در فصل اول کتاب مراجعه کرد.
۲. تعیین مختصات جغرافیایی کعبه معظمه — تا تعیین دقیق مختصات جغرافیایی کعبه معظمه، می‌توان از مختصات داده شده در مطلب شماره (۴) در فصل پنجم استفاده کرد.

۳. تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی محل — این مطلب به تفصیل در فصل دوم بیان شده است. روشهای آسان آن در مطالب شماره ۱، ۲، ۳، ۴، ۵، ۶، ۷

و ۸ فصل دوم داده شده است.

۴. تعیین جهت قبله با روش ترسیمی— با در دست داشتن مختصات جغرافیایی محل و تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی در محل، می‌توان جهت قبله را از راه ترسیمی با استفاده از روش داده شده در مطلب شماره (۲-۵)، در فصل پنجم، تعیین کرد.

در اینجا باید توجه داشت که برحسب فاصله نقطه مورد نظر تا مکه و چگونگی وضعیت قرارگیری محل بر روی زمین، نسبت به مکه، نتیجه روش ترسیمی ممکن است تا حدی در خطا باشد. لذا باید نکات ذکر شده در مطلب شماره (۲-۵) در فصل پنجم مورد توجه قرار گیرد.

۵. تعیین جهت قبله با استفاده از سایه یک میله قائم در اوقات معین: جهت قبله را می‌توان از راه تعیین امتداد سایه یک میله قائم— دوبار در سال— در اوقات معین در نیمکره شرقی و دوبار دیگر در نیمکره غربی بدست آورد. تفصیل این روش، در مطلب شماره (۵-۵) فصل پنجم و در مطلب شماره ۳ فصل نهم، آمده است. اما قبل از کاربرد این روش در سطح بین‌المللی، می‌بایست دقت روش، مورد تحقیق قرار گیرد (فصل نهم).

۶. قبله‌نمای رزم‌آرا— قبله‌نمای رزم‌آرا که در مطلب شماره (۶-۵)، فصل پنجم، تشریح شده است، در مسافرت، وسیله بسیار خوبی است، اما بعلت استفاده از عقربه مغناطیسی، می‌بایست بدور از آهن‌آلات، وسایل برقی و میدانهای مغناطیسی دیگر از آن استفاده کرد.

۷. تعیین قبله با استفاده از یک کره جغرافیایی: چنانکه یک کره جغرافیایی خوب و دقیقی در دسترس باشد، می‌توان از آن برای تعیین جهت قبله استفاده کرد. تفصیل روش در مطلب شماره (۴-۵)، در فصل پنجم بیان شده است.

پایان نسخه دستنویس کتاب— مردادماه ۱۳۶۳

فهرست منابع

۱. استروو، اتو (Otto Struve)، مبانی نجوم، ترجمه ح. زمردیان و ب. حاجبی، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۵۸.
۲. بغایری، عبدالرزاق، معرفة القبلة، تهران، ۱۳۷۱ ق.
۳. جعفری، عباس، فرهنگ گیتاشناسی (اصطلاحات جغرافیایی)، چ ۱، تهران، گیتاشناسی، ۱۳۶۰.
۴. جعفری، عباس، نقشه خوانی گیتاشناسی، چ ۱، تهران، گیتاشناسی، ۱۳۶۳.
۵. دانشگاه تهران، مؤسسه ژئوفیزیک، جداول میل مغناطیسی، ۱۳۴۲.
۶. دگانی، مایر (Meir Degani)، نجوم به زبان ساده، ترجمه م. ر. خواجه پور، تهران، گیتاشناسی، ۱۳۶۱.
۷. رزم آرا، حسینعلی، رساله قبله‌نمای رزم آرا، چ ۶، تهران، ۱۳۴۴.
۸. ریاضی کرمانی، ع.، حل المسایل نجوم، مثلثات کروی، تمرینات، جداول نجومی، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۴۵.
۹. ریاضی کرمانی، ع.، مقدمه‌ای بر نجوم عالی، تهران، دانشگاه تهران، ۱۳۵۰.
۱۰. علی اخیایی، ماشاءالله، ساعتهای خورشیدی، اصول و راهنمای ساخت، تهران، امیرکبیر، ۱۳۶۴.
۱۱. علی اخیایی، ماشاءالله، جهت‌یابی و قبله‌یابی با روشهای آسان، تهران، امیرکبیر، ۱۳۶۴.
۱۲. واژگان فیزیک، زیر نظر سید محمد امینی، تهران، مرکز نشر دانشگاهی، ۱۳۶۱.

13. Ali–Ahyaie, M., "*Using the International Communication and Timing Systems to Determine the Direction of 'Kiblah' Simultaneously in the World,*" Unpublished, 1984.
14. Ali–Ahyaie, M., "*An International Research Program to Study the Effect of the Actual Shape of the Earth in Finding the Direction of 'Kiblah'*", Unpublished, 1984.
15. Ali–Ahyaie, M., "*Generalizing the Formula of Conversion of Standard Mean Time into Solar Time, According to Practical Astronomy*", Unpublished, 1984.
16. Ali–Ahyaie, M. "The Best Method of Using Sundials as Solar Compass" *Sun at work in Britain*, No. 19, 1984.
17. Ali–Ahyaie, M., "Determination of Longitude and Latitude in Remote Locations with Simple Devices," *Sunworld*, vol. 7, No. 3, Fall 1983.
18. Ali–Ahyaie, M., "Solar Compass, Determining True North by Sundials , *Sunworld*, Vol. 7, No. 4, Winter 1983.
19. Beiser, Arthur, *The Earth*, New York, Time Incorporated, 1962.
20. Brown, Martin, F. & Bailey Wayne, *Earth Science*, General Learning Press (U. S. A.), 1978.
21. Duffie, John, A. and Beckman, William, A., *Solar Engineering of Thermal Processes*, A Wiley–Interscience Publication, New-York, John Wiley and Sons, 1980.
22. Degani, Meir H., *Astronomy Made Simple*, New York, Doubleday & Company Inc., 1976.
23. *Encyclopedia Americana*, 1975.
24. *Encyclopedia of Science and Technology*, Mc Graw—Hill Book Company.
- 25.) Harrison, P. L., "A Device for Finding True North," *Solar Energy*, vol. 15, 1974, PP. 303–308.
- 26.) Higgins, Kathleen, "The Classification of Sundials," *Anal of Science*, VOL. IX, NO. 4, PP. 245–358, 1953.
27. Emrys, Jones, *The Atlas of World Geography*, London, Sundials Books Limited, 1977.

28. Kreider, Jan, F., and Kreith, F. *Solar Energy Handbook*, " McGraw–Hill Inc., 1981.
- 29.) Mayall, R. Newton and Mayall, W. Margaret, "*Sundials: How To Know, Use and Make Them*," 2nd ed., Cambridge, Sky Publishing Corporation, Cambridge, Massachusetts, Second Edition, 1973.
- 30.) Mueller, Ivan I., *Spherical and Practical Astronomy as Applied to Geodesy*, New York, Fredrick Ungar Publishing CO., 1969.
31. Newman, James R., *The Harper Encyclopedia of Science*, Harper and Row Publishers.
32. Punmia, B. C., *Field Astronomy and Photogrammetric Surveying*, (Surveying, V. III) 5th ed., Delhi Standard Book House, 1981.
33. Rapp, Donald, *Solar Energy*, Englewood Cliffs, N. J., Prentice Hall Inc., 1981.
34. Shahani, P. B., "*Advanced Surveying*," 2nd ed., New Delhi, Oxford and IBH Publishing CO., 1981.
35. Struve, Otto, *Elementary Astronomy*, New York, Oxford University Press Inc., 1968.
36. Waugh, Albert E., *Sundials—Their Theory and Construction*, New York, Dover Publications Inc., 1973.
37. Wienert, K. A., *Earth Science 5, Geomagnetic Observatory and Survey Practice*, Unesco, 1970.

فهرستِ اعلام

ارابه (صورت فلکی) ۷۸	آ
ارتفاع ۲۶۵، ۲۵۰	آب‌گردانِ بزرگ ۷۸، ۷۶
ارتومتریک ۴۳۶	آب‌گردانِ کوچک ۷۸
حول نصف‌النهار ۳۳	آتن (جهت قبله) ۱۸۲
خورشید در لحظه عبور از نصف‌النهار ۲۵	آدلاید (جهت قبله) ۱۹۰
دایره ۲۴۷	آرام (اقیانوس) ۲۲۳
ژئودتیک ۴۲۶	آستروئید ۳۳۹
شاخص ۱۱۲	آلفا-دب اصغر ۷۹، ۱۰۸
ظاهری ۳۵۱، ۳۵۰	آلفا-قنطورس ۸۸
قطبِ سماوی ۲۳	آنالماتیک (ساعت خورشیدی) ۱۲۲
نصف‌النهاری ۳۲، ۳۳، ۲۰۱	آنومالیستیک
نصف‌النهاری خورشید ۲۹۶	ماه ۳۱۷
واقعی (حقیقی) ۳۵۱، ۳۵۰	سال ۳۱۸، ۳۱۹
اژدها (تینن) ۸۱	آنی
اسب و سوار ۷۷	محور چرخشی ۴۳۱، ۴۳۵
استار ۳۲۹	استوای ۴۳۱، ۴۳۵
استکھلم (جهت قبله) ۱۸۴	آهن ربا ۶۲
استرلاب ۳۴۸	
اسد (شیر) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴	الف
استوا	اتمسفر
خط ۲۱، ۷۱	اثر پوششی و ذخیره‌ای ۲۹۳
دایره ۲۱	اختلاف‌منظر ۳۳، ۹۳، ۳۴۸
استوای	تصحیح ۳۴۸
آنی ۴۳۱، ۴۳۵، ۴۵۱	خورشید در افق ۳۵۰
ژئودتیک ۴۲۱	زاویه ۲۷۵

شاقول ۴۵۰	زمینی میانگین ۴۳۵
شمال و جنوب جغرافیایی ۵۱	سماوی ۲۲۲
شمال و جنوب واقعی ۵۱	کروی ۴۱۸
انحراف	استوایی مستقل
مغناطیسی ۲۱۱، ۶۵	دستگاه مختصات ۲۶۸، ۲۶۵
قائم ۴۴۹	استوایی وابسته
انحراف سنج مغناطیسی ۶۶	دستگاه مختصات ۲۷۰، ۲۶۵
اتحنای برگشته ۴۲۶	اعتدال
انعکاس دوگانه ۳۴۷	بهاری (بهاره) ۲۹۳، ۲۵۷، ۴۸
انقلاب	پاییزی (پائیزه) ۲۹۱، ۲۵۸، ۲۲۵
تابستانی ۲۹۱، ۲۵۸، ۲۲۹	دایره ۲۵۹
دایره ۲۵۹	اعتدالی (سال) ۳۱۸
زمستانی ۲۹۳، ۲۵۸، ۲۲۸	اعتدالین
انواع ساعت‌های خورشیدی ۱۰۳	حرکت تقدیمی ۳۰۲
انورفردان (ستاره) ۸۰	افق
اورانوس ۳۳۹	حقیقی ۳۵۰، ۲۴۲
اوج ۳۳۳، ۲۹۰	ژئودتیک ۴۴۸، ۴۲۱
خورشیدی ۲۹۰	سماوی ۳۵۰، ۲۴۲
ماه ۳۳۳	شیب ۲۴۶
اهله قمر (فازهای ماه) ۳۲۵، ۳۱۶، ۹۰	ظاهری ۲۴۶
ب	قرارگرفتن ستاره در ۲۸۴
باربر (صورت فلکی) ۸۷	کروی ۴۱۹
بتا - دب اصغر ۸۰	محسوس ۴۵۰، ۳۵۰، ۲۴۵
بتا - قنطورس ۸۸	مری ۲۴۶
بدر (ماه شب چهاردهم) ۳۲۵، ۳۱۶، ۹۰	نجومی ۴۳۴، ۲۴۲
برج ۳۴۲	افقی
اسد (شیر) ۳۴۴، ۱۳۷	دستگاه مختصات ۲۶۵
بره (حمل) ۳۴۲، ۱۳۷	اقیانوس آرام ۲۲۳
بز (جدی) ۳۴۴، ۱۳۷	اكتات ۳۴۷
ترازو (میزان) ۳۴۴، ۱۳۷	اکلیپتیک
ثور (گاو) ۳۴۲، ۱۳۷	دایره ۲۸۷، ۲۷۲، ۲۵۵، ۲۰۰
جدی (بز) ۳۴۴، ۱۳۷	قطبهای ۳۰۲، ۲۷۳، ۲۵۶
	امتداد

- بهرام (مریخ) ۳۱۶، ۳۲۸، ۳۳۹
- جوزا (دوپیکر) ۱۳۷، ۳۴۲
- حمل (بره) ۱۳۷، ۳۰۷، ۳۴۲
- حوت (ماهی) ۱۳۸، ۳۰۷، ۳۴۴
- دلو (دول) ۱۳۸، ۳۴۴
- سرطان (خرچنگ) ۱۱۹، ۱۳۷، ۳۴۲
- سنبله (خوشه) ۱۳۷، ۳۴۴
- عقرب (کژدم) ۱۳۷، ۳۴۴
- قوس (کمان) ۱۳۷، ۳۴۴
- میزان (ترازو) ۱۳۷، ۳۴۴
- برجهای دوازده‌گانه ۱۳۳، ۱۳۷، ۱۹۹، ۳۴۲
- برجی
- سال ۳۱۰، ۳۱۸
- ماه ۳۱۶
- برجیس (مشتري) ۳۱۶، ۳۳۹
- بعد ۳۴، ۲۵۸، ۲۶۸، ۳۶۸
- بُغایری (سرتیپ مهندس عبدالرزاق) ۱۶۸، ۲۱۰
- بمبئی (جهت قبله) ۱۷۹
- بنات‌النعمش صغری ۸۰
- بوگوتا (جهت قبله) ۱۸۸
- بیضوی ۳۷، ۴۱۰
- دوار ۴۱۰
- دو محوره ۴۱۰
- سه محوره ۴۱۰
- مبنا ۴۱۶
- بیضویت ۲۶۱، ۲۸۹
- بین‌الطلوعین ۳۱۴
- بیضی ۱۲۸
- ترسیم ۱۲۸
- خروج از مرکز ۲۸۹
- قطر اطول ۲۸۹
- قطر اقصر ۲۸۹
- وسیله ترسیم ۱۳۰
- پ
- پارالاکس (اختلاف منظر) ۳۳، ۹۳، ۳۴۸
- پارسک ۳۳۷
- پای قنطورس ۸۸
- پرسیون (حرکت) ۲۹۹
- پرنامبوکو (جهت قبله) ۱۸۹
- پلوتو ۳۳۹، ۳۴۲
- پهن‌شدگی زمین ۲۳، ۳۶، ۲۶۱، ۲۹۰
- ت
- تا هیتی (جزیره) ۲۲۳
- تئودولیت ۲۷۴، ۳۴۷
- تثلیث ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۶
- ترانزیت ۳۴۷
- تربیع آخر ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۷
- تربیع اول ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۶
- ترسیم بیضی ۱۲۸
- تصحیح اختلاف منظر ۳۴۸، ۴۴۵
- تصحیح شکست نور ۳۴۸، ۳۵۱، ۴۴۵
- زاویه ۳۵۲
- تصحیح شیب افق ۳۴۸، ۳۵۴
- تصحیح طول جغرافیایی ۴۲، ۴۰۶
- تصحیح نیم‌قطر ۳۴۸، ۳۵۶، ۴۴۵
- تصحیحات نجومی ۳۳، ۳۴، ۳۴۸، ۴۴۵
- تصویر استوانه‌ای (مرکاتور) ۱۹۴
- تعادل دینامیکی ۳۰۲
- تعديل زمان (معادله زمان) ۴۲، ۳۸۴
- جدول ۳۹۶، ۳۹۷
- تعیین امتداد شمال و جنوب جغرافیایی ۲۷
- تعیین طول جغرافیایی ۴۰
- تعیین عرض جغرافیایی ۲۳

- تغییرات عرض جغرافیایی ۳۷
 تقدیمی (حرکت) ۲۹۹
 تمایل ۲۵۶
 تقویم ۳۰۹
 جولیوسی ۳۲۲
 شمسی ۳۲۱
 قمری ۳۲۰
 قمری شمسی ۳۲۱
 گرگوری ۳۱۸، ۳۲۳، ۳۲۵
 نجومی دربانوردی ۲۹۶
 تینین (اژدها) ۸۱
 تواموتو (مجمع الجزایر) ۲۲۳
 تهران (جهت قبله) ۱۶۹
 تیر (عطارد) ۳۱۶، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۹، ۳۴۶
- ث
- ثابت حرکت تقدیمی ۳۰۶
 ثابت رقص محوری ۳۰۷
 ثانیه ۳۱۸، ۳۶۳، ۳۸۱، ۳۸۴
 اتمی ۳۶۳، ۳۸۵
 تقویمی ۳۶۳، ۳۸۴
 شمسی متوسط ۳۶۳، ۳۷۸
 متوسط ۳۷۸
 نجومی ۳۶۵، ۳۷۹
 ثعبان (ذیخ) ۳۰۳
 ثوابت ۳۳۷
 ثور (گاو) (برج) ۱۳۷، ۳۴۲
- ج
- جدول نجومی ۳۲، ۲۹۶
 جدی (برج) ۱۳۷، ۳۴۴
 جدی (ستاره قطبی) ۳۲، ۷۰، ۷۹، ۳۰۳، ۳۰۷
 جذب گرانشی ۳۰۲
- جزرومد ۳۸۲
 جغرافیایی
 جنوب ۵۲
 عرض ۲۲، ۲۳، ۲۵۰
 طول ۲۲، ۲۵۰
 طول و عرض ۲۲
 قطبهای ۲۱، ۶۴
 جنوبگان ۷۵، ۲۲۸، ۲۶۳
 جنوب واقعی ۵۱، ۵۴، ۲۴۸
 جوزا (دویکر) (برج) ۱۳۷، ۳۴۲
 جولیوسی (تقویم) ۳۲۲
 جون ۷۷
 جهات اصلی ۵۲
 جهات چهارگانه ۵۲
 جهات فرعی ۵۳
 جهت شمال ۵۲
 جهت قبله ۱۶۸
 جهت یاب خورشیدی ۱۳۶، ۱۴۱، ۱۴۲
 جهت یاب ژيروسکوپیی ۱۱۰
 جهت یابی ۵۱
- ج
- چشمک زدن ستارگان ۳۳۸، ۳۵۴
 چنگ رومی (صورت فلکی) ۳۰۳، ۳۰۷
- ح
- حاره (منطقه) ۲۶۳
 حاشیه خارجی ماه ۳۲۶
 حالات ماه ۳۲۵
 حد دوری و نزدیکی
 خط ۲۹۱، ۲۹۲
 حرکت
 انتقالی زمین ۸۶، ۲۰۰، ۲۲۳، ۲۸۸

- ۲۸۹، ۲۹۰ قرارگیری ستاره در ۲۸۴
 ۲۹۹ پرسسیون
 ۲۹۹ تقدیمی
 تقدیمی اعتدالین در اثر ماه و خورشید ۳۰۲
 تقدیمی سیاره ای ۳۰۸
 تقدیمی عمومی ۳۰۹
 دورانی ظاهری ۳۶۴
 سالانه زمین ۲۸۸
 ظاهری ۳۳
 ظاهری خورشید ۲۸۸
 ظاهری روزانه ۸۲
 ظاهری روزانه خورشید ۲۹۴، ۲۸۸، ۷۰
 ظاهری روزانه دب اکبر ۸۵، ۸۲
 ظاهری سالانه ۸۲
 ظاهری سالانه خورشید ۲۹۴، ۲۸۸
 ظاهری سالانه دب اکبر ۸۵
 قهقرایی گره ۳۳۱
 قهقرایی مدار ماه ۳۰۶، ۳۳۱
 لرزشی زمین ۳۹، ۲۴۴
 مداری زمین ۲۸۸
 مستقیم سیاره ۳۴۰
 معکوس سیاره ۳۴۰
 واقعی زمین ۲۸۸
 وضعی زمین ۳۳، ۲۸۸
 حضیض ۲۹۰، ۳۳۳
 خورشیدی ۲۹۰، ۳۶۱
 ماه ۳۳۳
 حمال (صورت فلکی) ۸۷
 حمل (بره) (برج) ۱۳۷، ۳۰۷، ۳۴۲
 حوت (ماهی) (برج) ۱۳۸، ۳۰۷، ۳۴۴
- خ
- خارج نصف النهار
- خرس بزرگ ۷۶، ۷۸
 خرس کوچک ۷۸
 خرطوم (جهت قبله) ۱۸۱
 خروج از مرکز
 اولیه ۴۱۱
 بیضی ۲۸۹
 ثانویه ۴۱۱
 خسوف (ماه گرفتگی) ۳۲۸، ۳۳۵
 خط
 استوا ۲۱، ۷۱
 اعتدالین ۲۹۲، ۲۹۳
 انقلاب زمستانی و تابستانی ۲۹۱، ۲۹۳
 بین المللی تاریخ ۲۲، ۴۰۲
 ژئودزیک ۴۲۶
 حد دوری و نزدیکی ۲۹۱، ۲۹۲
 منحنی ژئودزیک ۴۲۴
 نصف النهار ۵۱، ۲۴۸
 خطوط نیروی مغناطیسی ۶۲
 خورشید ۲۸۵
 ارتفاع نصف النهاری ۲۹۴
 حرکات ظاهری ۲۸۷، ۲۹۴
 حرکت ظاهری روزانه ۷۰، ۲۸۷، ۲۹۴
 حرکت ظاهری سالانه ۲۸۷، ۲۹۴
 شکست نور ۳۶۱
 عبور از سطح نصف النهار اصلی ۹۶
 غروب (محاسبه) ۹۷، ۲۸۴
 فاصله اوج ۳۳۳
 فاصله حضیض ۳۳۳
 قطر ۲۸۶
 قطر زاویه ای ۳۳۳

دستگاه مختصات ۲۷۲	گرفتگی ۲۸۷، ۳۲۸، ۳۳۲
قطب جنوب ۲۵۶	گرفتگی جزئی ۳۳۳، ۳۳۵
قطب شمال ۲۵۶	گرفتگی حلقه‌ای ۳۳۳، ۳۳۴
دب اصغر ۷۸، ۳۰۳	گرفتگی کامل ۳۳۳
دب اکبر ۷۶، ۳۰۳	گرفتگی مرکزی ۳۳۳
دُبِه ۷۶	متمم میل ۳۶۰
دجاجه (صورت فلکی) ۳۰۳	محاسبه طلوع و غروب ۹۷
درجه بندی صفحه ساعت خورشیدی ۱۱۱	میانگین (متوسط) ۴۳، ۳۱۱، ۳۷۸
درون یابی (خطی) ۲۹۷، ۳۹۹	میل ۲۹۷
دستگاه مختصات	جدول ۳۰۰، ۳۰۱
استوایی (معدلی) مستقل ۲۶۵، ۲۶۷	نیم قطر ۳۵۶، ۳۵۷
استوایی (معدلی) وابسته ۲۶۵، ۲۷۰	نیمه شب ۳۶۰
افقی ۲۶۵	وضعیت‌های ظاهری در فصول مختلف ۲۹۴
دایرة البروج ۲۷۲	خورشیدی
زمینی ۲۶۱	روز ۳۱۰
عرض و طول سماوی ۲۶۵، ۲۷۲	خوشه (ستاره‌ای) ۳۳۷
کهکشانی ۲۶۵، ۲۷۴	
میل و بعد ۲۶۸	د
میل و زاویه ساعتی ۲۷۰	دایره
نجومی ۲۶۳	ارتفاع ۲۴۷
دقیقه	استوا ۲۱، ۲۴۲
شمسی متوسط ۳۷۹	اعتدال ۲۵۹
متوسط ۳۷۸	انقلاب ۲۵۹
نجومی ۳۶۵، ۳۷۹	اولیه مبنا ۲۶۳، ۲۶۶، ۲۷۰، ۲۷۲
دلو (دول) (بُرج) ۱۳۸، ۳۴۴	اکلیپتیک ۲۰۰، ۲۵۵، ۲۸۷، ۲۸۸
دویکِر (جوزا) (بُرج) ۱۳۷، ۳۴۲	ثانویه مبنا ۲۶۳، ۲۶۶، ۲۷۰، ۲۷۲
دور قطبی (ستارگان) ۸۲، ۸۸، ۲۷۶	ساعتی ۲۵۲، ۲۷۰
دوره ۳۶۲	عظیمه ۱۴۴، ۴۰۹
دوره متونیک ۳۲۱	عمودی ۲۴۷
دول (دلو) (بُرج) ۱۳۸، ۳۴۴	صغیره ۱۴۴
ذ	میل ۲۵۲، ۲۷۰
ذات‌الکرسی ۸۱، ۸۳	دایرة البروج ۲۰۰، ۲۵۵، ۲۷۲، ۲۸۷، ۲۸۸
	۲۸۸

شمسی متوسط ۳۷۹	ژئوپ ۴۲۸
کوارتز ۳۸۵	ژئوپتانسیل (سطح) ۴۲۸
متوسط ۳۷۸	ژئودتیک
نجومی ۳۳، ۳۶۵، ۳۷۹	ارتفاع ۴۲۶
ساعت خورشیدی ۴۲، ۱۰۳، ۱۱۱، ۳۷۱	استوای ۴۲۱
۳۹۳، ۳۷۶	افقی ۴۲۱، ۴۴۸
آنالماتیک ۱۲۲	سمت ۴۲۴، ۴۲۶
ارتفاعی ۱۰۳، ۱۱۱	سمت مقطع قائم ۴۲۴
ارتفاعی افقی ۱۳۳	شعاع ۴۲۲
استوایی ۱۴۲	صفحات قائم ۴۲۴
افقی ۱۱۱	طول ۴۲۱
با مرکز متغیر ۱۲۲	عرض ۴۲۱
ترکیبی ۱۰۳، ۱۳۶، ۱۴۰	قائم ۴۲۱
جهتی ۱۰۴، ۱۱۱	قطب جنوب ۴۲۱
چندحلقه ای ۱۴۲	قطب شمال ۴۲۱
سمتی افقی ۱۱۹	قطبهای ۴۲۱
قابل حمل ۱۰۳	مختصات ۴۱۷، ۴۲۱
لامبرت ۱۲۲، ۱۳۰	مدار ۴۲۱
سال ۳۱۷	مدارات ۴۲۱
آنومالیستیک ۳۱۸، ۳۱۹	مقطع قائم ۴۲۲، ۴۲۴
اعتدالی ۳۱۸، ۳۸۴	نصف النهارات ۴۲۱
برجی ۳۱۰، ۳۸۴	ژئودزی ۱۶۸، ۴۰۹
خسوف و کسوف ۳۳۲	ژئودزیک
شمسی ۳۸۴	خط ۴۲۶
فصلی ۳۱۸	خط منحنی ۴۲۴
نجومی ۳۱۸	ژیروسکوپ ۱۱۰
نوری ۳۱۹، ۳۳۷	
سانفرانسیسکو (جهت قبله) ۱۸۵	س
ستاره ۳۳۶	ساروز ۳۳۱
دراقق ۲۸۴	ساعت
در خارج نصف النهار ۱۰۹، ۲۸۴	اتمی ۳۱۸، ۳۸۵
در حال عبور ۲۷۸	پاندولی ۳۸۵
در وضعیت دورترین فاصله ۱۰۶، ۲۸۰	شمسی ظاهری ۳۷۱

اختلاف منظر ۲۷۵	در وضعیت سطح نصف النهار اصلی ۲۸۲
تصحیح شکست نور ۳۴۸، ۳۵۱	دنباله دار ۳۳۹
در جرم سماوی ۲۷۵	دور قطبی ۸۲، ۸۸، ۳۶۰
در سمت الرأس ۲۷۵	فاصله زاویه‌ای ۲۸۴
در قطب سماوی ۲۷۵	قطبی ۳۲، ۷۰، ۷۸، ۳۰۳، ۳۰۷
ساعتی ۳۴، ۹۱، ۱۰۸، ۱۱۵، ۲۵۴، ۲۷۰، ۳۶۸	ذنب الدجاجة (ستاره) ۳۰۳
کروی ۱۴۶	ذیح (ثعبان) ۳۰۳
زبرین	ر
سیارات ۳۳۹	راه شیری (کهکشان) ۳۳۷، ۳۴۵
مقارنه ۳۳۹	راه کاهکشان (کهکشان) ۳۴۵
زحل (کیوان) ۳۱۶، ۳۳۹	راه مکه (کهکشان) ۳۴۵
زمان	رأس الجدی (مدار) ۷۴، ۲۶۳، ۲۹۳
اتمی ۳۸۱، ۳۶۲	رأس السرطان (مدار) ۷۲، ۲۶۳، ۲۹۱
اندازه گیری و تعیین ۳۶۲	رجل قنطورس ۸۸
دورانی ۳۶۳	رزم آرا (سرتیپ حسینعلی) ۱۶۸، ۲۰۸
مقیاس های ۳۶۳	رزم آرا (قبله نما) ۲۰۸
زمان سنج (کرونومتر) ۴۸	رسایف (پرنامبوکو) (جهت قبله) ۱۸۹
زمین	رسم بیضی ۱۲۸
پهن شدگی (فشردگی) ۲۳، ۳۶، ۲۶۱، ۲۹۰	رقص محوری ۲۹۹
حرکت لرزشی ۳۹	روز ۳۱۰
دایره استوای ۲۴۲	خورشیدی ۳۱۰
دستگاه مختصات ۲۶۱	ستاره‌ای ۸۳
شعاع ۱۵۲	شمسی حقیقی (ظاهری) ۳۱۰، ۳۷۱
شکل ۲۳، ۳۶، ۳۷، ۴۰۹	شمسی متوسط ۳۱۱، ۳۷۸
فشردگی ۲۳، ۲۶۱	طبیعی ۳۱۰، ۳۱۲
قطبهای ۲۴۲	نجومی ۴۸، ۸۳، ۳۱۱، ۳۶۴، ۳۷۲، ۳۷۹
مرکز ثقل ۱۴۵	نجومی متوسط ۳۱۱
مناطق ۲۶۱	ریاضی کرمانی (عباس) ۱۶۸
زمین گون ۴۱۷، ۴۲۸، ۴۲۹	ز
زهرة (ناهید) ۲۸۵، ۳۱۶، ۳۲۹، ۳۳۹، ۳۴۶	زاویه
زبرین	

سیارات ۳۳۹	استوایی ۲۴۴
مقارنه ۳۳۹	عرض ۲۷۲
	طول ۲۷۳
	قطبهای ۲۴۴
	کره ۲۶۴، ۲۶۳، ۲۳۹
	محور ۲۴۴
	نصف النهار ۵۱
	سمت ۲۶۵، ۲۵۲
	ژئودتیک ۴۲۶، ۴۲۴
	خورشید (محاسبه) ۹۱
	کروی ۴۱۹
	مقطع قائم ژئودتیک ۴۲۴
	نجومی ۴۳۴
	سمت الرأس ۲۴۲
	فاصله ۳۲، ۳۴، ۲۵۱، ۲۶۵، ۲۶۷
	۲۶۸، ۲۷۵، ۲۶۸
	مکه ۲۰۱، ۴۳۷
	سمت القدم ۲۴۲
	مکه ۲۰۸، ۴۴۲
	سنبله (خوشه) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴
	سها ۷۷
	سیارات ۳۳۷
	اندازه زاویه ای ۳۳۸
	زبرین ۳۳۹
	زیرین ۳۳۹
	سیارک ۳۳۹
	سیاره ۳۳۷
	ش
	شاخص ۱۱۵
	سیمی ۱۱۷
	شاقول ۴۵۰
	شاه تخته (صورت فلکی) ۸۷
ژئوئید ۴۱۷، ۴۲۸، ۴۲۹، ۴۳۵	ژ
فاصله قطبی ۷۹، ۱۰۹	
ستارگان	
چشمک زن ۳۳۸، ۳۵۴	
حول (دور) قطبی ۳۳، ۱۰۶، ۲۷۶	
دوتایی ۳۳۰	
دور قطبی ۸۲، ۸۸، ۳۶۰	
دور قطبی جنوبی ۸۸	
دور قطبی شمالی ۸۲	
سرعت	
حرکت انتقالی زمین ۲۸۸	
حرکت چرخشی زمین در استوا ۳۰۲	
۳۳۵	
حرکت ماه در مدار ۳۳۵	
سرطان (خرچنگ) (برج) ۱۱۹، ۱۳۷، ۳۴۲	
سرگردانی قطب ۴۰	
سطح	
استوای آنی ۴۳۱	
ژئوپتانسیل ۴۲۸	
مبنای نجومی ۴۳۱	
نصف النهار اصلی ۳۴، ۹۶، ۲۴۸، ۲۶۶	
۲۸۲	
وضعیت ستاره در ۲۸۲	
هم پتانسیل ۴۲۸، ۴۳۱، ۴۵۰	
سفلی	
مقارنه ۲۸۵	
سکستانت ۲۹۷، ۳۴۷، ۳۵۴	
سگ بزرگ (صورت فلکی) ۳۱۷	
سماوی	

شیر (اسد) (برج) ۳۴۴، ۱۳۷	شب چهارده (ماه) ۳۲۵، ۳۱۶، ۹۰
ص	شبه کره (کره پهن شده) ۴۱۰، ۲۶۰، ۳۷
صفحات قائم	پخت ۴۴۷، ۴۱۰، ۳۰۲
ژئودتیک ۴۲۴، ۴۲۲	کشیده ۴۱۰
کروی ۴۲۴، ۴۱۹	شبا هنگ (شعرای یمانی، کاروان کش) ۳۱۷
نجومی ۴۳۴	شتاب ۳۷۹
صفحه قائم کروی ۴۲۴، ۴۱۹	شدت میدان مغناطیسی ۶۶
صفحه ورتیکال ۴۳۴، ۴۵۰	شعاع
صلیب جنوبی ۷۰، ۸۸، ۸۹	انحنای عرضی ۴۲۳
صنعا (جهت قبله) ۱۷۹	انحنای نصف النهاری ۴۲۳
صورت فلکی ۳۴۱	زمین ۱۵۲، ۲۴۵
باربر ۸۷	ژئودتیک ۴۲۲
تینین ۸۱	شعرای یمانی (کاروان کش، شبا هنگ) ۳۱۷
چنگ رومی (شلیاق) ۳۰۳، ۳۰۷	شفق ۳۱۴
حمال ۸۷	شلیاق (صورت فلکی) ۳۰۳، ۳۰۷
دب اصغر ۷۸، ۳۰۳	شکست نور ۳۰، ۳۳، ۳۴، ۹۳، ۹۸، ۱۰۵
دب اکبر ۷۶، ۳۰۳	۱۰۹
دجاجه (ماکیان) ۳۰۳	تصحیح ۳۵۱
دور قطبی جنوبی ۸۸	متغیر ۳۵۴
دور قطبی شمال ۸۲	متوسط ۳۵۳
ذات الکرسی ۸۱	شکل زمین ۴۰۹، ۴۴۵
شاه تخته ۸۷	تاریخچه ۴۱۱
شلیاق (چنگ رومی) ۳۰۳، ۳۰۷	شکل زمین گون ۴۱۷، ۴۲۸، ۴۲۹
قنطورس ۸۸	شمال (جهت) ۵۲
قیفاووس ۸۱	شمالگان (مدار) ۷۳، ۲۲۷، ۲۶۳
کارینا ۸۷	شمال و جنوب
کلب اکبر (سگ بزرگ) ۳۱۷	جغرافیایی ۲۷، ۵۱، ۲۴۸
ماکیان (دجاجه) ۳۰۳	حقیقی (واقعی) ۵۱، ۵۴، ۲۴۸
صور فلکی	مغناطیسی ۵۴
دور قطبی جنوبی ۸۸	شهابسنگ ۳۳۹
دور قطبی شمالی ۸۲	شیب افق ۲۴۶، ۳۵۴
صور ماه ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۵	تصحیح ۳۵۴
	شیخ بهایی ۲۱۰

ط

طرابوزان (جهت قبله) ۱۹۱

طلوع خورشید (محاسبه) ۹۷

طلوع دورگرد ۳۱۷

طول

ژئودتیک ۴۲۱

سماوی ۲۷۳

کروی ۴۱۹

کھکشانی ۲۷۴

طول جغرافیایی ۲۱، ۲۲، ۲۵۰

تعیین ۴۰

فاصله یک درجه ۲۳، ۴۷

ظ

ظاهری

ظهر خورشیدی ۴۲

ظهر

خورشیدی (شمسی) ۴۲، ۵۵، ۵۷

شرعی ۴۲، ۴۰۷

تعیین ۵۵، ۵۷

شمسی حقیقی ۴۲

شمسی ظاهری ۴۲، ۴۰۷

ظاهری محلی ۳۷۱، ۳۷۶

علامت ۵۸، ۵۹، ۶۰

نجومی ۳۶۶

متوسط ۳۷۸

متوسط محلی ۳۷۸

ع

عبور ۳۲۹، ۳۴۶

از نصف النهار ۳۳

زبرین ۳۳، ۲۷۸، ۳۴۶

زبرین ۳۳، ۲۷۸، ۳۴۶

ستاره ۲۷۸

قمر ۳۴۷

عدد روسی ۵۸

عرض

زمین مرکزی ۳۵، ۴۲۲

ژئودتیک ۳۵، ۳۷، ۴۲۱

سماوی ۲۷۲

کاهش یافته ۴۲۲، ۴۵۱

کروی ۴۱۹

کھکشانی ۲۷۴

نجومی ۴۳۲

نجومی آنی ۴۳۴

نجومی ساده شده ۴۳۵

نجومی مشاهده شده ۴۳۴

عرض جغرافیایی ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۳۴، ۲۵۰

تعیین ۲۳

تعیین با وسایل ساده ۲۵

تغییرات ۳۷

فاصله یک درجه ۲۳

عرض و طول سماوی ۲۷۲

دستگاه مختصات ۲۶۵، ۲۷۲

عطارد (تیر) ۲۸۵، ۳۱۶، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۹

۳۴۶

عقرب (کژدم) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴

عقربه مغناطیسی ۶۱، ۶۴

علامت ظهر ۵۸، ۵۹، ۶۰

علیا (مقارنه) ۲۸۵

عناق ۷۷

غ

غروب خورشید (محاسبه) ۹۷

ف

فازهای ماه (اهله قمر) ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۵

قائد ۷۷	فاصله
قبله ۱۶۵	زاویه ای ستاره ۲۸۴
قبله نما (ساختمان) ۲۱۲	زاویه ای قرص خورشید ۱۱۷، ۳۳۳، ۳۵۷
قبله نما (محاسبات) ۲۱۱	زاویه ای ماه ۲۸۵، ۳۳۳
قبله نمای رزم آرا ۲۰۸	زمانی ۳۶۲
قبله یابی ۱۶۵	سمت الرأس ۳۲، ۳۴، ۲۵۱، ۲۶۵، ۲۶۷
قرارگیری ستاره در افق ۲۸۴	۲۶۸، ۲۷۵، ۲۷۸
قرارگیری ستاره در خارج نصف النهار ۲۸۴	قطبی ۳۲، ۳۴، ۲۵۴، ۲۶۹، ۲۷۵
قراولان ۷۹	قطبی ستاره قطبی ۷۹، ۱۰۹، ۳۰۸
قراولان نیمکره جنوبی ۸۸	نصف النهاری ۱۶۱
قرون وسطی ۵۸	فخذ ۷۸
قطب	فرقدان (فرقدین) ۸۰
جنوب دایرة البروج ۲۵۶، ۲۷۳	فشردگی
جنوب ژئودتیک ۴۲۱	بیضوی ۴۱۰
جنوب سماوی ۸۷، ۲۴۴، ۲۶۴	زمین ۲۳، ۳۶، ۳۷، ۲۶۱، ۲۹۰
جنوب کروی ۴۱۸	فصل ۲۹۱
جنوب مغناطیسی ۶۲	فصلی (سال) ۳۱۸
جنوب نجومی ۴۳۳	فصول چهارگانه ۲۹۱
سرگردانی ۴۰	فلق ۱۰۹، ۳۱۴
شمال دایرة البروج ۲۵۶، ۲۷۳	
شمال ژئودتیک ۴۲۱	
شمال سماوی ۸۷، ۲۴۴، ۲۶۴	
شمال کروی ۴۱۸	
شمال مغناطیسی ۶۲	
شمال نجومی ۴۳۳	
قطب های	
اکلیپتیک ۲۵۶، ۲۷۳، ۳۰۲	
جغرافیایی ۵۱، ۶۴، ۲۲۳، ۲۴۳	
زمین ۲۱، ۶۴، ۲۴۲	
ژئودتیک ۴۲۱	
سماوی ۲۳، ۴۸، ۱۰۵، ۲۴۴	
کروی ۴۱۸	
مغناطیسی ۶۲، ۶۴، ۶۵، ۲۱۱	
	ق
	قائم
	انحراف ۴۴۹
	ژئوئیدی ۴۳۵، ۴۴۹
	ژئودتیک ۴۲۱، ۴۴۹
	کروی ۴۱۸، ۴۴۶
	نجومی ۴۳۱
	قائم الزاویه
	مثلث کروی ۱۵۱، ۲۸۰، ۲۸۲
	قاعده شاخص ساعت خورشیدی ۱۱۲
	قاعده نپر ۱۵۱
	قانون کولومب (کولن) ۶۶

- قطب نما ۶۱
قطبی
- ستاره ۳۲، ۳۰۳، ۳۰۷
ستارگان حول (دور) ۳۳
فاصله ۳۲، ۳۴، ۲۶۹، ۲۵۴، ۲۷۵
- قطبیت ۶۲
قطر
- اطول بیضی ۲۸۹
اقصر بیضی ۲۸۹
خورشید ۲۸۵
زاویه ای خورشید ۱۱۷، ۳۳۳
زاویه ای خورشید در متوسط فاصله از زمین ۳۵۷
زاویه ای ماه ۲۸۵، ۳۳۳
ماه ۳۳۶
زاویه ای متوسط خورشید ۳۳۳
قنطورس (صورت فلکی) ۸۸
قوس (کمان) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴
قهقرایی
حرکت... مدار ماه ۳۰۶
قیفاووس ۸۱
- ک
- کاتالک ستارگان ۲۷۴
کاروان کش (شعرای یمانی، شبا هنگ) ۳۱۷
کارینا ۸۷
کاتنانت ۳۴۷
کرونومتر (زمان سنج) ۴۸، ۳۶۲
کرونومتر خورشیدی ۱۴۱
گره ۴۰۹
جغرافیایی ۱۹۸
سماوی ۲۳۹، ۲۶۳، ۲۶۴
شبه (گره پهن شده) ۳۷، ۲۶۰، ۴۱۰
کروی
- استوای ۴۱۸
افق ۴۱۹
سمت ۴۱۹
صفحات قائم ۴۱۹
طول ۴۱۹
عرض ۴۱۹
قائم ۴۱۸، ۴۴۶
قطب جنوب ۴۱۸
قطب شمال ۴۱۸
قطبهای ۴۱۸
مدار ۴۱۹
مقاطع قائم ۴۱۹
نصف النهار ۴۱۸
نصف النهارات ۴۱۸
کریستف کلمب ۶۲
کزدم (عقرب) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴
کسوف (خورشید گرفتگی) ۳۲۸، ۳۳۲
کلب اکبر (سگ بزرگ) ۳۱۷
کمان (قوس) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴
کعبه ۱۶۶
مختصات جغرافیایی ۱۶۷
کوادرانت ۳۴۷
کهکشان ۳۴۵
بیضوی شکل ۳۴۵
راه شیری ۳۳۷، ۳۴۵
مارپیچی ۳۴۵
نامنظم ۳۴۵
کهکشانی
دستگاه مختصات ۲۶۵، ۲۷۴
عرض ۲۷۴
طول ۲۷۴
منظومه ۲۷۴
کیوان (زحل) ۳۱۶، ۳۳۹

حضيض ۳۳۳
 شب چهارده ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۵
 عرفی ۳۱۶
 فازهای ۳۲۵
 فاصله زاویه ای ۲۸۵
 فاصله زمین از ۳۳۳
 قطر زاویه ای ۳۳۳
 قمری ۳۱۶، ۳۲۰
 گرفتگی ۲۸۷، ۳۲۸، ۳۳۰، ۳۳۵
 گرفتگی جزئی ۳۳۶
 گرفتگی کلی ۳۳۶
 گره ای (نادیکال) ۳۱۷
 محاق ۹۰، ۳۱۶، ۳۲۵
 نجومی ۳۱۷
 نو ۹۰، ۳۲۰، ۳۲۱، ۳۲۵
 هلالی ۳۱۰، ۳۱۶
 ماهی (حوت) (برج) ۱۳۸، ۳۰۷، ۳۴۴
 مبده زمانی ۳۶۲
 متمم
 ارتفاع ۲۵۱، ۲۶۵، ۲۷۵
 عرض ۲۷۵
 عرض جغرافیایی ۳۴، ۱۴۳، ۲۷۸
 میل ۲۵۴، ۲۶۹، ۲۷۵
 متونیک (دوره) ۳۲۱
 مثلث
 کروی ۱۴۶، ۱۴۹، ۴۱۹
 خواص ۱۴۷
 فرمولهای ۱۴۹
 قائم الزاویه ۱۵۱
 نجومی ۳۴، ۱۰۹، ۲۷۵
 مثلثات کروی ۱۴۴
 مجمع الجزایر تواموتو ۲۲۳
 محور

گ

گاو (ثور) (برج) ۱۳۷، ۳۴۲
 گاو آهن ۷۸
 گاوس ۶۶
 گذر زبرین و زبرین ۳۳، ۲۷۸، ۳۴۶
 گذر ستاره ۲۷۸
 گرانیگاه زمین ۴۲۶
 گرفت (گرفتگی) ۳۲۸
 گرفتگی
 خورشید ۲۸۷
 زمین ۳۳۲
 ماه ۲۸۷
 گرگوری (تقویم) ۳۱۶، ۳۱۸، ۳۲۳
 گره ۳۱۷، ۳۳۰
 حرکت قهقرایی ۳۳۱
 گره های ماه ۳۳۰

ل

لامبرت (ساعت خورشیدی) ۱۲۲، ۱۳۰
 لبه شاخص ساعت خورشیدی ۱۱۲
 لرزش چاندلر ۴۰

م

ماکیان (صورت فلکی) ۳۰۳
 مانیل (جهت قبله) ۱۸۰
 ماه ۳۱۶
 آنومالی تیک ۳۱۷
 اوج ۳۳۳
 برجی ۳۱۸
 تمایل مدار ۳۳۰
 تقویمی ۳۱۶
 حالات ۳۲۵
 حرکت دورانی ۳۳۳

مدار	استوایی ۴۱۰
خبینوگان ۷۵، ۲۲۸، ۲۶۳، ۳۶۰	اطول ۲۶۱
رأسُ الجَدی ۷۴، ۲۶۳، ۲۹۳	اقصر ۲۶۱
رأس السرطان ۷۲، ۲۶۳، ۲۹۱	جغرافیایی ۲۴۳
ژئودتیک ۴۲۱	چرخشی آنی ۴۳۱، ۴۳۵
شمالگان ۷۳، ۲۲۸، ۲۶۳، ۳۶۰	چرخشی زمین ۲۱، ۲۲۳، ۲۴۲
قطبی جنوب ۷۵	چرخشی (مبنای) میانگین ۴۳۵
قطبی شمال ۷۳	سماوی ۲۴۴
کروی ۴۱۹	عالم ۲۴۴
نجومی ۴۳۳	قطبی ۴۱۰
مدارات	مختص
ژئودتیک ۴۲۱	عرضی ۲۶۴
میل ۲۶۸	طولی ۲۶۴
هم ارتفاع ۲۶۵	مختصات
مراق ۷۶	جغرافیایی ۲۱
مرکاتور (دستگاه تصویر استوانه‌ای) ۱۹۴	جغرافیایی کعبه (مگه) ۱۶۷، ۴۳۸
مرکز ثقل زمین ۱۴۵	دستگاه ۲۱
مرکز ساعت خورشیدی ۱۱۲	دستگاه... استوایی (معدلی) مستقل ۲۶۵،
مریخ (بهرام) ۳۱۶، ۳۳۹	۲۷۰
مشتری (برجیس) ۳۱۶، ۳۳۹	دستگاه... استوایی (معدلی) وابسته ۲۶۵،
مشرق (جهت) ۵۲	۲۷۰
مشرق و مغرب واقعی ۵۲، ۲۴۸	دستگاه... افقی ۲۶۵
معادله زمان (تعدیل زمان) ۴۲، ۳۸۶	دستگاه... عرض و طول سماوی ۲۶۵،
جدول ۳۹۶، ۳۹۷	۲۷۲
معتدله جنوبی (منطقه) ۲۶۳	دستگاه... کهکشانی ۲۶۵، ۲۷۴
معتدله شمالی (منطقه) ۲۶۳، ۳۶۰	دکارتی ۱۷۵
معدلی (استوایی) مستقل (دستگاه مختصات)	زمین مرکزی ۴۲۲، ۴۲۶
۲۶۵، ۲۶۸	ژئودتیک ۴۱۷، ۴۲۱، ۴۲۶
معدلی (استوایی) وابسته (دستگاه مختصات)	ژئودتیک زمین مرکزی ۴۲۶
۲۶۵، ۲۷۰	ژئودتیک مطلق ۴۲۶
مغرب (جهت) ۵۲	قطب‌های مغناطیسی ۵۴، ۶۲
مغرز ۷۶	کروی ۲۶۳، ۴۱۷
مغناطیسی	نجومی ۲۶۳، ۴۱۷، ۴۲۸

حاره ۲۶۳	انحراف (میل) ۲۱۱، ۶۵
زمانی استاندارد ۴۳، ۴۰۱	خطوط نیروی ۶۲
کسوف کامل ۳۳۳	شدت میدان ۶۶
معتدله جنوبی ۲۶۳	شمال و جنوب ۶۲، ۵۴
معتدله شمالی ۲۶۳، ۳۶۰	عقربه ۶۴، ۶۱
منجمده جنوبی ۲۶۳، ۳۶۰	قطب جنوب ۶۲
منجمده شمالی ۲۶۳، ۳۶۰	قطب شمال ۶۲
منطقه البروج ۱۱۹، ۱۳۸، ۳۳۹، ۳۴۲	قطبهای ۶۲، ۵۴
منظومه کهکشانی ۲۷۴	مختصات قطبهای ۶۶
میزان (ترازو) (برج) ۱۳۷، ۳۴۴	میدان ۶۲
میل ۲۵۲، ۲۶۸، ۲۷۰، ۲۷۲	میل (انحراف) ۲۱۱، ۶۵
خورشید ۲۵، ۲۶، ۱۰۰، ۱۳۸، ۱۹۹	نقشه هم میل ۶۵
۲۲۵، ۲۶۹، ۲۹۷	مقابله ۳۴۰، ۳۲۷، ۲۸۵
جدول ۳۰۰، ۳۰۱	مقارنه ۳۳۹، ۳۳۲، ۳۲۶، ۲۸۵
مغناطیسی ۲۱۱، ۶۵	زبرین ۳۳۹
میل و بعد	زبرین ۳۳۹
دستگاه مختصات ۲۶۵، ۲۶۸	سفلی ۲۸۵
میل و زاویه ساعتی	علیا ۲۸۵
دستگاه مختصات ۲۶۵، ۲۷۰	مقاطع قائم
	ژئودتیک ۴۲۲، ۴۲۵
	کروی ۴۱۹
ن	مقطع قائم
نادیکال (گره ای)	ژئودتیک ۴۲۲، ۴۲۵، ۴۴۸
ماه ۳۱۷	کروی ۴۱۹، ۴۴۷
ناهید (زهره) ۳۱۶، ۳۲۸، ۳۲۹، ۳۳۹، ۳۴۶	مکه
نپتون ۳۳۹	سمت الرأس ۲۰۱، ۴۳۷
نپر	سمت القدم ۲۰۸، ۴۴۲
قاعده ۱۵۱	مختصات جغرافیایی ۱۶۷، ۴۳۸
نجوم عملی ۲۳۹	مناطق زمین ۲۶۱
نجومی	منجمده جنوبی (منطقه) ۲۶۳، ۳۶۰
افق ۳۴۲، ۴۳۴	منجمده شمالی (منطقه) ۲۶۳، ۳۶۰
تصحیحات ۳۳، ۳۴۸، ۴۴۵	منحنی مسطح ۴۲۵
تقویم ۲۹۶	منطقه

نجومی ۴۳۳	ثانیة ۳۶۵
نجومی محلی ۵۱	جدول ۳۲، ۲۹۶
نصف النهارات	دستگاههای مختصات ۲۶۳
ژئودتیک ۴۲۱	دقیقه ۳۶۵
کروی ۴۱۸	روز ۴۸، ۳۶۴
نقاط اعتدال ۲۵۶	ساعت ۳۶۵
نقاط انقلاب ۲۵۸	سال ۳۱۸
نقشه هم‌میل مغناطیسی ۶۵	سطح مبنای ۴۳۱
نقشه مغناطیسی جهان ۶۵	سمت ۴۳۴
نقطه	صفحات قائم ۴۳۴
اعتدال بهاری ۴۸، ۱۱۹، ۱۲۴، ۱۳۲	طول ۴۳۲
۲۵۷، ۲۰۰، ۱۳۴	ظهر ۳۶۶
اعتدال پاییزی ۱۱۹، ۱۲۴، ۱۳۲، ۱۳۴	عرض ۴۳۲
۲۵۸، ۲۰۰	قائم ۴۳۱
انقلاب تابستانی ۱۱۹، ۱۲۴، ۱۳۲	قطب جنوب ۴۳۳
۲۵۸، ۲۰۰، ۱۳۴	قطب شمال ۴۳۳
انقلاب زمستانی ۱۲۴، ۱۳۲، ۱۳۴	قطبهای ۴۳۳
۲۵۸، ۲۰۰	ماه ۳۱۷
نقطه متقابل (مقاطر) مکه ۲۲۲	مدار ۴۳۳
نیم سایه ۳۲۸	مختصات ۲۶۳، ۴۱۷، ۴۲۸
نیم قطر ۳۵۶	نصف النهار ۲۱، ۴۳۳
خورشید ۳۵۷، ۳۵۸	واحد ۲۸۶
تصحیح ۳۵۶	وقت ۴۷، ۳۶۴
نیمه شب ظاهری ۳۸۷	نسر واقع ۳۰۳، ۳۰۷
نیمه شب متوسط محلی ۳۷۸	نصف النهار
و	استاندارد ۴۲، ۴۰۲
واحد نجومی ۲۸۶	جغرافیایی ۵۱
ورتیکال ۴۳۴، ۴۵۰	خط ۲۱، ۲۴۸
ورنیه ۱۴۲	سماوی ۵۱
وسيله رسم بیضی ۱۳۰	قرارگیری ستاره در خارج ۲۸۴
وضعیت دورترین فاصله ستاره ۱۰۶، ۲۸۰	کروی ۴۱۸، ۴۱۹
وضعیت زمین مرکزی ۴۲۶	کروی مبدأ ۴۱۹
	مبداء ۲۲، ۴۱، ۲۵۰

شمسی ظاهری محلی ۴۰۵، ۳۷۴	وضعیت مطلق ۴۲۶
شمسی متوسط ۳۸۶، ۳۶۳، ۱۴۱	وضعیت نسبی ۴۲۶
ظاهری محلی ۴۰۵، ۴۲	وضعیت های ظاهری خورشید در فصول مختلف
متوسط ۳۷۷	۲۹۴
متوسط استاندارد ۴۰۶	وضعیت یک ستاره در سطح نصف النهار اصلی
متوسط گرینویچ ۴۹	۲۸۲
محلی ۳۸۰، ۴۲	وضعیت های ماه ۳۲۵، ۳۱۶، ۹۰
نجومی ۳۶۴، ۴۷	وقت
نجومی محلی ۳۶۸، ۳۶۶	استاندارد ۱۰۳، ۹۸، ۹۴، ۴۲، ۴۱
۵	۴۰۵، ۴۰۱
هانویی (جهت قبله) ۱۹۲	تقویمی (جدول نجومی) ۳۶۳، ۳۱۸
هفت برادران ۷۸	۳۸۱
هفتورنگ ۷۸	جدول نجومی (تقویمی) ۳۶۳، ۳۱۸
هفتورنگ کهن ۸۰	۴۰۴، ۳۸۱
هلال ماه نو ۳۲۶، ۹۰	جهانی ۴۰۴
هم ارتفاع	جهانی هماهنگ شده ۴۰۴
مدارات ۲۶۵	شمسی حقیقی ۱۱۵، ۱۰۳، ۹۷، ۴۲
	۱۴۱، ۱۳۲
	شمسی ظاهری (حقیقی) ۳۸۶، ۳۷۰