فصل ۱

مقدمه

بر حسب تعریف [Morris (editor) . 1975] نجوم عبارت است از مطالعه ی علمی جهان ماوراء زمین ، به ویژه مشاهدات ، محاسبات و تفسیر و تعبیر وضعیّات و ابعاد اجرام سماوی و پدیده هایی از این گونه.همچنین توزیع و حرکت و ترکیب و تخمین آنها.نجوم از قدیمی ترین علوم طبیعی است که سابقه ی آن به تمدن های باستانی چین و بابلی باز می گردد.قبل از سال 1609 یعنی پیش از اختراع تلسکوپ مشاهدات نجومی به وسیله ی چشم غیر مسلح انجام می شد.

نجوم ژئودزی طبق تعریف [Mueller , 1969] هنر و علم تعیین موقعیّت نقاط واقع بر سطح زمین و آزیموت خطوط ژئودتیکی که این نقاط را به یکدیگر وصل می نمایند،به وسیله ی مشاهدات نجومی می باشد.

این کتاب در اصل برای آموزش نجوم ژئودزی به دانشجویان دوره ی لیسانس مهندسی نقشه برداری نوشته شده که با حذف پاره ای از مطالب می تواند برای دانشجویان دوره های پایین تر نیز مورد استفاده قرار گیرد. نیاز مهندسان نقشه بردار به آگاهی از نجوم ژئودزی امری است واضح ولی برای آشنایی بیشتربا نقشی که نجوم ژئودزی به عنوان جزئی از ژئودزی در ارتباط با سایر شاخه های نقشه برداری داراست موارد زیر ذکر می گردد.در لیست زیر به پاره ای از مطالبی نیز که در متن کتاب مورد مطالعه قرار خواهند گرفت ، اشاره ای می شود.

۱. اطلاعات و معلومات راجع به سیستم های مختصات سماوی و تبدیلات بین آنها و نوسانات و تغییرات این سیستم ها در مطالعات نجوم لازم است و بدین سبب مروری بر این سیستم ها به عمل خواهد آمد.
۲. سیستم های مختصات سماوی ارتباط بین سیستم های مختصات زمینی و ماهواره ای را برقرار و بیان می کنند.
۳. مفاهیم زمان برای منظورهای ژئودتیک بیان خواهند گردید.
۴. مطالعات جزر و مد (tidal)،داشتن معلومات را در نجوم ژئودزی ایجاب می نماید.
۵. در مواجهه با تکنولوژی های جدید در نقشه برداری (به طور مثال inertial surveying systems) درک سیسیتم مختصات نجومی محلی از اصول اوّلیه است.
۶. در ایجاد شبکه های ژئودزی سه بعدی زمینی مختصات نجومی نقاط زمینی از اهمیّت ویژه ای برخوردارند.
۷. تعیین انحراف قائم آستروژئودتیک در تعیین ژئویید مفید می باشد که داشتن مدل ژئویید ممکن است در تعیین دقیق مشاهدات زمینی مانند فواصل ، امتدادات و زوایا مورد استفاده قرار گیرد.
۸. آزیموت های نجومی در توجیه شبکه های ژئودزی اهمیّت فراوانی را دارا هستند .

۹. نجوم ژئودزی در تعیین مبنا و توجیه شبکه های نقشه برداری مستقل که دور از نقاط ژئودزی واقعند،مفید می باشد.
۱۰. نجوم ژئودزی در تعیین مرزها و حدود نجومی مورد استفاده قرار می گیرد.

تعاریف اساسی

در نقشه برداری همیشه با سه نوع سطح سر وکار داریم که هریک از آنها را به عنوان شکل زمین پذیرفته ایم.
این سه سطح عبارتند از :

۱. سطح زمین
۲. بیضوی
۳. ژئویید

سطح طبیعی یا فیزیکی زمین سطحی است که تعیین مدل ریاضی برای آن بینهایت مشکل است.

بنابراین برای انجام محاسبات بایستی سطحی را در نظر گرفت که بتوان به صورت ساده تری به زبان ریاضیّات قابل بیان باشد.متداول ترین سطحی که بدین منظور انتخاب شده و می شود،بیضوی دو محوری(biaxial ellipsoid) است.زیرا از نظر شکل و اندازه نزدیک ترین فرم ریاضی به شکل واقعی به زمین را می توان به وسیله ی یک چنین بیضوی ای به دست آورد.این سطح برخلاف سطح طبیعی زمین شکلی است کاملاً ریاضی که به وسیله ی دو پارامتر b و a (نصف قطر بلند و نصف قطر کوتاه) یا به وسیله ی β و α ($f = a - b/a$) تعریف می شود (رجوع شود به شکل۱– ۱).این شکل معروف به بیضوی مقایسه است و لی بایستی توجّه داشت که تا کنون بیضوی های مقایسه ی زیادی تعریف شده اند که یا کاربرد جهانی داشته و یا به طور منطقه ای مورد استفاده قرار گرفته و با به کار بردن بیضوی دو محوری مختصات ژئودتیک منحنی الخط نیز تعریف می شوند که عبارتند از :φ (عرض ژئودتیک) λ (طول ژئودتیک) و h (ارتفاع از سطح بیضوی) (رجوع شود به شکل ۲ – ۱).واضح است که چون بیضوی یک شکل ریاضی زمین است ، موقعیّت و توجیه آن داخل زمین کاملاً اختیاری است و به همین علّت بنا به نیاز، بیضوی های مقایسه ی ژئوسنتریک یا غیر ژئوسنتریک تعیین گردیده اند.توجیه مناسب برای این بیضوی ها موازی بودن محور z با محور متوسط دورانی زمین و موازی بودن محور x است.با صفحه ی نصف النهار متوسط نجومی گرینویچ.

سطوح هم پتانسیل زمین که نشان دهنده ی خواصّ فیزیکی زمین مانند جرم ، توزیع جرم و دوران زمین می باشند سطوح حقیقی یا فیزیکی زمین می باشند و می توان آنها را به صورت ریاضی بیان نمود.سطح هم پتانسیل که همه جا مورد استفاده است سطح ژئویید است که طبق تعریف منطبق است بر سطح متوسط اقیانوس ها (شکل ۳ – ۱).به دنبال سطوح هم پتانسیل

خطی به نام خط شاغولی (plumb line) تعریف می شود که عبارتست از خط نیرویی که همه جا قائم بر سطوح هم پتانسیل است و بنابراین خمی چپ می باشد (شکل ۳- ۱).

کمیّت های اصلی در نجوم ژئودتیک عبارتند از : عرض نجومی (Φ) ، طول نجومی (Δ) و ارتفاع اورتو متریک (H).این کمیّت ها را مختصات طبیعی نیز می نامند زیرا بنا به تعریف این مقادیر بر حسب خواصّ حقیقی و فیزیکی زمین تعین می شوند.

عرض نجومی (Φ) یک محل بنا به تعریف عبارت است از زاویه های بین بردار ثقل آن محل (این بردار قائم نجومی *(astronomic normal) یا قائم گرینویچی *(gravity vertical) نیز نامیده می شود) و صفحه ی استوای لحظه ای و در صفحه ی نصف النهار نجومی اندازه گیری می شود (شکل ۴ – ۱).در این تعریف بردار ثقل، برداری است مماس بر خط شاغولی (که خطی است منحنی) در نقطه ی مطلوب.طول نجومی یک محل (Δ) زاویه بین نصف النهار متوسط مبدأگرینویچ و صفحه ی نصف النهار نجومی آن محل می باشد.که در صفحه ی استوای لحظه ای اندازه گیری می شود (شکل ۱ – ۴).

ارتفاع اورتوفیزیک (H) یک نقطه عبارت است از ارتفاع آن نقطه از سطح ژئوئید که در طول خط شاغولی به وسیله ی ترازیابی مستقیم و ثقل سنجی مسیر مطلوب اندازه گیری و محاسبه می شود.پس از انجام مشاهدات و اعمال بعضی تصمیمات و تبدیلات مانند حرکت قطبی و انحنای خط شاغولی مختصات نجومی تبدیل یافته ی (Φ , Λ , H) به مبنای ژئویید و محور دورانی متوسط زمینی به دست می آید.در باره ی محور دورانی متوسط زمین بعداً توضیح داده خواهد شد.

نکته ی بسیار مهم رابطه ی بین مختصات ژئودتیک ، نجومی است.مشاهدات صحرایی تابعی از طبیعت و فیزیک زمین بوده و در یک سیستم طبیعی انجام انجام می گیرند، مختصات نجومی نیز در همین سیستم بیان می شوند و لی در طبیعت ژئودزی در یک سیستم ریاضی محاسبه می شوند.بنابر این برای استفاده از مشاهدات و اطلاعات به دست آمده ی صحرایی در محاسبات H ، یک سیستم ژئودتیک لازم است که رابطه ی بین این دو سیستم طبیعی و ریاضی را بشناسیم.

انحراف نسبی قائم (θ) (astro – geodetic) در یک نقطه عبارت است از زاویه ی بین بردار ثقل آن نقطه و قائم بر بیضوی مقایسه در همان نقطه (نقطه ممکن است واقع بر سطح زمین و یا بر روی ژئوئید باشد) (شکل ۵ – ۱).معمولا θ را به دو مولفه ی ξ بر روی نصف النهار و ђ بر روی قائم اولیه تجزیه می نمایند (شکل ۶ – ۱).دو فرمول زیر رابطه ی این دو مولفه را با طول ها عرض های نجومی و ژئودتیک بیان می نمایند.

$$\xi = \Phi - \varphi \qquad (۱ – ۱)$$

$$ђ = (\Delta - \lambda) \cos \varphi \qquad (۱ – ۲)$$

این دو فرمول مبین رابطه ی بین مختصات ژئودتیک و نجومی و به عبارت دیگر مشخص کننده ی رابطه ی بین دو سیستم ریاضی و طبیعی فوق الذکر هستند.

---

* دو کلمه ی normal و vertical در زبان فارسی به قائم ترجمه می شوند ، در صورتی که در ژئودزی به ترتیب به معنی قائم بر بیضوی و قائم بر ژئوئید می باشد.

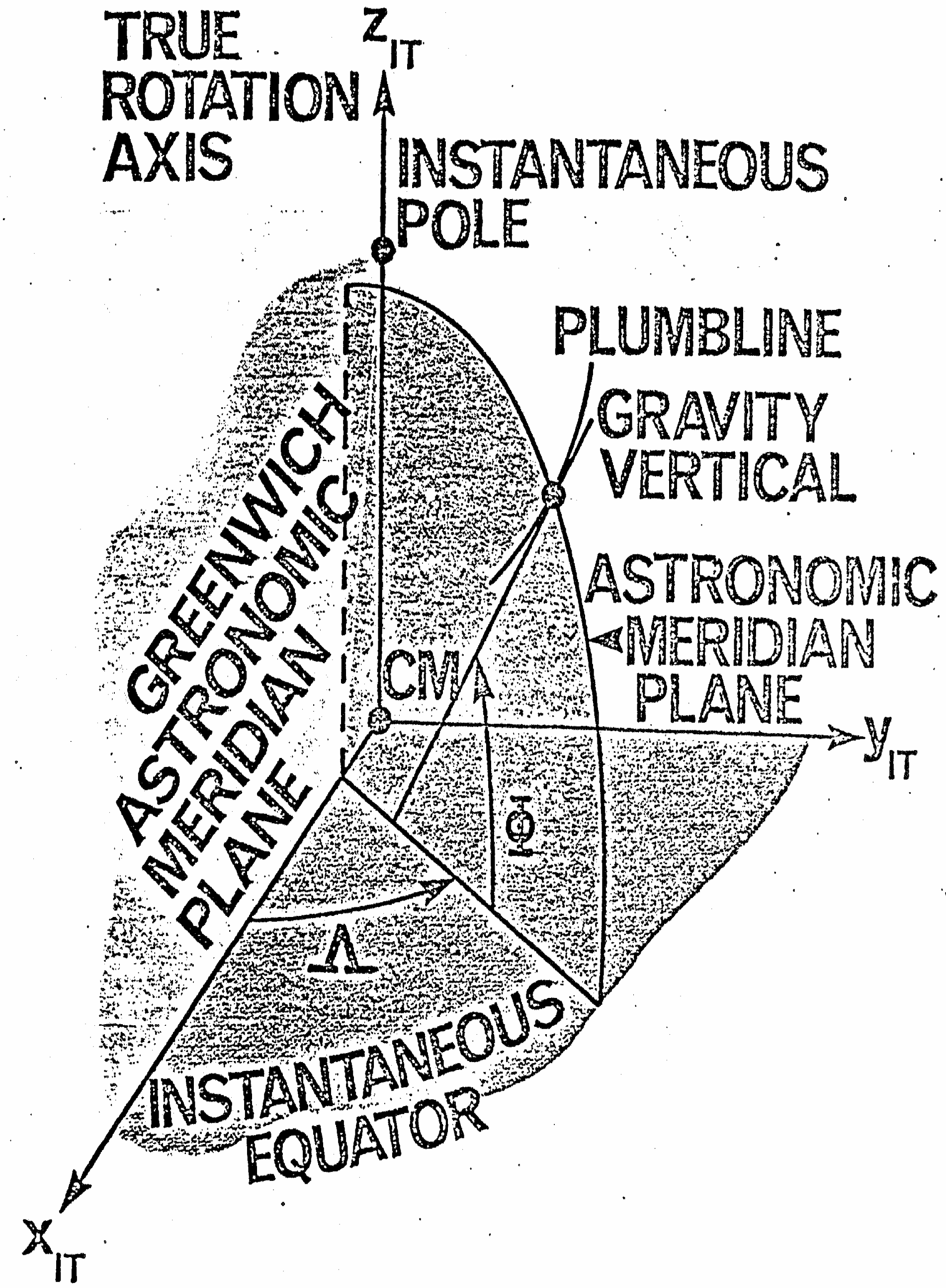


Figure 1-4

Astronomic Latitude (Φ) and Longitude (Λ)

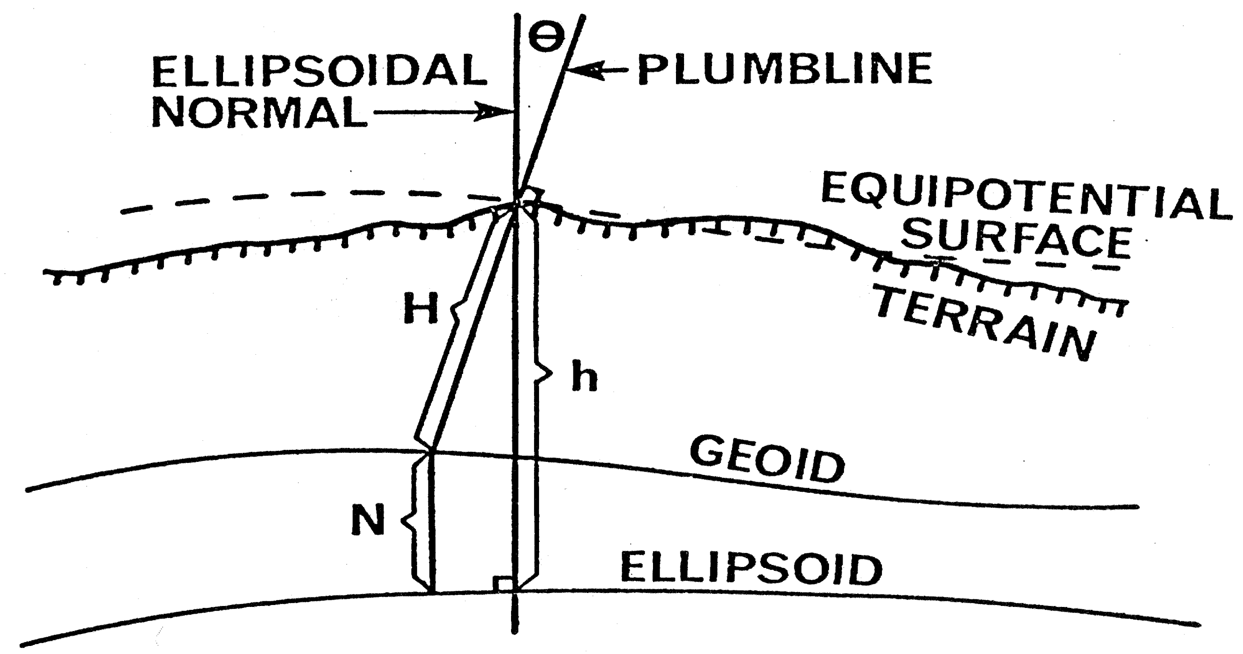
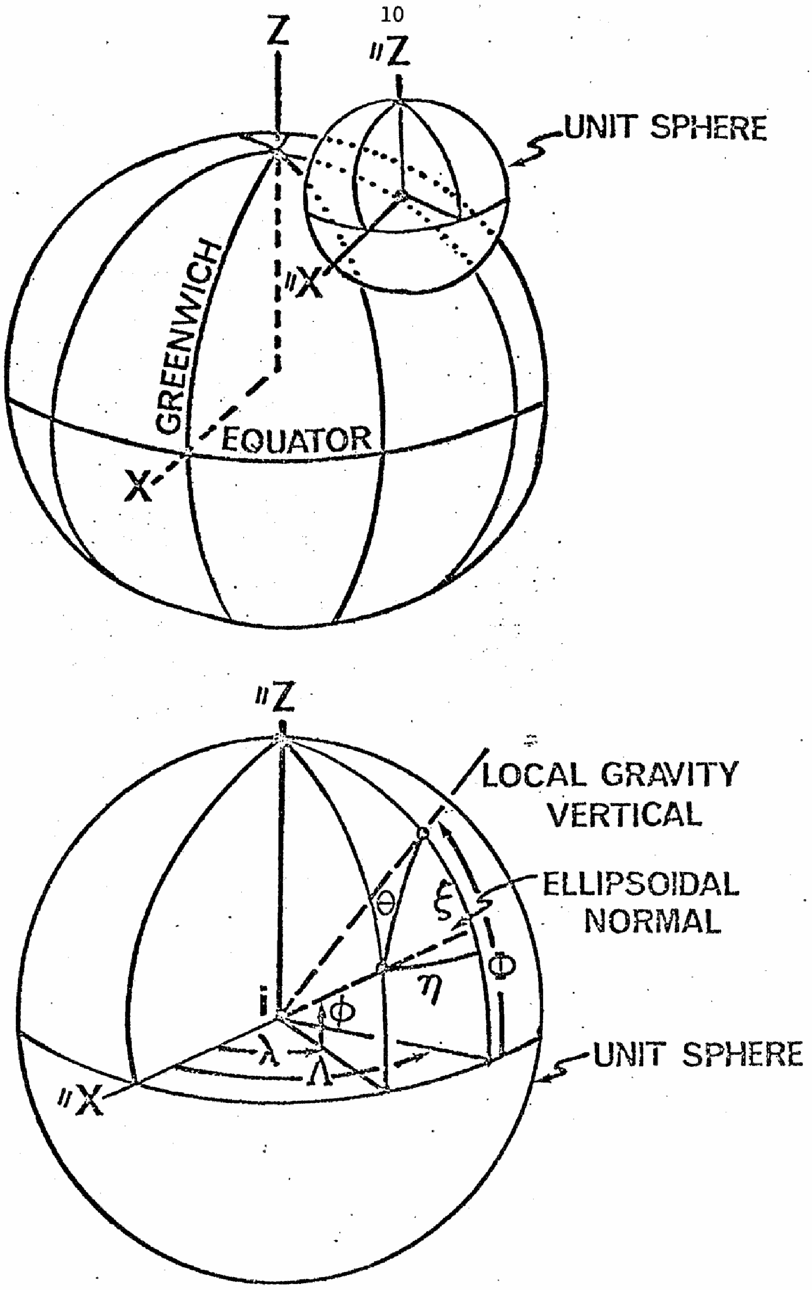


Figure 1-5

Geoid Height & Terrain Deflection of the Vertical

10



$$\xi = \Phi - \phi$$

$$\eta = (\Lambda - \lambda) \cos \phi$$

Figure 1-6

Components of the Deflection of the Vertical

فاصله ی بین ژئوئید و یک بیضوی مقایسه ارتفاع ژئوئید نامیده شده و آن را با (N) نشان می دهند.این ارتفاع در طول قائم بر بیضوی اندازه گیری می شود و مـی تـوان ان را بـا فرمـول زیـر بـا خطایی کمتر از یک میلی متر اندازه گیری نمود.

$$N = h - H \qquad (۱ – ۳)$$

در پایان این بخش تعریف آزیموت ژئودتیک یادآوری می شود.آزیموت ژئودنیک (α) بـین دو نقطه ی i و j واقع بر سطح بیضوی عبارت است از زاویه ی بین نصف النهار ژئودتیک گذرنده از i و خط مماس برخط ژئودزی واصل دو نقطه ی j و i (خط ژئودزی منحنی است گذرنده بـر دو نقطـه که کوتاه ترین فاصله بین آن دو نقطه را به دست می دهد) (شـکل ۷ – ۱).ایـن زاویـه از نـصف النهار نقطه ی i در جهت حرکت عقربه های ساعت اندازه گیری می شـود.آزیمـوت نجـومی (A) بین دو نقطه ی j و i زاویه ی بین نصف النهار نجومی گذرنده بر i و صفحه ی قائم نجومی در i و گذرنده بر j می باشد (شکل ۸ – ۱).این زاویه از مبدا شمال در جهت حرکت عقربه های سـاعت اندازه گیری می شود.

رابطه ی بین دو آزیموت ژئودتیک و نجومی یعنـی A و α بـا معادلـه ی آزیمـوت لاپـلاس بـه صورت زیر بیان می شود :

$$A - \alpha = \hbar \tan \varphi + (\xi \sin \alpha - \hbar \cos \alpha) \cot z \qquad (۱ – ۴)$$

که در آن z فاصله ی زمینی است.باید توجّه داشت کـه بایـد آزیمـوت ژئودتیـک (α) تـصحیحات ارتفاع نقطه ی مورد قراول روی و اختلاف بین مقطع قائم و خط ژئودزی اعمال می شود.

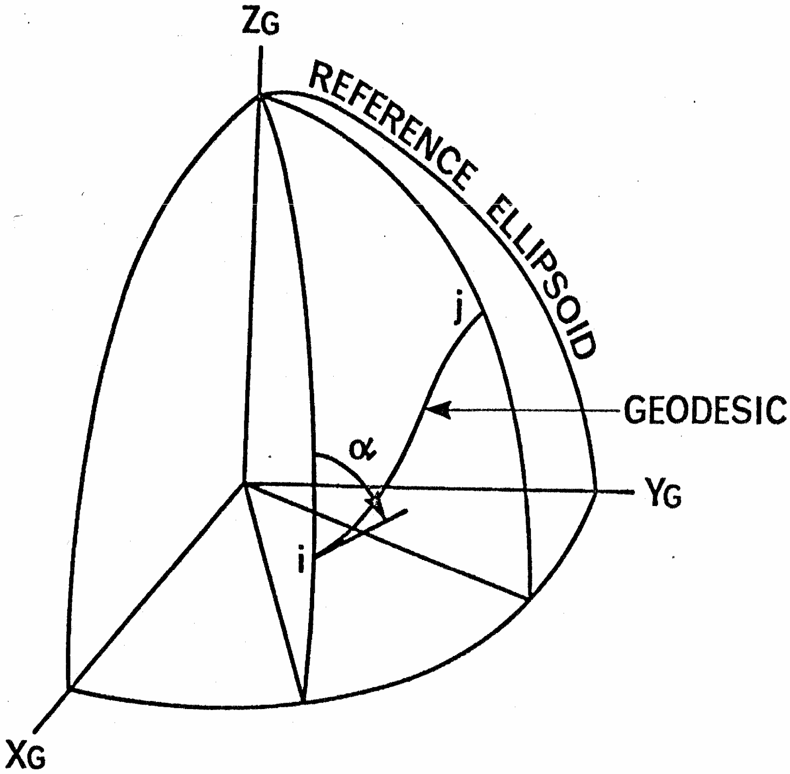


Figure 1-7

Geodetic Azimuth

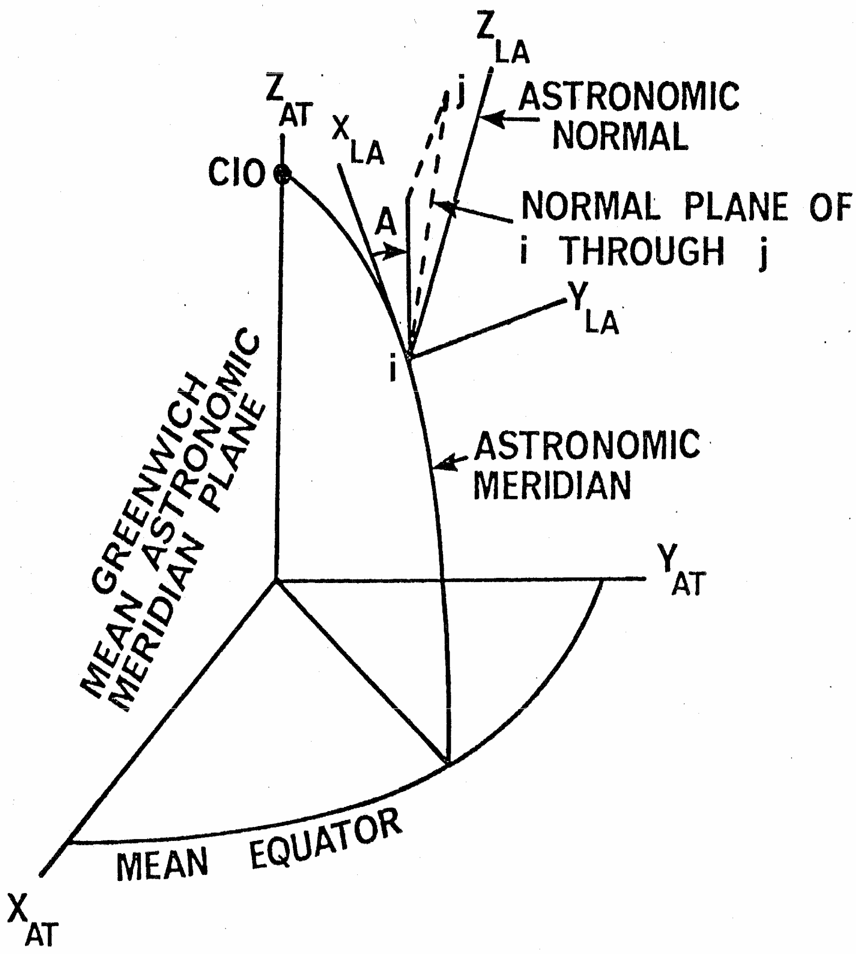


Figure 1-8

Astronomic Azimuth

فصل ۲

سیستم های مختصات سماوی

سیستم های مختصات سماوی برای تعریف مختصات اجرام سماوی مانند ستارگان به کـار مـی روند.این سیستم ها چهار نـوع اکلیپتیـک (ecliptic) ، بعـدی (right ascerasion) ، زاویـه ساعتی و افقی تقسیم بندی شده اند که جزئیات و مشخصات آنها را در این فصل بـه طـور مـشروح خواهیم دید.بین سیستم های مختصات سماوی و زمینی (همچنین ماهواره ای) دو اختلاف مهـم وجود دارد.اوّل اینکه به علّت وجود فواصل بسیار زیادی که در نجوم با آن سر و کار داریـم ، امکـان اندازه گیری فواصل در نجوم موجود نبوده بلکه در سیستم های سماوی تنها امتداد ها اندازه گیـری و مشاهده می شوند و این بدان معنی است که کمیّت های برداری را در این نـوع سیـستم هـا مـی توان به عنوان بردار واحد در نظر گرفت.دومین اختلاف این است که هندسه ی سماوی هندسـه ی کروی است، بر عکس هندسه ی مورد استفاده در ژئودزی زمینی و سیستم های مختصات زمینـی ، هندسه ی بیضوی است که این خود موجب سهولت بیشتری در بیان ریاضی روابط نجومی می شود.

۲ . ۱ . کره ی سماوی

فاصله ی زمین از نزدیکترین ستاره بیشتر از 10^9برابر شعاع کره ی زمین است بنابر این واضـح است که ابعاد زمین در مقایسه با این فواصل، ناچیز و قابل صرف نظـر نمـودن اسـت . بـرای مثـال فاصله ی این ستاره (α centauri) از زمین حدود چهار سـال نـوری یعنـی تقریبـاً (40×10^{12}) کیلـومتر اسـت در حـالی کـه سـتارگان دیگـری نیـز ماننـد VEGA بـا سـی سـال نـوری و α USAEMINORIS یا ستاره ی قطبی با پنجاه سال نوری فاصله از زمین وجود دارنـد.فاصـله ی خورشید از زمین فقط 8.25 دقیقه ی نوری یعنی تقریباً (155×10^6) کیلو متر است.به دلیل وجود چنین فواصل بعیدی می توان گفت که حرکات ستارگان برای بیننده ای در زمین بسیار کوچـک و ناچیز است.با توجّه به این مطالب در نجوم چنین فرض می شود که ستارگان در فواصل مـساوی بـا زمین و بر روی سطح کره ای که آن را کره ی سماوی می نامند واقع باشند.ابعاد این کره به قـدری بزرگ فرض می شود که زمین و در واقع منظومه س شمسی را می توان در مقابل آن به عنوان یک نقطه در مرکز آن انگاشت.گرچه این نقطه فاقد هر گونه بعدی است ولی روابط بین امتداد های روی زمین و در سیستم های خورشیدی را می توان به کره ی سماوی گسترش داد.

محور دورانی لحظه ای زمین کره ی سماوی را در قطب شمال و جنوب این کره قطع می نماید که به ترتیب با NCP و SCP نشان داده می شوند.چنانچـه صـفحه ی اسـتوای زمـین از هـر سـو گسترش داده شود ، کره ی سماوی را در طول دایره ای قطع می نماید که آن را اسـتوای سـماوی می نامند (شکل ۱ – ۲).قائم محل کره ی سماوی را در بالا سر ناظر و پایین او قطع می نماید که این دو نقطه به ترتیب به سمت الراس (zenith) و سمت القدم (nadir) موسوم اند(شکل ۱-۲).

دایره ی عظیمه ی گذرنده بر قطب (عمود بر استوای سماوی) **دایره ی ساعتی** نام دارد (شکل ۱ – ۲). دایره ی قائم یک محل که بر قطبین سماوی نیز بگذرد ، دایره ی ساعتی ای خواهد بود که از سمت الرأس ناظر در آن محل عبور کرده باشد.صفحه ی این دایره را **نصف النهار سماوی** می نامند (شکل ۱ -۲).دایره ی غیر عظیمه ای که به موازات استوای سماوی باشد ، به مدار سماوی موسوم است . صفحه ی بسیار مهم دیگر در نجوم افق سماوی است و آن صفحه ایست عمود بر قائم محل و گذرنده بر نقطه ی مشاهده کننده (مرکز سماوی) (شکل ۱ – ۲).صفحه ی عمود بر افق و گذرنده بر سمت الرأس صفحه ی قائم نامیده می شود.صفحه ی قائم عمود بر نصف النهار صفحه ی قائم اوّلیه و محل برخورد آن با افق سماوی نقاط شرق و غرب نام دارند.

به علت دوران زمین ، نقطه ی سمت الرأس و صفحات قائم و افق و نصف النهار به طور پیوسته بر روی کره ی سماوی تغییر موقعیّت می دهند که تأثیر این تغییرات را بعداً مورد مطالعه قرار خواهیم داد.اگر در یک لحظه ستاره ای مانند s در نظر گرفته می شود ، نصف النهار سماوی و دوایر ساعتی و قائم بر روی کره ی سماوی مثلثی را تشکیل خواهند داد که آن را مثلث نجومی s می نامند که رأس های آن سمت الرأس (z) ، نقطه ی قطب شمال سماوی (NCP) و s هستند (شکل ۲ – ۲).

بر روی کره ی سماوی دوایر مهم دیگری نیز تعریف می شوند که به دوران زمین به دور خورشید و یا به مفهوم معکوس آن که در نجوم مفروض است یعنی دوران خورشید به دور زمین که به آن حرکت ظاهری خورشید می گویند ، بستگی دارند.مهم ترین این دوایر ، دایره ی اکلیپتیک (ecliptic)است که به طور تقریب مسیر ظاهری خورشید به دور زمین را نمایش می دهد (شکل ۳ – ۲).اکلیپتیک استوای سماوی را در دو نقطه که هر کدام را نقطه ی اعتدال (equinoxe) (به معنای روز و شب مساوی) می نامند ، قطع می نماید. نقطه ای را که خورشید در مسیرش از جنوب به شمال استوای سماوی را قطع می نماید ، اعتدال بهاری (vernal equinoxe) و نقطه ی مقابل آن را اعتدال پاییزی (autmnal equinoxe) می نامند.زاویه ی حاده ی بین استوای سماوی و اکلیپتیک به میل اکلیپتیک موسوم است و مقدار آن تقریبا $23°27'$ می باشد که با ε نشان داده می شود (شکل ۳ – ۲).دو نقطه ای را که به فاصله ی $90°$ از هر یک از نقاط اعتدال واقعند و در آنها خورشید در حد اکثر فاصله ی زاویه ای خود از استوای سماوی قرار دارد ، نقاط انقلاب می نامند . به نقطه ی انقلاب تابستانی (summer solstice) و انقلاب زمستانی (winter solstice) موسوم اند.

در پایان این تعاریف لازم است گفته شود که کره ی سماوی روابط بین یک مشاهده کننده و ستارگان تنها به صورت تقریبی بیان می شود و مانند سایر تقریبات اعمال تعدادی تصحیحات مختلف لازم است تا بتوان آن روابط را به صورت واقعی بیان نمود.این تصحیحات بنا به دلایل زیر ضروری است :

الف) ستارگان حالت ساکنی بر روی کره ی سماوی ندارند بلکه در واقع در حال حرکتند.تصحیح مربوط به این حرکت را حرکت مخصوص (proper motion) می نامند.

ب) محور دورانی زمین نسبت به ستارگان ساکن نیست و این مسئله اعمال تصحیحاتی را ایجاب می نماید که آنها را پرسشن و نوتیشن (precesion , nutation) می نامند.

ج) زمین از مرکز کره ی سماوی جابه جا می شود و بنا براین محل ناظر هم که در مرکز ثقل زمین فرض شده جابه جا می شود.این تصحیح به علّت این جابه جایی به پارالاکس (parallacs) موسوم است.

د) زمین در حول مرکز کره ی سماوی حرکت می کند و تصحیح مربوطه را (aberration) می نامند.

و) مسیر امتداد های مشاهده شده در مرحله ی عبور از اتمسفر منحنی می شود و تصحیح در این مورد تصحیح انکسار (refrection) نامیده می شود.

تمام این اثرات و تصحیحات در این کتاب مورد بررسی دقیق قرار خواهند گرفت.

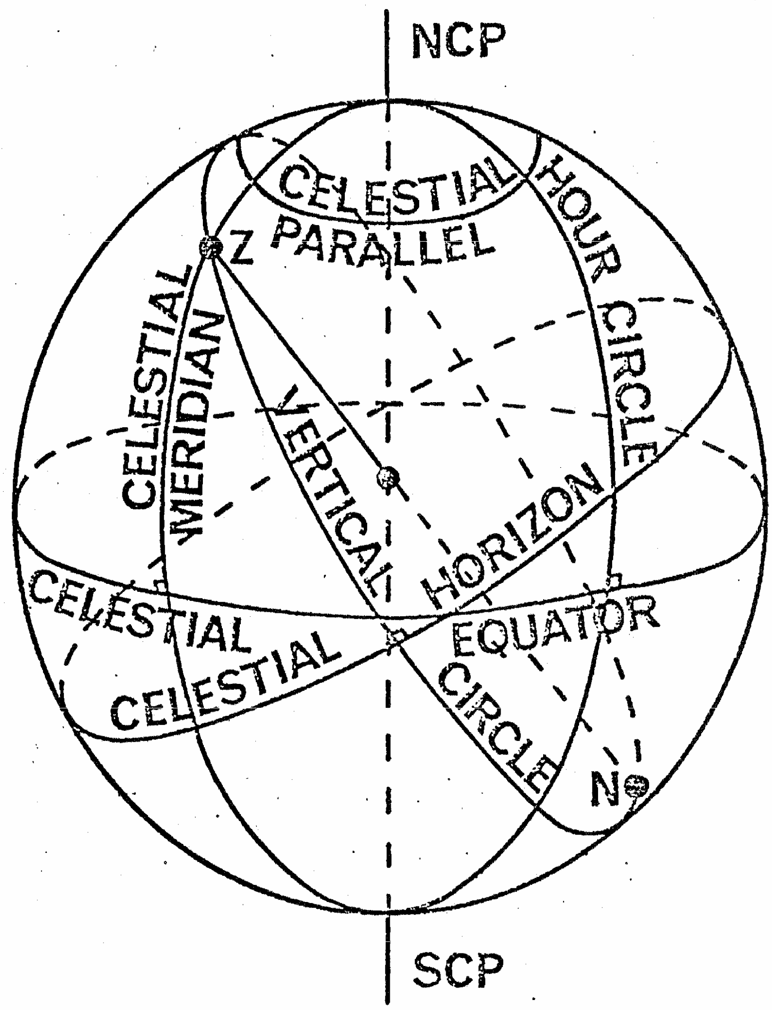


Figure 2-1

Celestial Sphere

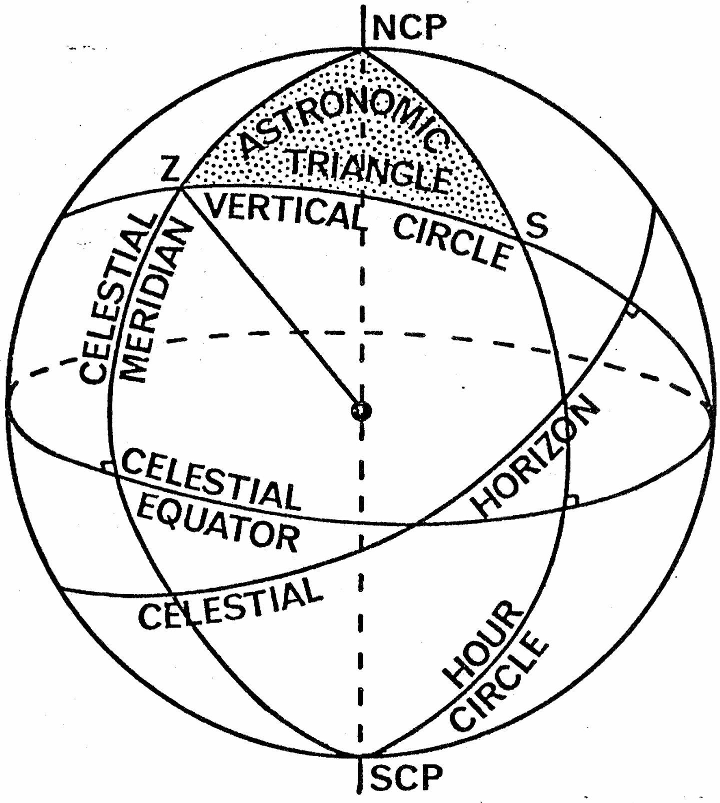


Figure 2-2

Astronomic Triangle

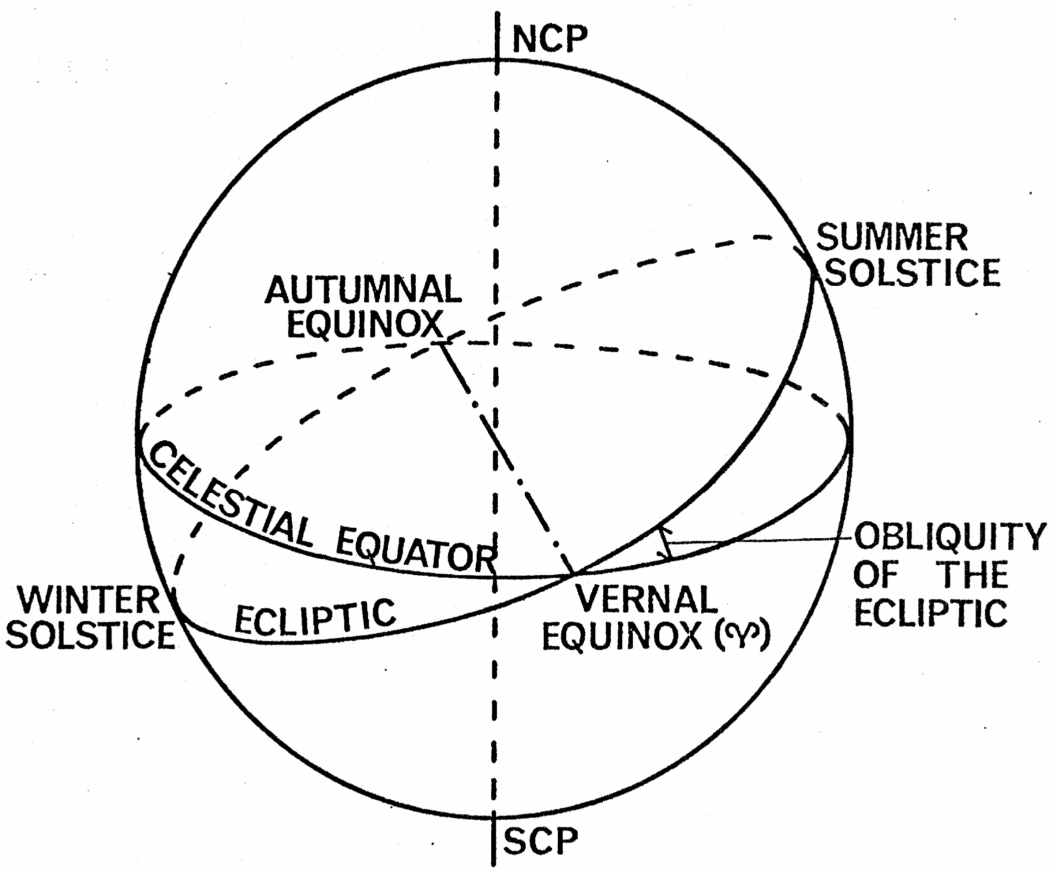


Figure 2-3

Sun's Apparent Motion

۲ – ۲ سیستم های مختصات سماوی

سیستم های مختصات سماوی برای تعریف موقعیّت ستارگان بر روی کره ی سماوی به کار می روند. یادآوری می شود که به علّت فواصل بسیار بعید ستارگان با زمین در نجوم فرض می شود که تمام آنها به فاصله ی مساوی تا زمین قرار دارند و با این فرض کره ی سماوی را می توان به صورت کره ای به شعاع واحد در نظر گرفت و موقعیّت ستارگان را بر روی آنها تنها با استفاده از مشاهده ی امتدادات تعیین نمود.واضح است که برای تعیین موقعیّت یک نقطه بر روی یک رویه به دو مؤلفه یا دو مختصات سماوی باشد که برای مشخص نمودن وضعیّت ستارگان دو صفحه ی مرجع اوّلیه و ثانویه درنظرگرفته شده و مختصات ستارگان نسبت به این دو صفحه تعیین می گردد.

در این کتاب دو روش برای بیان مختصات به کار می رود. دو روش اوّل این مختصات به وسیله ی یک مجموعه از مختصات منحنی الخط و دو روش دوم آنها را به وسیله ی یک بردار به طول واحد در فضای سه بعدی که توابعی از مختصات منحنی الخط هستند بیان می گردند.

۱ – ۲ – ۲ سیسم افقی

در این سیستم صفحه ی مرجع اوّلیه افق سماوی و صفحه ی مرجع دوم نصف النهار سماوی ناظر می باشد (شکل ۴ – ۲).در این سیستم امتداد به طرف ستاره ای مانند s با ارتفاع (a) و سمت (A) مشخص می شود (شکل ۴ – ۲).ارتفاع یک ستاره مانند s زاویه ی بین افق سماوی و نقطه ی s است که در صفحه ی دایره ی قائم بین $0° - 90°$ اندازه گیری می شود.زاویه ی متمم $z = 90 - a$ فاصله ی سمت الرأس یا زنیتی نامیده می شود.آزیموت یا سمت (A) زاویه ی بین نصف النهار سماوی ناظر و دایره ی قائم گذرنده از s می باشد که در صفحه ی افق سماوی بین $0° - 360°$ در جهت حرکت عقربه های ساعت (شمال به شرق) اندازه گیری می شود.

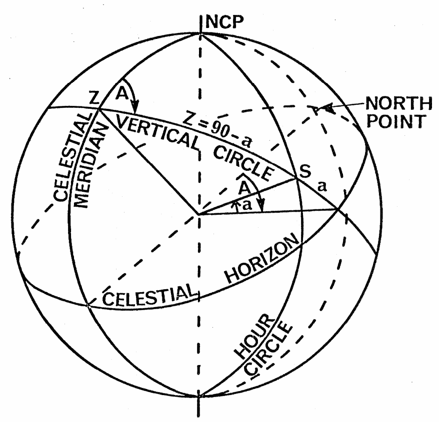


Figure 2-4
Horizon System

برای تعیین بردار واحدی که وضعیّت نقطه ی s را بر حسب A و G بیان نماید ، می باید ابتـدا نقطه ای را به عنوان مبدا مختصات و سه محور را به عنوان محور های مختصات تعریف نمـاییم .در سیستم افقی هلیوسنتر (مرکز ثقل خورشید) مبدأمختصات ، قطـب اوّلیـه (z) در جهـت سـمت الرأس ناظر ، محور اوّلیه (x) در جهت نقطه ی شمال و محور ثانویه (y) طوری انتخاب می شود که سیستم دست چپی باشد. (شکل ۵ – ۲) این سیستم مختصات را نمایش می دهد.بایـد توجّـه داشت که گر چه سیستم افقی سیستمی است وابسته به موقعیّت ناظر از سطح زمین ولی مبـدأ آن در خوشید بوده و یا به عبارت دیگر هلیوسنتریک است نه توپوسنتریک.

بردار واحد مبین موقعیّت s در سیستم افقی با رابطه ی زیر مشخص می شود :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_H = \begin{bmatrix} \cos a \cos A \\ \cos a \sin A \\ \sin a \end{bmatrix} \qquad (۲ – ۱)$$

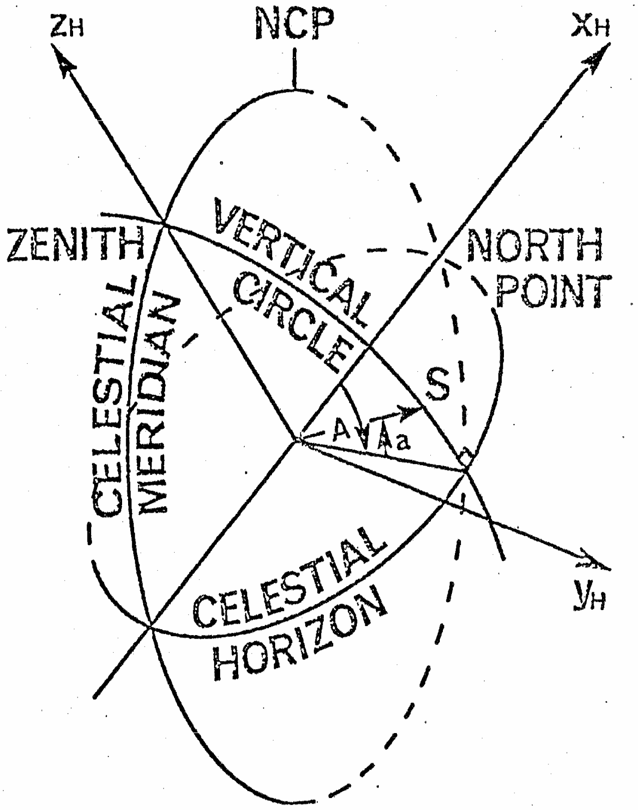
رابطه ی بر عکس با این فرمولی که a و A را بر حسب $[\ X\ Y\ Z\ ]^T$ به دست مـی دهـد عبـارت است از :

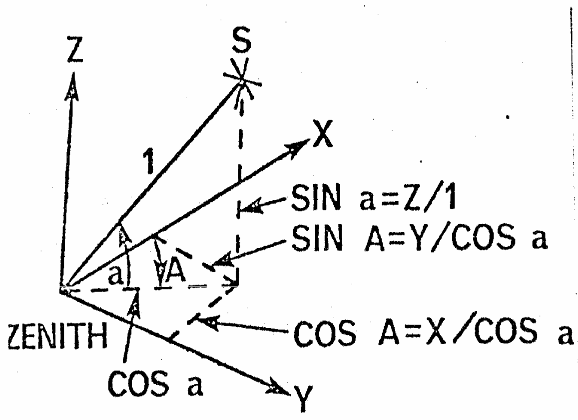
$$a = \sin^{-1} z \qquad (۲ – ۲)$$

$$A = \tan^{-1}\left(\frac{y}{x} \right) \qquad (۲ – ۳)$$

۲ – ۲ – ۲ سیستم زاویه ساعتی

در این سیستم صفحه ی مرجع اوّلیه استوای سماوی و صفحه ی ثانویه نصف انهار سماوی نـاظر است مختصات ستاره ای مانند s در این سیستم با میل (δ) و زاویـه سـاعتی (h) مـشخص مـی شود.میل (δ) زاویه ی بین استوای سماوی و s است که در صفحه ی دایره ی ساعتی گذرنـده بـر این ستاره و از $0°$ تا $90°$ اندازه گیری می شود.متمم میل فاصله ی قطبی نامیده می شود.زاویه ی ساعتی ستاره ی s زاویه ی بین دایره ی ساعتی s و نصف النهار سماوی ناظر می باشد و از 0^H تـا 24^H در جهت حرکت عقربه های ساعت در صفحه ی استوای سماوی انـدازه گیـری مـی شـود.در شکل ۶ – ۲ سیستم مختصات منحنی الخط زاویه ی ساعتی نشان داده شده است.





$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_H = \begin{bmatrix} \cos a \cos A \\ \cos a \sin A \\ \sin a \end{bmatrix}$$

Figure 2-5

Horizon System

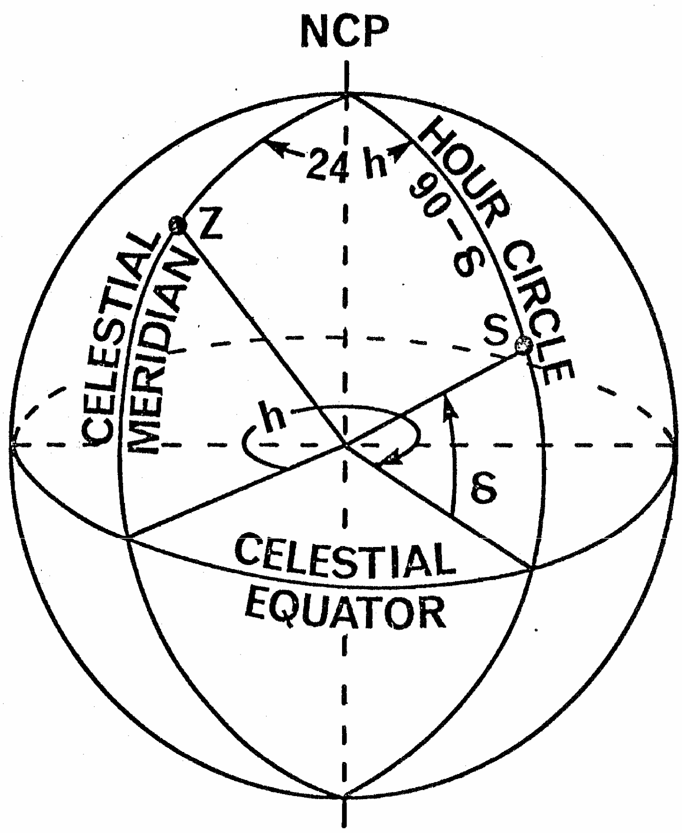
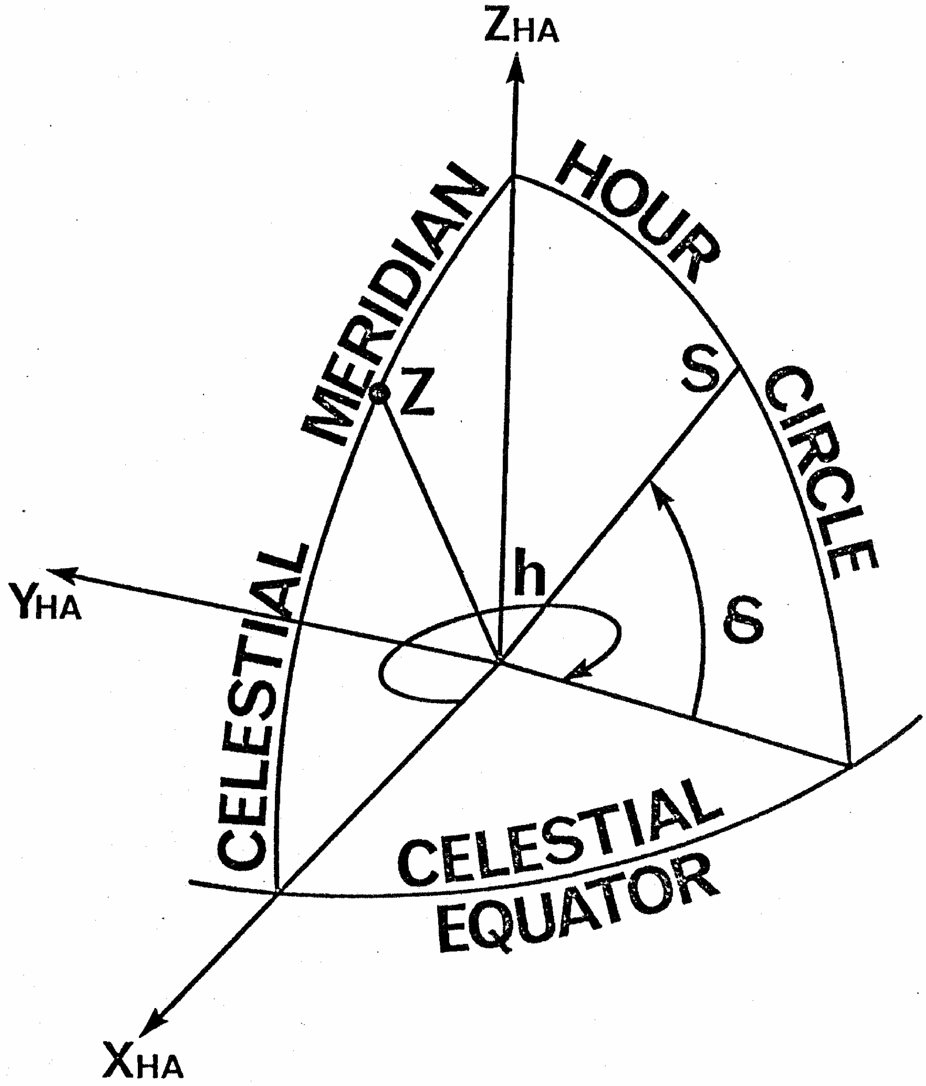


Figure 2-6

Hour Angle System



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HA} = \begin{bmatrix} \cos\delta \cos h \\ \cos\delta \sin h \\ \sin\delta \end{bmatrix}$$

Figure 2-7

Hour Angle System

برای تعیین بردار واحدی که مبین موقعیّت نقطه ی s در سیستم زاویه ی ساعتی است ، سیستم مختصات را به شرح زیر تعریف می کنیم :

۱.مبدأ مختصات در هلیوسنتر.
۲.صفحه ی مرجع اوّلیه صفحه ی استوای سماوی.
۳.صفحه ی مرجع ثانویه .
۴.قطب اوّلیه (z) (محور z ها) NCP
۵.محور اوّلیه (محور x ها) محل برخورد صفحات استوا و صفحات نصف النهار سماوی ناظر
۶.محور ثانویه (محور y ها) طوری انتخاب می شود که سیستم دست چپی باشد.

سیستم مختصات زاویه ی ساعتی سیستمی است که با ناظر دوران می نماید. بردار واحد مذکور در چنین سیستمی با رابطه ی زیر تعیین می گردد (شکل ۷ – ۲).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HA} = \begin{bmatrix} \cos\delta \cos h \\ \cos\delta \sin h \\ \sin\delta \end{bmatrix} \qquad (۲ - ۴)$$

و h و δ با فرمول های زیر به دست می آیند:

$$\delta = \sin^{-1} z \qquad (۲ - ۵)$$

$$h = \tan^{-1}\left({y}/{x} \right) \qquad (۲ - ۶)$$

۳ – ۲ – ۲ سیستم بعدی (Right Ascension System)

سیستم بعدی از سایر سیستم های مختصات سماوی اهمیّت بیشتری دارد زیرا در جداول نجومی مختصات ستارگان نسبت به این سیستم چاپ و منتشر می گردد. همچنین این سیستم رابط بین سیستم های زمینی ، سماوی و اقماری یا مسیری است.صفحه ی مرجع اوّلیه در این سیستم استوای سماوی و صفحه ی مرجع ثانویه صفحه ی دایره ی ساعتی گذرنده بر نقاط اعتدال بهاری و پاییزی می باشد (شکل ۸ – ۲).امتداد یک ستاره مانند s در این سیستم با بعد (right ascension) (α) و میل (declination) (δ) تعیین می گردد که میل ، قبلاً در قسمت ۲ – ۲ – ۲ تعریف شد. بعد یک ستاره عبارت است از زاویه ی بین دایره ی ساعتی آن ستاره و صفحه ی مرجع ثانویه که در صفحه ی استوای سماوی از 0^H تا 24^H از مبدأ نقطه ی اعتدال بهاری در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت اندازه گیری می شود.

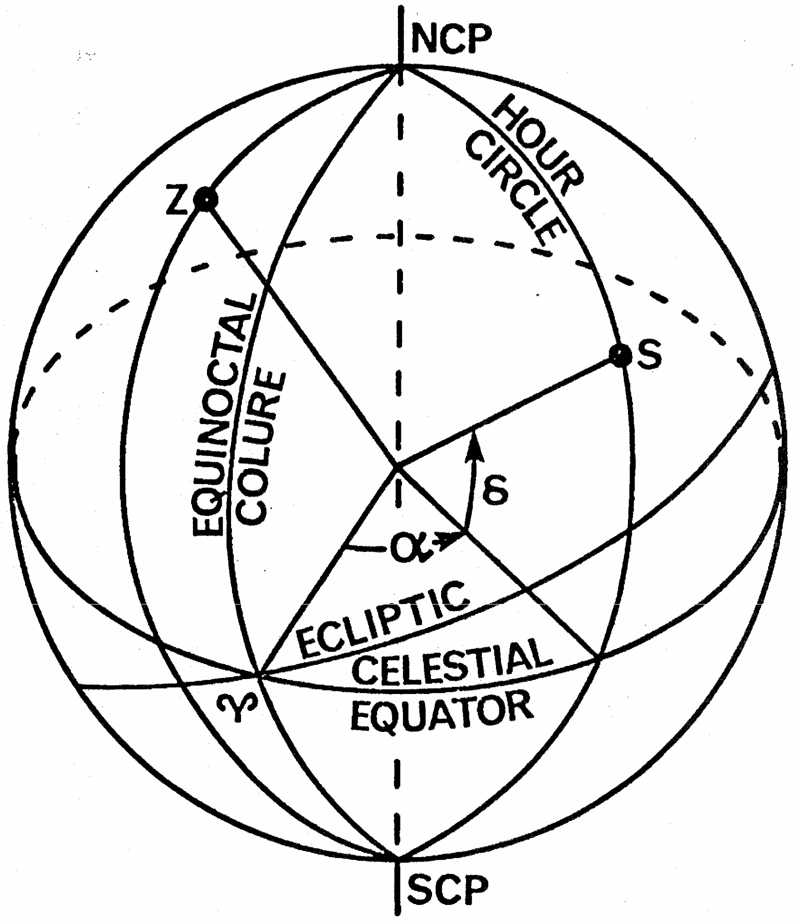
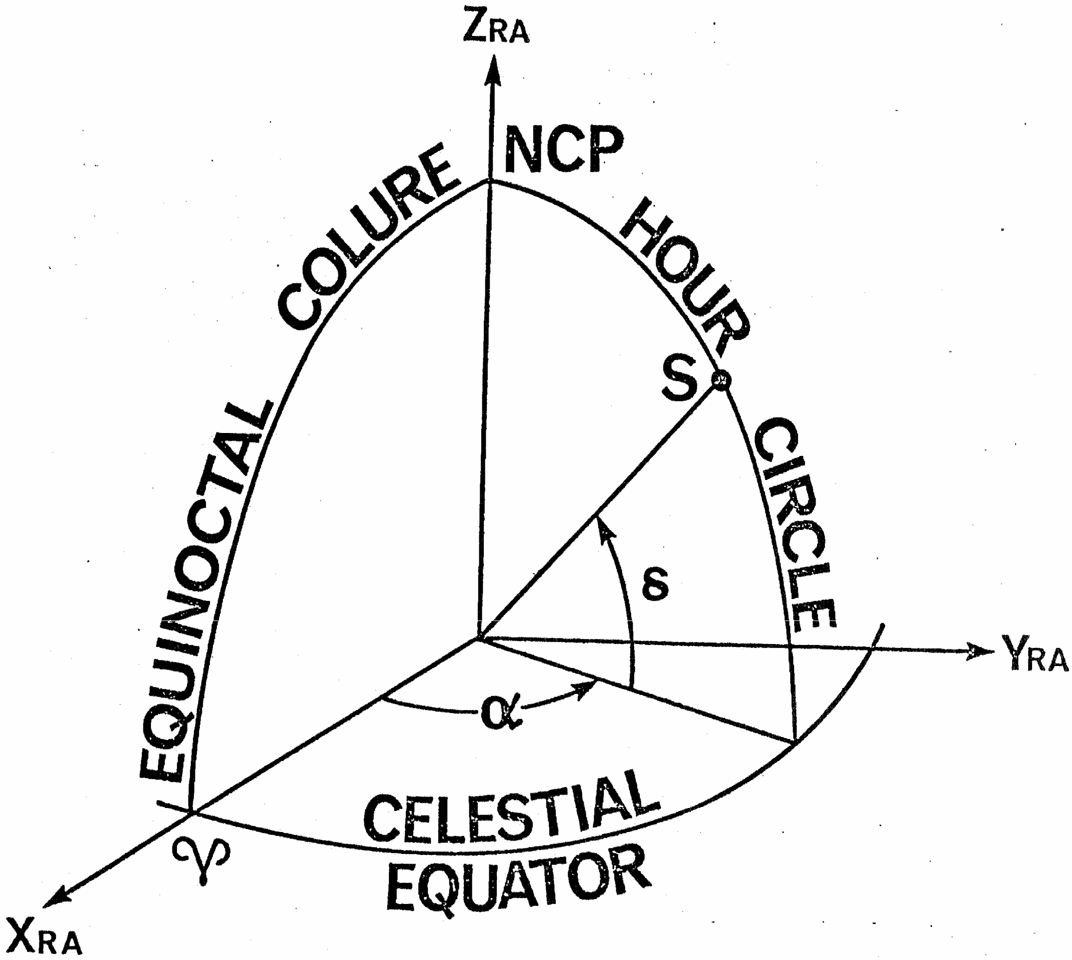


Figure 2-8

Right Ascension System



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RA} = \begin{bmatrix} \cos\delta \ \cos\alpha \\ \cos\delta \ \sin\alpha \\ \sin\delta \end{bmatrix}$$

Figure 2-9

Right Ascension System

در سیستم مختصات بعدی مبدأ و محورهای مختصات به شرح زیر تعریف می گردند :

۱.مبدأ مختصات در هلیوسنتر

۲.قطب اوّلیه (محور z ها) از NCP می گذرد.

۳.محور اوّلیه (محور x ها) از نقطه ی اعتدال بهاری (γ) می گذرد.

۴.محور ثانویه (محور y ها) طوری انتخاب می شود که سیستم دست راستی باشد.

۵.صفحه ی مرجع اوّلیه استوای سماوی است. (شکل ۴ – ۲) .

بردار واحدی که مبین موقعیّت ستاره ای در این سیستم باشد با فرمول زیر تعیین می شود:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RA} = \begin{bmatrix} \cos\delta\cos\alpha \\ \cos\delta\sin\alpha \\ \sin\delta \end{bmatrix} \qquad (۲ - ۷)$$

و α و δ با روابط زیر به دست می آیند:

$$\alpha = \tan^{-1}\left(y/x \right) \qquad (۲ – ۸)$$

$$\delta = \sin^{-1} z \qquad (۲ – ۹)$$

۴ – ۲ – ۲ سیستم اکلیپتیک

سیستم اکلیپتیک سیستم مختصاتی است که بیشتر از سایر سیستم ها خاصیّت اینرشیال بودن یعنی بیشتر خاصیّت ساکن بودن نسبت به ستارگان را داراست. لیکن به علّت اثر ستارگان بر روی سیستم زمین – خورشید صفحه ی اکلیپتیک در حول محوری که خود نیز دارای حرکت کندی است ، دوران کمی حدود 5 ثانیه در سال دارد و این دوران سبب می شود که این سیستم نیز کاملاً اینرشیال نباشد . صفحه ی مرجع اوّلیه در این سیستم مختصات صفحه ی اکلیپتیک و صفحه ی مرجع دوم نصف النهار اکلیپتیکی گذرنده بر نقطه ی اعتدال بهاری (شامل قطب های شمال و جنوب اکلیپتیک و نقاط اعتدال بهاری و پاییزی می باشد) (شکل ۱۰ – ۲).امتداد یک نقطه مانند s بر روی کره ی سماوی در این سیستم با عرض اکلیپتیکی (β) و طول اکلیپتیکی (λ)مشخص می شود.عرض اکلیپتیکی (s) زاویه ی بین این نقطه و اکلیپتیک است که در صفحه ی نصف النهار اکلیپتیکی گذرنده بر s اندازه گیری می شود.طول اکلیپتیکی s زاویه ی بین نصف النهارات اکلیپتیکی نقاط γ و s است که در صفحه ی اکلیپتیک به طرف شرق اندازه گیری می شود (شکل ۱۰ – ۲).

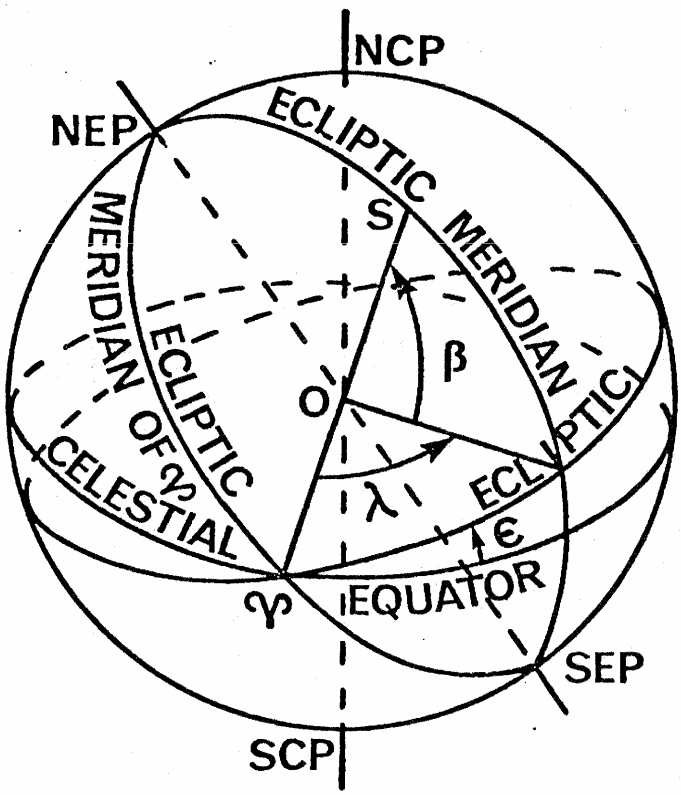


Figure 2-10

Ecliptic System

مبدأ و محورهای مختصات سیستم اکلیپتیک به شرح زیر تعریف می شوند (رجوع شود به شکل ۱۱ – ۲) :

۱.صفحه ی مرجع اوّلیه صفحه ی اکلیپتیک است.

۲.مبدأ در هلیوسنتر واقع می باشد.

۳.قطب اوّلیه (محور z ها) از NEP (قطب شمال اکلیپتیک) می گذرد.

۴.محور اوّلیه (محور x ها) از γ می گذرد.

۵.محور ثانویه (محور y ها) طوری انتخاب می شود که سیستم مختصات دست راستی باشد.

بردار واحد مشخص کننده ی وضعیّت نقطه ای مانند s در این سیستم با فرمول زیر تعیین می گردد:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\beta\cos\lambda \\ \cos\beta\sin\lambda \\ \sin\beta \end{bmatrix} \qquad (۲ - ۱۰)$$

و λ و β با روابط زیر به دست می آیند:

$$\beta = \sin^{-1} z \qquad (۲ - ۱۱)$$

$$\lambda = \tan^{-1}\left(y/x \right) \qquad (۲ - ۱۲)$$

۳ – ۲ تبدیلات بین سیستم های مختصات سماوی

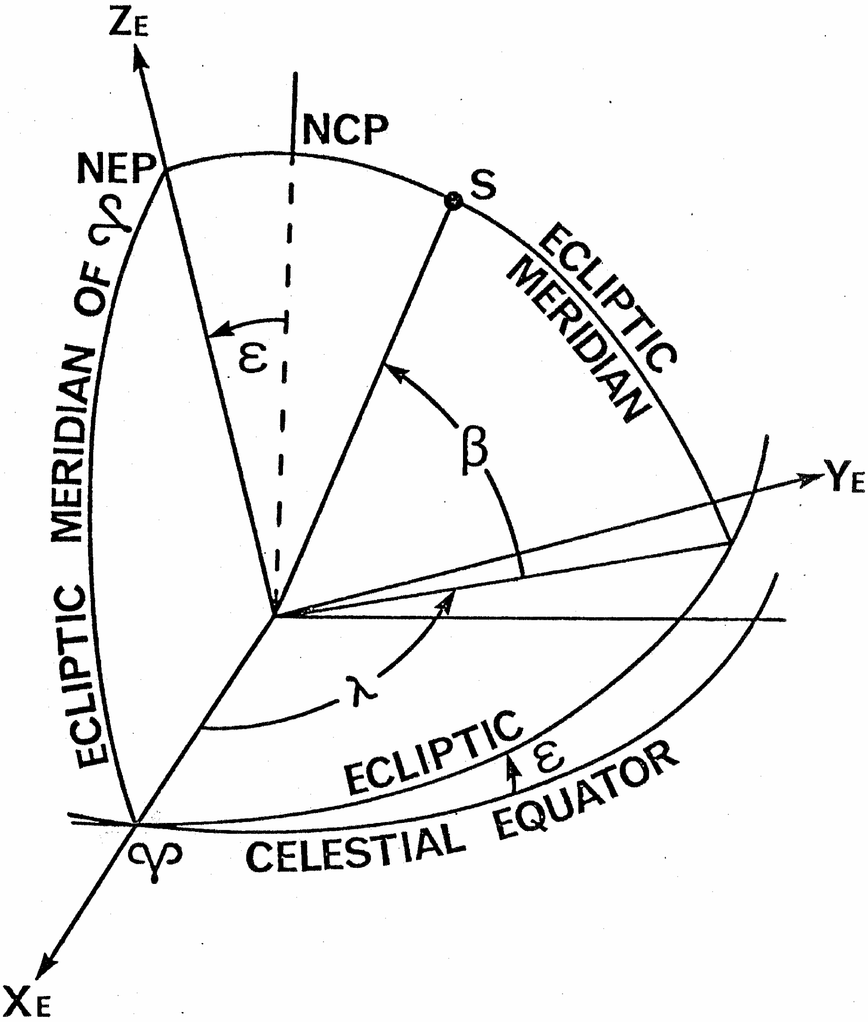
تبدیلات بین سیستم های مختصات سماوی یکی از مطالب بسیار مهم درنجوم ژئوماتیک است زیرا دست یابی به مدل های ریاضی برای تعیین موقعیّت و آزیموت نجومی تنها با استفاده از این تبدیلات و مدل های آنها امکان پذیر می باشد. در این کتاب دو روش برای تبدیلات سیستم های مختصات مورد استفاده قرار خواهد گرفت :

۱.استفاده از مثلثات کروی که روش معمولی است.

۲.به کار بردن ماتریس ها که جامعیّت بیشتری را داراست و مخصوصاً برای استفاده از کامپیوتر قابل استفاده است روابطی که در این بخش مشخص می شوند ، عبارتند از :

- رابطه ی بین سیستم های افقی و زاویه ی ساعتی
- رابطه ی بین سیستم های زاویه ی ساعتی و بعدی
- رابطه ی بین سیستم های بعدی و اکلیپتیک

با مشخص نمودن این روابط یا مدل های ریاضی چنانچه مختصات نقطه ای در هر یک از این سیستم ها در دست باشد ، می توان مختصات آن را در دیگر سیستم ها نیز تعیین نمود.



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_E = \begin{bmatrix} \cos\beta \;\; \cos\lambda \\ \cos\beta \;\; \sin\lambda \\ \sin\beta \end{bmatrix}$$

Figure 2-11

Ecliptic System

برای تعیین مدل های تبدیلات علاوه بر کمیّت هایی که در قسمت قبل تعریف گردید ، کمیّت های دیگر نیز لازم است که در این بحث معرفی خواهند شد.کمیّت های قبلی که از اجزای سیستم های مختصات سماوی مختلف هستندو در تشکیل مثلث نجومی نیز شرکت دارند (شکل ۱۲ – ۲) عبارتند از :

۱. آزیموت نجومی (A) و ارتفاع (a) یا متمم آن فاصله ی سمت الرأس ($z = 90 - a$) از سیستم مختصات افقی .
۲. زاویه ی ساعتی (h) یا مکمل آن ($24 - h$) از سیستم مختصات زاویه ساعتی
۳. میل (δ) و یا متمم آن فاصله ی قطبی ($90 - \delta$) از سیستم زاویه ساعتی یا سیستم بعدی

کمیّت های دیگر که برای تکمیل مثلث نجومی مورد نیاز اند ، عبارتند از :عرض نجومی (Φ) یا متمم آن ($90 - \Phi$) اختلاف در طول نجومی $\Delta\Lambda = \Lambda_s - \Lambda_z = 24 - h$ و زاویه ی بین دوایر قائم و ساعتی در s که به زاویه ی پارالاکتیک (p) موسوم است (شکل ۱۲ – ۲).

آخرین کمیّت مورد نیاز زمان نجومی محلی است (LST)(Local sidereal Time).تعریف کامل LST در فصل چهارم از این کتاب ارائه خواهد شد ولی در این مرحله برای شناخت کامل مثلث نجومی آن را به طور خلاصه به این صورت تعریف می نماییم که ابتدا سه نصف النهار در نظر می گیریم :

۱.نصف النهار سماوی ناظر.
۲.دایره ی ساعتی گذرنده بر s .
۳.نصف النهار گذرنده بر γ .

حال چنانچه از منظر NCP به کره ی سماوی نگاه کنیم ، سه زاویه بر روی استوا خواهیم دید :

۱.زاویه ساعتی (h) یعنی زاویه ی بین نصف النهار سماوی و دایره ی ساعتی (در جهت حرکت عقربه های ساعت)
۲.بعد (α) یعنی زاویه ی بین نصف النهار گذرنده بر γ و دایره ی ساعتی (در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت)
۳.یک کمیّت جدید که همان زمان نجومی محلی (LST) است و در جهت حرکت عقربه های ساعت از نصف النهار سماوی محلی به نصف النهار گذرنده بر γ اندازه گیری می شود.LST را می توان به عنوان زاویه ی ساعتی نقطه ی γ نیز تعریف نمود و شناخت.

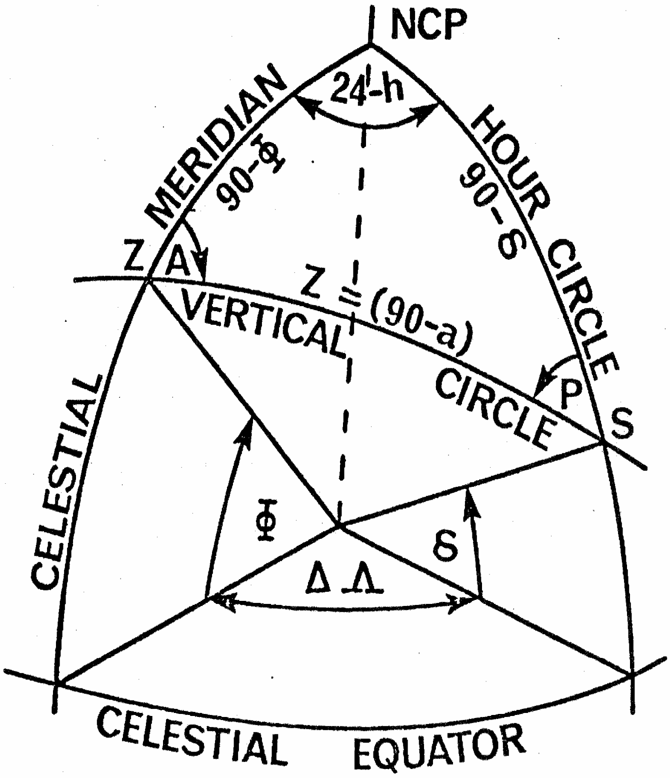


Figure 2-12

Astronomic Triangle

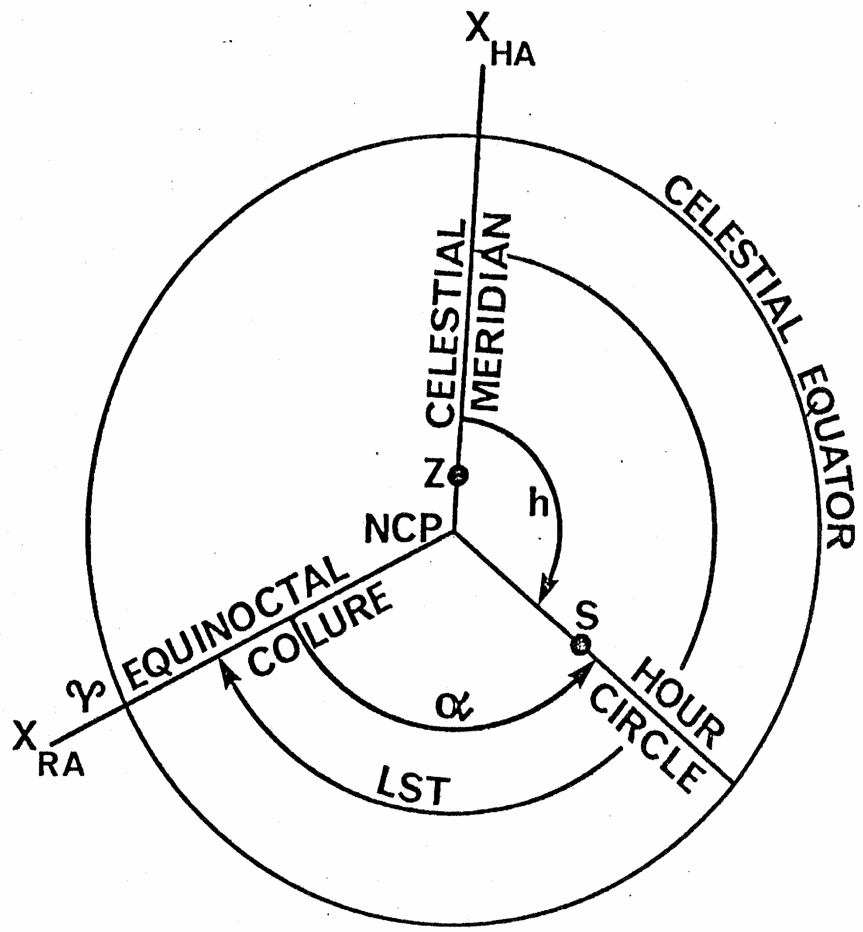


Figure 2-13

Local Sidereal Time

۱ – ۳ – ۲ تبدیل سیستم های افقی و زاویه ساعتی به یکدیگر

ابتدا با استفاده از روش حل مثلث کروی تبدیل سیستم زاویه ی ساعتی بـه سیـستم افقـی را مورد مطالعه قرار می دهیم به طوری که می دانیم در سیستم زاویه ساعتی مختصات δ و h هستند که می باید این کمیت ها به صورت توابعی از مختصات افقی یعنی a (یا z) و A بیان شوند.البتـه در این تبدیل مقدار Φ نیز بایستی معلوم باشد.

از مثلث کروی (شکل ۱۴ – ۲) و با استفاده از قانون سینوس ها خواهیم داشت :

$$\frac{\sin(24-h)}{\sin z}=\frac{\sin A}{\sin(90-\delta)} \qquad (۲ – ۱۳)$$

یا

$$\frac{-\sin h}{\sin z}=\frac{\sin A}{\cos\delta} \qquad (۲ – ۱۴)$$

و یا

$$\sin A\sin z=-\sin h\cos\delta \qquad (۲ – ۱۵)$$

همچنین با استفاده از روابط پنج جزئی مثلثات کروی می توان نوشت :

$$\cos A\sin z=\cos(90-\delta)\sin(90-\phi)-\cos(90-\phi)\sin(90-\delta)\cos(24-h) \qquad (۲ – ۱۶)$$

یا

$$\cos A\sin z=\sin\delta\cos\phi-\sin\phi\cos\delta\cos h \qquad (۲ – ۱۷)$$

اکنون از تقسیم نمودن (۱۵ – ۲) بر (۱۷ – ۲) خواهیم داشت :

$$\frac{\sin A\sin z}{\cos A\sin z}=\frac{-\sin h\cos\delta}{\sin\delta\cos\phi-\sin\phi\cos\delta\cos h} \qquad (۲ – ۱۸)$$

و یا

$$\tan A=\frac{-\sin h}{\tan\delta\cos\phi-\sin\phi\cos h} \qquad (۲ – ۱۹)$$

یا

$$\tan A=\frac{\sin h}{\sin\phi\cos h-\tan\delta\cos\phi} \qquad (۲ – ۲۰)$$

برای تعیین z بر حسب h و δ با استفاده از قانون کسینوس ها می توان نوشت :

$$\cos z=\cos(90-\phi)\cos(90-\delta)+\sin(90-\phi)\sin(90-\delta)\cos(24-h) \qquad (۲ – ۲۱)$$

و یا

$$\cos z=\sin\phi\sin\delta+\cos\phi\cos\delta\cos h\rightarrow a=90-Z \qquad (۲ – ۲۲)$$

معادلات (۲۰ – ۲) و (۲۲ – ۲) همان معادلات مطلوب می باشند .یعنی روابطی هستند که a یا z و A را برحسب توابعی از h و δ و Φ بیان می کنند.

تبدیل مختصات از سیستم افقی به سیستم زاویه ساعتی (معلومات : $\alpha = 90 - z$ و A و Φ ، مجهولات : h و δ) نیز به روش مشابه به آنچه در بالا ذکر شد امکان پذیر است.با استفاده از قـانون سینوس ها می توان نوشت :

$$\cos\delta\sin h = -\sin z\sin A \qquad (۲ - ۲۳)$$

و طبق روابط پنج جزئی خواهیم داشت :

$$\cos\delta\cos h = \cos z\cos\phi - \sin z\cos A\sin\phi \qquad (۲ - ۲۴)$$

که پس از تقسیم (۲۳ – ۲) بر (۲۴ – ۲) چنین نتیجه خواهد شد :

$$\tan h = \frac{\sin A}{\cos A\sin\phi - \cot z\cos\phi} \qquad (۲ - ۲۵)$$

و بالاخره با استفاده از قانون کسینوس ها رابطه ی زیر را می توان نوشت :

$$\sin\delta = \cos z\sin\phi + \sin z\cos A\cos\phi \qquad (۲ - ۲۶)$$

معادلات (۲۶ – ۲) و (۲۵ – ۲) روابطی هستند که h و δ را بر حسب توابعی از ($a = 90 - z$) ، A و Φ بیان می کنند.

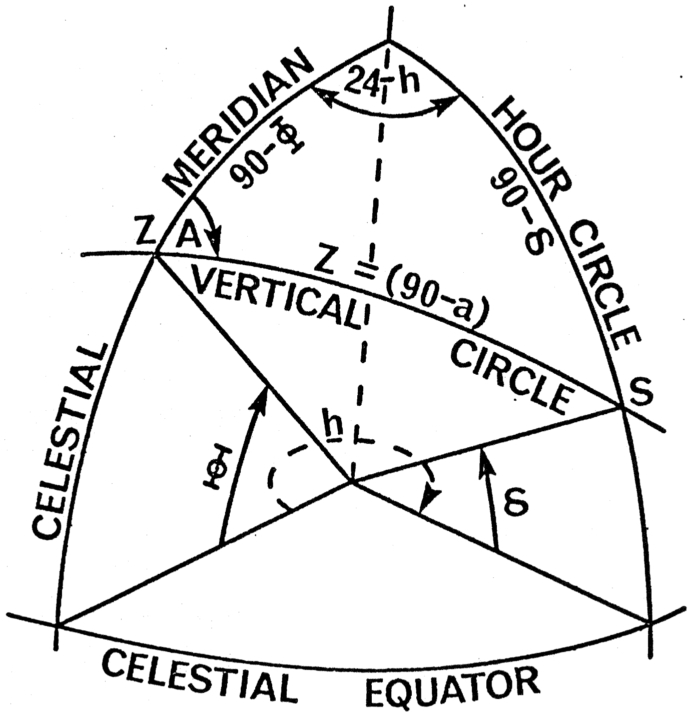


Figure 2-14

Horizon and Hour Angle System Transformations

روش دیگر برای حل این تبدیلات استفاده از ماتریس های دورانی است.به طوری که می دانـیم هر دو سیستم هلیوسنتریک و دست چپی هستند و با توجّه به شکل ۱۵ – ۲ می بینـیم کـه Y_{HA} منطبق بر Y_H – (یا Y_H منطبق بر Y_{HA} –) است. بنـابر ایـن ایـن دو محـور ۱۸۰ درجـه بـاهم اختلاف دارند. همچنین با توجّه به این شکل در می یابیم که محـور هـای X_{HA} ، Z_H ، Z_{HA} و X_H همه در صفحه ی نصف النهار سماوی واقع اند. همچنین Z_H و Z_{HA} با اندازه ی($90 - \Phi$) با هـم اختلاف دارند. بنابر این تبدیل سیستم مختصات زاویه ساعتی (H_A) به سیستم افقی (H) را می توان به سهولت با رابطه ی زیر بیان نمود:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_H = R_3(180^\circ)R_2(90-\phi)\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HA} \qquad (۲ - ۲۷)$$

و چنانچه به جای R_z و R_3 مقادیر اصلی آنها گذارده شود ، خواهیم داشت :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos180^\circ & \sin180^\circ & 0 \\ -\sin180^\circ & \cos180^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}\begin{bmatrix} \cos(90-\phi) & 0 & -\sin(90-\phi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(90-\phi) & 0 & \cos(90-\phi) \end{bmatrix}\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HA} \qquad (۲ - ۲۸)$$

اثر اولین دوران یعنی ($90 - \Phi$) R_z این است که محور Z_{HA} را بر محور Z_H منطبق نمـوده و در ضمن X_{HA} را در همان صفحه ای که X_H قرار دارد یعنی صفحه ی افق قرار مـی دهـد.دومـین دوران ، (180) R_3 ، X_{HA} و Y_{HA} را به ترتیب بر X_H و Y_H منطبق می نماید و بـه ایـن ترتیـب این تبدیل کامل می گردد.

تبدیل معکوس یعنی تبدیل سیستم افقی به سیستم زاویه ساعتی را مـی تـوان بـه سـادگی بـا معکوس نمودن (۲۷ – ۲) به دست آورد.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HA} = R_2(\phi-90^\circ)R_3(180)\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_H \qquad (۲ - ۲۹)$$

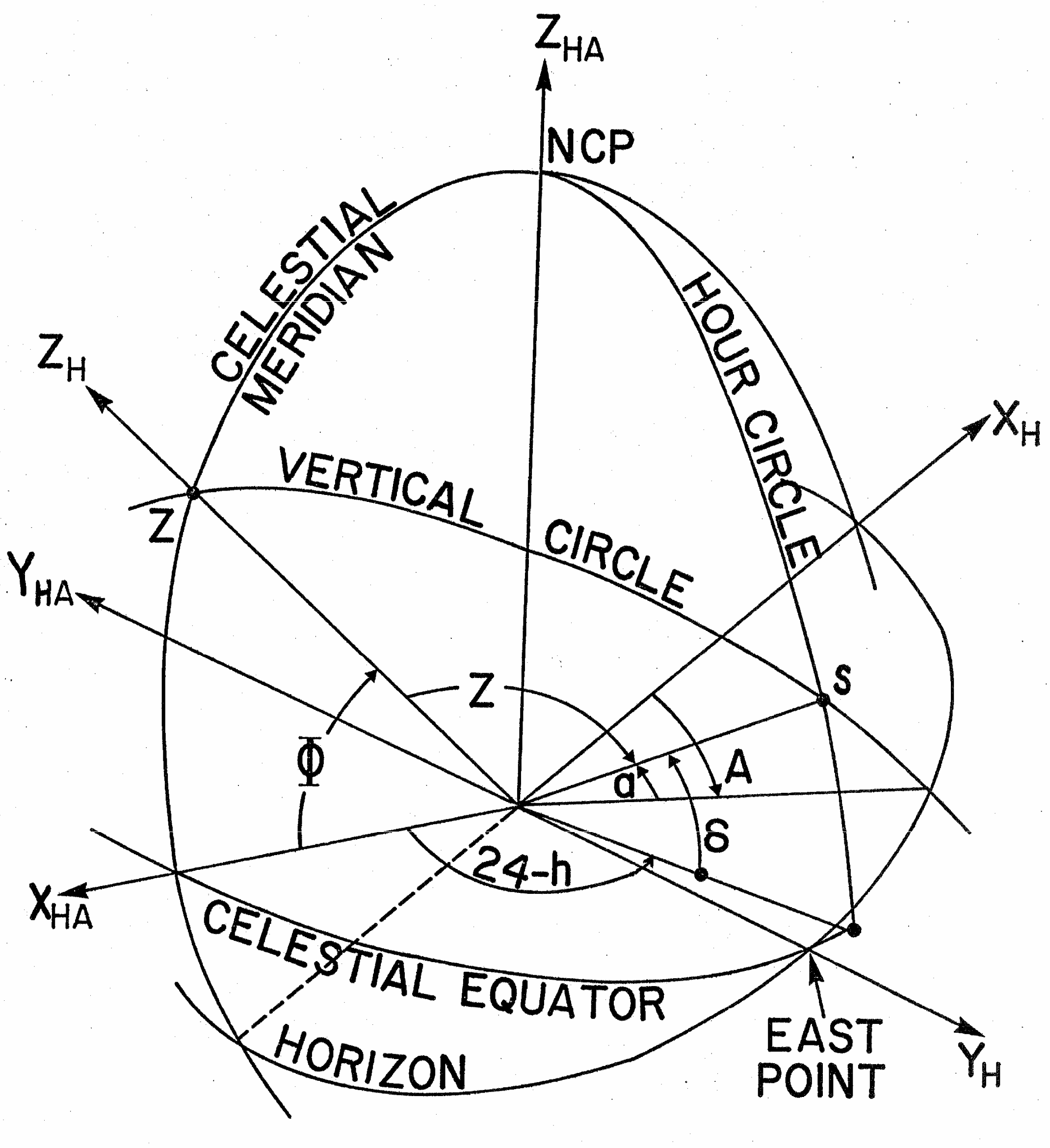


Figure 2-15

Horizon and Hour Angle Systems

۲ – ۳ – ۲ تبدیل سیستم های زاویه ساعتی و بعدی به یکدیگر

ابتدا با روش مثلث کروی فرمول این تبدیل را به دست می آوریم .از شکل ۱۶ – ۲ به سهولت می توان دریافت که :

$$LST = h + \alpha \qquad (۲ – ۳۰)$$

بعلاوه به طوری که می دانیم در هر دو سیستم مزبور میل δ (declination) یکی از مختصات ستاره است. بنابراین تبدیل سیستم زاویه ساعتی به سیستم بعدی با دو رابطه ی زیر تعیین می گردد :

$$\alpha = LST - h \qquad (۲ – ۳۱)$$

$$\delta = \delta \qquad (۲ – ۳۲)$$

به این ترتیب تبدیل معکوس رامی توان به سهولت نوشت یعنی :

$$h = LST - \alpha \qquad (۲ – ۳۳)$$

$$\delta = \delta \qquad (۲ – ۳۴)$$

در روش ماتریس با توجّه به شکل ۱۶ – ۲ می بینیم که $Z_{RA} \equiv Z_{HA}$ ، X_{HA} ، Y_{HA} ، X_{RA} ، Y_{RA} همه در یک صفحه ی استوای سماوی قرار دارند و همچنین می دانیم هر دو سیستم هلیوسنتریک هستند. اختلافات دو سیستم این است که سیستم H_A دست چپی و سیستم R_A دست راستی است و X_{HA} و X_{RA} به اندازه ی LST با هم تفاوت دارند. معادله ی زیر تبدیل سیستم H_A به سیستم R_A را بیان می نماید :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RA} = R_3(-LST) P_2 \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HA} \qquad (۲ – ۳۵)$$

که فرمول فوق پس از گسترش (R_3 (- LST و ماتریس انعکاس P_z به صورت زیر خواهد بود:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RA} = \begin{bmatrix} \cos(-LST) & \sin(-LST) & 0 \\ -\sin(-LST) & \cos(-LST) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HA} \qquad (۲ – ۳۶)$$

ماتریس P_z را جهت سیستم H_A را تغییر می دهد یعنی آن را از یک سیستم دست چپی به یک سیستم دست راستی تبدیل می کند و ماتریس دورانی (R_3 (- LST محور های Y_{HA} و X_{HA} را بر محورهای Y_{RA} و X_{RA} منطبق می نماید.

فرمول تبدیل معکوس عبارت است از :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HA} = P_2 R_3(LST) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RA} \qquad (۲ – ۳۷)$$

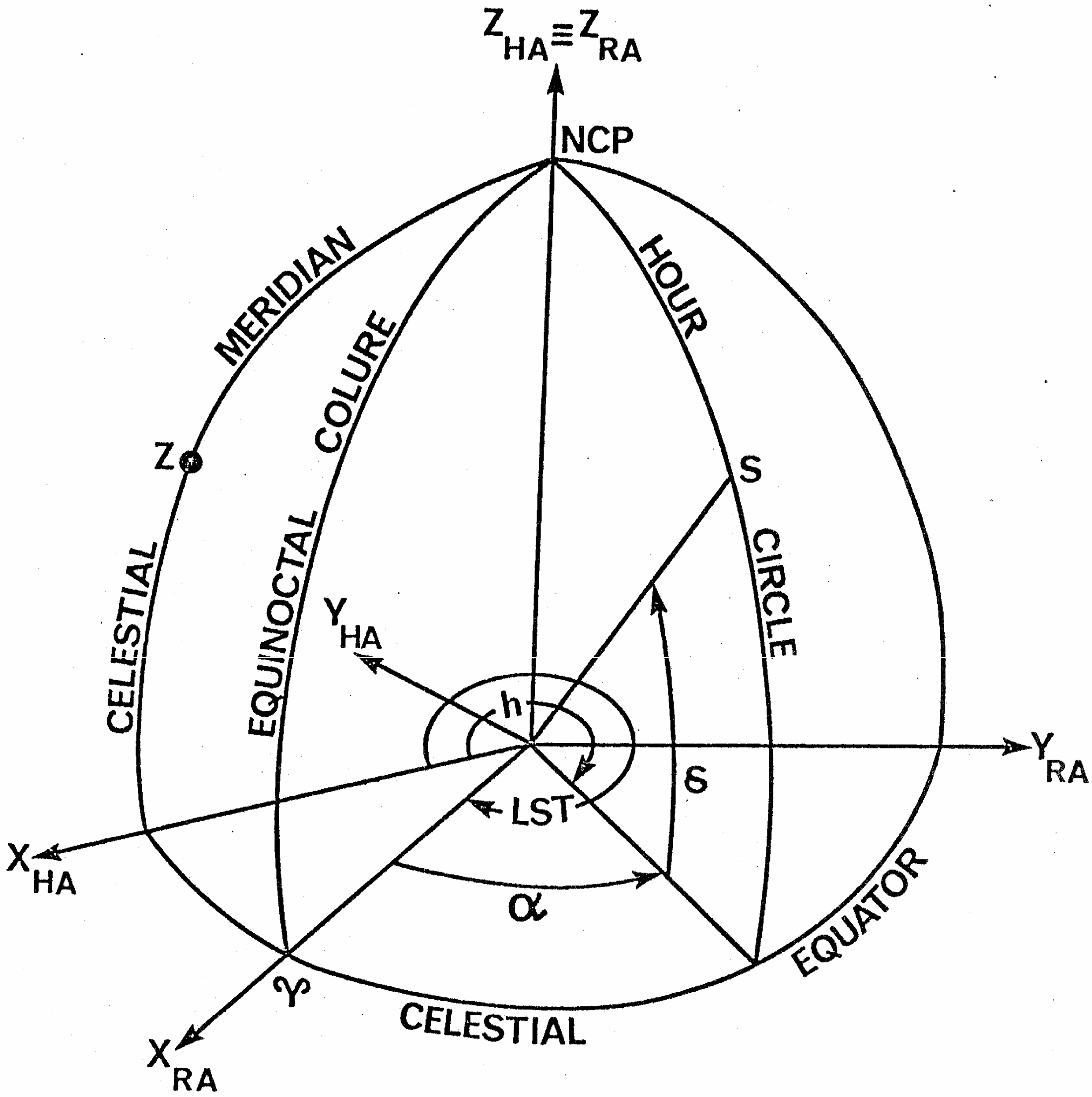


Figure 2-16

Hour Angle - Right Ascension Systems

۳– ۳ – ۲ تبدیل سیستم های بعدی و اکلیپتیک به یکدیگر

برای تبدیل سیستم R_A به سیستم E از طریق مثلثات کروی و مثلث کروی به رئـوس NEP ، NCP و S را در شکل ۱۷ – ۲ در نظر می گیریم .برای تبـدیل مختـصات اکلیپتیـک δ و β (ε را معلوم فرض می کنیم) به مختصات بعدی δ و α از روش ذکـر شـده در ۱ – ۳ – ۲ اسـتفاده مـی شود. با استفاده از قانون سینوس ها در مثلثات کروی داریم :

$$\cos\delta\cos\alpha = \cos\beta\cos\lambda \qquad (۲ – ۳۸)$$

و از روابط پنج جزئی می توان نوشت :

$$\cos\delta\sin\alpha = \cos\beta\sin\lambda\cos\delta - \sin\beta\sin\varepsilon \qquad (۲ – ۳۹)$$

که پس از تقسیم (۳۹ – ۲) بر (۳۸ – ۲) چنین به دست خواهد آمد :

$$\tan\alpha = \frac{\sin\lambda\cos\varepsilon - \tan\beta\sin\varepsilon}{\cos\lambda} \qquad (۲ – ۴۰)$$

همچنین از قانون کسینوس ها داریم :

$$\sin\delta = \cos\beta\sin\lambda\sin\delta + \sin\beta\cos\delta \qquad (۲ – ۴۱)$$

دوفرمول (۴۱ – ۲) و (۴۰ – ۲) همان روابط مطلوب اند که مختصات اکلیپتیکی نقطه ای را به مختصات بعدی آن تبدیل می کنند.

تبدیل معکوس (بعدی به اکلیپتیک) را می توان با اسـتفاده از همـان قـوانین مثلثـات کـروی یعنی قوانین سینوس ها ، روابط پنج جزئی و کسینوس ها انجام داد.

$$\cos\beta\cos\lambda = \cos\delta\cos\alpha \qquad (۲ – ۴۲)$$

$$\cos\beta\sin\lambda = \cos\delta\sin\alpha\cos\varepsilon + \sin\delta\sin\varepsilon \qquad (۲ – ۴۳)$$

که پس از تقسیم ۴۳ – ۲ بر ۴۲ – ۲ چنین نتیجه خواهد داشت :

$$\tan\lambda = \frac{\sin\alpha\cos\varepsilon + \tan\delta\sin\varepsilon}{\cos\alpha} \qquad (۲ – ۴۴)$$

$$\sin\beta = -\cos\delta\sin\alpha\sin\varepsilon + \sin\delta\cos\varepsilon \qquad (۲ – ۴۵)$$

با مراجعه به شکل ۱۷ – ۲ به سهولت می توان دریافت که اختلاف بین سیستم هـای E و R_A تنها در میل اکلیپتیک نسبت به استوا یعنی ε است و این زاویه محورهای Z_E و Z_{RA} و Y_E و Y_{RA} را از هم جدا می کند در حالیکه هر یک از این زوج محورها در یک صفحه قرار دارند بنابراین مـدل تبدیل با روش ماتریسی با فرمول ساده ی زیر به دست خواهد آمد:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RA} = R_1(-\varepsilon)\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_E \qquad (۲ – ۴۶)$$

و

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{E} = R(\varepsilon)\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RA}$$

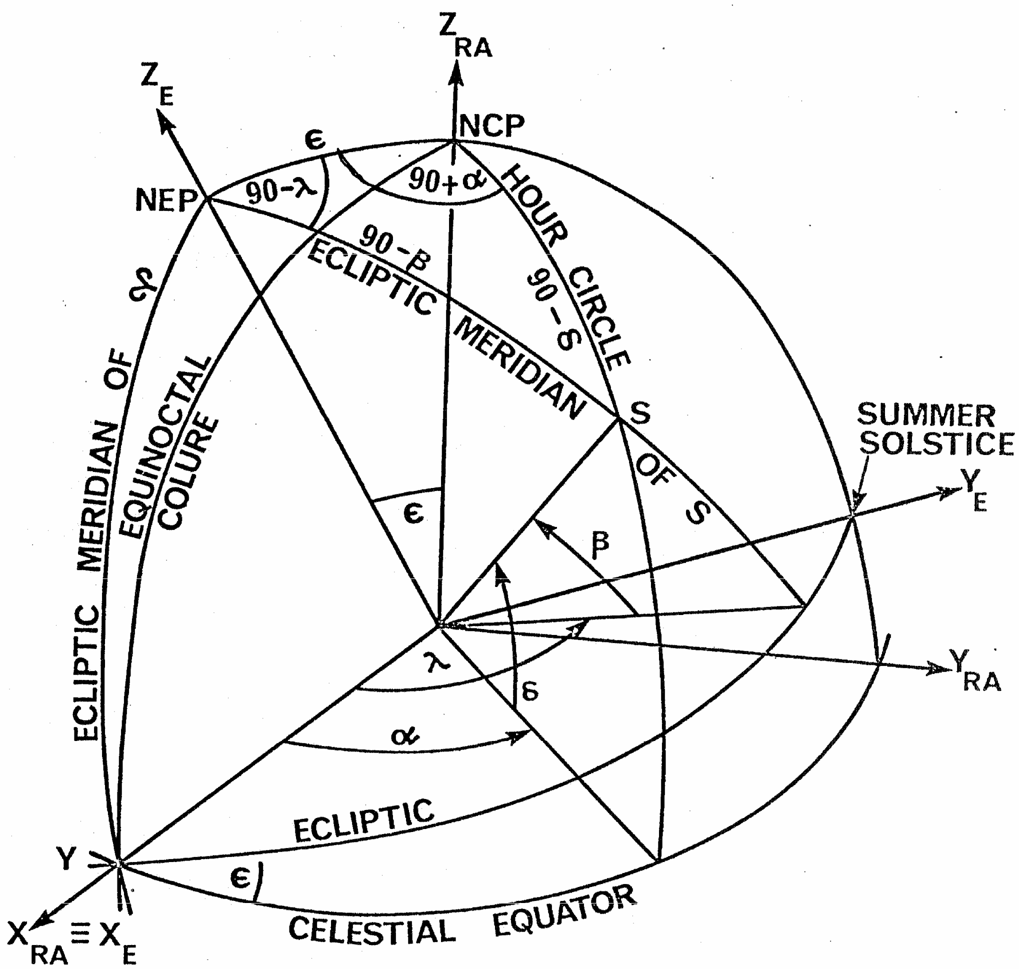


Figure 2-17

Right Ascension-Ecliptic Systems

۴ – ۳ – ۲ خلاصه ی سیستم های مختصات سماوی

در شکل ۱۸ – ۲ و جدول ۱ – ۲ تبدیلات بین سیستم های مختصات سماوی و عوامل لازم برای اجرای این تبدیلات به طور خلاصه و دیاگراماتیک نمایش داده شده است. همچنین در شکل ۱۸ – ۲ سیستم بعدی (RA) برای نشان دادن حرکات سیستم های مختصات در زمان و فضا گسترش داده شده که در این مورد در فصل سوم توضیح داده خواهد شد.

جدول ۱ – ۲ روش ماتریس را در تبدیلات بین سیستم های مختصات سماوی را نمایش می دهد.

۴ – ۲ موقعیت های خاص ستارگان

موقعیّت های معین و خاص از ستارگان نام های مخصوص دارند و به طوری که بعداً خواهیم دید بعضی از مدل های ریاضی برای تعیین مختصات و آزیموت نجومی بر اساس این موقعیّت های خاص که ستارگان در آنها قرار می گیرند ، تشکیل می گردند.

در شکل ۱۹ – ۲ حالاتی را که ستارگان در حرکت ظاهری شان به دورزمین از شرق به غرب دارند از دید ناظری (z) واقع در محلی بین استوا و قطب $(0 \le \phi \le 90)$ نشان داده شده ، با مراجعه به این شکل حالات زیر را می توان تشخیص داد :

۱. ستارگان حول قطبی (circumpolar) (ستارگانی هستند که هیچ وقت افق محل را برای ناظری مثلا در نیمکره ی شمالی ($0 \ge \Phi \ge -90$) قطع نمی کنند).

(a) که دایره ی قائم اصلی را قطع نمی کنند. (b) دایره ی قائم اصلی را قطع می کنند.

هر دو دسته ی (a) و (b) در تمام زمان ها برای ناظر واقع در نیمکره ی شمالی قابل رویت می باشند.

۲.ستارگان حول استوا که برای چنین ناظری دارای طلوع و غروب هستند. این ستارگان را می توان نسبت به زمانی که در بالا و پایین افق ناظر فوق الذکر هستند ، به سه دسته تقسیم کرد :

(a) ستارگانی که زمانی را که در بالای افق هستند بیشتر از زمانی است که در زیر افق می باشند.

(b) ستارگانی که زمان های مزبور در مورد آنها مساوی است.

(c) ستارگانی که بیشتر در زیر افق قرار دارند.

۳ . ستارگان حول قطب جنوبی هرگز برای ناظر مزبور قابل رویت نیستند.

برای ناظری در نیمکره ی جنوبی $(0 \ge \phi \ge -90)$ موارد ۱ و ۲ و ۳ ذکر شده در بالا بر عکس است.دو حالت استثنایی نیز در این بحث قابل ذکر می باشد :

۱.اگر z در استوا قرار داشته باشد کهدر این حالت نصف مسیر تمام ستارگان برای ناظر قابل رویت خواهد بود.

۲.اگر z در یکی از دو قطب واقع باشد که در چنین حالتی تمام ستارگان واقع در آن نیمکره برای ناظر قابل دیدن هستند.

۱ – ۴ – ۲ طلوع و غروب ستارگان

در عملیات نجوم ژئودتیک یکی از کارهای اوّلیه تعیین لیست ستارگانی است که در ایستگاه مشاهدات قابل رویت هستند. یعنی در شروع عملیات می باید لیستی از ستارگانی که در زمان کار بالای افق هستند تهیّه گردد.

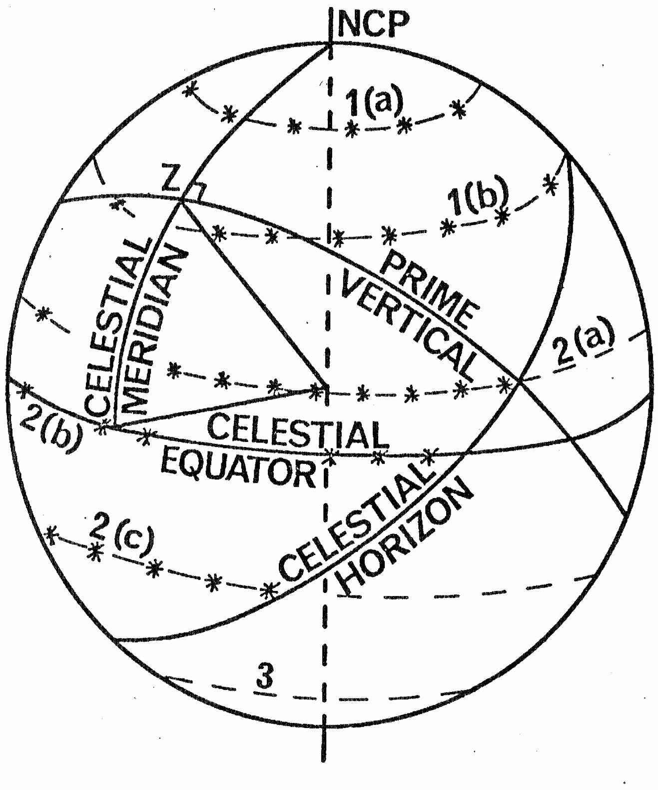


Figure 2-19

Circumpolar and Equatorial Stars

میل

با مراجعه به شکل ۲۰ – ۲ می بینیم برای اینکه یک ستاره ی شمالی بر روی یا بالای افق ناظری در نیمکره ی شمالی واقع باشد بایستی میل آن در رابطه ی زیر صدق کند :

$$\delta \geq 90-\phi \qquad (۲-۴۸)$$

و شرط فوق برای ستاره ای جنوبی به صورت

$$\delta \geq \phi-90 \qquad (۲-۴۹)$$

خواهد بود.بنابر این شرط کلّی برای طلوع و غروب یک ستاره عبارت است از :

$$90-\phi \geq \delta \geq \phi-90 \qquad (۲-۵۰)$$

به طور مثال برای اینکه ستاره ای در تهران که دارای عرض جغرافیایی حدود ۳۸ دجه است قابل رویت باشد ، میل آن می باید محدود به حدود زیر باشد :

$$-52^\circ \leq \delta \leq 52^\circ$$

البته چنانچه میل ستاره ای در رابطه ی فوق صدق کند ، این ستاره برای مدّتی قابل رویت است ولی اگر $\delta \geq 52^\circ$ ستاره هرگز غروب نمی کند (یعنی ستاره ای است حول قطبی) و اگر $\delta \leq -52^\circ$ باشد ، ستاره هرگز طلوع نخواهد کرد (یعنی برای ناظر مزبور ستاره ای جنوبی و حول قطبی خواهد بود).

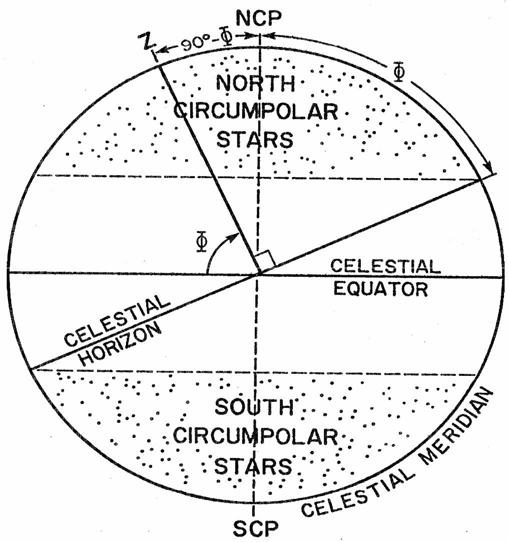


Figure 2-20

Declination for Visibility

زاویه ساعتی

اکنون باید دید ستارگانی که میل آنها در زمان های طلوع و غروبشان در بالا تعیین شد، در این زمان ها دارای چه زاویه ساعتی خواهند بود.

در بحث تبدیل مختصات منحنی الخط زاویه ساعتی به افقی (قسمت ۱ – ۳ – ۲ و (۲ – ۲)) رابطه ی زیر را داریم :

$$\cos z = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos h \cos\phi$$

در لحظات طلوع و غروب $z = 90$ است و در چنین شرایطی رابطه ی فوق تبدیل به فرمول

$$\sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos h \cos\phi = 0 \qquad (۲ – ۵۱)$$

خواهد شد که می توان آن را به صورت زیر نوشت : (فرمول طلوع و غروب برای ستارگانی که $\varphi - 90 \le \delta \le 90 - \varphi$.

$$\cos h = -\tan\delta \tan\phi \qquad (۲ – ۵۲)$$

باید توجّه داشت حرکت ظاهری ستاره بر روی کره ی سماوی از شرق به غرب است. برای ستاره ای که طلوع و غروب می کند ، معادله ی (۵۲ – ۲) دارای دو جواب می باشد که جواب کوچکترزمان غروب و جواب بزرگ ترزمان طلوع رامشخص می کند(شکل های۲۲–۲و۲۱–۲).مثال زیر این مطلب را به خوبی نشان می دهد.

$\Phi = 46^\circ$ می خواهیم امکان استفاده از دو ستاره را در یک برنامه ی مشاهداتی بررسی کنیم. میل این ستارگان $\delta_1 = 35^\circ$ و $\delta_2 = 50^\circ$ می باشد. از معادله ی (۵۰ – ۲) چنین داریم :

$$44^\circ \ge \delta_1 \ge -44^\circ$$

$$44^\circ \le \delta_2 \le -44^\circ$$

با توجّه به اینکه اوّلین ستاره در معادله ی (۵۰ – ۲) صدق می کند ، دارای طلوع و غروب می باشد. ولی دومین ستاره به دلیل آنکه میل آن بزرگ تر از 44° است ، ستاره ای است حول قطبی شمالی و برای ناظر در ایستگاه مزبور هرگز غروب نمی کند. بنابراین محاسبه را تنها در مورد ستاره ی اوّل ادامه می دهیم. از معادله ی ۵۲ – ۲ داریم :

$$\cos h_1 = -\tan 35^\circ \tan 46^\circ$$

یا

$$h_1^s = 136.4759^\circ = 9^h\,05^m\,54.22^s$$

که این عدد زاویه ی ساعتی ستاره در زمان غروب آن می باشد. زاویه ساعتی طلوع با رابطه ی زیر تعیین می گردد:

$$h_1^r = \left(24^h - h_1^s\right) = 14^h\,54^m\,05.78^s$$

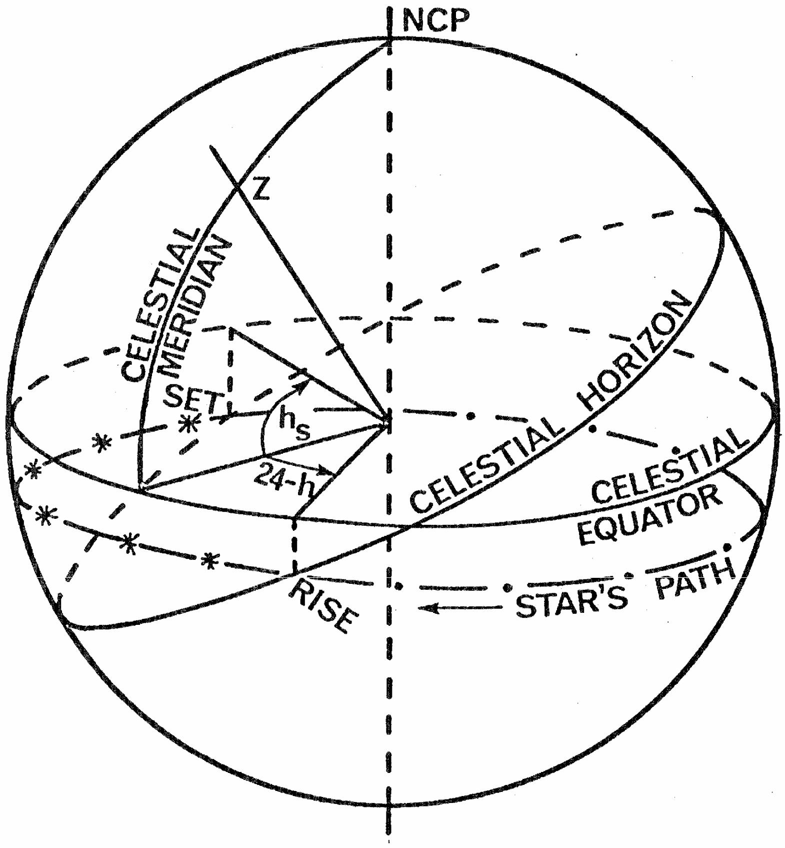


Figure 2-21

Rising and Setting of a Star

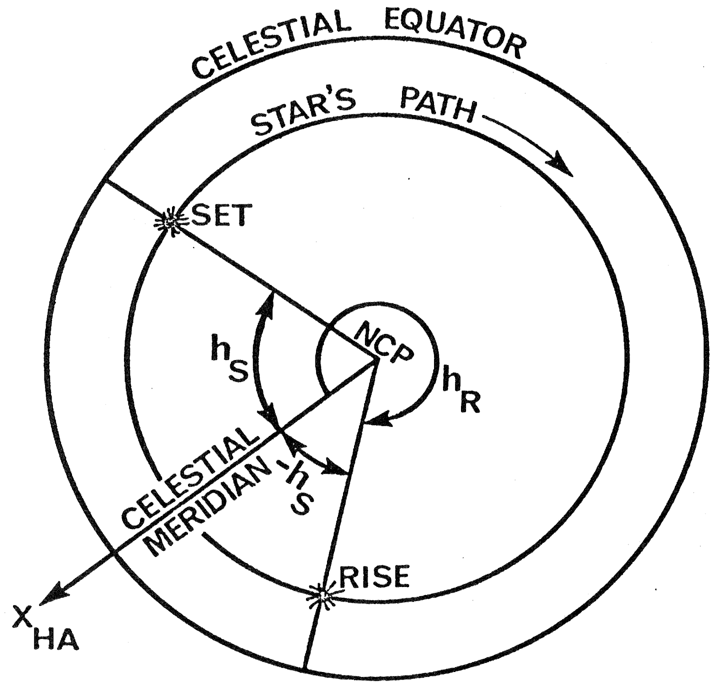


Figure 2-22

Hour Angles of a Star's Rise and Set

آزیموت

اکنون باید دید یک ستاره در چه آزیموتی طلوع و غروب می کند.در فرمول (۱۵ – ۲) داشتیم :

$$\sin z \sin A = -\cos\delta \sin h$$

که با قرار دادن z = ۹۰ یعنی حالت طلوع و غروب رابطه ی فوق را به صورت زیر خواهیم داشت :

$$\sin AZ = -\cos\delta \sin h \qquad (۲ – ۵۳)$$

که البته این معادله دو جواب خواهد داشت (شکل های ۲۴ – ۲ و ۲۳ – ۲) که یکی از آنها با قرار دادن h^r زاویه ی ساعتی ستاره در هنگام طلوع ستاره) و دیگری با قرار دادن h^s (زاویه ی ساعتی ستاره در هنگام غروب ستاره) در (۵۳ – ۲) به دست می آید. با قرار دادن ($\delta_1 = 35^\circ, \phi = 46^\circ, h_1^s = 9^h 05^m 54.22^s, h_1^r = 14^h 54^m 05.79^s$) از مثال بالا مقادیر زیر تعیین می گردند :

$$\sin A_1^r = -\cos 35^\circ \sin 223.5241^\circ$$

$$A_1^r = 34^\circ\ 20' 27.64''$$

و به همین ترتیب

$$A_1^s = 325^\circ\ 39' 32.36''$$

مجموعه قوانین زیر برای زوایای ساعتی و آزیموت ها در تعیین طلوع و غروب ستارگان به کار می روند :

ستارگان شمالی $(\delta \geq 0^\circ)$	طلوع	$12^h \leq h \leq 18^h$	$0^\circ \leq A \leq 90^\circ$
	غروب	$6^h \leq h \leq 12^h$	$270^\circ \leq A \leq 360^\circ$
ستارگان استوایی $(\delta = 0^\circ)$	طلوع	$h = 18^h$	$A = 90^\circ$
	غروب	$h = 6^h$	$A = 270^\circ$
ستارگان جنوبی $(\delta \leq 0^\circ)$	طلوع	$18^h \leq h \leq 24^h$	$90^\circ \leq A \leq 180^\circ$
		$0^h < h < 6^h$	$180^\circ < A < 270^\circ$

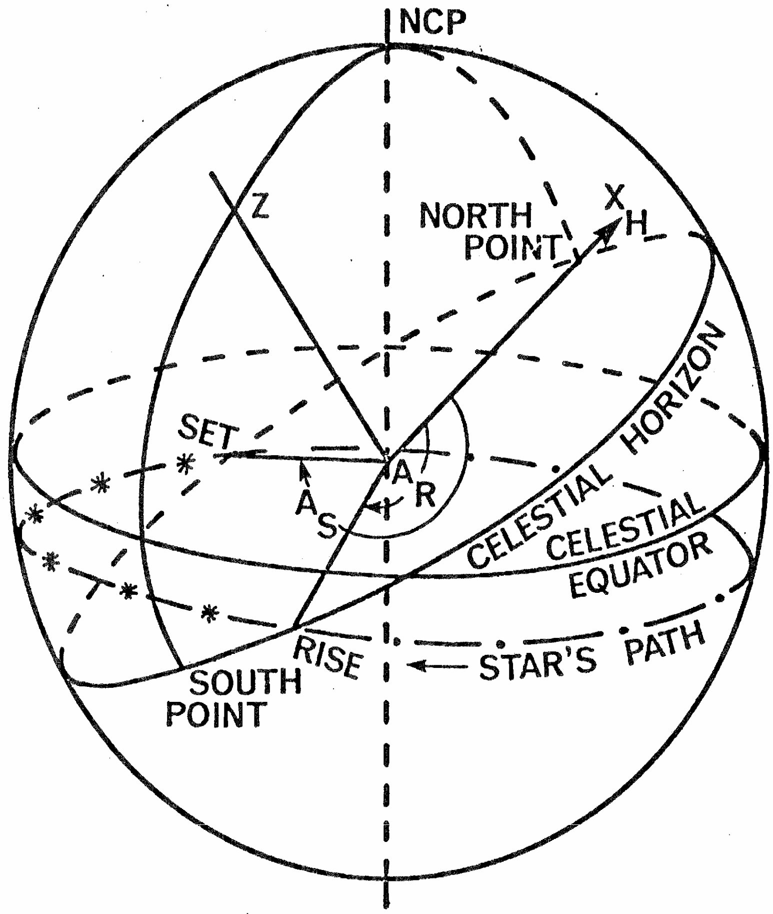


Figure 2-23

Rising and Setting of a Star

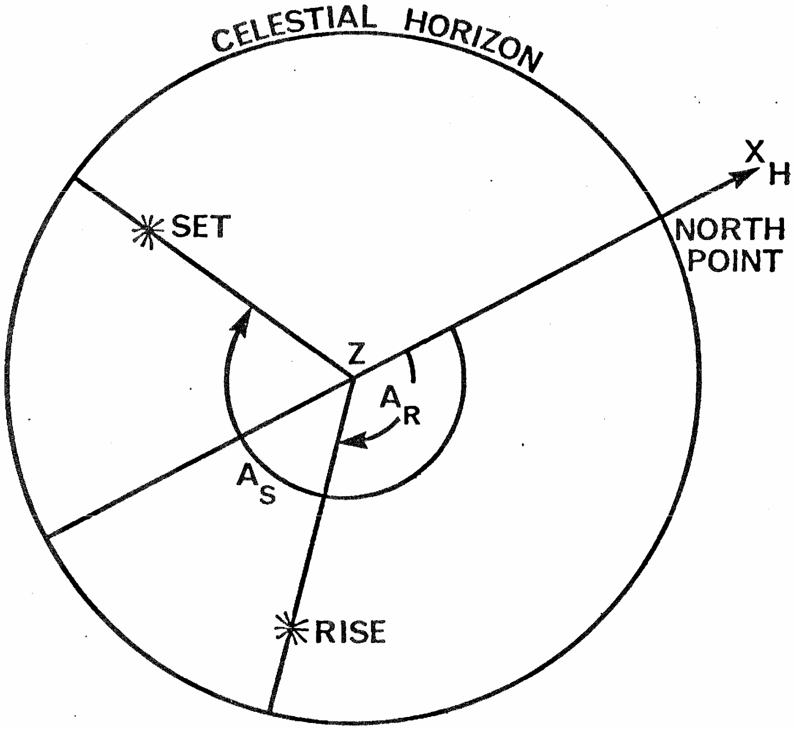


Figure 2-24

Azimuths of a Star's Rise and Set

۲ – ۴ – ۲ عبور ستاره از نصف النهار محل (Culmination (Transit

زمانی که دایره ی ساعتی ستاره ای منطبق بر نصف النهار سماوی ناظر باشد ، گویند ستاره در حال عبور (Transit یا Culmination) است. عبور بالا (uc) (upper Culmination) حالتی است که ستاره از طرف سمت الرأس دایره ی ساعتی از نصف النهار محل عبور می نماید و این حالت می تواند در شمال یا جنوب سمت الرأس وقوع یابد (شکل a ۲۵ – ۲ و b ۲۵ -۲) چنانچه uc در شمال z باشد ، فاصله ی سمت الرأسی با فرمول :

$$z = \delta - \phi \qquad (۲ – ۵۴)$$

(شکل a ۲۵ – ۲) محاسبه می شود و اگر uc در جنوب z اتفاق افتد این فاصله با رابطه ی :

$$z = \phi - \delta \qquad (۲ – ۵۵)$$

تعیین می شود. عبور پایین (LC) (Lover Culmination) (شکل c ۲۵ – ۲) در طرف سمت القدم دایره ی ساعتی است و برای ناظری در نیمکره ی شمالی همواره در شمال سمت الراس وقوع می یابد.فاصله ی سمت الراسی در LC با فرمول :

$$z = 180 - (\delta + \phi) \qquad (۲ – ۵۶)$$

به دست می آید.

مثال های قسمت ۱ – ۴ – ۲ را که در آن ($\delta_2 = 50^\circ$ و $\delta_1 = 35^\circ$ و $\Phi = 46^\circ$) بود مجدداً در نظر می گیریم.

بنابراین در مورد اوّلین ستاره فاصله ی سمت الرأسی برابر خواهد بود با :

$$z_1^{uc} = \phi - \delta_1 = 11^\circ$$

که در جنوب سمت الراس می باشد و

$$z_1^{Le} = 180^\circ - (\delta_1 + \phi) = 99^\circ$$

که بدین معنی است که ستاره قابل رویت نمی باشد $(z \geq 90^\circ)$.

در مورد دومین ستاره کمیت های فوق را به ترتیب زیر خواهیم داشت

$$z_2^{uc} = \delta_2 - \phi = 40^\circ$$

$$z_2^{Lc} = 180^\circ - (\delta_2 + \phi) = 84^\circ$$

که هر دو حالت در شمال سمت الرأس وقوع می یابند. در عبور بالای ستاره از نصف النهار $h = 0^h$ و برای عبور پایین $h = 12^h$ می باشد.آزیموت ها در لحظات عبور عبارتند از : $A = 0^\circ$ برای تمام عبورهای بالای در شمال z و تمام عبورهای پایین ، $A = 180^\circ$ برای تمام عبورهای بالایی در جنوب z .

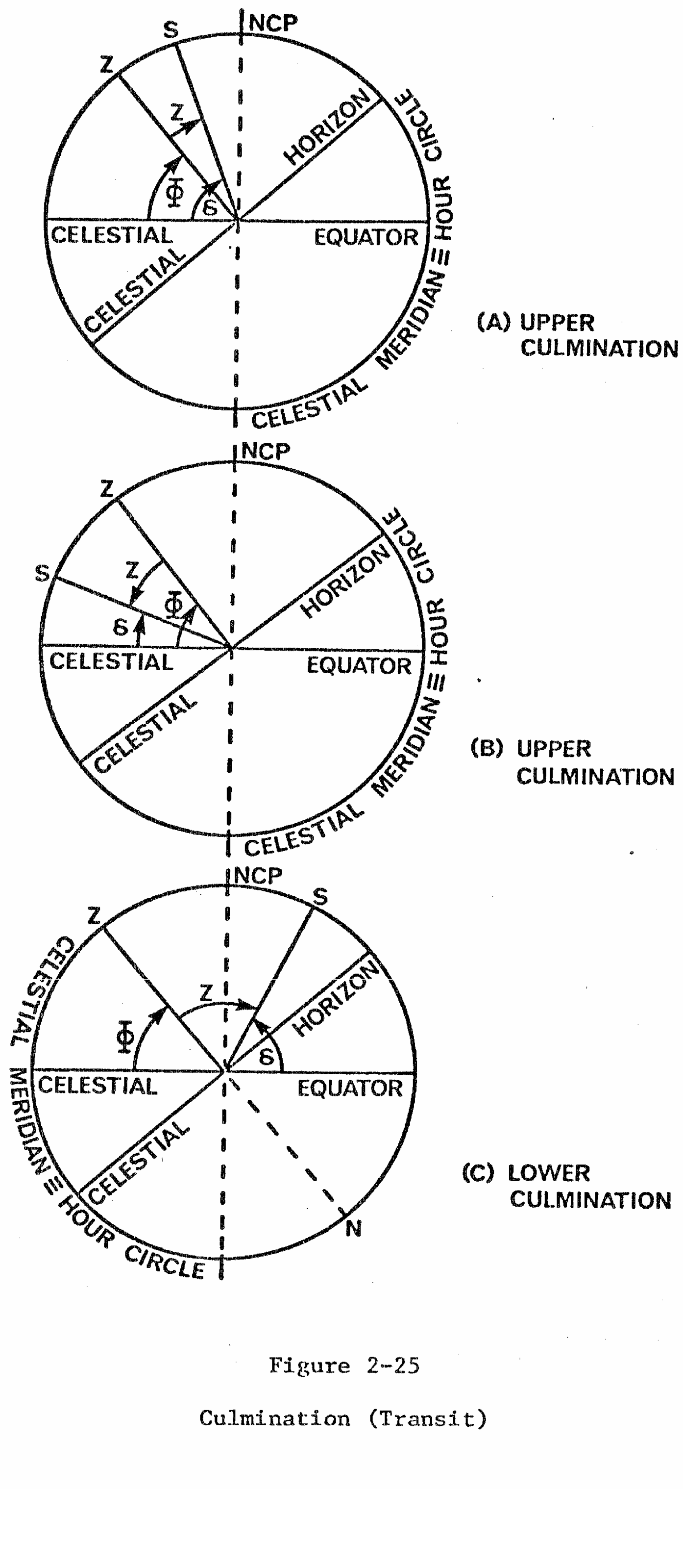


Figure 2-25

Culmination (Transit)

یادآوری می شودکه در تبدیل سیستم های مختصات زاویه ساعتی و بعدی داشتیم :

$$LST = h + \alpha$$

(معادله ی ۳۰- ۲) . جون در حالات عبور بالا $h = 0^h$ و در عبور پایین $h = 12^h$ مـی باشـد. بنابراین خواهیم داشت :

$$LST^{uc} = \alpha \qquad (۲ - ۵۷)$$

$$LST^{Lc} = \alpha + 12^h \qquad (۲ - ۵۸)$$

۳ – ۴ – ۲ برخورد ستاره با دایره ی قائم اولیه

برای اینکه ستاره ای دایره ی قائم اوّلیه را قطع نماید ، شرط زیر بایستی برقرار باشد :

$$0^\circ \le \delta^\circ \le \phi \qquad (۲ - ۵۹)$$

برای محاسبه ی فاصله ی سمت الرأسی ستاره در چنین حالتی معادله ی زیـر را کـه در بحـث تبدیل سیستم افقی به سیستم زاویه ساعتی (معادله ی ۲۶ – ۲) به کار رفت مورد اسـتفاده قـرار می دهیم:

$$\sin\delta = \cos z \sin\phi + \sin z \cos A \cos\phi$$

در برخورد ستاره با دایره ی قائم اوّلیه در شرق یعنی حالتی که ارتفاع سـتاره در حـال افـزایش است $A = 90^\circ$ بوده و در برخورد در غرب که ارتفاع در حال کاهش است $A = 270^\circ$ می باشد. بنابراین خواهیم داشت:

$$\cos z = \frac{\sin\delta}{\sin\phi} = \sin\delta \operatorname{cosec}\phi \qquad (۲ - ۶۰)$$

برای محاسبه ی زاویه ی ساعتی ستاره در زمان برخورد با نصف النهار محل به ایـن ترتیـب عمـل می کنیم که معادله ی (۶۰ – ۲) را در معادله ی (۲۲ – ۲) یعنی :

$$\cos z = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos h \cos\phi$$

جایگزین می نماییم :

$$\frac{\sin\delta}{\sin\phi} = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos h \cos\phi$$

یا

$$\sin\delta = \sin\delta \sin^2\phi + \cos\delta \cos h \cos\phi \sin\phi \qquad (۲ -۶۱)$$

که می توان آن را به صورت زیر نوشت :

$$\cos h = \frac{\sin\delta}{\cos\delta \cos\phi \sin\phi} - \frac{\sin\delta \sin^2\phi}{\cos\delta \cos\phi \sin\phi}$$

یا

$$\cos h = \tan\delta\left(\frac{1 - \sin^2\phi}{\cos\phi \sin\phi}\right) = \tan\delta\left(\frac{\cos^2\phi}{\cos\phi \sin\phi}\right)$$

و یا

$$\cos h = \tan\delta \cot\phi \qquad (۲ - ۶۲)$$

مانند آنچه در بحث تعیین طلوع و غروب یک ستاره دیدیم در اینجا نیـز دو مقـدار بـرای h بـه دست می آید کـه یکـی مربـوط بـه قطـع سـتاره در شـرق $\left(18^h \le h \le 24^h\right)$ و دیگـری در غـرب $\left(0^h \le h \le 6^h\right)$ است. با توجّه به مثال های قبل که داشتیم ($\delta_2 = 50^\circ$ و $\delta_1 = 35^\circ$) واضح است که ستاره ی دوم دایره ی قائم اوّلیه را قطع نمی نماید زیرا $\left(\delta_2 \ge 46^\circ\right)$ می باشـد. اوّلـین سـتاره ایـن دایره را قطع می نمایـد چـون $\left(0 \le \delta_1 \le 46^\circ\right)$ کـه بـرای برخـورد در شـرق $A = 90^\circ$ و در غـرب $A = 270^\circ$ است. فاصله ی سمت الرأسی برای هر دو برخورد از معادلـه ی (۶۰ – ۲) تعیـین مـی گردد.

$$\cos z_1 = \frac{\sin 35^\circ}{\sin 46^\circ}$$

$$z_1 = 37^\circ\, 01' 15.1''$$

و زوایای ساعتی غربی و شرقی در حالت برخورد هم با استفاده از معادله ی (۶۲ -۲) به دسـت می آیند:

$$\cos h_1^{\omega} = \tan\delta \cot\phi = \tan 35^\circ \cot 46^\circ$$

$$h_1^{\omega} = 47.45397^\circ = 3^h\, 09^m\, 48.9^s$$

و

$$h_1^E = 24^h\, 00^m\, 00^s - 3^h\, 09^m\, 48.9^s = 20^h\, 50^m\, 11.0^s$$

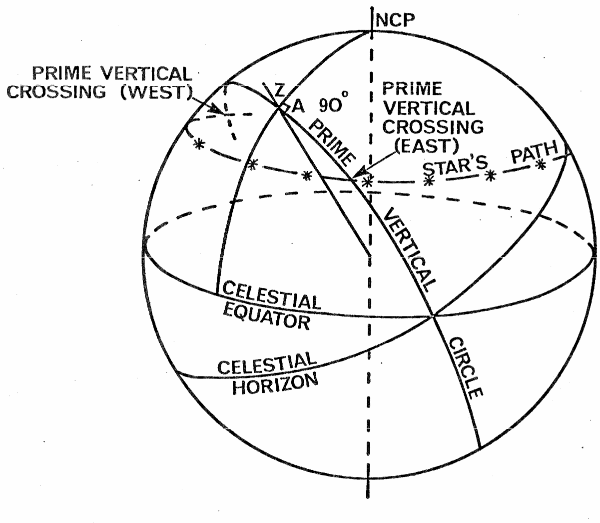


Figure 2-26

Prime Vertical Crossing

Elongation ۲ – ۴ – ۴

وقتی زاویه ی پارالاکتیک (زاویه ی p در شکل ۱۲ – ۲) ۹۰ درجه باشد یعنی دوایر ساعتی و قائم بر هم عمود باشند گفته می شود که ستاره در Elongation است.این حالت می تواند در هر دو طرف نصف النهار سماوی ناظر اتفاق افتد ولی مشروط بر آنکه ستاره دایره ی قائم اوّلیه را قطع ننماید بنابراین شرط وقوع Elongation این است که رابطه ی زیر برقرار باشد.

$$\delta \geq \phi \qquad (۲ – ۶۳)$$

از مثلث نجومی (شکل ۱۲ – ۲) و با استفاده از قانون سینوس ها می توان چنین نوشت :

$$\frac{\sin A}{\sin(90-\delta)} = \frac{\sin P}{\sin(90-\phi)}$$

یا

$$\sin A = \frac{\sin P \cos\delta}{\cos\phi} \qquad (۲ – ۶۴)$$

چون در Elongation داریم $P = 90^\circ$ بنابراین (۶۴ – ۲) را در این حالت به صورت زیر خواهیم داشت :

$$\sin A = \cos\delta \sec\phi \qquad (۲ – ۶۵)$$

در Elongation شرقی $0^\circ \leq A \leq 90^\circ$ و در elongation غربی $270^\circ \leq A \leq 360^\circ$ می باشد.

برای تعیین فاصله ی سمت الرأسی و زاویه ی ساعتی در elongation از قانون کسینوس ها استفاده می شود. با در نظر گرفتن مثلث نجومی (شکل ۱۲ – ۲) و استفاده از این قانون می توان نوشت :

$$\cos(90-\phi) = \cos(90-\delta)\cos z + \sin z \sin(90-\delta)\cos P \qquad (۲ – ۶۶)$$

که با شرط $P = 90^\circ$ این رابطه به صورت زیر خواهد بود :

$$\cos z = \sin\phi \operatorname{cosec}\delta \qquad (۲ – ۶۷)$$

اکنون با قرار دادن cos z از (۶۷ – ۲) در عبارت مربوط به تبدیل سیستم مختصات زاویه ساعتی به سیستم مختصات افقی یعنی معادله ی (۲۲ – ۲) که به صورت

$$\cos z = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos h \cos\phi$$

بود ، چنین خواهیم داشت :

$$\frac{\sin\phi}{\sin\delta} = \sin\delta \sin\phi + \cos\delta \cos h \cos\phi$$

و یا

$$\cos h = \frac{\sin\phi - \sin^2\delta \sin\phi}{\cos\delta \sin\delta \cos\phi} \qquad (۲ – ۶۸)$$

که پس از مقداری عملیات مثلثاتی این فرمول را به صورت زیر می توان نوشت :

$$\cos h = \tan\phi\left(\frac{1-\sin^2\delta}{\cos\delta\sin\delta}\right) = \tan\phi\left(\frac{\cos^2\delta}{\cos\delta\sin\delta}\right)$$

و بالاخره

$$\cos h = \tan\phi\cot\delta \qquad (۲ - ۶۹)$$

باید توجّه داشت که دو نوع elongation (شرقی و غربی) وجود دارد که وقـوع ایـن حـالات بستگی به آزیموت دارد.

مثال های قبلی را که در آنها داشتیم $\phi = 64^\circ$ و $\delta_2 = 50^\circ$ و $\delta_1 = 35^\circ$ ، مجددا در نظـر مـی گیریم.می بینیم که در مورد ستاره ی اول $\delta_1 \leq \phi$ می باشد و بنابراین elongation وقوع نخواهد یافـت.در مـورد دومـین سـتاره ایـن حالـت پـیش خواهـد آمـد زیـرا $\delta_2 \geq \phi$ و بنـابر ایـن هـر دو elongation شرقی و غربی در مورد این ستاره اتفاق خواهد افتاد. آزیموت هـا ، فاصـله ی سـمت الرأسی زوایای ساعتی برای این ستاره عبارتند از :

$$\sin A_2^E = \cos\delta\sec\phi = \cos 50^\circ \sec 46^\circ$$

$$A_2^E = 67^\circ\, 43'04.7''$$

$$A_2^w = 360^\circ - A_2^E = 292^\circ\, 16'55.3''$$

$$\cos z = \sin\phi\cos ec\,\delta = \sin 46^\circ \cos ec\, 50^\circ$$

$$z_2 = 20^\circ\, 06'37.3''$$

$$\cos h_2^w = \tan\phi\cot\delta = \tan 46^\circ \cot 50^\circ$$

$$h_2^w = 29.66733^\circ = 1^h\, 58^m\, 40.2^s$$

$$h_2^E = 24^h - h_2^w = 22^h\, 01^m\, 19.8^s$$

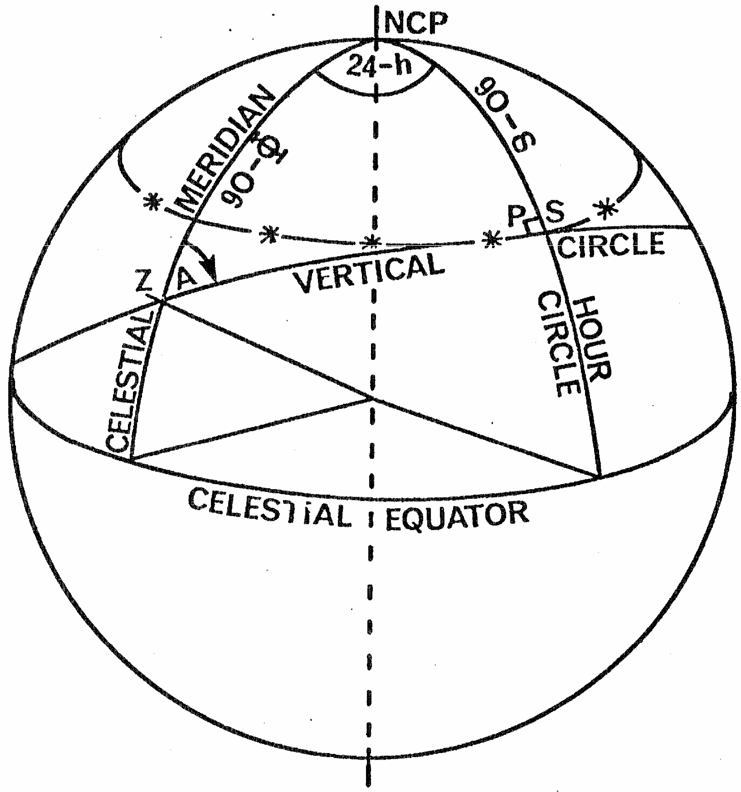


Figure 2-27

Elongation

فصل ۳

سیستم های سنجش زمان

همانطور که در شروع فصل دوم اشاره شد ، موقعیت یک ستاره بر روی کره ی سـماوی در هـر یک از چهار سیستم مختصات فقط در یک لحظه از زمان T تعیین می گردد و این مختصات در آن لحظه اعتبار دارد.به سبب عوامل زیادی (به طور مثال حرکات زمین ، حرکات ستاره ها) مختصات سماوی با تغییر زمان مشمول تغییراتی خواهند شد که برای درک این تغییرات باید با سیستم هایی که برای سنجش زمان به کار می روند ، آشنا بود.

برای توضیح سیستم های زمانی سه مطلب اساسی وجود دارد که می باید شرح داده شوند.اولین موضوع مبدا (epoch) است که عبارت است از یک لحظه ی خاص از زمان که لحظه ی وقوع یک پدیده یا مشاهده ای را تعریف می نماید.دومین مطلب فاصله ی زمانی (Time interval) اسـت که زمان طی شده بین دو مبدا را تعریف می کند.ایـن فاصـله ی زمـانی را مـی بایـد بـا وسـیله ای بسنجد که آن را مقیاس زمان Time scale می نامند که همان سومین موضوع اساسی است .

در مورد زمان معمولی و عـادی (civil Time) کـه بـرای منظورهـای روزمـره بـه کـار مـی رود.واحد مقیاس زمان (مثلا ثانیه) از نظر طول زمانی ثابت فرض می شود ولـی در سیـستم هـای نجومی واحد های زمانی از نظر طول روز سیستم های مختلف با هم فرق دارند.واحد های زمانی بـه نحوی با یک پدیده ی فیزیکی تکراری در ارتباط باشند و این پدیده می باید از نا منظمی هایی کـه دارای زمان متناوب کوتاه هستند ، مستقل بوده و یا اینکه قابلیت آزاد شدن و مستقل شدن از ایـن نامنظمی ها را دارا باشد تا بتوان زمانی را که به وسیله ی وسایل سنجش زمان به دست مـی آیـد ، درون یابی و بیرون یابی (unter polation and exterp,lation) نمود.

به طور کلی سه سیستم اصلی برای زمان وجود دارد :

۱.زمان های نجومی و جهانی (sidereal and universal times) که بـر اسـاس حرکـت روزانه ی زمین تعریف شده و با مشاهدات ستارگان تعیین می گردد.

۲.زمان اتمی (Atomic time) که ب اساس زمان متناوب نوسانات الکترومغناطیسی تولیـد شده به وسیله ی عبور ذرات اتم caesium 133 تعریف و تعیین می شود.

۳.زمان افمریس (Ephemeris time) که بر اساس حرکت انتقالی زمـین بـه دور خورشـید تعریف می شود.

زمان افمریس بیشتر در مکانیک سماوی مورد استفاده قرار می گیرد و در نجـوم ژئودتیـک کـاربرد کمی دارد ولی زمان های نجومی و جهانی در ژئودزی از اهمیت بسیاری برخوردارند.این دو زمان بـا فرمول های دقیقی با هم ارتباط دارند بنابر این در عمل هر یک از آن ها که مناسب باشند به کارمی رود.چون می توان دیگری را با استفاده از آن تعیین نمود.علائـم رادیـویی زمـان کـه بـه وسـیله ی

فرستنده های مختلف ارسال می شوند ، عموما زمان اتمی است.بنابر این رابطه ی بین زمان اتمی و زمان نجومی یا جهانی در نجوم ژئودتیک بسیار مهم می باشد.

۱ – ۳ زمان نجومی

واحد اصلی فاصله ی زمانی نجومی روز متوسط نجومی است که عبارت است از فاصله ی بین دو عبور بالای متوالی نقطه ی اعتدال بهاری متوسط (این نقطه موقعیت نقطه ی γ را در حالیکه حرکت یکنواخت پرسشن برای ان در نظر گرفته شده ولی حرکت غیر یکنواخت با دوره ی تناوب کوتاه نوتیشن در باره ی آن محسوب نشده معین می کند) از نصف النهار یک محل در حالی که اثرات حرکت قطبی بر روی این نصف النهار به حساب نیامده باشد.روز متوسط نجومی از ساعت صفر $\left(0^h\right)$ در عبور بالا محسوب می شود و ظهر نجومی شناخته می شود و واحد های آن عبارتند از $1_s^h = 60_s^m, 1_s^m = 60_s^s$.زمان نجومی ظاهری یا حقیقی (در این مورد این زمان اثرات پرسشن و نوتیشن هر دو بر روی موقعیت نقطه ی γ در نظر گرفته می شود) که به علت متغیر بودن و یکنواخت نبودنش نمی توان آن را در سنجش فاصله های زمانی مورد استفاده قرار داد.به علت اینکه در نقطه ی اعتدال متوسط تنها اثر پرسشن در نظر گرفته می شود ولی در نقطه ی اعتدال حقیقی هر دو اثر پرسشن و نوتیشن به حساب می آیند .روز متوسط نجومی به اندازه ی 0.0084_s^s کوتاه تر از زمان یک دوران کامل حقیقی زمین می باشد.

از تعریف بالا در مورد واحد اصلی فاصله ی زمانی نجومی می توان چنین نتیجه گرفت که زمان نجومی مستقیما با دوران زمین مربوط است بدین معنی که در این حرکت دورانی زوایای مساوی و متناظر با فواصل زمانی نجومی مساوی می باشد.مبدا نجومی sidereal epoch به وسیله ی اندازه گیری زاویه ساعتی نقطه ی اعتدال بهاری تعیین می شود.چنانچه زاویه ساعتی نقطه ی اعتدال بهاری حقیقی (موقعیت نقطه ی γ با در نظر گرفتن هر دو حرکت پرسشن و نوتیشن) اندازه گیری شده باشد ، آن را زمان نجومی محلی ظاهری (LAST)(Local Apparent sidereal time) می نامند.وقتی زاویه ساعتی نقطه ی مزبور در نصف النهار متوسطنجومی گرینویچ اندازه گیری می شود ، آن را زمان نجومی ظاهری گرینویچ (GAST) (Greenwich Apparent sidereal Time) می نامند.باید توجه داشت که در نظر گرفتن نصف النهار گرینویچ به عنوان نصف النهار مرجع برای سیستم های زمان از مواردی است که موجب تسهیل و یکنواختی در عملیات و محاسبات نجومی گردیده .بدین معنی که با این ترتیب روابط مستقیمی بین زمان و طول جغرافیایی ایجاد شده وهمچنین باعث سهولت در به دست آوردن مختصات ستارگان گردیده که مستقل از محل و مختصات نقطه ی مشاهده هستند ولی در ضمن ارتباط مستقیم با طول جغرافیایی نقطه ی مزبور دارند.زاویه ی ساعتی نقطه ی اعتدال بهاری متوسطدر یک محل ، زمان نجومی متوسط محلی (LMST) (Local Mean Sidereal Time) و زاویه ی ساعتی نقطه ی مزبور در گرینویچ ، زمان نجومی متوسط گرینویچ (GMST) (Greenwich Mean

Sidereal Time) نامیده می شوند.اختلاف بین LMST و LAST یا بین GMST و LAST به معادله ی نقاط اعتدالین (EqE) (Equation of the Equation) موسوم است .یعنی

$$E\,q.E = LAST - LMST = GAST - GMST \qquad (۳ - ۱)$$

EqE , GMST , GAST , LMST , LAST همه در شکل ۱ – ۳ نشان دادهشده اند.

علت وجود معادله ی اعتدالین وجود نوتیشن می باشد و دارای تغییرات متناوبی با دامنه ی حداکثر حدود یک ثانیه است (شکل ۲ – ۳).و مقـدار آن در جـدول American Ephemerise and Nautical Almanac برای ساعت صفر UT که در بخش ۲ – ۳ راجع بـه آن صـحبت خواهـد شد، برای هر روز از سال داده شده است.

برای تعیین روابط بین زمان های محلی و گرینویچ لازم است که طول جغرافیایی نجومی (Δ) آن محل در دست باشد.در این صورت با استفاده از شکل ۳ – ۳ می توان دید که روابط زیر بین این زمان ها برقرار است.

$$LMST = GMST + \Lambda \qquad (۳ - ۲)$$

$$LAST = GAST + \Lambda \qquad (۳ - ۳)$$

که در این فرمول ها Δ طول نجومی پس از اعمال تصحیح حرکت قطبی به آن می باشد که به طول نجومی تبدیل یافته موسوم است.

در تهیه ی جداول کمیت هایی که با زمان نجومی ارتباط دارند ، مفاهیم تاریخ نجومی گرینویچ (G.S.D) (Greenwich Sidereal Date) و شـــماره ی روز نجـــومی گرینـــویچ (Greenwich Siderreal Day Number) به کار می رونـد.G.S.D تعـداد روزهـای متوسـط نجومی است که از ظهر روز اول ژانویه ی سال ۴۷۱۳ قبل از میلاد مسیح در نصف النهـار متوسـط نجومی گرینویچ طی شده است.عدد صحیح G.S.D همان شماره ی روز نجومی گرینویچ و قسمت اعشاری آن GMST می باشد که به صورت کسری از روز است. درشکل ۴ – ۳ که نشان دنـده ی قسمتی از یکی از جداول AENA می باشد ، G.S.D نمایش داده شده است.

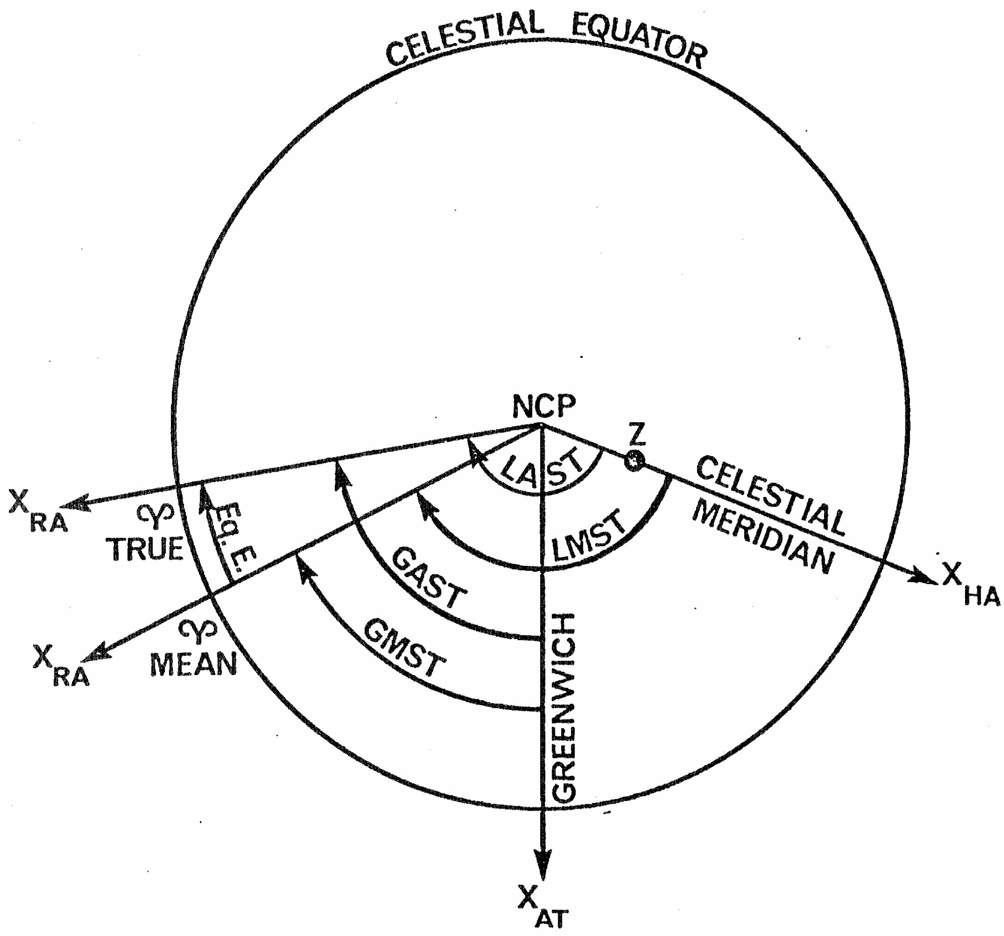


Figure 3-1

Sidereal Time Epochs

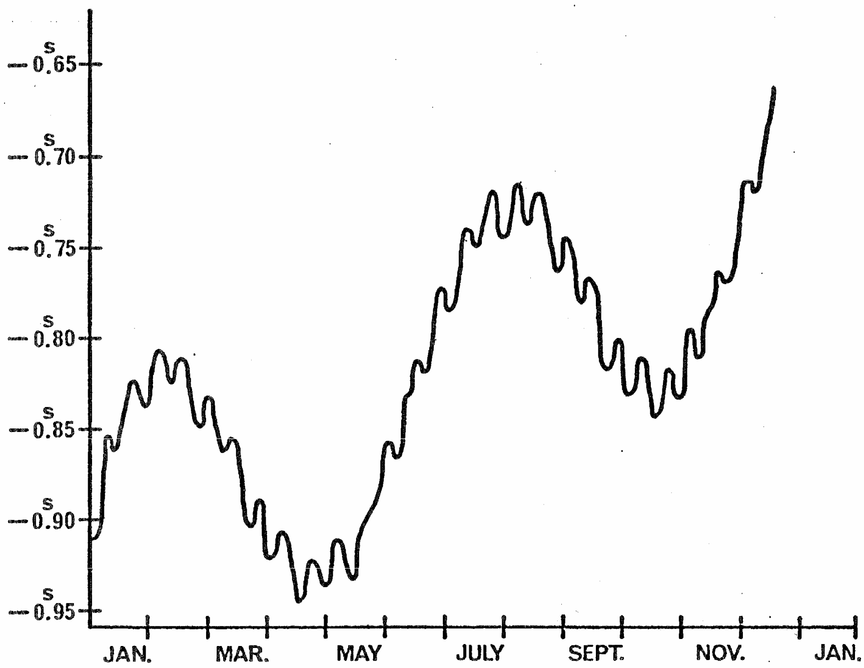


Figure 3-2

Equation of Equinoxes (0^hUT, 1966)
[Mueller, 1969]

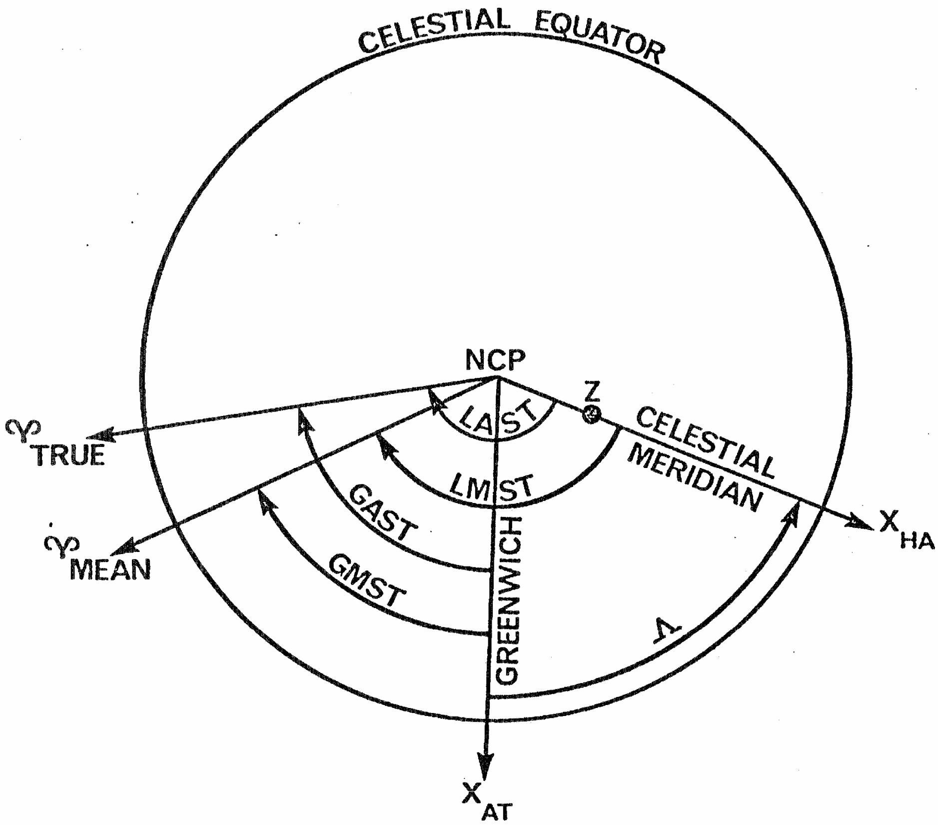


Figure 3-3

Sidereal Time and Longitude

۲ – ۳ حرکت روزانه و حرکت واقعی

پدیده ای را که ما به عنوان حرکت ظاهری روزانه ی خورشید می شناسیم ، در حقیقت معلـول حرکت دورانی زمین حول محورش می باشد.بنابراین خورشید را هم می توان به عنوان ستاره ای که دارای حرکت یکنواخت بر روی مداری از مـدارات کـره ی سـماوی اسـت شـناخت.حرکـت واقعـی خورشید نتیجه ی ترکیب حرکت غیر یکنواخت سالیانه ی آن بر روی اکلیپتیـک و حرکـت تقریبـا یکنواخت آن بر روی یک مدار سماوی که در بالا ذکر شده است.بنـابراین حرکـت واقعـی خورشـید حرکتی است غیر یکنواخت که مسیرآن شکلی است مانند فنر (شکل ۵ – ۳).حدود بیست و یکـم مارچ (اول فروردین) خورشید به نزدیک نقطه ی اعتدال بهاری می رسد.یعنی در حوالی اسـتوا بـا میل (declination) صفر حرکت می کند.بعد از بیست و یک مارچ میل به تدریج رو به افـزایش می نهد به طوریکه در حدود بیست و دوم ژوئن (اول تیـر) بـه حـد اکثـر مـیلش کـه برابـر میـل اکلیپتیک نسبت به استوا یعنی ۲۳,۵ است ، می رسد.از این تاریخ تا بیست و سـوم سـپتامبر (اول مهر) میل خورشید به تدریج کم شده و به سمت صفر میل می نمایدکه در این حالت خورشید بـه نقطه ی اعتدال پاییزی می رسد.در چنین زمانی خورشید مجـددا بـه اسـتوا رسـیده و در ادامـه ی حرکتش میل آن منفی خواهد بود و تدریجا کم می شود تا حدود بیست و دوم دسامبر (اول دی) که به نقطه ی انقلاب زمستانی می رسد.از این نقطه با میل منفی به طرف نقطه ی اعتدال بهاری به حرکت خود ادامه می دهد و در تاریخ بیست و یکم مارچ به ایـن نقطـه یعنـی نقطـه ای کـه میـل خورشید در آن صفر است می رسد و یک دور حرکت خود را به این ترتیب کامل می کند.با مراجعه به شکل ۵ – ۳ می توان دیـد بـرای $0^\circ \le \phi \le 90^\circ - \varepsilon$ بـین اول دی و اول تیـر طـول روز رو بـه افزایش و بین اول تیر و اول دی طول روز رو بهکاهش می باشد.همچنین در این شکل بـه سـهولت می توان دید که طول روز بین اول فروردین و اول مهر بلندتر از دوارده ساعت و در فاصـله ی بـین اول مهر و اول فروردین کوتاه تر از دوازده ساعت است.این روابط به طور خلاصـه در جـدول ۱ – ۳ نشان داده شده است.

اگر ناظری در محلی که عرض جغرافیایی آن $\pm\phi = 90^\circ - \varepsilon \cong 66.5^\circ$ است قرار داشته باشـد ، خواهید دید که در وال تیـر (و اول دی) خورشـید غـروب نمـی کنـد و در اول دی (و اول تیـر) خورشید طلوع نمی نماید.در قطبین $(\phi = \pm 90^\circ)$ خورشید برای ناظر بین اول فروردین و اول مهـر (در قطب جنوب بین اول مهر و اول فروردین) بالای افق و در بقیه ی اوقات سال پایین افـق واقـع خواهد بود.بر روی استوا $(\phi = 0^\circ)$ طول شب و روز در تمام سال دقیقا دوازده ساعت می باشد.

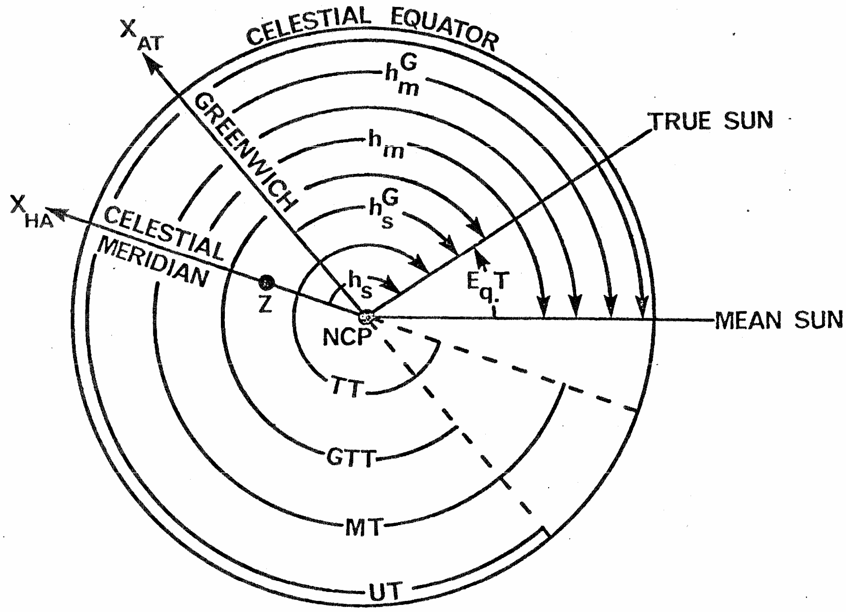


Figure 3-5

Universal (Solar) Time

طول تقریبی فصول	نام فصول (نیمکره ی شمالی)	مختصات خورشید λs As αs δs	محل خورشید	مبدا تقریبی
		0° 0° 0^H 0°	نقطه ی اعتدال بهاری	اول فروردین (بیست و یکم مارس)
93^d	بهار	90° 0° 6^H 23.5°	نقطه ی انقلاب تابستانی	اول تیر (بیست و دوم ژوئن)
93^d	تابستان	180° 0° 12^H 0°	نقطه ی اعتدال پاییزی	اول مهر (بیست و سوم سپتامبر)
90^d	پاییز	270° 0° 18^H -23.5°	نقطه ی انقلاب زمستانی	اول دی (بیست و دوم دسامبر)
89^d	زمستان	0° 0° 0^H 0°	نقطه ی اعتدال بهاری	اول فروردین (بیست و یکم مارس)

۳ – ۳ زمان جهانی (خورشیدی) UT

به طوری که در بالا گفته شد حرکت خورشید واقعی حرکتی است غیر یکنواخت و این حرکت غیر یکنواخت در واقع معلول یکنواخت نبودن سرعت حرکت انتقالی زمین بر روی مسیرش به دور خورشید است.بنابراین با توجه به مطلبی که در ابتدای این بحث در مورد در نظر گرفتن یک پدیده ی فیزیکی با حرکت یکنواخت به عنوان مرجع و اساس زمان سنجی ذکر گردید.خورشید واقعی و حرکت آن را نمی توان به عنوان مرجع در اندازه گیری زمان به کار برد.بنابراین دلیل نقطه ای فرضی را که دارای حرکتی یکنواخت بر روی استوا باشد به نام خورشید متوسط تعریف نموده اند.این نقطه نسبت به نصف النهار هر محل دارای حرکت روزانه ای مانند حرکت روزانه ی متوسط خورشید واقعی است با تفاوت بسیار کمی که ناشی از اثر تغییرات نصف النهار آن محل (حرکت قطبی) و تغییرات در سرعت دورانی زمین است.بعد خورشید متوسط (α_m) یعنی پارامتری که به وسیله ی آن زمان متوسط خورشیدی تعیین می شود.به وسیله ی دانشمندی به نام " نیو کامب " در سال 1895 بهصورت فرمول زیر تعیین گردید.

$$\alpha_m = 18^h\, 38^m\, 45.836^s + 8640184.842^s\, t_m + 0.0929^s\, t_m^2 \qquad (۳ – ۴)$$

که در آن t_m تعداد قرون " جولی ین " (یک قرن جولی ین 36525 روز متوسط خورشیدی است)طی شده از مبدا استاندارد زمان جهانی (standard epoch of UT) که نیمروز زمان جهانی در سال 1900 می باشد (0.5 UT ژانویه ی 1900) در نیمه شب شروع روز است.

زمان خورشیدی متوسط به وسیله ی مشاهدات بر خورشید واقعی به حرکت ظاهری روزانه ی این خورشید مرتبط می شود.مبدا زمان خورشیدی ظاهری (واقعی) برای هر نصف النهار عبارت است از :

$$TT = h_s + 12^h \qquad (۳ – ۵)$$

(شکل ۶ – ۳) که در این فرمول h_s زاویه ی ساعتی خورشید حقیقی است و دوازده ساعت به آن اضافه می شود تا ساعت صفر TT در شب (ترانزیت پایین) اتفاق یابد و عملا با زمانی که در زمان سنجی معمولی و اولیه به کار می رود متشابه گردد.

مبدا زمان خورشیدی متوسط برای هر نصف النهار با رابطه ی زیر به دست می آید :

$$MT = h_m + 12^h \qquad (۳ – ۶)$$

(شکل ۶ – ۳) که در آن h_m زاویه ی ساعتی خورشید متوسط می باشد ، اگر زوایای ساعتی حقیقی و متوسط نسبت به نصف النهار گرینویچ تعیین شده باشد $\left(h_s^G, h_s^m\right)$ زمان ها را زمان حقیقی گرینویچ(GTT) و زمان متوسط (GMT) یا زمان جهانی (UT) نامند (شکل ۶ – ۳).

اختلاف بین زمان های خورشیدی حقیقی و متوسط در هر لحظه موسوم به معادله ی زمان (E.q.T)می باشد.با مراجعه به شکل ۶ – ۳ می توان نوشت :

$$E\,q.T. = TT - MT \qquad (۳ – ۷)$$

و

$$E\,q.T. = GTT - UT \qquad (۳ – ۸)$$

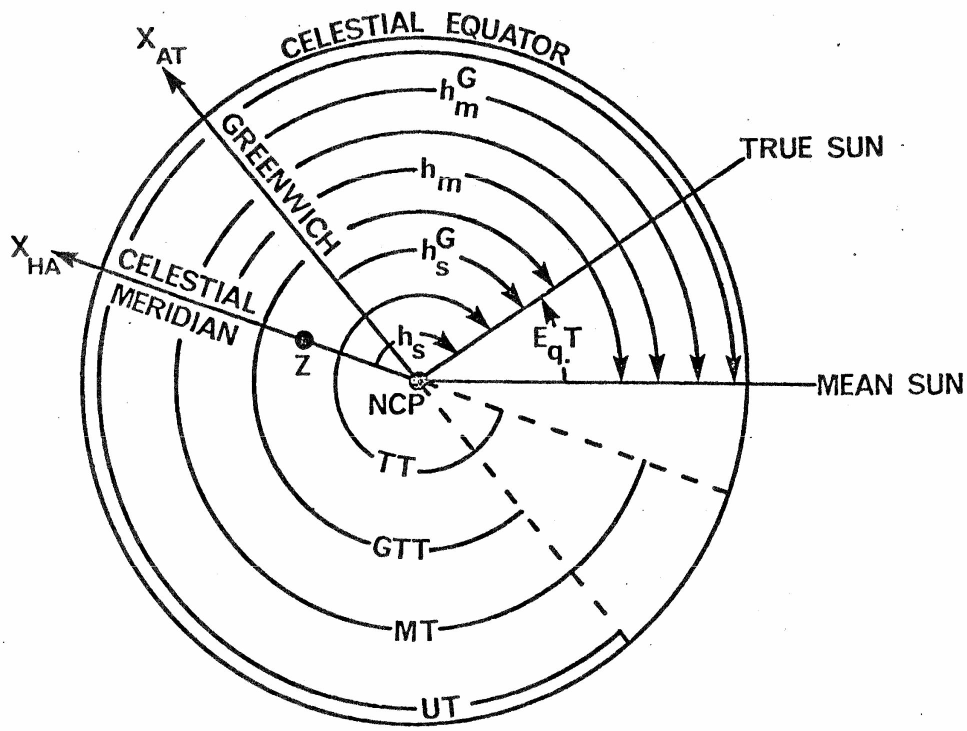


Figure 3-5

Universal (Solar) Time

قدر مطلق معادله ی زمان تا شانزده دقیقه می رسد.شکل ۷ – ۳ معادله ی زمان (E.Q.T) را برای یک فاصله ی یکساله نمایش می دهد.

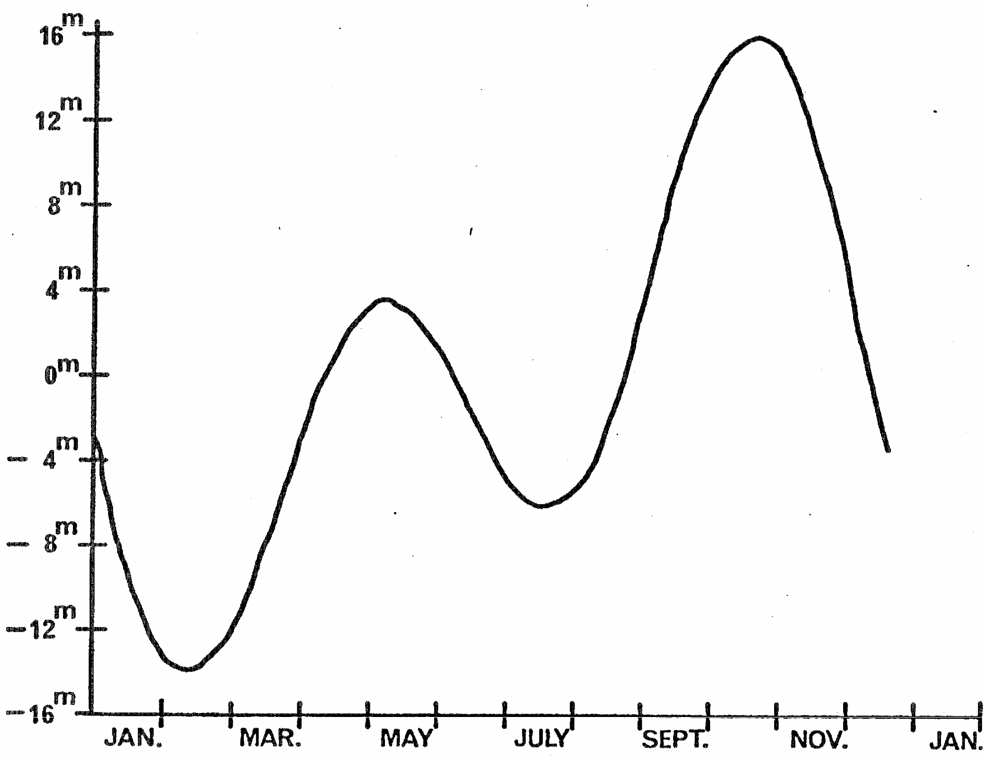


Figure 3-6

Equation of Time (0^h UT, 1966)
[Mueller, 1969]

زمان های خورشیدی متوسط و حقیقی با عبارات زیر به طول جغرافیـایی نجـومی محـل نـاظر مربط می شوند (شکل ۸ – ۳).

$$MT = UT + \Lambda \qquad (۳ – ۹)$$

$$TT = GTT + \Lambda \qquad (۳ – ۱۰)$$

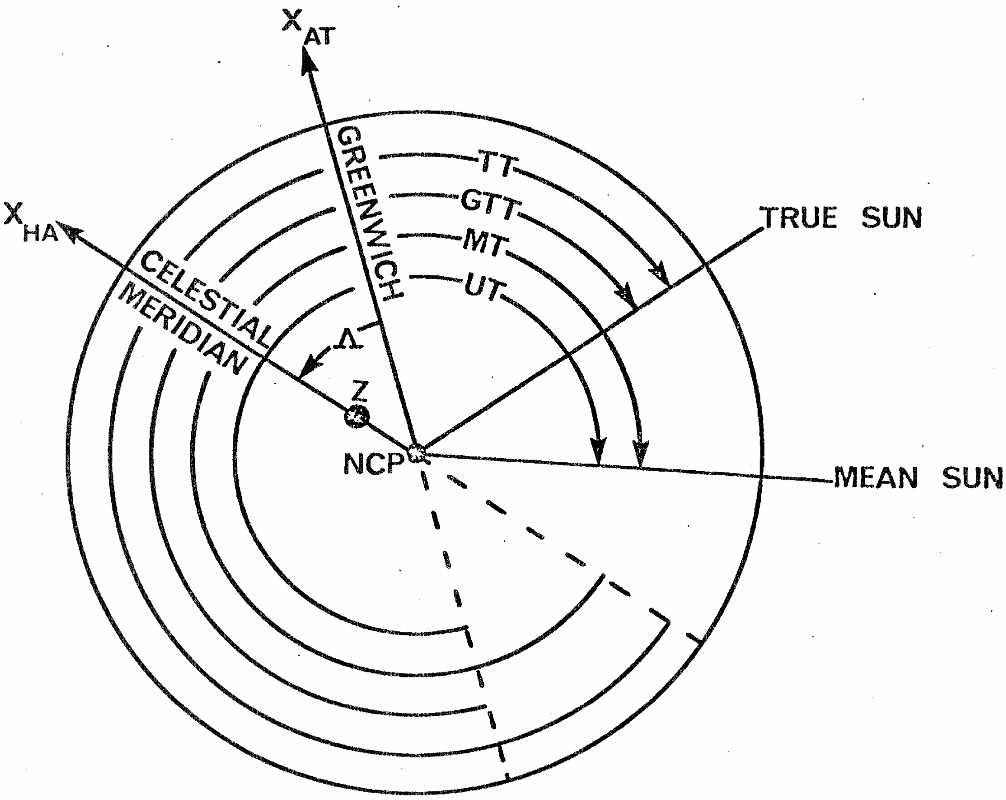


Figure 3-7

Solar Time and Longitude

زمان لازم برای دو عبور متوالی خورشید از نقطه ی اعتدال بهاری را سال ترپیکال و زمـان لازم برای اینکه این خورشید یک دور کامل را بر روی استوا طی کند ، سال نجومی می نامنـد و مقـادیر آن ها با روابط زیر تعیین می گردند :

روز خورشیدی متوسط 365.24219879= 1 سال ترپیکال

روز خورشیدی متوسط 365.25636042= 1 سال نجومی

چون این سال ها هر دو دارای رقم های اعشاری زیادی هستند ، در تقویم های معمولی یکی از سال های جولی ین با تعریف

$365^{d}6^{h}$ = روز خورشیدی متوسط 365.25^{d} = 1 سال جولی ین

یا گریگورین برابر با 365.2425 روز خورشیدی متوسط به کار می رود.در مورد مسائل نجومی ، سال نجومی در ساعت صفر UT در ۳۱ دسامبر سال قبل شروع می شود.این مبدا به تاریخ نجومی روز صفر از ماه ژانویه در سیستم زمانی جهانی است $(Ian.0^{d}.0.UT.)$.

متناظر با تاریخ نجومی گرینویچ (GSD) تاریخ دیگری به نام تاریخ جولی ین (Julian date) یا به اختصار (JD) تعریف گردیده است.این تاریخ عبارت است از تعداد روزهای متوسط خورشیدی که از ساعت ۱۲ UT در اول ژانویه ($1.5^{d}UT$ از ماه زانویه) سال 4713 قبل از میلاد تا کنون طی شده برای مبدا زمانی استاندارد در نجوم یعنی $0.5^{d}UT$ از ماه ژانویه ی 1900 ، $ID = 2415020.0$ می باشد.تبدیل بین GSD و JD با روابط زیر انجام می گیرد :

$$GSD = 0.671 + 1.0027379093\ ID \qquad (۳ - ۱۱)$$

$$ID = -0.669 + 0.9972695664\ GSD \qquad (۳ - ۱۲)$$

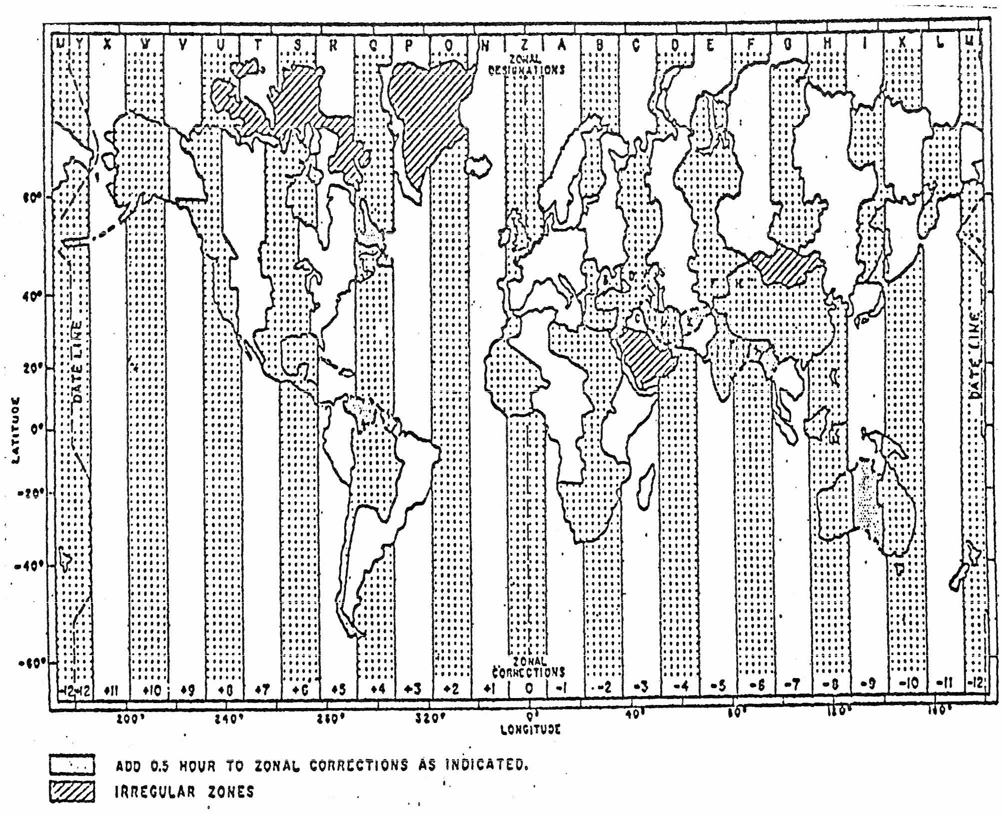
۳ – ۲ – ۱ زمان استاندارد

واضح است که چنانچه مبنای زمان سنجی بر این باشد که هر کسی زمان متوسط نصف النهار محل خود را اساس قرار دهد ، نا هماهنگی های بسیاری در سیستم زمان سنجی معمولی ایجاد خواهد شد.زیرا نصف النهار یک محل حتی با نصف النهار محلی که در همسایگی بینهایت کوچک آن نیز واقع باشد ، متفاوت و متمایز است.برای اجتناب از این نا هماهنگی سیستم زمان قاچی (Zone)گردیده است.بدین معنی که جهان به بیست و چهار قاچ تقسیم شده یعنی هر قاچ $15^{\circ}(\Delta\Lambda)$ می باشد.این تقسیم بندی بدین نحو است که نصف النهار گرینویچ نصف النهار استاندارد قاچ شماره ی صفر است و از هر دو طرف این نصف النهار یعنی هر طرف به فاصله ی 7.5 درجه زمان که به کار برده می شود ، زمان نصف النهار گرینویچ می باشد.از این قارچ به طرف شرق قاچ ها دارای شماره های -12 ....,-2,-1 و $+12$ ....,$+2$,$+1$ به طرف غرب هستند.قاچ شماره ی 12 به دو قسمت که هر یک 7.5 درجه ضخامت دارند ، تقسیم می شود که در طرفین خط تاریخ بین المللی $(180^{\circ}E)$ قرار دارند.تمام مطالب فوق در شکل ۹ – ۳ نشان داده شده اند.

با فرمول زیر رابطه ی بین زمان یک قاچ (ZT) و زمان جهانی (UT) مشخص می شود.

$$UT = ZT + \Delta Z \qquad (۳ - ۱۳)$$

که در آن ΔZ تصحیح مربوط به هر قاچ است.در تعیین ΔZ بایستی دقت نمود.زیرا در بعضی مناطق و ممالک در اوقات مختلف سال زمان رات یک ساعت نسبت به ZT جلو می برند.باید توجه داشت که به استثنایس سه کشور ایران – هند و ونزئولا ، اختلاف زمان کشورهایی که در قاچ های مجاور هم واقعند ، یک ساعت است.سه کشور مزبور با کشورهای دیگر اختلاف ساعتی یا نیم ساعتی و یا یک و نیک ساعت و ... دارند.



STANDARD (ZONE) TIME [Mueller, 1969].

FIGURE 3-8

Note: Since the preparation of this map, the standard time zones in Canada have been changed so that all parts of the Yukon Territory now observe Pacific Standard Time (Zone designation U or +8). See Appendix II.

۳ – ۳ روابط بین مبدا ها و فواصل زمانی نجومی و خورشیدی

موضوع را با رابطه ی بین مبدا های زمانی آغاز می کنیم.از معادله ی (۶ – ۳) داشتیم :

$$MT = 12^h + h_m$$

که در آن h_m زاویه ی ساعتی خورشید متوسط است که با استفاده از شکل ۱۰ – ۳ می توان آن را به صورت زیر بیان نمود :

$$h_m = LMST - \alpha_m \qquad (۳ – ۱۴)$$

بنابراین رابطه ی زیر برقرار می باشد :

$$MT = LMST - (\alpha_m - 12^h) \qquad (۳-۱۵)$$

و یا

$$LMST = MT + (\alpha_m 12^h) \qquad (۳-۱۶)$$

معـادلات (۱۵ – ۳) و (۱۶ – ۳) تبـدیل بـین MT و LMST و بـالعکس را نـشان مـی دهند.اگر مقادیر LMST و hm و MT را با GMST و h_m^G و GMT بیان کنیم خواهیم داشت :

$$UT = GMST - (\alpha_m - 12^h) \qquad (۳-۱۷)$$

و

$$GMST = UT + (\alpha_m - 12^h) \qquad (۳-۱۸)$$

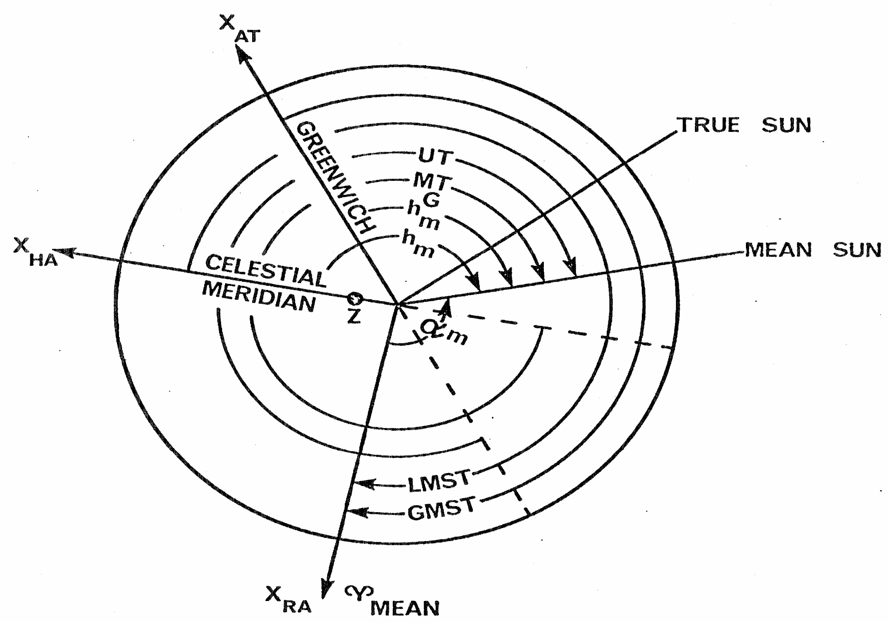


Figure 3-9

Relationships Between Sidereal and Universal Time Epochs

در محاسبات معمولی مقادیر فوق با استفاده از جداول نجومی تعیین مـی گردنـد.مـثلا مقـادیر $(\alpha_m - 12^h)$ در جدول American Ephemens and Nautical Almananc که به اختصار AENA نامیده می شود ، موجود است و یا کمیـت $(\alpha_m - 12^h + E.q.E)$ را مـی تـوان از جـدول Star Almanac for Land Surveyors (SALS) بـه دسـت آورد.بنـابراین بـرای سـهولت بایستی همیشه MT به UT و LMST به GMST تبدیل می شوند.باید یاد آور شد کـه روابـط (۱۸ – ۳) و (۱۹ – ۳) و (۱۶ – ۳) و (۱۵ – ۳) ارتباط بین زمان های متوسط خورشـیدی و متوسط نجومی را بیان می کنند.برای مرتبط ساختن زمـان حقیقـی خورشـیدی بـا زمـان ظـاهری نجومی مراحل زیر باید انجام گیرد :

۱. زمان متوسط خورشیدی حساب گردد (UT = GTT – EQT یا MT = TT – EQT)

۲. زمکان متوسط نجومی حساب شود (معادله ی (۱۶ – ۳) یا (۱۸ – ۳))

۳. زمان ظاهری نجومی محاسبه شود. (GAST = EQT + GMST یا LAST = EQE + LMST)

در زیر دو مثال برای درک بهتر مطالب فوق ذکر می شود که مقادیر جدولی مورد نیاز برای محاسبات مربوط به این دومثال و از شکل های ۱۳ – ۳ و ۱۲ – ۳ و ۱۱ – ۳ می توان به دست آورد.

مثال ۱ (جدول SALS)

مقادیر $MT = 18^h 21^m 41.00^s$

در 14 فوریه 1978

با $\Lambda = 66^\circ 38' 28'' W$

داده شده اند.LAST را حساب کنید.

MT	$18^h\ 21^m\ 41.00^s$
$\Lambda(-66^\circ\ 38'28'')$	$(-)4^h\ 26^m\ 33.87^s$
$UT = (MT - \Lambda)$	$22^h\ 48^m\ 14.87^s$
$R(\alpha_m 12^h + E\,q.E.)$ در $18^h\ UT\ 9^h\ 37^m\ 35.9^s$	
ΔR برای $4^h\ 48^m\ 14.87^s$	47.4^s
$(\alpha_m - 12^h + E\,q.E.)$	$9^h\ 38^m\ 23.3^s$
$GAST = (UT + (\alpha_m - 12^h) + E\,q.E.)$	$32^h\ 26^m\ 38.17^s$
	-24
$GAST$	$8^h\ 26^m\ 38.17^s$
$\Lambda(-66^\circ\ 38'28'')$	$(-)4^h\ 26^m\ 33.87^s$
$LAST\,(GAST + \Lambda)$	$4^h\ 00^m\ 04.30^s$

مثال : جدول (AENA)

داده های مسئله :

$$MT = 18^h 21^m 41.00^s$$

در 14 فوریه 1978

$$\Lambda = 66^\circ 38' 28'' W$$

LAST را تعیین کنید.

MT	$18^h\ 21^m\ 41.00^s$
$\Lambda(-66^\circ\ 38'28'')$	$(-)4^h\ 26^m\ 33.87^s$

$UT = (MT - \Lambda)$		$22^h\ 48^m\ 14.87^s$
$(\alpha_m - 12^h)(GHA\gamma)$ در $0^h\ U.T.$	$9^h\ 34^m\ 38.27^s$	
$22^h\ 48^m$ فاصله ی نجومی برای	$03^m\ 44.73^s$	
14.87^s فاصله ی نجومی برای	0.04^s	
		$9^h\ 38^m\ 23.04^s$
		$32^h\ 26^m\ 37.91^s$
		-24^h
$GMST$		$8^h\ 26^m\ 37.91^s$
$Eq.E.$ (0^h UT 1978 در چهاردهم فوریه)		0.23^s
$GAST = (GMST + Eq.E.)$		$8^h\ 26^m\ 38.14^s$
$\Lambda(-66^\circ\ 38'28'')$		$(-)4^h\ 26^m\ 33.87^s$
$LAST = (GAST + \Lambda)$		$4^h\ 00^m\ 04.27^s$

اکنون به رابطه ی بین فواصل زمانی خورشیدی و نجومی می پردازیم.امتداد خورشید در فضا نسبت به مرکز زمین به علت حرکت انتقالی زمین تغییر می کند و در نتیجه روز متوسط خورشیدی از روز متوسط نجومی حدود چهار دقیقه طولانی است.

روابط بین این دو نوع زمان به ترتیب زیر است :

$1^d{}_{(s)} = 23^h\ 56^m\ 04.09054^s\ (M) \qquad 1^d\ (M) = 24^h\ 03^m\ 56.55536(s)$

$1^h{}_{(s)} = 00^h\ 59^m\ 50.17044(M) \qquad 1^h\ (M) = 1^h\ 00^m\ 09.85647(s)$

$1^m{}_{(s)} = 00^h\ 00^m\ 59.83617(M) \qquad 1^m\ (M) = 00^h\ 01^m\ 00.16427(s)$

$1^s{}_{(s)} = 00^h\ 00^m\ 0.99727^s\ (M) \qquad 1^s\ (M) = 00^h\ 00^m\ 1.00273(s)$

که در این فرمول S و M به ترتیب به عنوان علامت اختصاری زمان های متوسط خورشیدی و متوسط نجومی به کار رفته.این اعداد و ارقام با توجه به اینکه یک سال ترپیکال (خورشیدی) شامل 366.2422 روز متوسط نجومی و شامل 365.2422 روز متوسط خورشیدی است ، به دست آمده.با توجه به این مطلب نسبت های زیر را می توان محاسبه نمود :

یک فاصله ی زمانی متوسط خورشیدی = (365.2422/366.2422) = 0.9972695664 X فاصله ی زمانی متوسط نجومی

یک فاصله ی زمانی متوسط نجومی = (366.2422/365.2422) = 1.002737909 X فاصله ی زمانی متوسط خورشیدی

مثال ۳ (جدول AENA)

داده های مسئله :

$$LAST = 4^h 00^m 04.30^s$$

در 14 فوریه 1978

$$\Lambda = 66^\circ 38'28'' W$$

ZT را حساب کنید.

$4^h\ 00^m\ 04.30^s$	$LAST$
$(-)\ 4^h\ 26^m\ 33.87^s$	Λ
$8^h\ 26^m\ 38.17^s$	$GAST = (LAST - \Lambda)$
0.23^s	$Eq.E.$ (در 0^h UT از 14 فوریه 1978)
$8^h\ 26^m\ 37.94^s$	$GMST = (GAST - Eq.E)$
$9^h\ 34^m\ 38.27^s$	$GMST$ (در 0^h UT از 14 فوریه 1978)
$22^h\ 51^m\ 59.67^s$	فاصله ی زمانی متوسط نجومی ($GMST_{0^h UT} - GMST$)
$00^h - 3^m\ 44.77^s$	اختلاف فاصله ی زمانی نجومی و خورشیدی (از جدول)
$22^h\ 48^m\ 14.90^s$	$U.T.$
$22^h\ 48^m\ 14.90^s$	$(22^h\ 51^m\ 59.67^s \times 0.9972695664)$
4^h	$\Delta Z \left(66^\circ\ W / 15^\circ = 4^h\right)$
$18^h\ 48^m\ 14.90^s$	$ZT\,(U.T. - \Delta Z)$

۳ – ۴ نا منظمی های موجود در سیستم های زمانی دورانی

سیستم های زمانی نجومی و جهانی بر اساس دوران زمین تعریف گردیده اند.بنابراین مشمول نا منظمی هایی به این شرح می شوند :

۱. تغییرات در نرخ (rate) دوران زمین (ω_e)

۲. تغییرات در محور دوران زمین (حرکت قطب)

این اختلافات بر حسب زمان جهانی (UT) به شرح زیر بیان می شوند :

UTO : عبارت است از UT که از مشاهدات به دست می آید.شامل هر دو نوع تغییر ω_e و تغییر قطبی است.بنابراین سیستم زمانی تغییر منظم می باشد.

UT1 : چنانچه تصحیح حرکت قطبی UTO اعمال شود ، نتیجه ی آن را به UT1 نشان می دهند که بین حرکت زاویه ی حقیقی زمین است و سیستمی است که در نجوم ژئودزی به کار می رود (البته باید توجه داشت که این سیستم به علت تغییرات در ω_e سیستمی منظم نیست).

UT2 : اگر تصحیح تغییرات فصلی در ω_e به UT1 اعمال شود ، زمان به دست آمده UT2 نامیده می شود.این سیستم به علت اینکه ω_e در حال نقصان است ، غیر یکنواخت می باشد.

UTC : که علامت اختصاری universal time coordinated می باشد.زمانی است که با علائم مخصوصی به وسیله ی فرستنده های رادیویی پخش می شود.UTC رابطه ی تعریف شده ای با زمان اتمی بین المللی (inter national atomic time) یا به اختصار (IAT) و یا UT_1 و UT_2 دارد.

T) و یا UT1 و UT2 دارد.

اطلاعات بیشتر در باره ی UT2 ، UT1 و UTC مخصوصا برای هدف های نجومی در فـصل چهارم داده شده است.

فصل ۴

پخش ، دریافت و ثبت زمان

۱ – ۴ پخش زمان

به طوریکه قبلا بارها اشاره گردید ، سیستم های مختصات سماوی با تغییر زمان مشمول تغییراتی خواهند شد.مختصات ستارگان که از جداول نجومی برای تعیین موقعیت و آزیموت نقاط زمین استخراج می شوند ، در مبدا های زمانی خاصی محاسبه شده اند.بنابراین برای استفاده از این مختصات می باید تغییراتی را که در طول زمانی بین زمان داده شده در جدول و زمان مشاهدات در سیستم مختصات سماوی ایجاد شده در نظر گرفته شود.با توجه به این مطلب واضح است که برای حفظ همگنی بسیار مناسب است که در تمام جهان برای عملیات نجومی از یک مقیاس زمانی واحد استفاده شود.

امروز علائم زمانی به وسیله ی بیش از سی ایستگاه رادیویی در سرتاسر جهان با فرکانس های زیاد (50 MHZ تا 1 و HF) و فرکانس هایی که (100 KHZ تا 10 LF) پخش می شوند.به کار بردن HF سهل تر و استفاده از LF متضمن دقت بیشتری است.زیرا علائم رادیویی HF را می توان با استفاده از رادیوهای معمولی نیز دریافت کرد و با استفاده از امواج LF می توان خطای مربوط به تاخیر زمانی پخش امواج را با سهولت بیشتری محاسبه نمود.

علائم زمان رادیویی را UTC (universal time coordinated) می نامند.UTC سیستمی است ثانیه ای بر اساس زمان اتمی (Atomic Time) یعنی $I^{s}UTC$ با دقت زمان اتمی (1 تا 2 قسمت در 10^{12}) برابر است با $1^{s}AT$ و این مقداری است ثابت.بر طبق تعریف در 0^{h}، اول ژانویه ی 1972 ، UTC برابر بوده با IAT منهای ده دقیقه ی تمام.کمیت (IAT – UTC) به DAT نشان داده می شود و با توجه به تعریف " leap second " یا ثانیه ی جهشی که بعدا ارائه خواهد شد ، این کمیت همواره عددی است ثابت.

در نجوم زمانی که مورد بحث و توجه است UT1 می باشد.مقدار (UT1 – UTC) به DUT1 نشان داده شده و هرگز از 0.9^{s} تجاوز نمی کند.مقدار DUT1 به وسیله ی موسسه ی BIH (Bureau International de He Ute) در پاریس به طور تخمینی محاسبه و منتشر می گردد و مقدار واقعی آن یک ماه بعد منتشر می شود.همچنین DUT1 را می توان با استفاده از علائم خاص رادیویی که به وسیله ی فرستنده های زمان پخش می شود، تعیین نمود.در شکل۱–۴ که پخش DUT1 را که به وسیله ی یکی از فرستنده های آمریکای شمالی ارسال می شود ، می توان دید.

نظر به اینکه سرعت زاویه ی زمین به طور آهسته در حال کاهش است ، UT1 هم باید با همین آهنگ رو به کاهش باشد ، بنابراین با توجه به ثابت بودن UTC مقدار DUT1 نیز به طور پیوسته در حال نقصان می باشد.برای حفظ این کمیت در حد 0.9^{s} ، در زمان های معینی از مقدار

UTC یک ثانیه ی کامل کسر می شود.مفهوم این ثانیــه ی جهــشی را از شــکل ۲ – ۴ مــی تــوان دریافت.همچنین مواردی نیز برای ثانیه ی جهشی منفی در نظر گرفته شده که در موقع لزوم اعمال می شود.

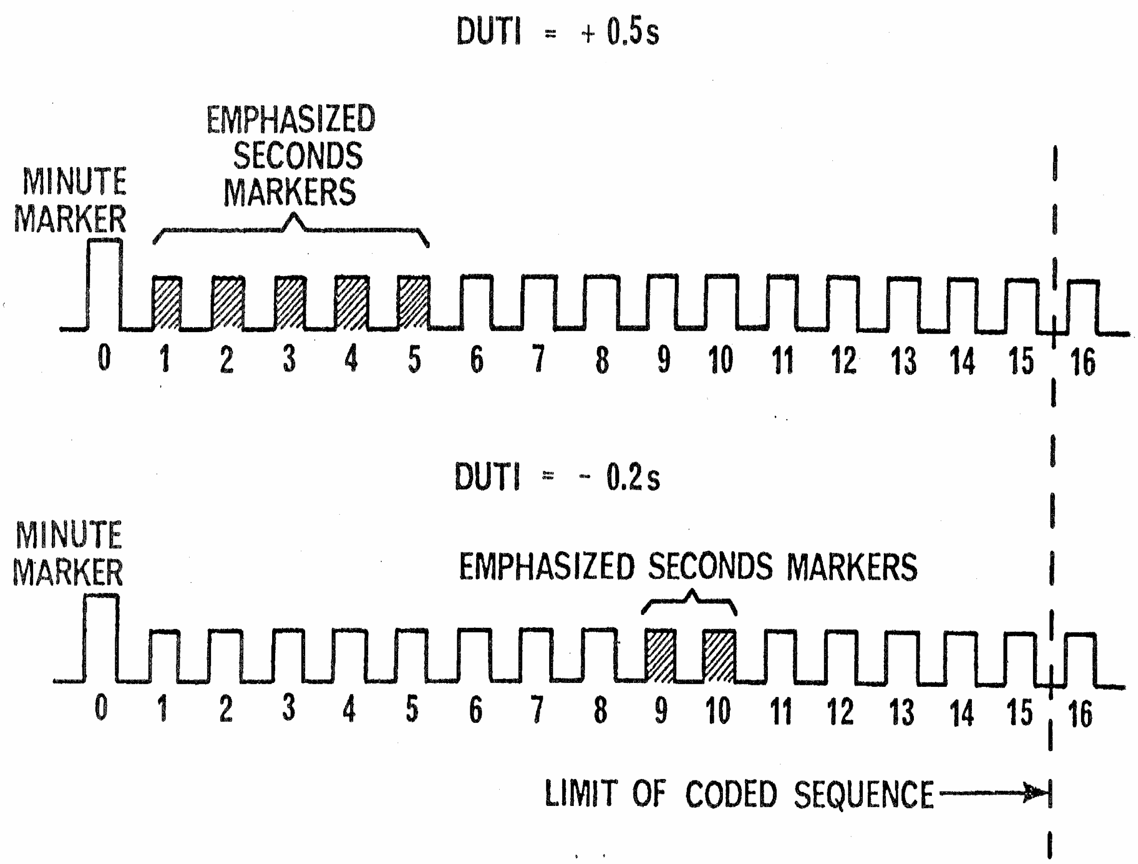
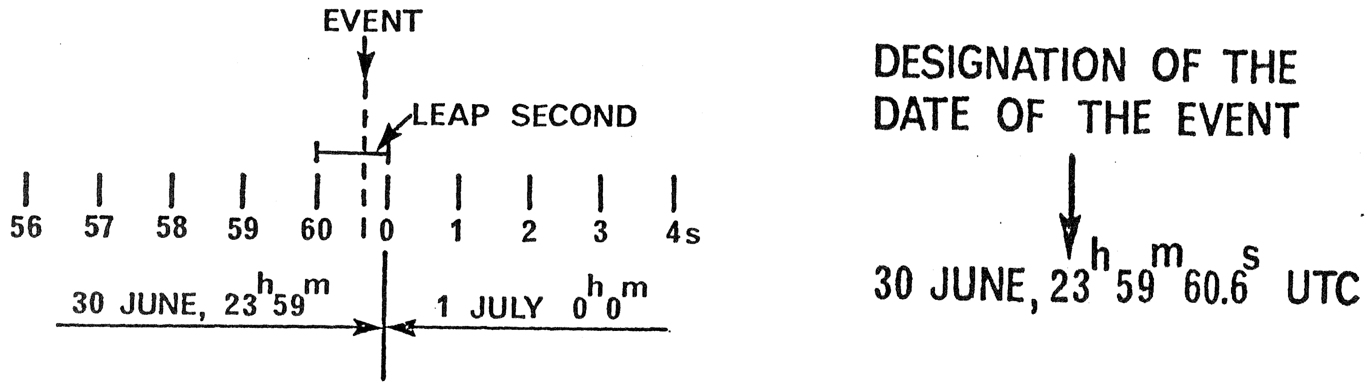


Figure 4-1

Code for the Transmission of DUT1

POSITIVE LEAP SECOND



NEGATIVE LEAP SECOND

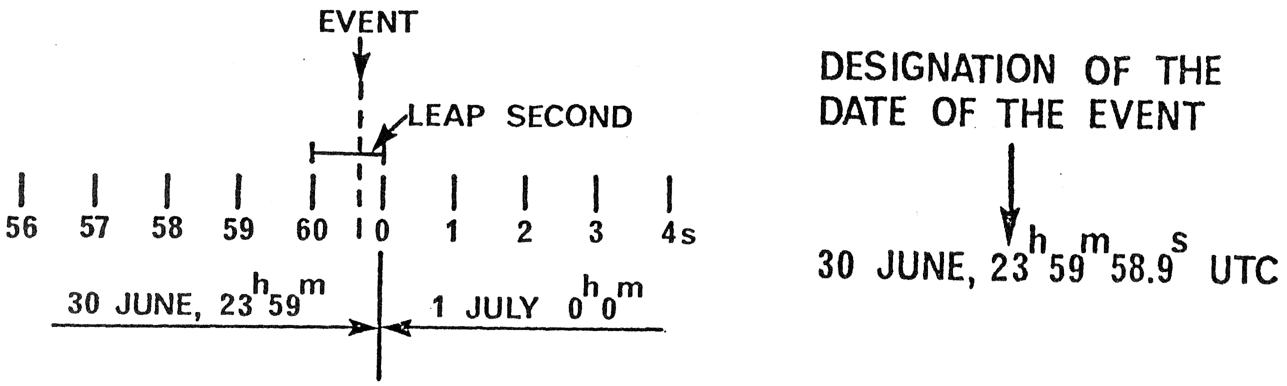


Figure 4-2

Dating of Events in the Vicinity of A Leap Second

تمـام رصـدخانه هـای بـزرگ جهـان UTC را بـا خطـایی کمتـر از 0.001^s و اغلـب کمتـر از 0.0003^s پخش می کنند.زمان تـاخیر پخـش امـواج HF بـه حـدود $0.5ms$ مـی رسـد و چـون مشاهدات ژئودتیک ندرتا دارای دقتی بیشتر از 0.01^s یا $10ms$ است.بنابراین خطای تـاخیر پخـش تاثیر کمی در نتیجه عمل دارد.علائم مختلف ارسالی عبارتند از :

۱. علائم کوتاه که هر ثانیه فرستاده می شوند.شروع علامت مبین شروع ثانیه است.
۲. هر دقیقه با علامت خاصی که با نوعی تاکید همراه است ، مشخص می شود.
۳. در فواصل معینی ایستگاه فرستنده امواج با ارسال علائمی خود را معرفی می کنند و زمان و تاریخ را اعلام می نماید.این معرفی و اعلام به وسیله ی بررسی کد یـا صـدا و یـا هـر دو انجام می گیرد.
۴. DUT1 در اولین پانزده ثانیه هر دقیقه با تاکید خاصی بر تعدادی از ثانیه ها که مـساوی این تصحیح است ، مشخص می شود.

مقادیر مثبت DUT1 با تاکید بر تعدادی از علائم ثانیه های متوالی که بعـد از علامـت دقیقـه فرستاده می شوند و آن را به (n) نشان می دهیم ، مشخص می شوند.این علائم از اولین ثانیـه ی بعد از دقیقه شروع و تا (n) که عددی است صحیح بین 1 تا 7 ادامه می یابند.در این حالت چنین خواهیم داشت :

$$DUT1 = (n \times 0.1)s$$

مقادیر منفی DUT1 نیز به همین طریق تعیین می گردند با این تفـاوت کـه علائـم مـشخص کننده از ثانیه ی نهم بعد از علامت دقیقه با تاکید بر علائم رادیـویی فرسـتاده مـی شـوند.چنانچـه تعداد این علائم را به (m) نشان دهیم خواهیم داشت :

$$DUT1 = -(m \times 0.1)s$$

اگر تصحیح DUT1 وجود نداشته باشد ، هیچگونه علامتی غیر عادی (علامتی که بر ان تاکید خاصی شده باشد) دریافت نخواهد شد و مقدار DUT1 در چنین حالتی صفر است.

تاکید بر علائم معمولی که نشان دهنـده ی DUT1 اسـت ، معمـولا بـا طـولانی شـدن زمـان فرستادن علامت ، دو ضربه کردن آن و یا نصف کردن آن به وسیله ی فرسـتنده ی رادیـویی انجـام می گیرد.

مثال : $DUT1 = +0.5\,s$

فصل ۵

تغییرات در مختصات سماوی

در مدل های ریاضی مربوط به تعیین طول و عرض و آزیموت نجومی لازم است که مختصات ظاهری (حقیقی) ستارگان به کار رود ولی مختصاتی که معمولا از جداول نجومی استخراج می شوند (δ و α) مختصات ستارگان در لحظه ی مشاهده نیستند.بنابراین این مختصات می باید با اعمل تصحیحاتی تبدیل به مختصات در لحظه ی مشاهده شوند.همانطور که قبلا در فصل پنجم ذکر شد ، این عمل را می توان به سهولت انجام داد.مسئله ی مهم این است که چگونه مختصات از جداول سالیانه استخراج می شوند و چگونه استفاده کننده از این جداول می باید مراحل مختلف و متوالی را در این مورد عمل نماید..هدف این فصل از کتاب پاسخ گویی به این سوالات است.

با توجه به بحث های قبلی در این کتاب روشن است که مختصات در سیستم بعدی (RA) نسبت به زمان ثابت هستند.در موارد سیستم های مختصات افقی و زاویه ساعتی اگر می بینیم که مختصات نسبت به زمان متغیراند ، تنها به علت دوران زمین است.البته نباید تصور کرد که سیستم بعدی سیستمی لا یتغیر است و مشمول هیچگونه تغییر یا حرکتی نمی باشد.زیرا همان گونه که خواهیم دید این سیستم نیز ثابت نیست و حد اقل چهار نوع حرکت مشروحه در زیر بر روی آن اثر می گذارند.این حرکات و نوسانات نه فقط شامل این سیستم مختصات بوده بلکه بر روی سایر سیستم ها نیز تاثیر دارند.ولی به سبب آنکه سیستم مختصات بعدی واسطه ای بین سیستم های زمینی ، سماوی و ماهواره ای است و همچنین مختصات ستارگان در جداول نجومی نسبت به این سیستم مختصات داده شده اند.در این فصل تاثیر این حرکات بر روی این سیستم مورد مطالعه قرار خواهد گرفت.این حرکات عبارتند از :

۱. nutation و precession (حرکات سیستم مختصات نسبت به ستارگان).
۲.حرکت مخصوص (proper motion) (حرکت ستارگان نسبت به یکدیگر).
۳.انکسار (aberration) پارالاکس (جابه جایی ظاهری ستارگان به سبب پدیده های فیزیکی).
۴.حرکت قطبی (حرکت سیستم مختصات نسبت به زمین صلب).

عوامل فوق الذکر به استثنای حرکت قطبی ، بر حسب تاثیرشان بر روی δ و α مورد بحث قرار خواهند گرفت و بدین ترتیب تغییرات سیستم مختصات بعدی تا حدی معلوم خواهند شد.تعاریف مربوط به تغییرات در زیر داده شده اند و از شکل ۱ – ۵ نیز می توان روابط بین آنها را یافت.

۱.محل متوسط (Mean place) (موقعیت یک ستاره نسبت به سیستمی که مرکز آن در مرکز خورشید (خورشید مرکزی) (heliocentric) بوده و مرجع های آن استوا و نقطه ی γ متوسط باشند).

۲.محل حقیقی (True place) (موقعیت یک ستاره نسبت به سیستمی خورشید مرکزی با مرجع های استوا و نقطه ی γ حقیقی می باشد).

۳.محل ظاهری (Apparent place) (موقعیت یک ستاره نسبت به سیستمی که مبـدا آن مرکز زمین (Geocentric) با مرجع های استوا و نقطه ی γ حقیقی می باشد).

۴.محل مشاهده شده (observed place) (موقعیت یک ستاره نسبت به سیستمی که مبدا آن نقطه ی واقع بر سطح زمین (Topocentric) و صفحه ی اولیــه ی ان افـق محــل و قطب اولیه ی آن قائم فیزیکی آن محل است.این مختصات به وسیله ی قرائت مستقیم بـه وسیله ی دستگاهی که خطاهای سیستماتیک آن برطرف شده باشد ، به دست می آیند).

در بخش های بعدی این تعاریف به طور مفصل مورد بحث قرار می گیرند.

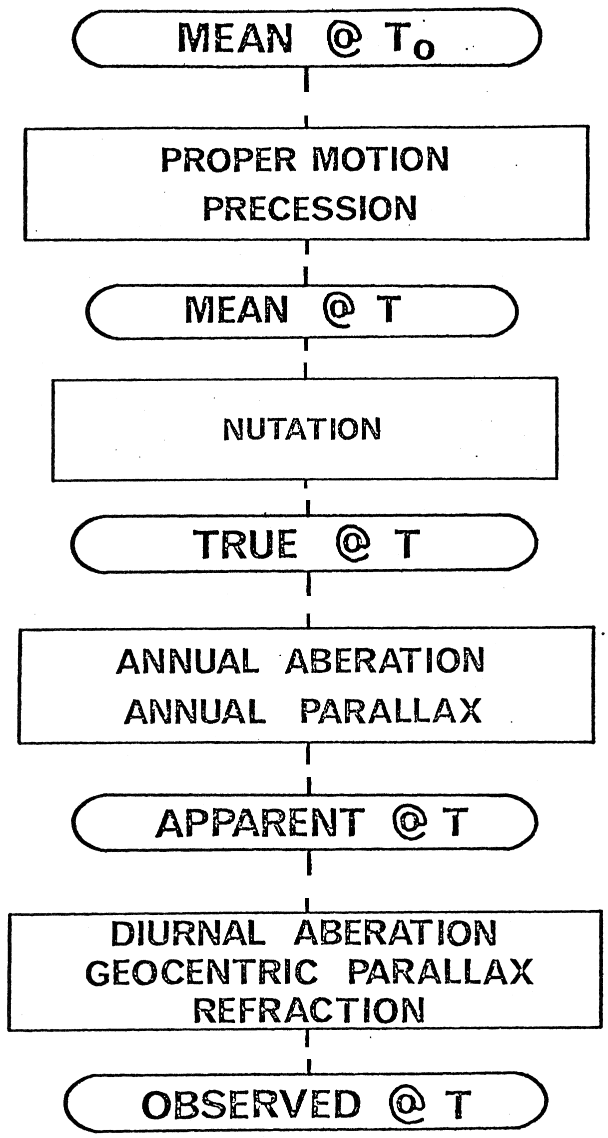


Figure 6-1

Variations of the Right Ascension System

۱ – ۵ حرکت مخصوص ، precession , nutation

تاثیر نیروهای جاذبه ی خورشید ، ماه و سایر ستارگان بر روی زمین که شکلی است از نظر هندسی نا متقارن و از نظر فیزیکی نا متجانس سبب ایجاد ممانی (moment) می شود.وجود این ممان باعث می شود که صفحه ی استوا در صفحه ی اکلیپتیک میل به دوران داشته باشد.این دوران یا جنبش را می توان تعبیر به دوران محور دورانی زمین حول قطب اکلیپتیک نمود.این حرکت پرسشن نامیده می شود.پرسشن حاصل از ممان ایجاد شده از نیروی ماه و خورشید را پرسشن luni – solar می نامند و این عامل موجب حرکت نقطه ی γ بر روی استوا به میزان حدود ″50.3 در سال در جهت غرب می شود.زمان متناوب این حرکت یعنی زمانی که لازم است طی شود تا نقطه ی γ یک دور کامل استوا را بپیماید 26000 سال و دامنه ی این حرکت (میل اکلیپتیک) تقریبا °23.5 است.علاوه بر پرسشن luni – solar عامل پرسشن سایر ستارگان یا planetery precession را نیز می باید در نظر داشت و به آن اضافه نمود که خود باعث حرکت نقطه ی γ بر روی استوا به اندازه ی ″12.5 در یک قرن و در جهت غرب می شود.علاوه بر این ممان مزبور سبب تغییر در میل اکلیپتیک نیز به میزان ″47 در قرن است.پرسشن کلی عبارت است از جمع luni – precession و planetary precession .

در پریود طولانی پرسشن پریود کوتاه تری وجود دارد که آن را نوتاسیون نجومی(astronomic nutation) می نامند.این حرکت نتیجه ی حرکت زمین به دور خورشید ، حرکت ماه به دور زمین و قرار نداشتن مسیر ماه در صفحه ی اکلیپتیک است.دوره ی تناوب این حرکت نوزده سال با دامنه ی ″9 می باشد.پرسشن کلی به اضافه ی نوتاسیون نجومی در شکل۲-۶ نشان داده شده است.

هر ستاره ای دارای حرکت کوچک خاص خود نیز می باشد که آن را حرکت خاص (Proper motion) می نامند.این حرکت یا تغییر امتداد نتیجه ی حرکت حقیقی خود ستاره در فضا و حرکت ظاهری آن بوده که حرکت اخیر به علت تغییر امتدادی است که دلیل آن حرکت خورشید با ستارگان منظومه ی شمسی می باشد.

به طوری که در فصل پنجم اشاره شد مختصات سماوی (δ_0 و α_0) ستارگان در جداول نجومی نسبت به مبدا های خاصی از زمان (T_0) و نسبت به سیستم مختصات بعدی متوسط داده شده اند.سیستم مختصات بعدی متوسط دارای مشخصات زیر است :

- از نظر مبدا هلیوسنتریک است.
- در موقعیت قطب اولیه ی آن (z) تاثیر پرسشن در نظر گرفته می شود ولی از اثر نوتیشن اغماض می شود.این قطب را قطب متوسط سماوی می نامند.
- در موقعیت محور (محور x ها) نیز مانند قطب اولیه پرسشن موثر و نوتیشن بی تاثیر است.یعنی همیشه از نقطه ی اعتدال بهاری متوسط (γ متوسط) عبور می نماید.
- محور y طوری در نظر گرفته می شود که سیستم مختصات دست راستی باشد.

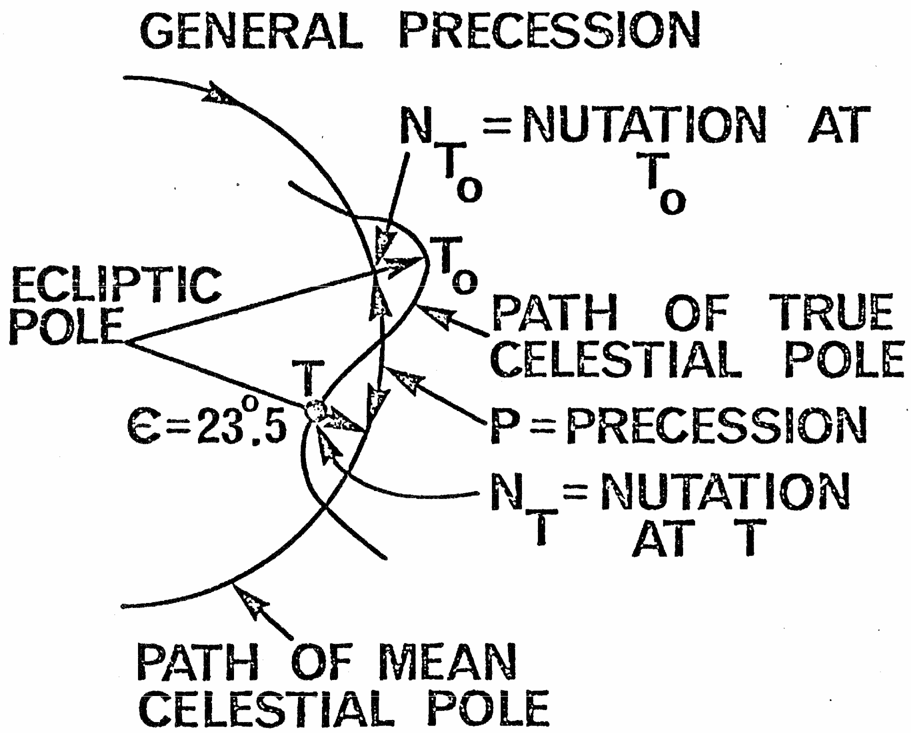


Figure 6-2

Motion of the Celestial Pole

با توجه به این مسئله ی مهم که در هر لحظه به سبب تغییر پرسشن یـک سیـستم مختـصات سماوی متوسط مربوط به آن لحظه ی خاص تعریف می شود.اگر بخـواهیم در لحظـه ی T از یـک جدول نجومی که مختصات داده شده در آن مربوط به مبدا زمانی T_0 است استفاده می کنـیم.مـی باید این سیستم مختصات را از زمان T_0 به زمان T انتقال دهیم.رابطه ی بین سیستم های سماوی متوسط بر حسب پارامتر های (ζ_0, θ, Z) (شکل ۳ – ۵) که آن ها را اجـزای تـشکیل دهنـده ی

پرسشن یا precessional elements می نامند و همچنین اجـزای تـشکیل دهنـده ی حرکـت خاص یا proper motion elements (μ_0^a, μ_0^d) تعریف می شود.

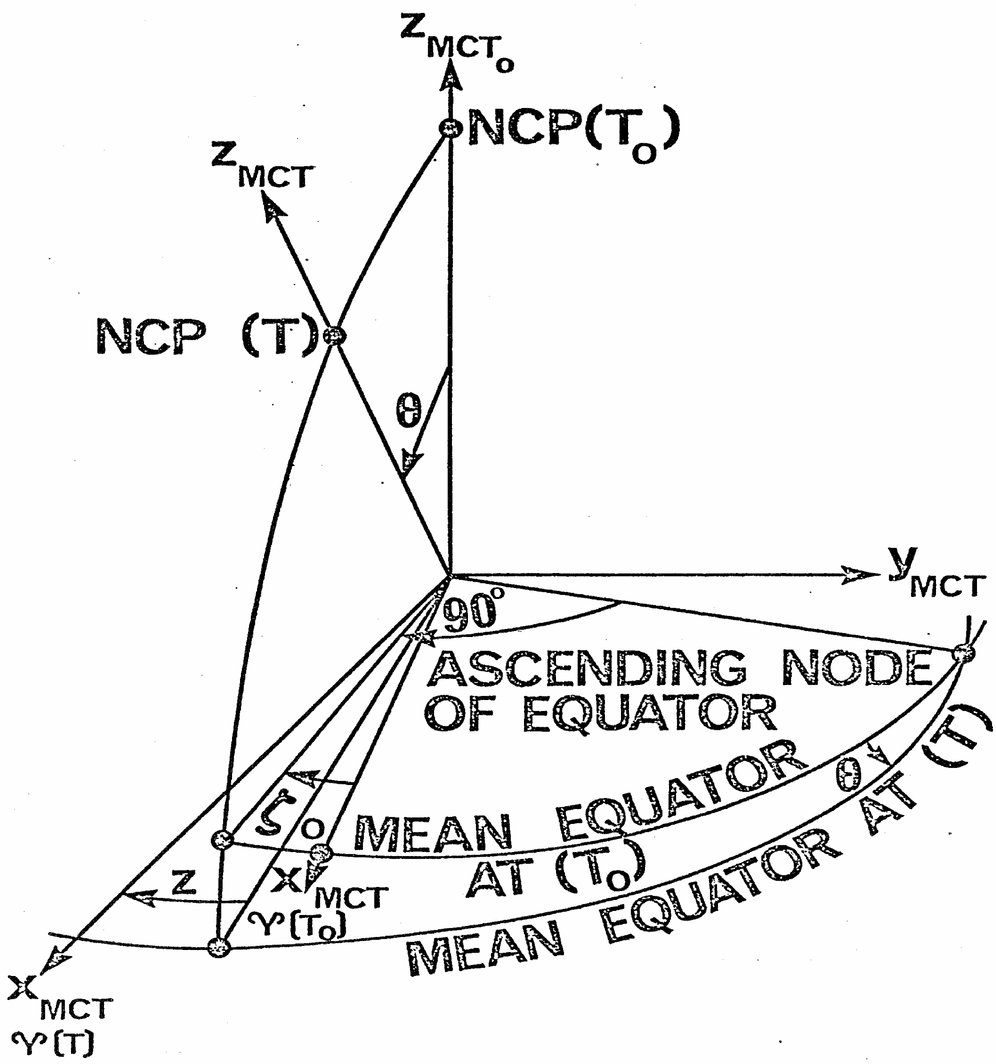


Figure 6-3

Mean Celestial Coordinate Systems

عبارات مربوط به precession elements حدود سال 1900 به وسیله ی سیمون نیوکامب به شرح زیر استخراج شد :

$$\zeta_0 = (2304.250'' + 1.396 t_0)t + 0.302 t^2 + 0.018 t^3 \qquad (۵ - ۱)$$

$$Z = \zeta_0 + 0.791 t^2 + 0.001'' t^3 \qquad (۵ - ۲)$$

$$\theta = (2004.682'' - 0.853 t_0)t - 0.426 t^2 - 0.042 t^3 \qquad (۵ - ۳)$$

که در این روابط مبدا اولیه $T_0 = 1900.0 + t_0$ ومبدا نهایی $T = 1900.0 + t_0 + t$.

و t و t۰ بر حسب قرون ترپیکال (خورشیدی) حساب می شوند.مقادیر (ζ_0, Z, θ) به طور سالیانه برای سال های 1900 تا 1980 در (AENA) چاپ شده است.رابطه ی زیر را با مراجعه به شکل (۳ – ۵) می توان به دست آورد.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_T} = R_3(-2) R_2(\theta) R_3(-\zeta_0) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \qquad (۵ - ۴)$$

و با قرار دادن

$$P = R_3(-2) R_2(\theta) R_3(-\zeta_0) \qquad (۵ - ۵)$$

خواهیم داشت :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_T} = P \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \qquad (۵ - ۶)$$

(MC مخفف Mean Coordinates (مختصات متوسط) است).

حرکت خاص یک ستاره نیز در سیستم مختصات بعدی متوسط به حساب می آید و تعیین اثر آن بر روی (δ_0 و α_0) بخشی از تبدیل محل متوسط از زمان T_0 به محل متوسط در لحظه ی T می باشد.این تبدیل که از اثبات آن در این کتاب صرف نظر می شود ، عبارت است از :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_T} = R_3(-\alpha_0) R_2(\delta_0 - 90) R_3(\psi_0) R_2\left(\mu t + \frac{1}{2}\frac{d\mu}{dt} t^2\right) R_3(-\psi_0) R_2(90 - \delta_0)$$

$$R_3(\alpha_0) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \qquad (۵ - ۷)$$

که در آن $t = T - T_0$(به سال) ، $\frac{d\mu}{dt}$ و μ به ترتیب مولفه ی مماسی سالیانه ی حرکت خاص و نرخ تغییرات آن و ψ_0 امتداد (آزیموت) حرکت خاص در لحظه ی T_0 می باشند.مقادیر فوق در جداول اساسی داده شده اند.مانند FK4 که مقادیر مولفه های سالیانه ی حرکت خاص را در بعد و میل تحت عنوان $\mu_0^{\alpha}, \mu_0^{\delta}$ و همچنین نرخ تغییرات آن ها را برای یکصد سال تحت عنوان

$\frac{d\mu^{\alpha}}{dt}, \frac{d\mu^{\delta}}{dt}$ به دست می دهد.مقادیر سالانه ی ψ_0 و $\frac{d\mu}{dt}$ و μ را نیز می توان با استفاده از عبارات زیر تعیین نمود.

$$\mu = \left(\left(\mu_0^{\alpha} \cos\delta_0\right)^2 + \left(\mu_0^{\delta}\right)^2\right)^{1/2}$$

$$d\mu/dt = \frac{\mu_0^{\alpha} \, coc^2\delta_0 \frac{d\mu_0^{\alpha}}{dt} + \mu_0^{\delta} \frac{d\mu_0^{\delta}}{dt}}{100\left(\left(\mu_0^{\alpha} \cos\delta_0\right)^2 + \left(\mu_0^{\delta}\right)^2\right)^{1/2}}$$

$$\psi_0 = \sin^{-1}\left(\frac{\mu_0^{\alpha} \cos\delta_0}{\mu}\right) = \cos^{-1}\frac{\mu_0^{\delta}}{\mu}$$

با قرار دادن

$$M = R_3(-\alpha_0) R_2(\delta_0 - 90) R_3(\psi_0) R_2\left(\mu t + \frac{1}{2}\frac{d\mu}{dt}t^2\right) R_3(-\psi_3) R_2(90 - \delta_0) R_3(\alpha_0) \qquad (۵ - ۸)$$

رابطه ی (۷ – ۵) را می توان اختصارا به صورت زیر نوشت :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_T} = P \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \qquad (۵ - ۹)$$

اکنون با ترکیب (۶ – ۵) و (۹ – ۵) فرمول کامل و کلی تبدیل یک سیستم متوسط در T۰ را به سیستم متوسط در T می توان به دست آورد.یعنی :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_T} = PM \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \qquad (۵ - ۱۰)$$

همان گونه که در شکل (۱ – ۵) ملاحظه می شود ، برای رسیدن از سیستم سماوی متوسط در زمان T به سیستم سماوی حقیقی در حین زمان می باید مقدار نوتاسیون نجومی به سیستم متوسط اعمال شود.این کمیت به دو صورت نوتاسیون در طول جغرافیایی نجومی ($\Delta\Psi$) و نوتاسیون در میل اکلیپتیک ($\Delta\varepsilon$) در جداول نجومی مانند (AENA) داده شده است.به طور کلی یک سیستم سماوی حقیقی در لحظه ی T به صورت زیر تعریف می شود :

- مبدا آن در مرکز خورشید (هلیو سنتر) واقع است.
- قطب اولیه ی آن (z) که قطب حقیقی سماوی است.صوری که دارای هر دوئ حرکت پرسشن و نوتیشن می باشد پیروی می کند.
- محور اولیه ی آن (X) از نقطه ی γ حقیقی عبور می کند. (نقطه ی γ ی حقیقی نقطه ی اعتدال بهاری است که هر دو حرکت پرسشن و نوتیشن بر روی آن تاثیر دارند) .
- محور y آن طوری دئر نظر گرفته منی شود که سیستم مختصات دست راستی باشد.

سیستم های سماوی متوسط و حقیقی در شکل (۴ – ۵) نشان داده شده اند و از روی این شکل رابطه ی زیر را می توان نتیجه گرفت :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TC_T} = R_1(-\varepsilon - \Delta\varepsilon) R_3(-\Delta\psi) R_1(\varepsilon) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_T} \qquad (۵ – ۱۱)$$

(TC نشانگر true coordinate (مختصات حقیقی) است).

با قرار دادن :

$$N = R_1(-\varepsilon - \Delta\varepsilon) R_3(-\Delta\psi) R_1(\varepsilon) \qquad (۵ – ۱۲)$$

(۱۱ – ۵) به صورت :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TC_T} = N \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \qquad (۵ – ۱۳)$$

نوشته می شود.با ترکیب معادلات (۱۳ – ۵) و (۹ – ۵) و (۶ – ۵) رابطه ی تبدیلی یک سیستم سماوی متوسط در لحظه ی T۰ یک سیستم حقیقی در لحظه ی T را به صورت

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TC_T} = NPM \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \qquad (۵ – ۱۴)$$

خواهیم داشت.

۲ – ۵ alerration و پارالاکس سالانه

سیستم مختصاتی که به وسیله ی آن مختصات نجومی (Δ و Φ) بیان می شوند ، سیستم سماوی محل ظاهری (apparent place celestial system) است و د راین سیستم است که مدل های ریاضی یعنی فرمول هایی که مشاهدات و معلومات و مجهولات نجومی را بیان می کنند ، تشکیل می شوند.بنابراین لازم است که مختصات یک ستاره (α_0 , δ_0) تبدیل به مختصات در این سیستم شوند.مشخصات سیستم سماوی محل ظاهری به این شرح است :

- مبدا آن منطبق بر مرکز ثقل زمین می باشد.
- قطب اولیه ی سیستم (x) منطبق بر محور دورانی لحظه ای زمین است.
- محور اولیه ی آن (x) بر نقطه ی γ لحظه ای عبور می کند.
- محور y آن طوری در نظر گرفته می شود که سیستم مختصات دست راستی باشد.

بدین ترتیب واضح است که تغییر اصلی تغییری است که از انتقال مبدا از مرکز خورشید به مرکز ثقل زمین ایجاد می شود.در این انتقال دو عامل فیزیکی تاثیر خواهند داشت :

۱. پارالاکس سالانه به علت انتقال مبدا

۲. aberration سالانه که منشا آن چرخش مبدا جدید به دور مرکز خورشید می باشد.

به طور کلی aberration عبارت است از جا به جایی ظاهری یک جرم سماوی که علت آن ترکیب دو عامل سرعت انتشار نور و حرکت نسبی ناظر و آن جرم است.بدیم معنی که اگر ناظر نسبت به حرکت دورانی زمین کاملا ساکن فرض شود ، وقتی به یک ستاره نشانه روی می نماید ، دو ستاره به انتهای شیئی تلسکوپ وارد شده و بلافاصله در چشمی آن به وسیله ی ناظر رویت می گردد.ولی به دلیل آنکه مسیر حرکت زمین به دور خورشید بیضی یا به تقریب دایره است ، زمین در حین طی مسیرش ناظر را نسبت به ستاره دوران می دهد که برای جبران این حرکت ناظر باید تلسکوپ را در جهت حرکت اشعه ی نورانی طوری متمایل نماید تا اشعه ای که از شیئی دوربین عبور می نمایدبه خط مستقیم در چشمی آن به رویت ناظر برسند.بحث فوق مربوط به aberration سالانه ی زمین است.که زیر مجموعه ای است از aberration کلی منظومه ی شمسی aberr که بعدا مورد بحث قرار خواهد گرفت یا تفاوت مقدار دارای همین تعریف است.از قانون کلی aberr که از شکل ۵ – ۶ قابل استنتاج است و دلایل دیگری که مربوط به حرکت زمین حول مرکز خورشید می شود. در اینجا از اثبات آن ها صرف نظر می گردد.تغییرات در مختصات به علت aberration سالیانه که آن ها را به $(\Delta\alpha_A, \Delta\delta_A)$ نشان می دهیم ، با عبارت زیر تعیین می گردند :

$$\Delta\alpha_A = -K\sec\delta\left(\cos\alpha\cos\lambda_s\cos\varepsilon + \sin\alpha\sin\lambda_s\right) \qquad (۵ - ۱۵)$$

$$\Delta\delta_A = -K\left(\cos\lambda_s\cos\varepsilon\left(\tan\varepsilon\cos\delta - \sin\alpha\sin\lambda_s\right)\right) \qquad (۵ - ۱۶)$$

در (۱۵ – ۵) و (۱۶ – ۵) ، λ_s طول اکلیپتیکی خورشید ، α و δ مختصات ستاره در سیستم سماوی حقیقی در زمان T و K عبارت است از ثابت aberration برای مسیر زمین و برابر است با $K = 20.4958''$.

تغییر در بردار وضعیت به صورت ماتریس

$$A = \begin{bmatrix} -D \\ C \\ \cot\varepsilon \end{bmatrix} \qquad (۵ - ۱۶)$$

است که در آن D و C به aberrational (Besselian) day numbers معروفند.

(باید توجه داشت که این مقادیر عبارتند از $C = -K\cos\varepsilon\cos\lambda_s$ و $D = -K\sin\lambda_s$) این کمیت ها در جداول نجومی مانند APFS و AENA داده شده اند.

جابه جایی پارالاکتیک ، طبق تعریف عبارت است از زاویه ی بین امتداد یک جسم سماوی مشاهده شده و یک نقطه مرجع استاندارد پارالاکس سالانه به علت فاصله و جدایی زمین از خورشید ایجاد می شود و برابر است با اختلاف بین یک امتداد ژئوسنتریک به طرف یک ستاره و یک امتداد هلیوسنتریک به طرف همان ستاره (شکل ۶ – ۵) که به صورت تغییرات در (δ و α) به صورت زیر بیان می شود :

$$\Delta\alpha_p = \Pi\left(\cos\alpha\cos\delta\sin\lambda_s - \sin\alpha\cos\lambda_s\right)\sec\delta \qquad (۵-۱۷)$$

$$\Delta\delta_p = \Pi\left(\cos\delta\sin\varepsilon\sin\lambda_s - \cos\alpha\sin\delta\cos\lambda_s - \sin\alpha\sin\delta\cos\varepsilon\sin\lambda_s\right) \qquad (۵-۱۸)$$

که در این فرمول ها Π پارالاکس سالانه است.Π کمیت کوچکی است که مقدار آن برای نزدیکترین ستاره $0.76''$ می باشد.(δ و α) در (۱۸ – ۵) و (۱۹ – ۵) در سیستم سماوی حقیقی در زمان T هستند و با به کار بردن Besselian numbers یعنی مقادیر D و C تغییرات در بردار وضعیت را می توان به فرم ماتریس زیر نوشت :

$$R = \begin{bmatrix} -C\sec\varepsilon \\ -D\cos\delta \\ -D\sin\varepsilon \end{bmatrix}\left(\Pi/K\right) \qquad (۵-۱۹)$$

برای تبدیل (δ و α) از سیستم سماوی حقیقی در زمان T به سیستم سماوی ظاهری در T عبارت زیر به کار می رود.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{AC_T} = A + R\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{TC_T} \qquad (۵-۲۰)$$

(AC نشانگر Apparent Coordinates (مختصات ظاهری) است).

موقعیت تلسکوپ وقتی نور ستاره به O برخورد می نماید = OE

زاویه ای که شعاع نور با جهت حرکت ناظر می سازد = S

زاویه ای که تلسکوپ با جهت حرکت ناظر می سازد = S'

زاویه ی تیلت در جهت حرکت که تحت آن زمانی که $= S - S'$

ناظر به نقطه ی E' می رسد به چشمی دوربین برخورد می نماید.

زمان لازم برای رسیدن ناظر از E به E' = t

که در آن v سرعت ناظر است $EE' = tv$

که در آن C سرعت انتشار نور می باشد $OE' = tc$

از مثلث $EE'O$ با K مساوی oberr زاویه ی نوری $S - S'$ و کوچکی آن ها خواهیم داشت :

$$\frac{\sin K}{\sin S'} = \frac{EE'}{OE'} = \frac{V}{C} \rightarrow K = \frac{V \sin 3}{C \sin 1''}$$

و با لاخره تبدیل کامل یعنی تبدیل از سیستم سماوی متوسط در لحظه ی T۰ به سیستم سماوی ظاهری در T با فرمول زیر انجام می پذیرد :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{AP_T} = A + R + NPM \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{MC_T} \quad (۵۵ - ۲۱)$$

فرمول (۲۱ – ۵) یک مرحله ی مهم در نجوم ژئودتیک است که تمـام آن در شـکل ۷ – ۵ نشان داده شده و نشانه ای که در این شکل به کار رفته در جدول ۱ – ۵ معرفی گردیده اند.

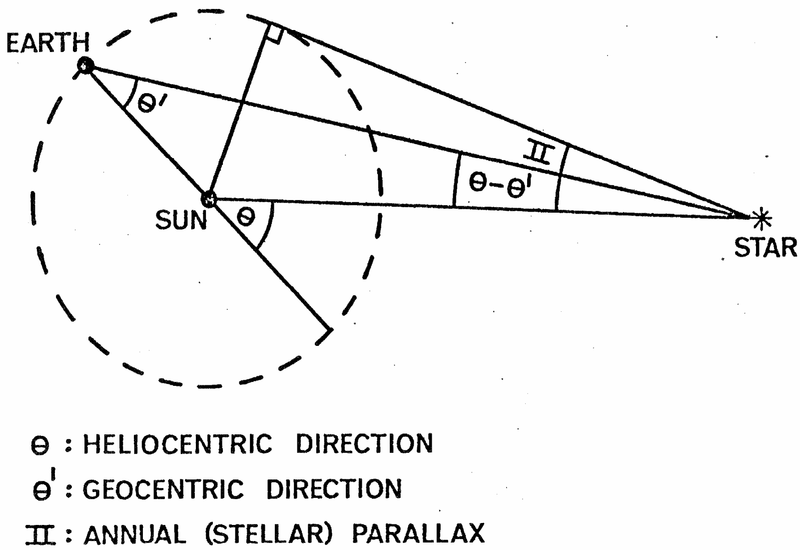
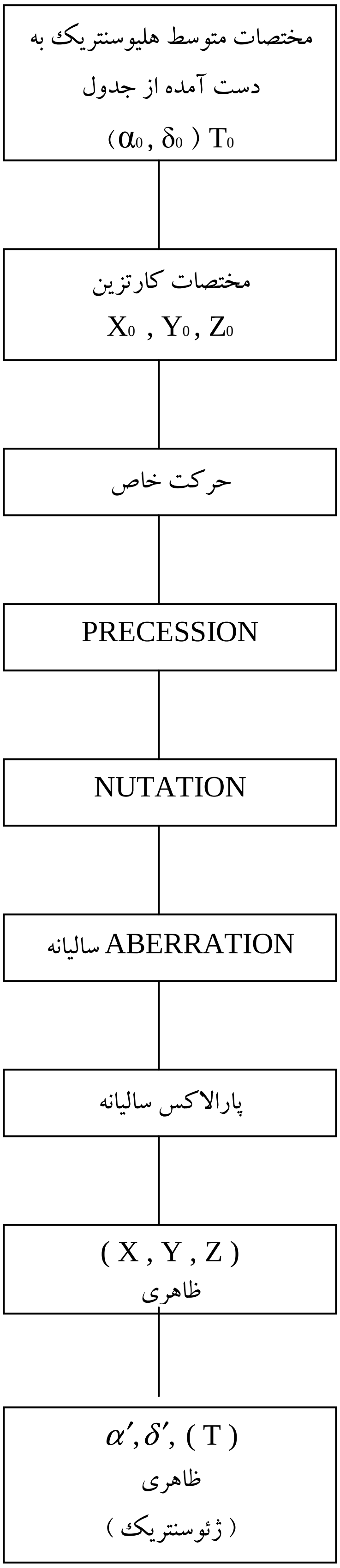


Figure 6-6

Annual (Stellar) Parallax



$$\begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\delta_o \cos\alpha_o \\ \cos\delta_o \sin\alpha_o \\ \sin\delta_o \end{bmatrix}$$

$$M = R_3(-\alpha_o) R_2(\delta_o - 90) R_3(\psi_o) R_2(\mu t + 1/2 \frac{d\mu}{dt} t^2) R_3(-\psi_o) R_2(90-\delta_o) R_3(\alpha_o)$$

$$P = R_3(-z) R_2(\theta) R_3(-\zeta_o)$$

$$N = R_1(-\varepsilon - \Delta\varepsilon) R_3(-\Delta\psi) R_1(\varepsilon)$$

$$A = \begin{bmatrix} -D \\ C \\ C\tan\varepsilon \end{bmatrix}$$

$$R = -\begin{bmatrix} C\sec\varepsilon \\ D\cos\varepsilon \\ D\sin\varepsilon \end{bmatrix} \pi/k$$

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R + A + NPM \begin{bmatrix} X_o \\ Y_o \\ Z_o \end{bmatrix}$$

$$\alpha' = \tan^{-1} y/_X$$

$$\delta' = \sin^{-1} Z = \tan^{-1} Z/(X^2+Y^2)^{1/2}$$

FIGURE 6-7

POSITION UPDATING $M.C._{T_o}$ to $A.P._T$

نشانه ها	شرح	ماخذ
(α_0 , δ_0)	بعد و میل ستاره در مبدا زمانی T_0	جدول نجومی
(X_0 , Y_0 , Z_0)	مقادیر مشخص کننده ی امتداد ستاره در T_0	(α_0 , δ_0)
μ $\frac{d\mu}{dt}$	مولفه ی مماس حرکت خاص سالیانه ی ستاره در T_0 نرخ تغییر حرکت خاص	جدول نجومی
t	فاصله ی زمانی در سال	$t = T - T_0$
Ψ_0	امتداد (آزیموت) حرکت خاص در T_0	جدول نجومی
(ζ_0 , Z , θ)	اجزای پرسشن	Ephemeris نجومی
$(\Delta\psi , \Delta\varepsilon)$	اجزای نوتیشن	Ephemeris نجومی
ε	میل اکلیپتیک	Ephemeris نجومی
(C , D)	Aberrational Day Numbers	Ephemeris نجومی
π	پارالاکس سالیانه	جدول نجومی
K	عدد ثابت Aberration سالیانه	$K = 20.4958''$
(X , Y , Z)	مقادیر مشخص کننده ی امتداد ستاره در T	محاسبه شده از تمام پارامترهای فوق
(α^1, δ^1)	بعد و میل ستاره در زمان T نسبت به سیستم ظاهری (ژئوسنتریک)	محاسبه شده از (X و Y و Z) در زمان T

جدول ۱ – ۵

شرح نشانه ها

۳ – ۵ aberration روزانه ، پارالاکس ژئوسنتریک و انکسار نجومی

در پایان بحث بخش ۲ – ۵ ، (δ و α) را نسبت به سیستم مختصات ظاهری در زمان T داشتیم.در لحظه ی T ناظر ستاره ای را نسبت به سیستم محلی مشاهده شده observed plase system مشاهده می کند.بنابراین می باید سیستم مزبور را به سیستم ظاهری تبدیل نمود ولی برای انجام این تبدیل بایستی مشخصات سیستم محلی مشاهده شده که آن را به اختصار با op نشان می دهیم برای ما شناخته شده باشد.مشخصات این سیستم عبارتند از :

- مبدا این سیستم در ایستگاه مشاهدات است.
- قطب اولیه ی آن (z) به موازات قطب حقیقی لحظه ای سماوی می باشد.
- محور اولیه ی این سیستم (x) به موازات خط واصل بین نقاط اعتدالین حقیقی است.
- محور y آن طوری در نظر گرفته می شود که سیستم دست راستی باشد.

با توجه به مطالب فوق واضح است که سیستم مختصات op با یک انتقال ساده قابل انطباق بر سیستم AP است.برای انجام این انتقال عوامل زیر را باید در نظر داشت :

۱. Aberration روزانه
۲. پارالاکس ژئوسنتریک
۳. انکسار نجومی

در بخش ۲ – ۵ در مورد aberration به طور کلی و در مورد aberration سالانه به طور خاص بحث شد.مفهوم aberration روزانه با تعریف کلی aberration قابل درک است ولی در اینجا بایستی در نظر داشت که سرعت دوران زمین (ω_e) و عرض جغرافیایی ژئوسنتریک ناظر (ψ) و طول بردار وضعیت ژئوسنتریک محل ناظر (p) در مقدار این عامل تاثیر مستقیم دارند.همان گونه که در شکل ۵ – ۵ دیدیم مقدار کلی aberration با عیارت زیر قابل محاسبه است :

$$K = \frac{V}{C\sin 1''}\sin s$$

با استفاده از این فرمول کلی مقادیر aberration سالانه و روزانه با قرار دادن مقادیر مناسب برای v قابل محاسبه هستند.معمولا aberration سالانه با K و aberration روزانه با K نشان اده می شوند.با توجه به رابطه ی فوق و شکل زیر می توان سرعت دوران ناظر را در یک ثانیه با فرمول

$$V = \frac{2\Pi P\cos\psi}{24\times 60\times 60} = 0.464\cos\psi \qquad , \qquad \rho \approx 6.378 \quad km$$

تعیین نمود و در رابطه ی مزبور قرار داد :

$$K' = \frac{0.464\cos\psi}{300000\sin 1''}\sin s$$

با فرض $\sin s = \sin s'$ با تقریب مناسب می توان رابطه ی زیر را نتیجه گرفت :

$$K' = 0.319''\cos\psi \quad \text{یا} \quad K' = 0.0213^s\cos\psi \qquad (۵ – ۲۲)$$

در عمل معمولا از اختلاف بین عرض های ژئوسنتریک و ژئودتیک صرف نظر نموده و از فرمول زیر برای تعیین aberration روزانه استفاده می شود :

$$K' = 0.0213^{s} \cos\phi$$

تغییراتی که به علت تاثیر این عامل در مختصات سماوی یک ستاره ایجاد می گردد ، عبارتند از :

$$\Delta\alpha_D = K^{s} \cos h \sec\delta^{1} \qquad (۵ - ۲۳)$$

$$\Delta\delta_D = K'' \sin h \sin\delta^{1} \qquad (۵ - ۲۴)$$

این تصحیح به طریق زیر اعمال می شود :

$$\Delta\alpha_D = \alpha_{AP_T} - \alpha_{OP_T} \qquad (۵ - ۲۵)$$

$$\Delta\alpha_D = \delta_{AP_T} - \delta_{OP_T} \qquad (۵ - ۲۶)$$

در تصحیحات مربوط به پارالاکس ژئوسنتریک و انکسار نجومی که بعدا مورد بحث قرار می گیرند نیز تصحیحات مربوط به طریق فوق اعمال می گردند.

پارالاکس ژئوسنتریک عبارت است از اختلاف بین امتداد توپوسنتریک (آنچه عملا مشاهده می شود) و امتداد ژئوسنتریک مربوطه (شکل ۹ – ۵).تغییرات حاصل از این خطا بر روی بعد و میل ستاره با عبارات زیر تعیین می شوند :

$$\Delta\alpha_G = -\Pi \sin h \cos ec\, z \cos\phi \sec\delta' \qquad (۵ - ۲۷)$$

$$\Delta\delta_G = \Pi\left(\sin\phi \cos ec\, z \sec\delta' - \tan\delta' \cot z\right) \qquad (۵ - ۲۸)$$

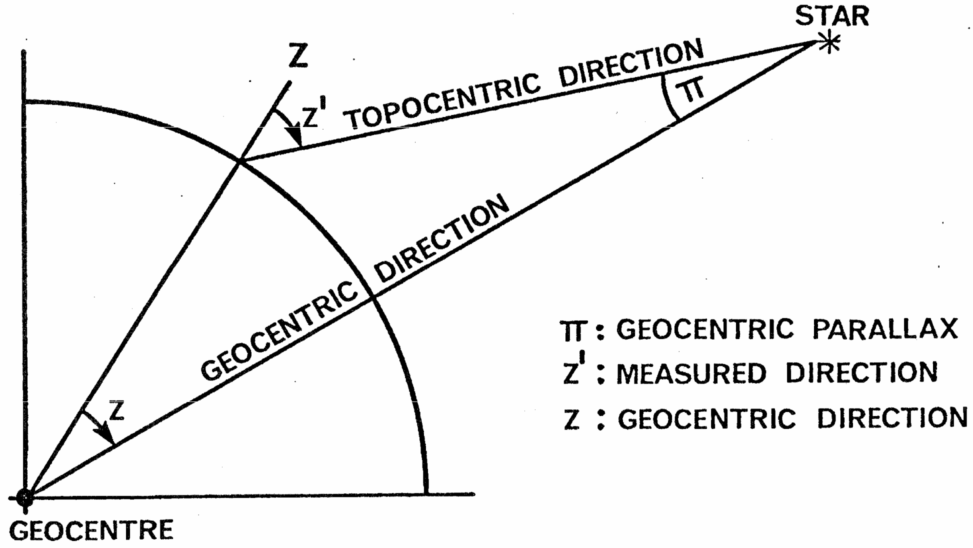


Figure 6-8

Geocentric Parallax

لازم به تذکر است که در مورد اجرام سماوی به استثنای خورشید تصحیحات فوق به قدری کوچک اند که می توان از آن ها صرف نظر نمود.

جابه جایی ظاهری اجرام سماوی را به علت شکست نور آن ها در برخورد این اشعه با جو زمین انکسار نجومی گویند.به طور کلی در این برخورد اشعه ی نورانی به طرف پایین خم می شوند و این باعث می شود که ارتفاع ستاره بیشتر از مقدار واقعی آن مشاهده شود (شکل ۱۰ – ۶).انکسار نجومی با فرمول

$$\Delta Z_R = Z - Z' \qquad (۵ - ۲۹)$$

تعریف می شود که در آن Z' فاصله ی سمت الراسی مشاهده شده و Z فاصله ی سمت الراسی تصحیح شده است.تاثیرات این خط بر روی δ و α عبارتند از :

$$\Delta\alpha_R = -\Delta Z_R \sin h \ \operatorname{cosec} z' \cos\phi \sec\delta' \qquad (۵ - ۳۰)$$

$$\Delta\delta_R = -\Delta Z_R \left(\sin\phi \operatorname{cosec} z' \sec\delta' - \tan\delta' \cot z'\right) \qquad (۵ - ۳۱)$$

معمولا مقادیر ΔZ_R برای بعضی شرایط استاندارد حرارت و فشار طی جداولی در دسترس است (معمولا ۷۶۰ mm و T = ۱۰ c و رطوبت نسبی ٪۶۰) و تصحیحات مربوط به این مقادیر با تعیین حرارت ، فشار و رطوبت نسبی در زمان مشاهدات (T) محاسبه می شوند.

با توجه به مطالب فوق می توان عبارت کلی زیر را در مورد بعد و میل یک جرم سماوی نوشت :

$$\alpha_{AP_T} = \alpha'_{AP_T} - (\Delta\alpha_D + \Delta\alpha_G + \Delta\alpha_R) \qquad (۵ - ۳۲)$$

$$\delta_{AP_T} = \delta'_{AP_T} - (\Delta\delta_D + \Delta\delta_G + \Delta\delta_R) \qquad (۵ - ۳۳)$$

که در این معادلات α'_{AP_T} و δ'_{AP_T} بعد و میل ستاره نسبت به سیستم شکل ۱۱ – ۵ به طور خلاصه نشان داده شده است. مختصات محلی ظاهری هستند که در معادله ی (۲۱ - ۵) به دست آمده اند .این مرحله در شکل ۱۱ – ۵ به طور خلاصه نشان داده شده است.

در پایان این قسمت لازم است تذکر داده شود که معمولا در تعیین مختصات و آزیموت نجومی از مرتبه های پایین از اعمال تصحیحات aberration روزانه صرف نظر می شود و تنها تصحیحات پارالاکس ژئوسنتریک و انکسار به امتداد مشاهده شده (Z') اعمال می گردد.بنابراین در مدل های ریاضی این رده از عملیات نجومی z از فرمول زیر محاسبه و به کار می رود :

$$Z = Z' - (\Delta Z_R + \Delta Z_G) \qquad (۵ - ۳۴)$$

ΔZ_G یعنی تصحیح به فاصله ی سمت الراسی به علت پارالاکس ژئوسنتریک در جداول نجومی (به طور مثال در SALS) داده شده اند و گاها نیز نشانه ی ΔZ_P به جای ΔZ_G برای نشان دادن این خطا به کار می رود.

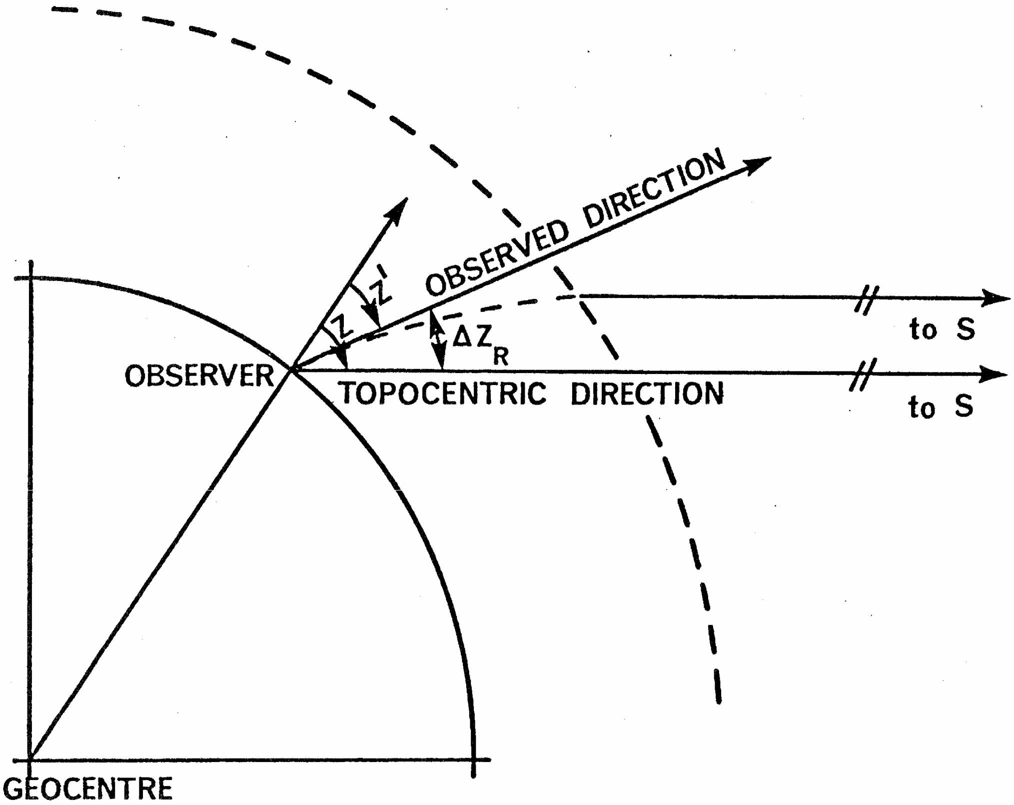
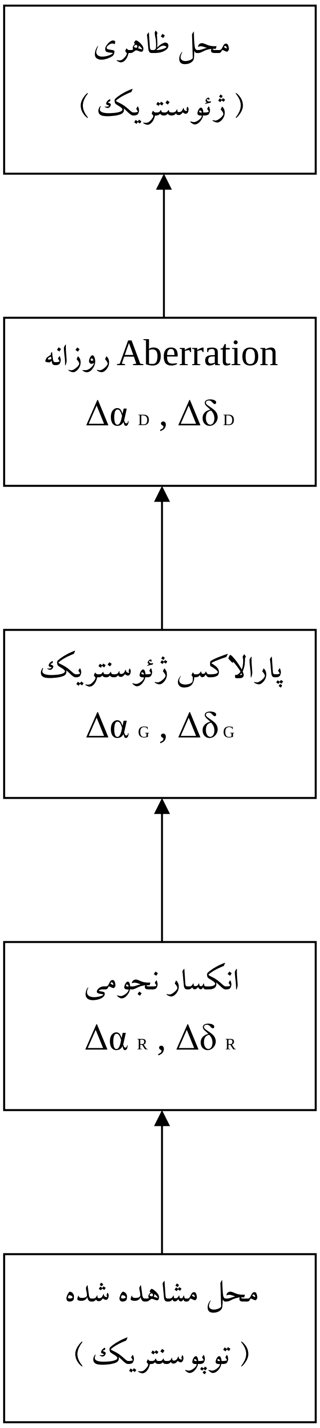


Figure 6-9

Astronomic Refraction

$$\alpha_{AP} = \alpha'_{AP} - (\Delta\alpha_G + \Delta\alpha_D + \Delta\alpha_R)$$

$$\delta_{AP} = \delta'_{AP} - (\Delta\delta_G + \Delta\delta_D + \Delta\delta_R)$$



شکل ۵ – ۱۱

تبدیل سیستم محلی

به سیستم ظاهری

۴ – ۵ حرکت قطبی

آخرین مطلبی که در این فصل مورد بررسی قرار می گیرد ، تبدیل مختصات نجومی (ϕ,Λ) از سیستم سماوی محلی ظاهری به سیستم مختصات متوسط زمینی " Average Terrestrial " (A.T) است.این تبدیل شامل دو مرحله است :

۱. تبدیل δ AP و α AP به سیستم زمینی لحظه ای " Instantoneous Terrestrial " (I.T).

۲. تبدیل Λ IT و Φ IT به مختصات در سیستم زمینی متوسط.

باید توجه داشت که در اولین مرحله می باید انتقالی از یک سیستم غیر دوار به سیستمی که با زمین دوران می کند انجام گیرد.سیستم زمینی لحظه ای دارای مشخصات زیر است :

- مبدا آن در مرکز زمین (ژئوسنتر) است.
- قطب اولیه ی آن (Z) منطبق بر قطب لحظه ای زمین می باشد.
- محور اولیه ی این سیستم (X) محل برخورد نصف النهار متوسط نجومی گرینویچ و صفحه ی استوا لحظه ای است.
- محور y آن طوری انتخاب می شود که سیستم دست راستی باشد.

با مقایسه ی تعاریف سیستم های A.P و I.T می بینیم که تنها اختلاف دو سیستم گذشته از غیر دورانی بودن یکی و دورانی بودن دیگری در محور اولیه ی آن هاست.با توجه به تعریف زمان نجومی می بینیم که سیستم های A.P و I.T به وسیله ی GAST با هم مربوط هستند (شکل ۱۲ – ۵).این رابطه به صورت زیر می باشد.

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{IT} = R_3\left(GAST\right)\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{AP} \qquad (۵ - ۳۵)$$

که در آن

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{AP_T} = \begin{bmatrix} \cos\delta\cos\alpha \\ \cos\delta\sin\alpha \\ \sin\delta \end{bmatrix}_{AP_T} \quad , \quad \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{IT_T} = \begin{bmatrix} \cos\psi\cos\Lambda \\ \cos\psi\sin\Lambda \\ \sin\psi \end{bmatrix}_{IT_T} \qquad (۵ - ۳۶)$$

(ψ = عرض ژئوسنتریک).چنانچه تقریب کروی در مورد زمین در نظر گرفته شود ، می توان چنین نوشت :

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{I.T.} = \begin{bmatrix} \cos\phi\cos\Lambda \\ \cos\phi\sin\Lambda \\ \sin\phi \end{bmatrix}_{I.T.}$$

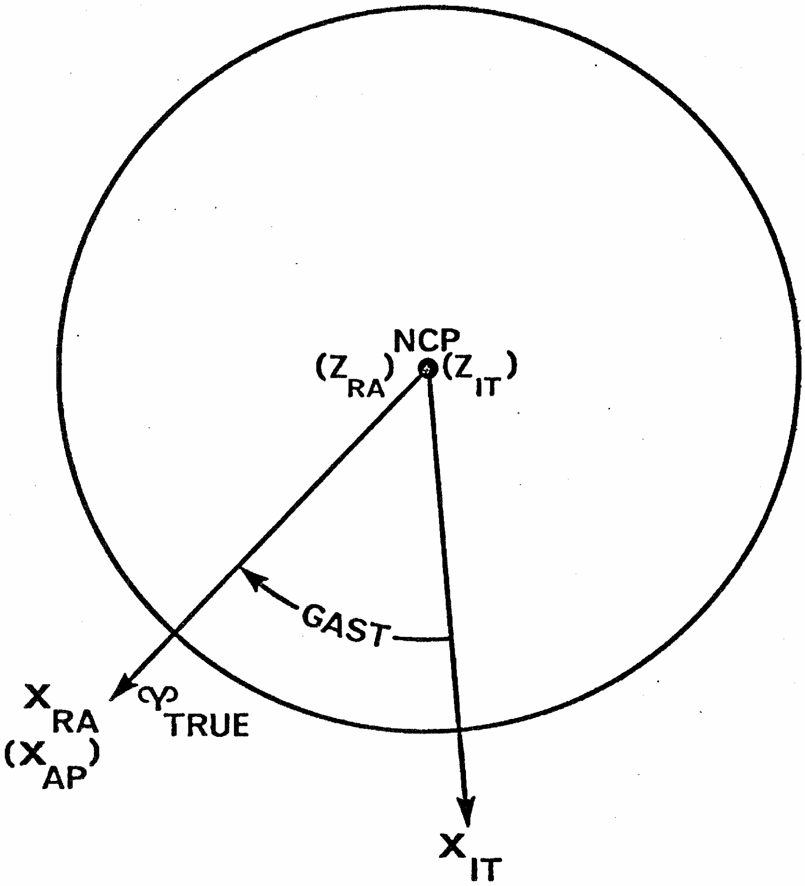


Figure 6-11

Transformation of Apparent Place
To Instantaneous Terrestrial
System

باید توجه داشت که فرمول ۳۵ – ۵ فرم ضمنی رابطه ای است که در مدل های ریاضی تعیین مختصات و آزیموت نجومی به کار می رود که به گونه ای دیگر صورت صریح این رابطه را در فصل های ۹ و ۸ این کتاب در مدل های ریاضی مزبور خواهیم دید.بنابراین نتایج حاصله عبارتند از ϕ, Λ, A که تماما نسبت به یک سیستم IT بیان شده اند. مرحله ی نهایی تبدیل این کمیت ها از سیستم IT به سیستم مختصات زمینی متوسط (AT) " Average Terrestrial " می باشد.

امتداد محور دوران لحظه ای زمین نسبت به سطح زمین دارای حرکتی است.این حرکت ، حرکت قطبی نامیدهمی شود و حرکتی است نا منظم در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت با دامنه ی حدود پنج متر و پریود تقریبا $430 m.s.d$.این حرکت بر حسب موقعیت محور دوران لحظه ای نسبت به یک نقطه ی مبنا واقع بر پوسته ی زمین بیان می شود که این نقطه قطب متوسط زمین بین سال های 1905 – 1900 است و آن را (C.I.O) " Conventional International Origir " می نامند.

سیستم مختصاتی که می باید مختصات به آن منتقل شوند و نسبت به آن بیان شوند ، سیستم (A.T) است که تنها فرق آن با سیستم (I.T) در حرکت قطبی می باشد.فرمول زیر رابطه ی بین دو سیستم را بیان می کند.در این فرمول y_p و x_p مولفه های بردار حرکت قطبی هستند (شکل ۱۳ – ۵).

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{A.T.} = R_2\left(-x_p\right) R_1\left(-y_p\right) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{I.T.} \quad (۵ - ۳۷)$$

که با در نظر گرفتن تقریب کروی چنین خواهیم داشت :

$$\begin{bmatrix} \cos\phi\cos\Lambda \\ \cos\phi\sin\Lambda \\ \sin\phi \end{bmatrix}_{A.T.} = R_2\left(-x_p\right) R_1\left(-y_p\right) \begin{bmatrix} \cos\phi\cos\Lambda \\ \cos\phi\sin\Lambda \\ \sin\phi \end{bmatrix}_{I.T.} \quad (۵ - ۳۸)$$

با استفاده از روابط فوق و پس از انجام پاره ای محاسبات روابط زیر را می توان نتیجه گرفت :

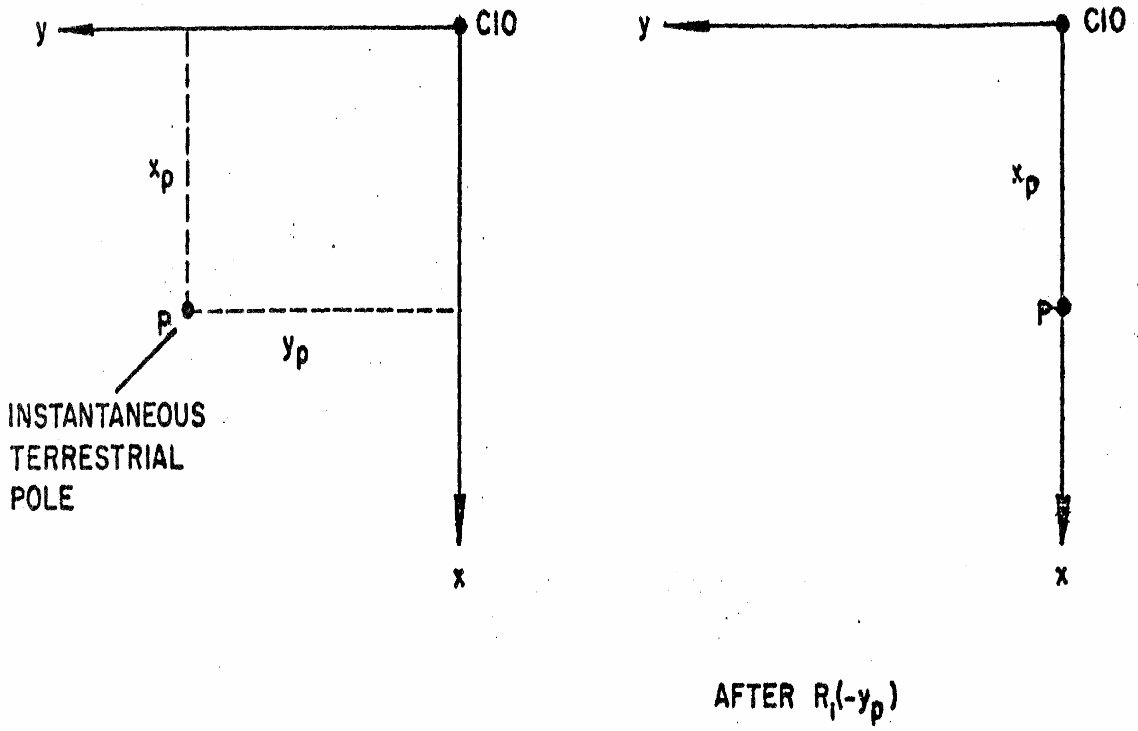
$$\Delta\phi = \phi_{AT} - \phi_{IT} = y_p \sin\Lambda_{IT} - x_p \cos\Lambda_{IT} \quad (۵ - ۳۹)$$

$$\Delta\Lambda = \Lambda_{AT} - \Lambda_{IT} = -\left(x_p \sin\Lambda_{IT} + y_p \cos\Lambda_{IT}\right)\tan\phi_{IT} \quad (۵ - ۴۰)$$

تاثیر حرکت قطبی بر روی آزیموت نجومی با فرمول زیر بیان می شود :

$$\Delta A_p = A_{AT} - A_{IT} = -\left(x_p \sin\Lambda_{IT} + y_p \cos\Lambda_{IT}\right)\sec\phi_{IT} \quad (۵ - ۴۱)$$

روابط بین سیستم های سماوی و مراحل مختلف انتقالاتی که در این فصل مورد بحث قرار گرفت در شکل ۱۴ – ۵ و روابط بین تمام سیستم های مختصاتی که در ژئودزی مورد استفاده قرار می گیرند با سیستم های مختصات سماوی در شکل ۱۵ – ۵ نشان داده شده است.



TRANSFORMATION FROM INSTANTANEOUS TO AVERAGE TERRESTRIAL SYSTEM.

FIGURE 6-12

ضمیمه

تعیین مختصات نجومی یک نقطه (Δ و Φ)

کلیات

۱ – ۱ مقدمه ای بر تعیین Φ

به طوری که می دانیم عرض جغرافیایی نجومی عبارت است از زاویه ی بین قائم محل (vertical) و صفحه ی استوای لحظه ای.این زاویه در صفحه ی نصف النهار سنجیده می شود.همچنین می توان آن را ارتفاع حقیقی قطب سماوی دانست.در مثلث نجومی شکل ۱ چنانچه هویت ستاره برای ما معلوم باشد (یعنی بعد و میل آن مشخص باشد) ، بنابراین برای تعیین Φ دو کمیت دیگر نیز بایستی در دست باشند.این دو کمیت معمولا ارتفاع ستاره (و یا متمم آن فاصله ی سمت الراسی) و زاویه ی ستاره آن هستند.

رابطه ی ساسی بین این کمیت ها به صورت فوق است.

$$\cos z = \sin s \sin \phi + \cos \delta \cos h \cos \phi \qquad (۱ - ۱)$$

خطای سیستماتیک حاصل از سنجش فاصله ی سمت الراسی و زاویه ی ساعتی بر روی Φ را می توان با دیفرانسیل گیری از معادله ی فوق به صورت زیر بیان نود :

$$d\phi = -\sec A\, dz - \cos \phi \tan A\, dh \qquad (۱ - ۲)$$

واضح است که چناچه اندازه گیری Φ به روش عبور ستاره از نصف النهار محل انجام پذیرد ، خطای کوچکی در h (یعنی در سنجش زمان) هیچ تاثیری در Φ نداشته و خطای کوچکی در Z حد اقل تاثیر را برای اندازه ی به دست آمده ی این کمیت خواهد داشت.بدین دلیل اغلب تعیین عرض جغرافیای نجومی براساس اندازه گیری مستقیم فاصله ی سمت الراسی z زمانی که ستاره در

حال عبور از نصف النهار است و یا به طور غیر مستقیم با تبدیل فاصله ی سمت الراسی اندازه گیری شده ی آن در حالتی که نزدیک نصف النهار بوده به نصف النهار انجام می پذیرد.

منشا اصلی خطاهای سیستماتیک در z یعنی تاثیر انکسار همیشه با قرائت زوج ستارگانی که در شمال و جنوب سمت الراس (z) واقع بوده و تقریبا دارای فواصل سمت الراسی مساوی باشند تقلیل می یابد.اگر فواصل سمت الراسی در حالتی که ستاره بر نصف النهار واقع نیست ، اندازه گیری شود ، باید زاویه ی ساعتی (یعنی زمان نجومی) مشاهدات دقیقا معلوم باشد.

باید توجه داشت که تعیین Φ با استفاده از زاویه ی ساعتی و زاویه ی افقی نیز امکان پذیر است. روابطی که در این صورت به کار می روند ، عبارتند از :

$$\tan A = \frac{\sin h}{\sin\phi\cos h - \cos\phi\tan\delta} \qquad (۱ - ۳)$$

$$dA = \sin A\cot z\, d\phi + \cos\phi\left(\tan\phi - \cos A\cot z\right)dh \qquad (۱ - ۴)$$

$$\tan\phi = \cos A\cot z \qquad (۱ - ۵)$$

در این حالت برای تقلیل اثر خطای زمان سنجی ستاره ها بایستی در حالت elougation مشاهده شوند.به طوری که می دانیم برای تعیین عرض جغرافیایی نجومی به روش ترانزیت روابط زیر به کار می رود.

$$\phi = \delta_N - z_N = \delta_N + a_N - 90^\circ \qquad (۱ - ۶) \text{ (عبور بالا ، شمال)}$$

$$\phi = \delta_s + z_s = 90^\circ - a_s + \delta_s \qquad (۱ - ۷) \text{ (عبور بالا ، جنوب)}$$

$$\phi = 180^\circ - \delta_N - z_N = 90^\circ + a_N - \delta_N \qquad (۱ - ۸) \text{ (عبور پایین ، شمال)}$$

که در این روابط z فاصله ی سمت الراسی است.البته باید توجه داشت که z یا متمم آن a پس از اعمال تصحیح انکسار بر آن ها در این معادلات صدق نماید.اندیس های S و N نشان دهنده ی شمالی و جنوبی بودن ستاره هستند.بزرگ ترین خطاهای سیستماتیکی که در این روش می توانند وجود داشته باشند ، مرکب اند از خطای انکسار و خطای حاصل از عدم استقرار دقیق دستگاه در نصف النهار (ابریشن روزانه هنگامی که ستاره در نصف النهار است تاثیری بر میل ستاره ندارد).علت اول همراه با نیاز به دانستن نقطه ی سمت الراس ستاره می تواند نجومی با مشاهده ی زوج ستاره های شمالی و جنوبی در ارتفاع حدودا یکسان حذف شود.زیرا Φ را می توان با مجموع معادلات (۶ – ۱) و (۷ – ۱) یعنی :

$$\phi = \frac{1}{2}\left(\delta_s + \delta_N\right) + \frac{1}{2}\left(z_s - z_N\right) \qquad (۱ - ۹)$$
$$= \frac{1}{2}\left(\delta_s + \delta_N\right) + \frac{1}{2}\left(a_N - a_s\right)$$

محاسبه نمود که تفاضل ارتفاعات دو ستاره ی شمالی و جنوبی خطای فوق الذکر را حذف می نماید و یا زا مجموع معادلات (۷ – ۱) و (۸ – ۱) آن را تعیین نمود :

$$\phi = \frac{1}{2}\left(\delta_s - \delta_N\right) + \frac{1}{2}\left(z_s - z_N\right) + 90^\circ \qquad (۱ - ۱۰)$$
$$= \frac{1}{2}\left(\delta_s - \delta_N\right) + \frac{1}{2}\left(a_N - a_s\right) + 90^\circ$$

۲ – ۱ – مقدمه ای بر تعیین طول جغرافیایی نجومی (Δ)

طول جغرافیایی نجومی (Δ) عبارت است از زاویه ی بین صفحه ی نصف النهاری محل ناظر و صفحه ی نصف النهار متوسط گرینویچ (یا صفحه ی نصف النهار Mean observatory که توسط موسسه ی BIH تعریف می شود).این زاویه در صفحه ای به موازات استوا اندازه گیری می شود.این زاویه به طرف شرق مثبت است و از نصف النهار Mean observatory حساب می شود تا $360^\circ = 24^h$.

تعیین Δ بر اساس معادله ی زیر انجام می پذیرد.

$$\Delta = LAST - GAST \qquad (۱ – ۱۱)$$

در این رابطه LAST یعنی زمان نجوم ظاهری محل ، به وسیله ی مشاهدات نجومی و GAST یعنی زمان نجومی ظاهری گرینویچ با همزمان ساختن کرنومتر مورد استفاده با علایم زمانی دریافت شده به وسیله ی گیرنده ی رادیویی انجام می پذیرد.به طوری که می دانیم زمان نجومی محلی در رابطه ی زیر صدق می کند :

$$LAST = \alpha + h \qquad (۱ – ۱۲)$$

که h زاویه ی ساعتی یک ستاره و α بعد آن است.می توان دو حالت متمایز را در این رابطه در نظر گرفت.

الف) تلسکوپ دوربین را در نصف النهار قرار داد و لحظه ی عبور ستاره را از نصف النهار محل ثبت نمود.

ب) ستاره را در لحظه ای از زمان در خارج از نصف النهار مورد توجه قرار داد.

در هر دو مورد فرض بر این است که طول جغرافیایی تقریبی ایستگاه معلوم باشد و منظور ما از عملیات تعیین Δ به دست آوردن میزان تصحیحی است که بایستی به مقدار تقریبی مزبور اعمال گردد تا مقدار قطعی Δ معین شود.

به طوری که می دانیم در حالت الف زمان نجومی محل (LAST) مساوی است با بعد ستاره (α).

بنابراین چنانچه طول جغرافیایی ایستگاه را بدانیم و تلسکوپ را در نصف النهار محل قرار دهیم و زمان LMT ستاره ای را که قبلا تهیه کرده ایم و هویتش یعنی (δ و α) برایمان معلوم است از نصف النهار محل دقیقا ثبت نماییم و سپس با روشی که در نجوم ۱ آموخته ایم این زمان را تبدیل به LAST نماییم ، این زمان باد برابر با بعد (α) ستاره باشد.اختلاف این دو یعنی LAST و α بیانگر میزان خطایی است که در طول جغرافیایی تقریبی وجود دارد و با اعمال این تصحیح به طول مزبور ، طول جغرافیایی نجومی ایستگاه تعیین خواهد شد.

در مورد حالت (ب) بایستی زمان UT به دست آمده از علایم رادیویی را تبدیل به GAST نموده و با تعیین h ستاره ای که از قبل انتخاب شده یعنی α آن برایمان معلوم است ، LAST را محاسبه نمود و سپس آن ها را در رابطه به کار برد و مقدار Δ را محاسبه نمود.

$$GMST = UT + \left(\alpha_m - 12^h\right)$$

$$GAST = GMST + eqe$$

این بود کلیاتی به صورت مجمل در مورد تعیین مختصات نجومی یـک ایـستگاه و اینـک بـه شـرح جزئیات این روش ها و موارد کاربرد آن ها تحت عناوین نجـوم درجـه یـک و نجـوم درجـه دو مـی پردازیم.ولی قبلا باید متذکر شد که یکی از مراحل بسیار مهم و حساس در مـورد مـشاهدات نجـوم ژئودتیک تهیه ی لیستی از ستارگان مفیدی است که با توجه به روش متخذه قبل از شروع عملیات بایستی انتخاب شوند.

تعیین مختصات نجومی درجه ۲

نجوم درجه دو و مختصات نجومی که با اجرای روش های مربوط به آن به دست می آینـد ، در تعیین ارتفاع ژئوئید (Geoidal undulation) و دیگر مـسائلی کـه در تعیـین شـکل زمـین در رابطه با ژئودزی کلاسیک با آن روبه رو هستیم کاربرد وسـیعی دارد.بـدین دلیـل بـه متـدی قابـل اطمینان برای تعیین طول و عرض نجومی درجه دو احتیاج داریم تا بتوانیم آن هـا را بـا مختـصات ژئودتیک (λ و φ) ایستگاه مورد نظر مقایسه نماییم.

در دستور العمل و روشی که در زیر خواهد آمد ، درباره ی متدهایی که در تعیین Δ و Φ بحث خواهد شد که حداکثر دقت قابل حصول را بین روش های نجوم درجه دو به دست خواهنـد داد.در این بخش رویه ای را برای تهیه ی لیست مشاهدات با استفاده از جدول APFS خواهیم دید که در آن ستاره هایی انتخاب خواهند شد که کلیه ی نیازهای مشاهداتی و محاسباتی را به بهتـرین وجـه تامین نمایند.محاسباتی که به کار می رود بر اساس مثلثات کروی است.چنانچه کلیه ی مراحلـی را که ذکر می گردد ، به دقت رعایت شود، مختصات نجومی حاصله معیارها و استانداردهای درجـه دو را تامین خواهد نمود.

۱ – ۲ – وسایل صحرایی

وسایل و دستگاه های مورد نیاز برای تعیین مختصات نجومی درجه دو عبارتند از :

۱. تئودولیت : تئودولیت ویلد T3 برای تعیین ارتفاع در ایـن تیـپ عملیـات نجـومی مـورد استفاده قرار می گیرد.ویلد T-3 دارای دقت قرائـت افقـی و قـائم در دهـم ثانیـه شـصت قسمتی است و حساسیت یـا ارزش تقـسیمات تـراز افقـی آن حـدود ۷ ثانیـه ی شـصت قسمتی و ارزش تقسیمات تراز قائم آن دوازده ثانیه است.البته این ارقام اسمی و ادعا شده از طرف کارخانته ی سازنده است در حالی که مخصوصا در مورد تراز قـائم حـساسیت یـا ارزش تقسیمات بیش از این اعداد است.

چون مختصات نجومی (Δ و Φ) بستگی به اندازه گیری ارتفاع ستارگان دارد ، بنـابراین دقت تراز لمب قائم و قرائت و توجه دقیق و زیاد از اهمیت بسیار زیادی برخـوردار اسـت.تـراز قائم در بالای محور تئودولیت در سمت دایره ی قائم تعبیه گردیده است و حباب آن به وسیله ی قرائت منشوری که در بالای تراز قرار گرفته قابل رویـت اسـت.دو لبـه ی ایـن حبـاب کـه اصطلاحا آن را لوبیا می نامند ، برای هر قرائت و اندازه گیری ارتفاع بایستی با استفاده از پـیچ حرکت سطحی مربوطه منطبق گردند.

البته می توان به جای T-3 از دوربین های مشابه دیگری نیز استفاده نمود ولی جداول و شکل ها و مطالبی که در این کتاب در ارتباط با قرائت دستگاه های به کار رفتاه بر اساس این دوربین می باشد.

۲. کرنوگراف : کرنو گراف وسیله ی ثبت زمان است.فی المثل در تعیین (Φ) که ستاره در زمان عبورش از نصف النهار رصد شده و ارتفاع آن اندازه گیری می گردد ، زمان مربوط به اینچنین قرائتی باید ثبت شود.

در وسایل قدیمی نجومی ثبت زمان در کرنوگراف به وسیله ی یک یا دو قلم بر روی استوانه ای که به طور منظم دوران می نمود ، انجام می پذیرفت.

قلم مزبور می توانست دارای حرکت منظم و یکنواخت و مستقیم الخطی بر روی استوانه باشد.برای سنجش زمان از ساعتی که در اثر نوسان و لرزش کریستال های کوارتز کار می کرد ، استفاده می شد.این ساعت قبل از انجام عملیاتن شبانه با استفاده از یک اسیلوسکوپ با علائم زمانی ارسالی از فرستنده های زمان همزمان می گردید و هنگام عملیات ساعت مذکور جایگزین رادیو گردیده و پس از اتمام عملیات مجداد عمل همزمانی انجام گرفته و میزان تغییرات ساعت (Rate) محاسبه می شد.ساعت ، کرنوگراف و دوربین هر سه به آداپتوری که جریانی به فرکانس ۱۰۰۰ هرتز ایجاد می نمود و امروزه نیز در وسایل مدرن مورد استفاده قرار می گیرد ، وصل می گردیدند (شکل ۱ – ۱).

در وسایل مدرن کرنوگراف های الکترونیکی جایگزین نوع نیمه مکانیکی ثابت شده است.در این کرنوگراف ها یک ساعت کریستاله تعبیه گردیده که از دوازده باطری ۱٫۵ ولت داخلی تغذیه می شود و بنابراین هر دو وسیله در یک دستگاه خلاصه گردیده است.

کرنوگراف های مدرن موجود در ایران دو نوع اند : الف) ساخت کارخانه ی OMEC ب) ساخت کارخانه ی LON GINES . نوع اول دیگر تولید نمی شود و نوع دوم که دقیق تراست دستگاهی است که در این نوشته ودستورالعمل مورد بحث خواهد بود (شکل ۲-۱).

در نجوم درجه دو باید یک دگمه دستی(PUSH BUTTON) نیز در سیستم وجود داشته باشد .

بطوریکه در فوق اشاره گردید یکی از وسایل اصلی در عملیات نجومی رادیو گیرنده فنری است که به نقش آن نیز اشاره کوتاهی شد و بعدا به صورت دو مورد کاربرد آن و سایر وسایل بحث خواهد گردید .

ودر پایان بایستی متذکر گردید که برای سنجش میزان تاثیر شرایط جوی و تغییرات آن بر مشاهدات بارومتر و حرارت سنج نیز از وسایل مورد نیاز در عملیات نجومی است .

۲ – ۱ لیست های مشاهدات

برای انجام مشاهدات دقیق نجومی در مورد طول و عرض جغرافیایی وجود لیست های مشاهداتی بسیار لازم است.در این لیست ها تمام ستارگان قابل استفاده از جدول APFS انتخاب می شوند.این لیست ها موجب گردیده که مشاهدات سریع تر ، متوافق تر و محاسبات بلااشکال انجام پذیرد.

چنانچه بدون تهیه ی این لیست ها مشاهداتی به عمل آیند که خود این کار مستلزم جستجوی خسته کننده توام با اتلاف وقت زیادی است ، امکان پیش آمدن یک یا همه ی اشکالات زیر نیز وجود خواهد داشت.

الف) ستاره ای مشاهده می شود که در جدول APFS نباشند و بنابراین مختصات آن (δ و α) که در محاسبات مختصات (Δ و Φ) نقش مستقیم دارند در دسترس نخواهند بود.

ب) ستاره ای که برای تعیین طول جغرافیایی مشاهده می شود ، بیش از پنج درجه از دایره ی قائم اولیه فاصله داشته باشد.

ج) ارتفاع ستاره از حداقل ارتفاعی که لازم است ستاره در هنگام مشاهده داشته باشد کمتر بوده و موجب ایجاد خطای انکسار زیادی گردد.

د) ارتفاع ستاره با ارتفاع ستاره ی زوجش متوافق باشد.

ه) زمان طی شده بین مساهده ی بین یک ستاره ی شمالی و جنوبی نظیرش زیاد گردد.

با توجه به این موارد تهیه ی لیست ستارگان بعیده برای مشاهدات طول و عرض نجومی امری لازم است.

۱ – ۲ – ۱ لیست عرض جغرافیایی

لیست ستارگان برای عرض جغرافیایی نسبت به لیست ستارگان در مورد مشاهدات مربوط به طول جغرافیایی از سهولت بیشتری برخوردار است.

یکی از مزایای تهیه ی لیست برای ستارگان در مورد تعیین عرض جغرافیایی است که با در دست بودن چنین لیستی می توان مشاهدات زیر را در فاصله ی زمانی این مشاهدات مربوط به تعیین طول جغرافیایی نیز انجام داد.در مناطقی مانند ایران که دارای عرض جغرافیایی متوسطی هستند ف می توان همواره از ستاره ی قطبی به عنوان ستاره ی شمالی استفاده نمود و تنها لیستی از ستارگان معمولی تهیه نمود.در چنین حالتی به ستاره ی قطبی در هر زاویه ی ساعتی دلخواه می توان نشانه روی کرد ولی ستارگان خود بایستی قبل و بعد از گذر از نصف النهار محل مورد مشاهده قرار گیرند.ستارگان حولی قطبی (رجوع شود به نجوم ۱) در لحظه ای که LST برابر با بعد آن ها باشد از نصف النهار محور عبور (بالا) خواهد کرد.در عرض های جغرافیایی که ستاره ی قطبی خیلی پایین یا زیر افق است .لیست مشاهدات باید شامل هر دو دسته ستارگان شمالی و جنوبی با میل مناسب باشد.

در مورد تهیه ی این لیست موارد زیر را باید با دقت رعایت نمود.

الف) مشاهده ی ستاره باید در لحظه ای انجام پذیرد که ارتفاع آن حد اقل ۳۰ درجه باشد.

ب) ارتفاع ستارگان شمالی و جنوبی حداکثر پنج درجه با هم اختلاف داشته باشند (شکل ۳ – ۱).

ج) چنانچه هر دو دسته ستارگان شمالی و جنوبی انتخاب شده شده باشند زمان طی شده بین عبور ستارگان حول قطبی شمالی و جنوبی از نصف النهار محل نباید بیش از ۳۰ دقیقه بشود.

د) مشاهداتی که در آن از ستاره ی قطبی به عنوان ستاره ی شمالی استفاده مـی گـردد بایـد بـلا درنگ در مورد ستاره ی شمالی و جنوبی انجام پذیرد.

با داشتن طول جغرافیائی تقریبی ایستگاه و زمان غروب محل می توان زمان نجومی محل را که برای مشاهدات مناسب است محاسبه وبااسـتفاده از آن حـدود بعـد (α) سـتارگان مناسـب بـرای مشاهدات را تعیین نمود وبااستفاده از عرض جغرافیایی تقریبی ایستگاه حدود میـل (δ) سـتارگان مناسب را مشخص کرد.

با این اطلاعات می توان ستارگان حائز شرایط را از جدول APFS انتخاب نمـود . لیـست بایـد شامل شماره ستاره گان ، میزان روشنایی (mag) بعد (α) آنها با تقریب ثانیـه ، میـل آنهـا بـا تقریب دقیقه در ارتفاع و میزان قرائت نظیر ارتفاع که باید به سمت قائم T.3 در مورد هـر سـتاره باید بسته شود ، باشد.

مثال ۱- در عرض جغرافیائی شمالی 39 درجه وطـول جغرافیـائی 77 درجـه در شـب هـشتم نوامبر M63 زمان نجـومی محلـی تقریبـی (LST) غـروب خورشـید محاسـبه ومقـدار 20^h02^m تعیین گردید . این زمان متناظر با $LMT = 17^h01^m$ بوده بنابراین زمان اولین مشاهده می تواند در مساحت هفده ویک دقیقه ی خورشیدی محلی ویا ساعت بیست ودو دقیقـه نجـومی محلـی انجـام پذیرد . چنانچه بخواهیم ستاره قطبی را بعنـوان تنهـا سـتاره ی شـمالی لیـست مـشاهدات عـرض جغرافیائی در نظر بگیریم، با توجه به اینکه عرض جغرافیائی محل تقریبا برابر ارتفاع سـتاره قطبـی است . بنابراین لیست مذکور شامل ستارگانی با اختلاف ± 5 درجه از 39 درجه یعنی ستارگانی در محدوده 34 تا 44 درجه ارتفاع خواهد بود . بـا محاسـبه ی زیـر مـی تـوان حـدود بـین سـتارگان جنوبی را تعیین نمود :

طبق روابط موجود در مورد زمان عبور دو ستاره شمالی وجنوبی داریم :

$$\phi = \frac{1}{2}[(\delta_N + \delta_s) + (z_s - z_N)] = \frac{1}{2}[(\delta_N + \delta_s) + (a_N - a_s)]$$

در این حالت چون ستاره شمالی ، ستاره قطبی است : $\phi \cong a_N$ و $\delta_N \cong 90^\circ$ ، بنـابراین بـرای $\alpha_s = 34^\circ$ خواهیم داشت :

$$39^\circ \cong \frac{1}{2}(39^\circ - 34^\circ) + 45^\circ + \frac{1}{2}\delta_s \quad \text{و} \quad \delta_s = -17^\circ$$

و یا

وبازای $\alpha_s = 44^\circ$:

$$39^\circ \cong \frac{1}{2}(39^\circ - 44^\circ) + 45^\circ + \frac{1}{2}\delta_s \quad \text{و} \quad \delta_s = -7^\circ$$

بنابراین ستارگانی که در مورد رابطه $-7^0 \le \delta \le -17^0$ برقرار باشد از نظـر میـل بـرای مشاهدات مزبور منتسب اند.

با استفاده از جدول APFS ستارگانی بـا ایـن میـل هـا و بعـد هـای بزرگتـر از $20^h 02^m$ کـه مقدارآنها زیاد است ، برای مشاهدات انتخاب می گردند .

اگر عرض جغرافیایی محل کم یا زیاد باشد بحدی که ستاره قطبی یا غیر قابل رویت ویا نـشانه روی به آن مشکل باشد باید مانند ستارگان جنوبی برای تعین حدود حدود میل ستارگان شمالی با توجه به حدود ارتفاع ستارگان ($30^0 \le \alpha \le 41^0$) و معلوم بودن Φ تقریبی محاسـبه ای انجام داد وسپس با استفاده از جدول APFS و با داشتن حدود بعد ومیل ستارگان شمالی وجنوبی زوج ستارگان شمالی وجنوبی مناسب را انتخاب نمود.

پس از انتخاب این ستارگان لیستی که شامل شماره ستاره ، نام آنها ، میل وبعدشـان وارتفـاع آنهـا باشد تهیه نمود .

۲-۲-۱ لیست مشاهدات مربوط به تعین طول جغرافیائی نجومی

تهیه لیست مشاهدات مربوط به تعـین Λ شـکل تـراز لیـست مـشابه بـرای تعـین Φ اسـت و محدودیت های متعددی برای مشاهده ی ستارگان در بخش هـای کـوچکی از قـسمتهای شـرقی و غربی آسمان همواره وجود خواهد داشت . لازم به تذکر است که در تعین طول جغرافیـائی نجـومی درجه دو ستارگانی را در حوالی دایره قائم اولیه در هر دو طرف شـرق وغـرب بایـد مـورد مـشاهده قرارداد . در انجام این روش ستارگان انتخابی باید دارای شرایط زیر باشند :

الف – ستارگان باید در محدوده ی 5 درجه از دایره قائم اولیه مشاهده شوند.

ب - ارتفاع متوسط ستارگان شرقی وغربی نباید بیش از ۱ درجه از هم اختلاف داشته باشند .

ج - ارتفاع ستارگان برای کاستن از اثرانکسار نبایستی کمتر از 30 درجه وبمنظور ایجادتسهیل در نشانه روی به آنها و پیش گیری از وارد آمدن فشار به عامل مشاهدات که خود تاثیر بسیار منفی ای برکیفیت مشاهدات خواهد داشت نباید از 40 درجه تجاوز نماید . تحت این شرایط حدود آزیمـوت مشاهدات از 85 تا 95 درجه از شمال می باشد.

لیست مشاهدات مربوط به تعین طول جغرافیائی نجومی از سه قسمت تشکیل مـی یابـد : یـک جدول پیش انتخابی ، یک لیست ستارگان قابل دسترس شرقی و غربی ویک چارت از این ستارگان که براساس زمان نجومی محلی (LST) ارتفاع وآزیموت آنها در لحظه ی نـشانه روی بایـد تهیـه شود.معمولا به این چارت نیز عنوان لیست مشاهدات تعـین طـول جغرافیـائی نجـومی اطـلاق مـی شود.زیرا این چارت ماحصل این مرحله از کار است.

جدول پیش انتخابی

با استفاده از حدود تعین شده ی ارتفـاع وآزیمـوت ومعلـوم بـودن عـرض جغرافیـائی تقریبـی (Φ)،این جدول تهیه می شود که زاویه سـاعتی (h) و میـل سـتارگان (δ) را بعنـوان تـوابعی از ارتفاع (α) و آزیموت (A) را بدست می دهد . فرمولهائی که اسـاس تهیـه ایـن جـدول هـستند، عبارتند از :

$$\sin\delta = \sin\phi\sin a + \cos\phi\cos a\cos A \qquad (۱-۱۲)$$

$$\cos h = \frac{\sin a - \sin\phi\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta} \qquad (۱-۱۳)$$

در تعین این جدول (شکل ۴-۱) فقط مقادیر چهار گوشه جدول با استفاده از فرمولهـای فـوق محاسبه می شوند . این جدول دو بخش شرقی و غربی از آسمان را در حدود میل ستارگان مناسب برای مشاهدات نشان می دهد واین ستارگان در زمانها،ارتفاعات و آزیموتهای معین شده در جـدول به این دو ناحیه از آسمان وارد و از آن خارج می شوند .

در شرق ، ارتفاع وآزیموت دائما در حال تزاید وزاویه ساعتی درحال تنزل است . بنابراین سـتاره های شرقی یا در ردیف بالای جدول وارد واز ستون سمت راست خارج می شوند ویا از ستون سمت چپ وارد واز ردیف پائین خارج می گردند و یا از ستون چپ وارد واز ستون راست خارج می شوند . ستارگان غربی در جهت عکس ذکر شده در فوق حرکت می نمایند زیرا ارتفـاع و آزیمـوت آنهـا در حال کاهش و زاویه ساعتی آنها در حال افزایش است *.

با توجه به این مطلب در می یابیم که مقادیر زوایای ساعتی و میل سـتارگان منـدرج در چهـار گوشه جدول پیش انتخابی حدود مسیرظاهری بخشی از آسمان که مورد مشاهده برای تعین طـول جغرافیائی نجومی است را تعین می نمایند و به طوری که فوقا اشاره شد برای تعین ایـن مقـادیر از روابط (۱۳ - ۱) و (۱۲ - ۱) استفاده می شود . (شکل ۶-۱) ودر تهیه این جدول کافیست که علاوه بر مقادیر چهار گوشه ، مقادیر میانی هر یک از سطر ها وسـتـون ها نیز با فرمول های مزبـور محـــاسبه وسپس مقـــادیر بین آنهـــا میـان یا بی (inter polation) تعین گردند.

* به منظور ایجاد تسهیل در تدوین جدول پیش انتخابی مبداء زاویه ساعتی نصف النهار محل ولی درحدود ستارگان شرق جهـت ایـن زاویـه در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت . ودر مورد ستارگان غربی هم جهت با گردش عقربه های ساعت در نظر گرفته مـی شـود . وبـدین ترتیب همواره مقدار آن کمتر از دوازده ساعت خواهد بود. همچنین به همین منظور جهت آزیموت ستارگان شـرقی وغربـی نیـز مخـالف بـا یکدیگر در نظر گرفته می شوند .

نکته ای که در ارتباط با این جدول حائز اهمیت است ،اینست که باید هدف از تهیه ان و نقشی را که آن در انجام مشاهدات ایفا می نماید بخوبی درک شود . اولا بخشهائی از آسمان در شرق وغرب را که ابن جدول ارئه می دهد ، باید بتوان تصور نمود . ثانیا باید به خاطر داشت که با میل یک ستاره می توان به جدول رجوع وزاویه ساعتی ، ارتفاع وآزیموت ستاره را در دو نقطه تعین نمود .در ارتفاعی که جدول شکل ۴-۱ نشان می دهد یعنی 40 درجه ستارگان مسیری قطری را البته با توجه به وضعیت دو نقطه پایانی آنها که به میل ستاره بستگی دارد در جدول می پیمایند . در عرض های جغرافیائی کمتر مسیر ظاهری ستاره در جدول مستقیم تر خواهد بود که البته تغییر در آزیموت کم وتغییر در ارتفاع سرعت بیشتری خواهد داشت . در استوا یا جائیکه میل ستاره نزدیک صفر درجه باشد عملا تغییری در آزیموت وجود نخواهد داشت.

روش مشاهدات چنین ایجاب می کند که ستاره حداقل به مدت پنج دقیقه در منطقه ای از آسمان که بوسیله ی جدول مشخص می شود و منطقه ی مشاهدات است واقع باشد.ولی عملا مسیر چنین ستاره ای به علت کوتاهی زیاد در جدول ترسیم نمی شود و معمولا ستارگانی برای مشاهده انتخاب می گردند که حداقل به مدت ده دقیقه دربخش مورد مشاهده در آسمان واقع باشند .بنابراین ستارگانی با میل نزدیک به میل های حدی مندرج در جدول ۴ – ۱ یعنی $27^\circ 40'$ و $15^\circ 17'$ به علت کوتاهی مسیرشان ، مفید برای مشاهده نیستند و انتخاب نمی شوند .

با مقایسه دو زاویه ساعتی مرتبط با ستاره ای به میل $16^\circ 30'$ ملاحظه می شود که این ستاره حدود ده دقیقه در حوزه ی مورد مشاهده از آسمان مسیر خواهد داشت و همچنین دیده می شود که آن قسمت از جدول که میل ها زیاد است ستاره با میل بیشتر از $26^\circ 45'$ مفید برای کار نیستند.بنابراین ستارگانی با حدود میل $26^\circ 45'$ و $16^\circ 30'$ در لیست وارد می شوند.(شکلهای شماره ی b ۵ – ۱ و a ۵ – ۱) و مسیر آنها ترسیم می شود . (شکل ۶ – ۱) تا سپس مسیر ربع شرقی یا غربی آنها نیز ترسیم گردد . اشکال زیر براساس کاربرد این روش برای ترسیم مسیر ستاره های مناسب برای مشاهدات مربوط به تعین طول جغرافیائی نجومی بصورت زوج ستاره ها تهیه گردیده است.

لیست ستارگان قابل دسترس شرقی وغربی

قبل از ثبت ستارگان قابل مشاهده و قابل حصول در لیست باید زمان نجومی تقریبی را برای تاریخ مورد نظر و طول جغرافیایی تقریبی و زمان شروع محاسبه نمود.به عنوان مثال در نقطه ای به عرض وطول جغرافیائی تقریبی 40^0 و 80° غربی (برحسب زمان ، 05^h20^m)مشاهدات برای اول ماه می 1963 طراحی شده است.زمان غروب تقریبی محل 19^h15^m و LST متناظر با این زمان برابر با 09^h32^m بوده است.با اضافه نمودن 04^h07^m (زاویه ساعتی تقریبی برای تمام ستارگان در عرض جغرافیائی 40^0) در دایره ی قائم اولیه با بعد اولین ستاره 13^h39^mبه دست می آید.با کاستن زاویه ساعتی برابر با 04^h07^m از LST بعد تقریبی اولین ستاره ی غربی در این عرض جغرافیائی ودر دایره ی قائم اولیه حاصل می شود.

ستارگان با در نظر داشتن حدود میل مذکور در فوق و بعد بیشتر از بعد اولین ستارگان محاسبه شده در بالا از جدول APFS انتخاب می شوند . البته باید در انتخاب ستارگان به میـزان روشـنائی آنها نیز توجه داشت واز انتخاب ستارگان با mag بیشتر از 6 خودداری نمود.

پس از ثبت ستارگان سه پارامتر در ورود وخروج هر ستاره بایستی از جدول پیش انتخابی میـان یابی شونده برای تعیین این پارامترهـا در مـورد سـتاره شـماره ی 513 از لیـست سـتارگان قابـل دسترس ، میل $18^\circ35'$ بعنوان مبنای این انتخاب به کار رفته است.این میل در ستون سمت چپ با استفاده از ارتفاع 30° وآزیموت بین 90° و 91° و زاویه ساعتی 04^h25^m یافته شده است.بـا میـان یابی آزیموت این ستاره برابر با $90^\circ + (10.24\times60') = 90^\circ14'$ بدست آمـده اسـت. همچنـین ایـن میل $(18^\circ35')$ در ردیف پائین جدول نیز دیده می شـود ولـی ایـن بـار بـا آزیمـوت 95° و ارتفـاع $35^\circ + (17.35\times60') = 35^\circ29'$ و زاویه ساعتی 03^h56^m.این مقادیر یعنی ارتفاع ، آزیموت و زاویـه ساعتی این ستاره در ستونهای مربوط در لیست ستاره گان قابل دسـترس وارد مـی شـوند . LST مربوط به ورود وخروج با استفاده از فرمولهائی که در گوشه سمت راست وبالای این لیـست نوشـته شده ، محاسبه شده اند .

با استفاده از این میان یابی ها وضعیت هر ستاره در دو نقطه از مسیرش مشخص گردیده و با ترسیم این قطعه از مسیرها (شکل ۶ – ۱) موقعیت تقریبی هر ستاره را می توان در هـر لحظـه از زمـان سیرش در بخش مورد مشاهده ازآسمان تعین نمود.

لیست طول جغرافیائی نجومی

برای ترسیم مسیر ستاره ها چارتی با استفاده از ارتفاع و زمان نجـومی محلـی بعنـوان پـارامتر تهیه می شود و آزیموت آنها در لحظات مختلف برروی این مـسیرها مـشخص ونوشـته مـی شـود

(شکل 1-6)،ارتفاع را تبدیل به مقادیر مناسب برای مشاهدات ارتفاعی دوربین T3 نمـوده (ارتفـاع بردو تقسیم شده و 90^{0} به آن اضافه شود)وآزیموت به عنوان مقداری که باید به لمب افق دوربین بسته شود برروی مسیر ستاره نوشته می شوند . مسیر تمام ستاره ها ی قابل دسترس جز در حالتی که دو ستاره مسیر ی یکسان را نسبت به سیستم مختصات زمان – ارتفاع طـی نماینـد در چـارت ترسیم می شوند ، در چنین حالتی ستاره ای که روشنائی کمتری دارد حذف می شود .

وقتی مسیر تمام ستاره ها ترسیم شد تقاطع بین مسیر ستاره های شرق وغـرب یادداشـت مـی شوند . در چنین نقاطی ستارگان شرقی و غربی در یک زمان بـه ارتفـاع مـساوی مـی رسـند . زوج ستاره های شرقی و غربی معمولا از ستاره گانی که مسیرشان یکدیگر را قطع می کنند انتخاب مـی شوند . در بعضی حالات زوج ها ممکن است از ستاره هائی کـه مـسیرشان یکـدیگر را قطـع نمـی نمایند انتخاب شود .ولی انتخاب حالت اول مرجح است.

پس از ترسیم مسیر ستاره ها آزیموت ستاره ها با تقسیمات $10'$ کنار هر مسیرنوشته می شود. این کار به سادگی امکان پذیر است زیرا آزیموت هر ستاره در دونقطـه انتهـائی از مـسیر آن معلـوم است و می توان اختلاف آزیموت آن در این دو نقطه را متناسب با طول مسیر تقسیم نمود . پس از ترسیم مسیر تمام ستاره مرحله ی بعد انتخاب زوج ستاره هااست که در این مرحله علاوه بر مطلب فوق باید زمان کافی را نیز برای انجام مشاهدات بعنـوان پـارامتری در نظـر داشـت . در شـکل (۶-۱)زوج ستاره های ممکن با خطوط ضخیم تری مشخص گردیده اند و آزیموت یک سـتاره شـرقی ، یک ستاره غربی نشان داده شده است .

گاها چنانچه مسیر ستاره ای بقدری طولانی باشد که با مسیر چنـدین سـتاره در طـرف مقابـل تقاطع داشته باشد می توان از آن بیش از یک بار برای انجام مشاهدات استفاده نمود.

۳ – ۱ مراحل انجام مشاهدات

کنترل زمان در تعین طول جغرافیائی (Λ) از اهمیت بـسیاری برخـوردار اسـت.بـا اسـتفاده از کرنوگراف می توان بصورت اتوماتیک بافشار دگمه ای که در دست ناظر قرار دارد ، می تـوان زمـان مشاهدات را ثبت نمود .

اگر عرض جغرافیائی ایستگاه بیشتر یا کمتر از عرضی باشد که جدول مشاهدات برپایـه ی آن تهیـه گردیده باید یکی از پارامتر های مشاهدات ستاره تغییر نماید لیست بـا عـرض جغرافیـائی ایـستگاه هماهنگ گردد. آسان ترین پارامتر برای تغییر آزیموت است زیـرا ایـن پـارامتر مـستقل از زمـان و ارتفاع ستاره در گراف وارد شده است . اگر لیست برای عرض جغرافیائی 40° تهیه گردیده و عـرض جغرافیائی ایستگاه $40^{\circ}30'$ است برطبق یک تقریب کلی می توان آزیمـوت را بمیـزان $20'$ تغییـر داد. با محاسبه می توان دریافت که ستاره ای با میل $(18^{\circ}45')$ در لیست عرض جغرافیـائی 40° در ارتفاع 30° وآزیموت 90° (رجوع شود بـه شـکل ۴ – ۱) ، در عـرض جغرافیـایی $40^{\circ}30'$ دارای آزیموت $90^{\circ}17'$ خواهد بود.بنابراین برای یک ستاره شرقی میزانی که به لمب افقی دسـتگاه بـسته شده بایستی $17'$ افزایش داده شود.

ثبت اطلاعاتی زاویه ای

در اشکال ۷ – ۱ الی ۱۰ – ۱ نمونه هائی از کلیه مشاهدات زاویه ای لازم نمایش داده شده است.

استقرار دستگاه

برنامه مشاهدات با کنترل دستگاه تئودولیت بمنظور تحقیق در کارکرد همزمان وهماهنگ دایره قائم و تراز دایره قائم شروع می شود . تراز افقی دستگاه دقیقا تراز شده و یک نشانه روی قائم بروی نقطه ای واقع در افق انجام می پذیرد وسپس شانه های ۸ تراز دایره قائم دستگاه برهم منطبق و قرائت قائم بعمل می آید وبعد دوربین معکوس و عملیات فوق تکرار و مجددا ارتفاع نقطه تعین می گردد. با برگرداندن تئودولیت به وضعیت نخست تراز افقی دستگاه چندین تقسیم از حالت قبل منحرف می شود ودر این حالت یک کوپل قرائت دیگر مانند آنچه که در بالا ذکر شد انجام می پذیرد و مجددا ارتفاع نقطه محاسبه می گردد. (شکل ۷ – ۱) اگر دو ارتفاع حاصل از دو کوپل حدود 2 تا3 ثانیه با یکدیگر متوافق باشند دستگاه مناسب کاروالا می باید دستگاه باشد و لیست دیگری که به درستی عمل نماید تعویض گردد. خطای کرلیماسیون دستگاه چنانچه مجموع قرائت های دایره بچپ ودایره به راست افقی بیش از یک دقیقه از 180^0 اختلاف داشته باشد بایستی در این موقع حذف گردد.

توجیه تئودولیت در نصف النهار محل

در نیمکره ی شمالی برای انجام این عمل آزیموت ستاره قطبی برای لحظه ای از زمان نجومی محل در آینده محاسبه شده و به لیست افقی دستگاه بسته می شود و از حدود پنج دقیقه قبل از این زمان به ستاره قطبی نشانه روی شده یعنی آن را داخل تلسکوپ دوربین آورده و حدود یک دقیقه قبل از لحظه ای که محاسبه ی آزیموت برای آن انجام شده ، بایستی محل برخورد تارهای رتیکول را بر ستاره قرار داده و منظما این حالت را حفظ و درست در راس آن لحظه تعقیب ستاره را قطع نمود.در چنین حالتی صفر لمب جهت شمال ایستگاه را نشان می دهد.

خارج از ایستگاهی

اگر ناچارا مشاهدات باید در ایستگاهی جز ایستگاه اصلی انجام پذیرد ، باید پس از توجیه تئودولیت نسبت به شمال یک زاویه ی افقی به ایستگاه اصلی قرائت شود و فاصله ی ایستگاه استقرار و ایستگاه اندازه گیری شود (شکل ۷ – ۱).

مشاهدات مربوط به تعیین Λ

مواردی که در ارتباط با سنجش زمان چه در تعیین Δ و چه در تعیین Φ ذیلا ملاحظه می شود بر پایه ی استفاده از کرنوگراف های مدرن الکترونیکی که به طور اتوماتیک قادر به ثبت علائم رادیویی زمان و ثبت زمان لحظه هایی است که به طور دستی دگمه های مخصوص تعبیه شده بر آن ها فشار داده شود.ذکر این مطلب بدین مناسبت است که در اغلب دستور العمل های نجومی سیستم زمان سنجی با اساس استفاده از کرنوگراف های مکانیکی – الکتریکی بیان گردیده که اکنون از رده خارج شده اند و مورد استفاده واقع نمی شوند.

برای آماده نمودن دستگاه کرنوگراف کافیست رادیو و کرنوگراف را به آداپتور وصل نموده و گیرنده ی رادیویی را یک دقیقه قبل از شروع ارسال زمان از رادیو اجازه داد به مدت یک دقیقه علائم رادیویی زمان بر روی کرنوگراف ثبت گردد.سپس می توان رادیو را خاموش نمود و با یک ماژیک ظریف زمان UT متناظر با اولین زمان ثبت شده بر کاغذ کرنوگراف را بر روی آن یادداشت و پس از خاتمه ی عملیات نیز این کار را تکرار کرد.انجام این کار به دو منظور صورت می گیرد :

الف) تعیین زمان خورشیدی تقریبی نصف النهار ایستگاه مشاهدات که با جمع نمودن UT با طول جغرافیایی تقریبی ایستگاه صورت می پذیرد.

ب) تعیین میزان rate کرنوتر تعبیه شده در کرنوگراف در مدت زمان عملیات و اعمال آن به عنوان تصحیح به زمان های حاصله است.

در اینجا لازم به تذکر است که چون در سیستم وسایل جدید نجوم ژئودتیک عموما کرنومتری که نشان دهنده ی زمان نجومی محل باشد ، وجود ندارد لازم است در گراف مسیر ستاره ها (شکل ۶ – ۱) به موازات محور LST خطی ترسیم شده و زمان خورشیدی متناظر با زمان های نجومی شروع و خاتمه عملیات بر روی نوشته شود و سپس مقادیر بین آن ها میان یابی گردد تا بتوان این گراف را بدون داشتن کرنومترهای نشان دهنده ی زمان نجومی میز مورد استفاده قرار داد.

در مورد مشاهدات مربوط به تعیین Φ و Δ تقدم و تاخری نمی توان قائل شد و می توان هر یک را به دلخواه زودتر انجام داد.اگر قرار است ابتدا مشاهدات طول جغرافیایی نجومی انجام پذیرد ، نویسنده ی اکیپ لیست مشاهدات را چک کرده و زوایای ارتفاعی و افقی ستاره ی مورد نظر را به مشاهده کننده اعلام می نماید و او این مقادیر را به دایره های قائم و افق تئودولیت می بندد.همچنین میزان روشنایی ستاره از طرف نویسنده تذکر داده می شود.وقتی ستاره در تلسکوپ ظاهر شد ، مشاهده کننده به عنوان میزان روشنایی تقریبی (may) ستاره را اعلام می کند و ستاره را که در حال نزدیک شدن به تار افق رتیکول است در نزدیکی مرکز تلسکوپ حفظ می کند.وقتی ستاره در چند ثانیه ای محل برخورد تارها است ، ناظر دست خود را از دستگاه تئودولیت برداشته و زمانی که ستاره با تار افقی نصف شد ، دکمه ای را که دست دارد و به وسیله ی آداپتور به کرنوگراف وصل است فشار می دهد.سپس شانه های تراز لمب قائم را منطبق و قرائت قائم را انجام می دهد و برای اطمینان این تراز را به هم زده و مجددا شانه های مزبور را بر هم منطبق و قرائت را انجام می دهد (شکل های ۱۰ ، ۹ و ۸).این عمل برای چهار نشانه روی متوالی تکرار و در

آخر یک قرائت افقی نیز انجام می گیرد.سپس تئودولیت با استفاده از قرائت افقی مزبور معکـوس و چهار قرائت زاویه ی ارتفاعی به شرح فوق به اضافه ی یک قرائت افقی همراه با قرائت اول قائم انجام می پذیرد.اولین قرائت دایره به چپ با اولین قرائت دایره به راست ترکیب شده و به همین ترتیب در مورد سایر قرائت ها عمل می شود به طوری که چهار وضعیت کامل از نشانه روی به روی یک ستاره به دست آیند.

هر بار که یک نشانه روی انجام می گیرد و دکمه فشار داده می شود ، نویسنده ی اکیپ ساعت و دقیقه ی آن را همراه با قرائت زوایا یادداشت می کند.در ضمن توصیه می شـود کـه نویـسنده بـا گذاردن علامتی بر روی کاغذ کرنوگراف مشخص نماید که این زمان مربوط به کدام قرائت است.

دیگر مشاهدات

برای مشاهدات مربوط به تعیین طول جغرافیایی قبل و بعد از انجام مشاهدات باید قرائت هـای مربوط به درجه حرارت و فشار بارومتریک در مـورد هـر یـک از سـتاره هـا ی زوج انجـام گرفتـه و یادداشت شود.در مورد عرض جغرافیایی بارومتر و حرارت سـنج بایـستی قبـل و بعـد از هـر چهـار وضعیت بر روی ستاره قرائت گردند.

مشاهدات مربوط به تعیین عرض جغرافیایی نجومی

اگر قرار است از ستاره ی قطبی به عنوان ستاره ی شمالی استفاده شود ، برنامـه ی مـشاهدات باید بدین شرح انجام پذیرد :

چهار نشانه روی بر روی ستاره ی قطبی (شـکل ۹) ، هـشت نـشانه روی بـر روی یـک سـتاره ی جنوبی (شکل ۱۰).با تعداد مساوی نشانه روی قبل و بعد از عبور ستاره از نـصف النهـار و مجـددا چهار نشانه روی بر روی ستاره ی قطبی.تمام مشاهدات به صورت سری بدین صورت انجام می گیرد : CL (دایره به چپ) ، CR (دایره به راست) ، CR ، CL ، CL ، CR تا زمانی که تعـداد لازم مشاهدات حاصل شود.

اگر ستارگان شمالی و جنوبی حول نصف النهاری مورد استفاده قرار گیرند ، هر یک را می توان به دلخواه اول شروع نمود.برنامه ی مشاهدات چنین ایجاب می نماید که حد اقل در هشت وضعیت بر روی ستارگان نشانه روی گردد.به طوری که تعداد نشانه روی ها قبل و بعد از عبور ستاره از نصف النهار محل مساوی باشند.و تا حد امکان این نشانه روی ها از نظر زمانی به زمان عبور ستاره از نصف النهار محل نزدیک باشند.اختلاف زمان بین بعد این ستاره ها نباید از ۳۰ دقیقـه بیـشتر باشـد.اگـر مشاهدات هر یک از ستارگان حول نصف النهاری در زمانی خیلی دورتر از زمان عبورشـان از نـصف النهار محل انجام پذیرد ، تعداد مشاهدات بیشتر از هشت نباشد.

مانند حالت مشاهدات مربوط به تعیین طول جغرافیایی پس از هز بار نشانه روی شانه های تراز قائم بر هم منطبق شده و سپس قرائت قائم انجام می پذیرد.در این مورد نیز زمان نصف شدن ستاره با تار افق رتیکول با فشار دادن دکمه ی مخصوص بر روی کرنوگراف ثبت می شود.

۴ – ۱ محاسبات Φ و Δ

محاسبات مقدماتی

مختصات نجومی یک ایستگاه درجه دو بر اساس مشاهدات زوایای قائم به وسیله ی فرمول هایی که مستقیما از مثلثات کروی استخراج شده اند ، محاسبه می شوند.فرمول های زیر در تعیین طول جغرافیایی به کار می روند :

$$\cos\left(90^\circ-\alpha\right)=\cos\left(90^\circ-\phi\right)\cos\left(90^\circ-\delta\right)+\sin\left(90^\circ-\phi\right)\sin\left(90^\circ-\delta\right)\cos h$$

و یا

$$\sin a=\sin\phi\sin\delta+\cos\phi\cos\delta\cos h$$

و

$$\sin h=\frac{\sin a-\sin\phi\sin\delta}{\cos\phi\cos\delta}$$

فرمول های تعیین عرض جغرافیایی نجومی نیز از مثلثات کروی قابل حصول است و لی به علت اینکه کمی این فرمول ها پیچیده هستند ، از ارائه ی آن ها در این دستور العمل خود داری می شود.

درمحاسبات مربوط به تعیین Λو Φ (شکل های ۱۳ ، ۱۲ ، ۱۱ – ۱) تعدادی وارد مشترک وجود دارد.اولین آن ها تصحیح انکسار است که باید به ارتفاعات مشاهده شده اعمال شود.ضرایب (C_B) و (C_T)که مربوط به فشار بارومتریک و حرارت است ، در جداول ۲ و ۱ یافت می شوند که باید پس از ضرب در یکدیگر حاصل آن را در انکسار متوسط که با استفاده از ارتفاع مشاهده شده تا حد دقیقه و از جدول شماره ی ۳ به دست می آید ، ضرب شود.انکسار به دست آمده به ارتفاع مشاهده شده اعمال می شود و ارتفاع واقعی به دست می آید.

تاریخ مشاهدات با استفاده از مبدا متوسط مشاهدات تا تقریب دهم روز باید محاسبه شود.اگر طول مدت مشاهدات کمتر از سه ساعت باشد زمان یکسان در تمام محاسبات به کار خواهد رفت و موقعیت ستاره با میان یابی از جدول APFS که مختصات ستارگان را به استثنای ستارگان حول قطبی برای فواصل ده روزه دارد.

مختصات ستارگان حول قطبی برای هر روز در عبور بالایشان از نصف النهار گرینویچ در این جداول داده شده است.بنابراین اگر این جدول برای مختصات ستاره ی قطبی مورد استفاده واقع می شود کسر یک روز قبل از میان یابی تعیین شود.به هر حال مختصات ستاره را رد زمان متوسط مشاهدات با میان یابی از جدول APFS می توان به دست آورد.سپس تصحیحات مربوط به تاثیر عملیات پریود کوتاه نوتاسیون (nutation) را با فرمول های زیر محاسبه و به آن ها اعمال نمود.

$$\Delta\alpha=\left[d\alpha(\psi)\right]d\psi+\left[d\alpha(\varepsilon)\right]d\varepsilon$$

$\Delta\delta = [d\delta(\psi)]d\psi + [d\delta(\varepsilon)]d\varepsilon$

ضرایب $d\varepsilon$ و $d\psi$ عبارات پریود کوتاه در طول و میل اکلیپتیکی هستند و د رجدول شماره ی ۱ از جدول APFS یافت می شوند.در نمونه های مثال (اشکال ۱۳ ، ۱۲ ، ۱۱ – ۱) که نمونه هایی از محاسبات تعیین Δ و Φ با استفاده از کرنوگراف های مکانیکی – الکتریکی تصحیح کرنومتری (choron . corn) در برگ های محاسبات داده شده که این ردیف در محاسبه ی مختصات با استفاده از وسایل جدید تنها به تصحیح rate کرنومتر تعبیه شده در کرنوگراف اختصاص می یابد و باید توجه داشت که در این نمونه های محاسباتی در مورد ارتفاع از حرف h که ما آن را برای زاویه ی ساعتی به کار برده ایم و برای نشان دادن زاویه ی ساعتی از حرف t استفاده شده است.بنابراین در مطالعه ی این نمونه ها باید به این مطلب کاملا توجه داشت .در شکل ۱۱ – ۱ فاصله ی زمانی بین مشاهدات مربوط به دایره به چپ و دایره به راست در ردیف Δ T وارد شده است.برای تعیین تصحیح انحنای مسیر در ΔT که بخشی از $m = \frac{2\sin^2 \frac{1}{2}t}{\sin 1''}$ است و با m_1 نشان داده شده است ، به جدول شماره ی 4 مراجعه و با استفاده از ΔT مقدار آن را یافته و سپس با مراجعه به جدول 5 و استفاده از زاویه ی ساعتی که در این نمونه ها با t نشان داده شده است قسمت دیگری از m که با m_2 نشان داده شده است یافته و سپس m_1 و m را جمع می نماییم تا m به دست آید و سپس همان طور که در این نمونه ذکر گردید ، آن را در A که برابر است با $A = \frac{\cos\delta\cos^2\phi}{\cosh}$ ضرب می نماییم.Am حاصل که تصحیح مسیر است به ارتفاع ستاره اضافه و ارتفاع حقیقی ستاره یعنی h' در مورد ستارگان حول نصف النهاری به دست می آید.لازم به یادآوری است که فرم ۱۸ – ۱ مربوط به تعیین Φ با استفاده از ستاره ی قطبی به عنوان ستارهی شمالی و فرم ۱۱ – ۱ مربوط به تعیین Φ با استفاده از یک ستاره ی جنوبی است و فرم ۱۳ – ۱ مربوط به تعیین Δ با مشاهده ی یک ستاره ی شرقی و یک ستارهی غربی است.

در فرم ۱۱ – ۱ ، Φ از h' متوسط و میل ستاره به وسیله ی معادلاتی که در زیر فرمول های مربوط به ستارگان حول نصف النهاری در پایین فرم محاسبه می شود.

محاسبه ی مربوط به تعیین Φ باید قبل از محاسبه ی Λ انجام گرفته و مقدار حاصله در محاسبه ی Λ مورد استفاده واقع شود.

روش مشاهدات باعث ایجاد خطای کوچکی در نتایج طول جغرافیایی حاصله می شود.زیرا انحنای مسیر ستاره در زمان بین وضعیت های دایره به چپ و دایره به راست دوربین نمی تواند در این مورد بی تاثیر باشد.میزان این تصحیح به آزیموت متوسط ستاره و زمان متوسط بین دایره به چپ ها و دایره به راست ها بستگی دارد.آزیموت با تقریب دهم درجه و فاصله ی زمانی تا تقریب دهم دقیقه در تعیین این تصحیح که با فرمول زیر محاسبه می شود ف به کار می روند :

$$\Delta\lambda_C = \text{تصحیح انحناء}$$

$$= -\frac{(\Delta t)^2 \cos\phi \cos A}{2}(\tan h \cot A - \tan\phi \operatorname{cosec} A) 15 \sin 1''$$

که در آن $\Delta\lambda_C$ تصحیح مربوط به $\Delta\lambda$ و Δt نصف فاصله ی زمانی دایره به چپ و دایره به راست بر حسب ثانیه است.

مشاهدات Δ به طور خلاصه در شکل ۱۴ – ۱ داده شده و از چهار $\Delta\lambda_e$ (اختلاف طول جغرافیایی حاصل از طول جغرافیایی تقریبی با استفاده از یک ستاره ی شرقی) و چهار $\Delta\lambda_\omega$ (غربی) جداگانه متوسط گرفته شده و مقدار $\frac{1}{2}(\Delta\lambda_e - \Delta\lambda_\omega)$ از هر یک از $\Delta\lambda_e$ ها کم و به هر یک از $\Delta\lambda_\omega$ اضافه گردیده و این عمل برای کاهش تاثیرات در نظر گرفته نشده ی انکسار انجام می پذیرد.سپس $\Delta\lambda$ نهایی محاسبه و خطای احتمالی محاسبه می گردد. $\Delta\lambda$ متوسط به طول جغرافیایی نجومی تقریبی که در دست است اعمال می شود تا طول جغرافیایی نجومی حاصل گردد.تصحیح ابریشن روزانه به فرمول زیر محاسبه می شود :

(h زاویه ی ساعتی است) $D.A. = 0.319\cos\varphi\sec\delta\cos h$

که برای طول های جغرافیایی شرقی مقدار آن مثبت است.همچنین تاخیر زمان موجب ایجاد خطایی می شود یعنی وقتی زمان از فرستنده ارسال می شود مدتی می گذرد تا در دستگاه گیرنده دریافت شود که این تصحیح نیز با داشتن مختصات تقریبی فرستنده قابل محاسبه است و پس از محاسبه باید به طول جغرافیایی نجومی محاسبه شده ی نهایی اعمال گردد.همچنین اگر خارج از ایستگاهی وجود داشته باشد ، باید مختصات ایستگاه اصلی با محاسباتی که اغلب با آن آشنایی دارند و با استفاده از مختصات حاصله در ایستگاه فرعی محاسبه گردد.

$$h_A = b\cos\phi + a\sin\phi$$
$$\delta_A = b\sin\phi - a\cos\phi$$

و فرمول z را به صورت

$$Z = h_A + \delta_A \tan\delta + \cos ec\,\delta$$

خواهیم داشت.این رابطه به فرمول بسل (Bessel) موسوم است و مقدار تصحیحی که باید به زمان نجومی متناظر با لحظه ی عبور ستاره از نصف النهار اضافه نمود (تا خطای حاصل از دو نصف النهار واقع نبودن تئودولیت جبران شود) از آن محاسبه می شود.با جایگذاری ۴ در ۵ چنین خواهیم داشت :

$$Z = a\sin(\phi-\delta)\sec\delta + b\cos(\phi-\delta)\sec\delta + \cos ec\,\delta$$

این رابطه ، فرمول مایر (Mayer) نامیده می شود.معمولا ضرایب این معادله به صورت زیر خلاصه می شوند :

ضریب آزیموت $A = \sin(\phi-\delta)\sec\delta$

ضریب تراز $B = \cos(\phi-\delta)\sec\delta$

ضریب کولیماسیون $C = \sec\delta$

با توجه به مطالب فوق فرمول مایر به صورت

$$Z = Aa + Bb + Cc$$

خلاصه می شود.

فرمول های ۷ ، ۶ و ۵ در حالت نشانه روی به ستاره در عبور بالا به کار می روند.برای حالت عبور پایین (   ) به جای δ ، δ − ۱۸۰ به کار می رود.بنابراین A به جز برای ستارگان بین سمت الراس و قطب مثبت و B . C به جز برای ترانزیت پایین مثبت خواهند بود.

خطای c با قرائت های دایره به چپ و راست حذف می شود و خطای δ با فرمول زیر که در آن Δw مجموع قرائت های غربی تراز و ΔE مجموع قرائت های شرقی تراز و d نشان دهنده ی ارزش تقسیمات است ، محاسبه شود.

$$b = (\Delta W - \Delta E)\, {}^{d}\!/_{60}$$

برای استقرار دوربین در نصف النهار محل حالت کلی زیر را در نظر می گیریم :

در این شکل محور دیدگانی دوربین به علت عدم استقرار دوربین در نصف النهار محل دایره ی ساعتی ستاره و نصف النهار محل را قطع نموده به طوری که دو ستاره ی A , B که به فرض دارای بعد مساوی هستند یکی قبل از رسیدن به نصف النهار به محور مزبور (ستاره ی B) و دیگری پس از عبور از نصف النهار به آن محور برخورد می نماید.

چنانچه کرنومتر نشان دهنده ی زمان خورشیدی محل (LMT) باشد که البته لازمه اش این است که طول جغرافیایی واقعی ایستگاه معلوم باشد و در این مرحله از عملیات طول جغرافیایی تعیین نشده و خود جزو مجهولات است و بنابراین تناه می توان زمان تقریبی خورشیدی محل را محاسبه و کرنومتر را بر طبق آن تنظیم نمود.اگر خطای کرنومتر را که ناشی از عدم اطلاع از مقدار دقیق طول جغرافیایی است با ΔT نشان داده.چنانچه به دو ستاره شمالی و دیگری جنوبی نشانه روی کرده و زمان برخورد ستاره ها را با تار قائم رتیکول ثبت کنیم ، با توجه به اینکه در زمان عبور ستاره از نصف النهار محل بعد ستاره با زمان نجومی محل مساوی خواهد بود ، چنین خواهیم داشت:

$$\Delta T + Aa + Bb + Cc - (\alpha - t) = 0$$

(t زمان نجومی لحظه ی فوق الذکر و α بعد ستاره است).

اگر دوربین دقیقا تراز و فاقد خطای کولیماسیون باشد ، در مورد دو ستاره ی مزبور می توان دو رابطه ی زیر را نوشت :

$$\Delta T + Aa - (\alpha_N - t) = 0 \qquad \text{(ستاره ی شمالی)}$$

$$\Delta T + Aa - (\alpha_s - t) = 0 \qquad \text{(ستاره ی جنوبی)}$$

برای تعیین A علاوه بر رابطه ی ذکر شده جداولی نیز موجود است.پس از قرار دادن مقادیر A مربوط به دو ستاره ی شمالی و جنوبی می توان دو معادله ی دو مجهولی که در آن ΔT و a مجهولات هستند حل نموده و مجهولات را تعیین نمود.

مثال : برای یک ستاره ی جنوبی $(\alpha - t) = +17.5^s$ و 10.53 و برای یک ستاره ی شمالی $(\alpha - t) = +2.8^s$ و $A = -0.66$. معادلات عبارتند از :

$\Delta T + 0.53a - 17.5^s = 0$ ستاره ی جنوبی

$\Delta T - 0.66a - 2.8^s = 0$

$a = +12.4^s = 186'' = 03'06''$

$\Delta T = +10.9^s$ و

چنانچه دوربین را به تقریب در نصف النهار محل قرار داشته باشیم و نتیجتا به شکل صفحه ی قبل رسیده باشیم ، a مقدار تصحیحی است که خطای واقع نبودن تلسکوپ دوربین را به حدود یک ثانیه ی زمانی تقلیل می دهد.

مقدار ΔT را می توان به عنوان مقدار ترسیمی طول جغرافیایی تقریبی ایستگاه که معمولا از نقشه های جغرافیایی به دست آمده محسوب نمود.یعنی با اعمل آن به طول جغرافیایی تقریبی به طول جغرافیایی تقریبی بسیار بهتری رسید.