



جزوه نجوم ژئودتیک

ترجمه و تألیف جناب آقای مهندس محمد کریم



انجمن علمی نقشه برداری دانشگاه زنجان

تهیه شده توسط

آقای مهندس سید محمد قادر زرین کیا

آقای مهندس احسان زارعی

آقای مهندس سید مجتبی شهابی

آقای مهندس حامد افشارنیا

و با تشکر از مهندس فرید اسماعیلی

۱۳۸۵



۱

مقدمه

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

نجوم ژئودزی طبق تعریف [Mueiler , 1769] هنر و علم تعیین موقعیت نقاط واقع بر سطح زمین و آزمون خطوط ژئودتیکی که این نقاط را به یکدیگر وصل می نماید، بوسیله مشاهدات نجومی می باشد.

این کتاب در اصل برای آموزش نجوم ژئودزی برای دانشجویان دوره لیسانس مهندسی نقشه برداری نوشته شده که با حذف پاره ای از مطالب می تواند برای دانشجویان دوره های پائین تر مورد استفاده قرار گیرد. نیاز مهندسان نقشه بردار به آگاهی بر نجوم ژئودزی امری است واضح ولی برای آشنایی با 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 مورد مطالعه قرار خواهد گرفت اشاره می شود.

i) اطلاعات و معلوماتی 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.

ii) سیستم های مختصات سماوی ارتباط بین سیستم های مختصات زمینی و ماهواره ای را برقرار و بیان می کنند.

iii) مفاهیم زمان برای منظورهای ژئودتیک بیان خواهند گردید.

iv) مطالعه جزر و مد (tidal) داشتن معلوماتی را در نجوم ژئودزی ایجاب می نماید.

v) در مواجه با تکنولوژی های جدید در نقشه برداری (به طور مثال Intertial Surveying System) درک سیستم مختصات نجومی محلی از اصول اولیه است.

vi) در ایجاد شبکه های ژئودزی سه بعدی زمینی مختصات نجومی نقاط زمینی از اهمیت ویژه ای برخوردارند.

vii) تعیین انحراف قائم آستروژئودتیک در تعیین ژئوئید مفید می باشد که داشتن مدل ژئوئید ممکن است در تعیین دقیق مشاهدات زمینی مانند فواصل، امتدادات و زوایا مورد استفاده قرار می گیرد.

viii) آزمونهای نجومی در توجیه شبکه های ژئودزی اهمیت فراوانی دارا هستند.

ix) نجوم ژئودزی در تعیین مبنا و توجیه شبکه های نقشه برداری مستقل که دور از نقاط ژئودزی واقعند مفید می باشد.

x) نجوم ژئودزی در تعیین مرزها و حدود مورد استفاده قرار می گیرد.

1.1 تعاریف اساسی:

در نقشه برداری همیشه با سه نوع سطح سر و کار داریم که هر یک از آنها را به عنوان شکل زمین پذیرفته ایم. این سه سطح عبارتند از: (i) سطح زمین (ii) بیضوی (iii) ژئوئید

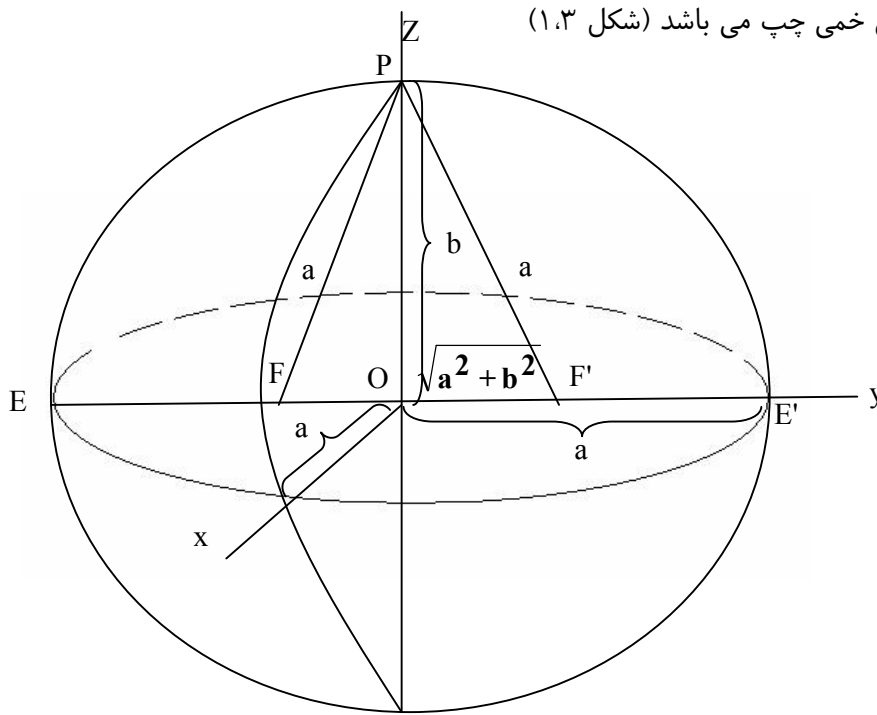


سطح طبیعی یا فیزیکی زمین سطحی است که تعیین مدل ریاضی برای آن بینهایت مشکل است، بنابراین برای انجام محاسبات بایستی سطحی را در نظر گرفت که بتوان به صورت ساده تری به زبان ریاضیات قابل بیان باشد. متداول ترین سطحی که بدین منظور انتخاب شده و می شود، بیضوی دو محوری (biaxial ellipsoid) است. زیرا از نظر شکل و اندازه نزدیکترین فرم ریاضی به شکل زمین را می توان بوسیله یک چنین بیضوی بدست آورد. این سطح بر خلاف سطح طبیعی زمین شکلی است کاملاً ریاضی که بوسیله دو پارامتر a , b (نصف قطر بلند و نصف قطر کوتاه) یا بوسیله a , f (نصف قطر بلند و نصف قطر کوتاه) یا بوسیله $f = a - b/a$ تعریف می شود.

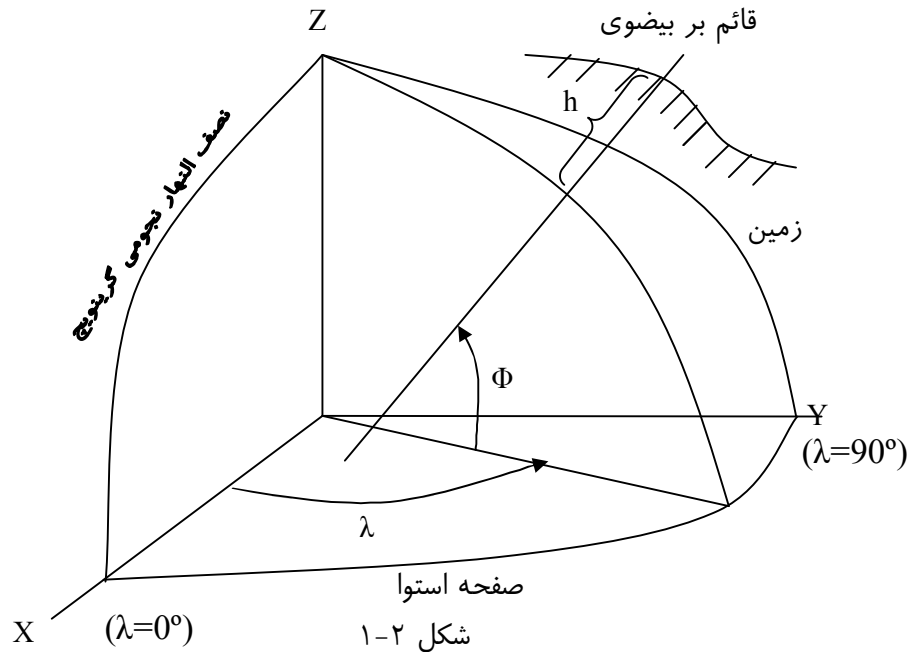
(رجوع شود به شکل ۱،۱) این شکل معروف به بیضوی مقایسه است و لی بایستی توجه داشت که تا کنون بیضوی های مقایسه زیادی تعریف شده اند که یا کاربرد جهانی داشته و یا به طور منطقه ای مورد استفاده قرار گرفته اند. با به کار بردن بیضوی دو محوری مختصات ژئودتیک منحنی الخط نیز تعریف می شوند که عبارتند از φ (عرض ژئودتیک) λ (طول ژئودتیک) h (ارتفاع از سطح بیضوی) (رجوع شود به شکل ۱،۲). واضح است که چون بیضوی یک شکل ریاضی زمین است، موقعیت و توجیه آن داخل زمین کاملاً اختیاری است و به همین علت بنا به نیاز بیضوی های مقایسه ژئوسنتریک یا غیر ژئوسنتریک تعریف و تعیین گردیده اند. توجیه مناسب برای این بیضوی ها موازی بودن محور Z با محور متوسط دورانی و موازی بودن محور X با صفحه نصف النهار متوسط نجومی گرینویچ.

سطوح هم پتانسیل زمین که نشان دهنده خواص 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 ژئوئید است که طبق تعریف منطبق است بر سطح متوسط اقیانوس ها (شکل ۱-۳).

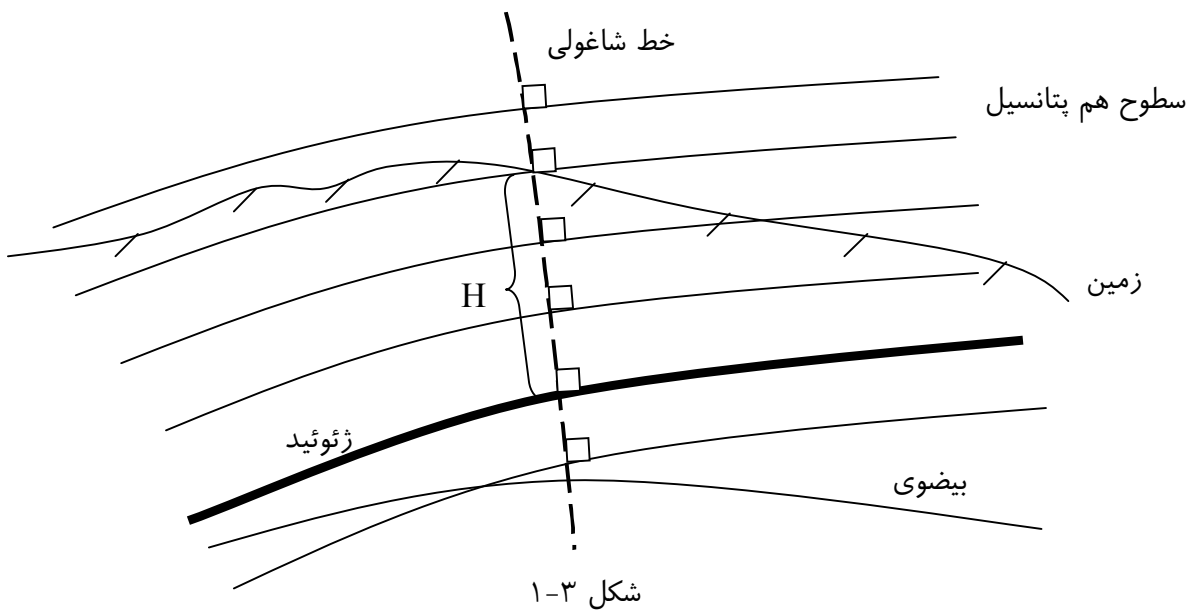
بدنبال سطوح هم پتانسیل خطی به نام خط شاغولی تعریف می شود که عبارتست از خطوط نیرویی که همه جا قائم بر سطوح هم پتانسیل است و بنابراین خمی چپ می باشد (شکل ۱،۳)



شکل ۱،۱
بیضوی دو محوری



عرض و طول ژئودتیک و ارتفاع از بیضوی



ارتفاع ارتومتریک

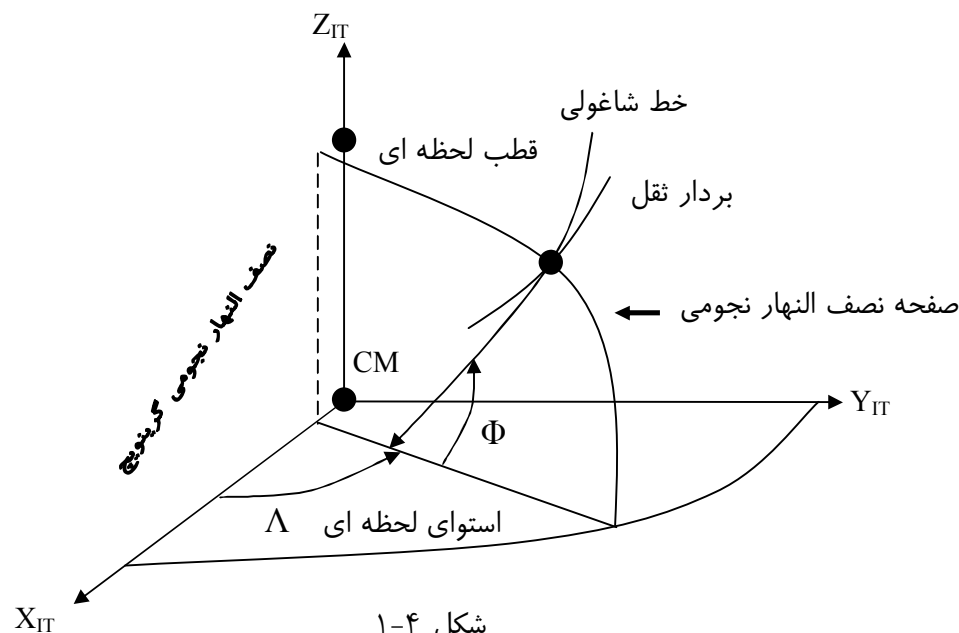


کمیت‌های اصلی در نجوم ژئودتیک عبارتند از عرض نجومی (Φ) ، طول نجومی (Λ) و ارتفاع ارتومتریک (H). این کمیت‌ها را مختصات طبیعی نیز می‌نامند زیرا بنابه تعریف این مقادیر بر حسب خواص حقیقی و فیزیکی زمین تعیین می‌شوند. عرض نجومی (Φ) یک محل بنابه تعریف عبارتست از زاویه بین بردار ثقل آن محل (این بردار قائم نجومی $astronomic\ normal^*$ یا قائم گراویتی ($gravity\ vertical^*$) نیز نامیده می‌شود) و صفحه استوای لحظه‌ای و در صفحه نصف النهار نجومی اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱-۴). در این تعریف بردار ثقل برداری است مماس بر خط شاغولی (که خطی است منحنی) در نقطه مطلوب. طول نجومی یک محل (Λ) زاویه بین نصف النهار متوسط نجومی گرینویچ و صفحه نصف النهار نجومی آن محل می‌باشد که در صفحه استوایی لحظه‌ای اندازه‌گیری می‌شود (شکل ۱-۴).

ارتفاع ارتومتریک (H) یک نقطه عبارتست از ارتفاع آن نقطه از سطح ژئوئید که در طول خط شاغولی به وسیله ترازیبی مستقیم و ثقل سنجی مسیر مطلوب اندازه‌گیری و محاسبه می‌شود. پس از انجام مشاهدات و اعمال بعضی تصحیحات و تبدیلات مانند حرکت قطبی و انحناء خط شاغولی مختصات نجومی تبدیل یافته (H, Λ, Φ) به مبنای ژئوئید و محور دورانی متوسط زمین بدست می‌آید. درباره محور دورانی متوسط زمین بعداً توضیح داده خواهد شد.

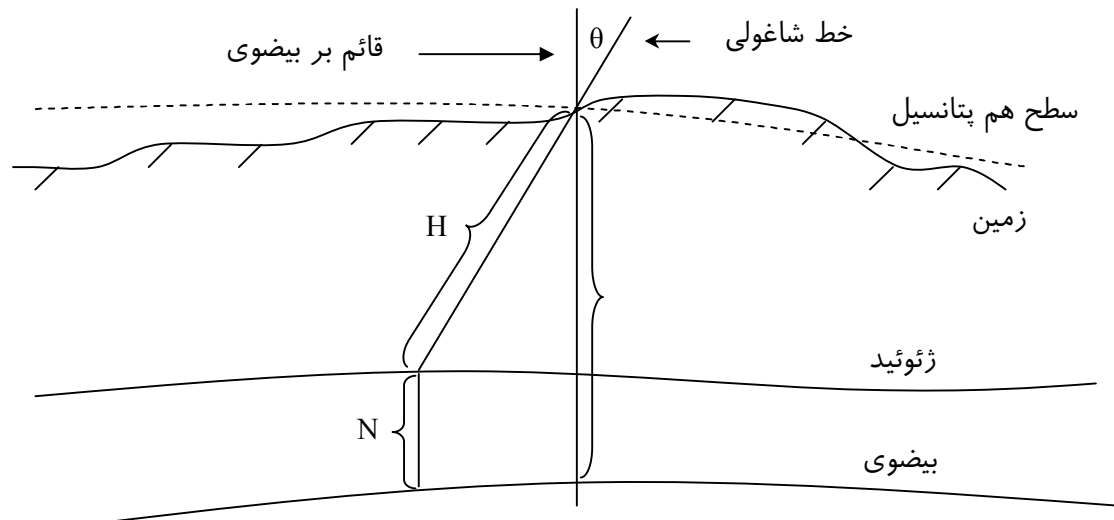
نکته بسیار مهم رابطه بین مختصات ژئودتیک و نجومی است. مشاهدات صحرایی تابعی از فیزیک و طبیعت زمین بوده و در یک سیستم طبیعی انجام می‌گیرند، مختصات نجومی نیز در همین سیستم بیان می‌شود ولی مختصات ژئودزی در یک سیستم ریاضی محاسبه می‌شوند بنابراین برای استفاده از مشاهدات و اطلاعات بدست آمده صحرایی در محاسبات در یک سیستم ژئودتیک لازم است که رابطه بین این دو سیستم طبیعی و ریاضی را بشناسیم.

انحراف نسبی قائم (Θ) ($astro-goodetic$) در یک نقطه عبارتست از زاویه بین بردار ثقل آن نقطه و قائم بر بیضوی مقایسه در همان نقطه (نقطه ممکنست واقع بر سطح زمین و یا بر روی ژئوئید باشد) شکل (۵-۱). معمولاً Θ را به دو مؤلفه ξ بر روی نصف النهار و η بر روی قائم اولیه تجزیه می‌نمایند (شکل ۶-۱).



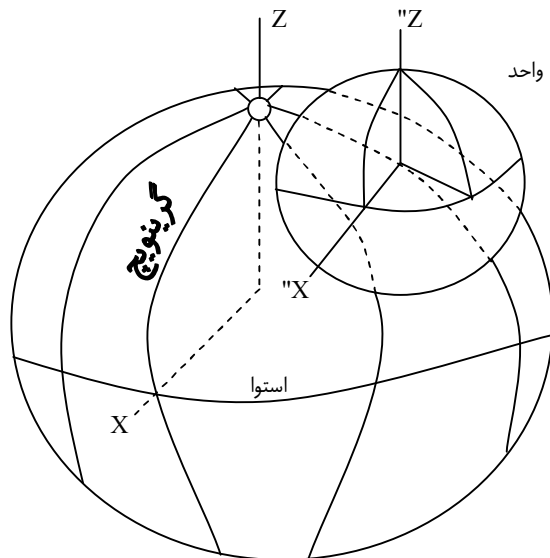
شکل ۱-۴

عرض نجومی (Φ) و طول نجومی (Λ)

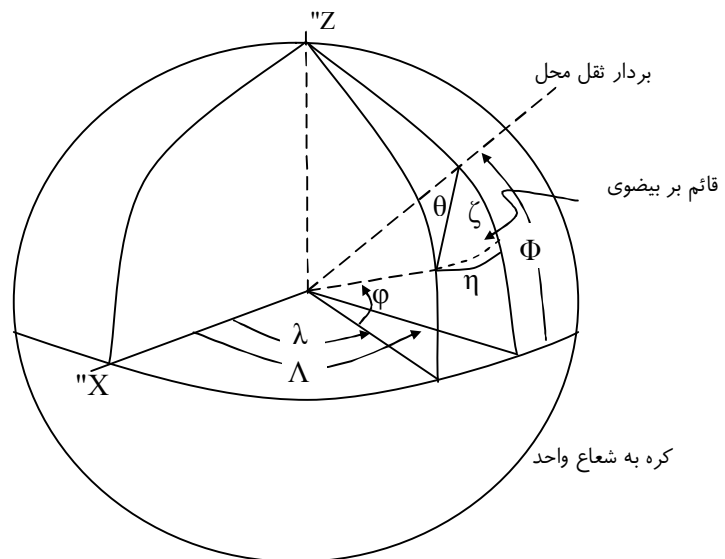


شکل ۵-۱

ارتفاع از ژئوئید و انحراف قائم در سطح زمین



کره به شعاع واحد



$$\zeta = \Phi - \varphi$$

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

شکل ۶-۱

مؤلفه های انحراف



دو فرمول زیر رابطه این دو مؤلفه را با طولها و عرضهای نجومی ژئودتیک بیان می نمایند.

$$\xi = \Phi - \phi \quad (1-1)$$

* دو کلمه normal و vertical در زبان فارسی به قائم ترجمه می شوند در صورتیکه در ژئودزی normal قائم بر بیضوی و vertical قائم بر ژئوئید می باشد.

$$\eta = (\Lambda - \lambda) \cos \phi \quad (1-2)$$

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

فاصله بین ژئوئید و یک بیضوی مقاسیه ارتفاع ژئوئید نامیده شده و آنرا با (N) نمایش می دهند. این ارتفاع در طول قائم بر بیضوی اندازه گیری می شود و می توان آنرا با فرمول زیر با خطائی کمتر از یک میلیمتر محاسبه نمود.

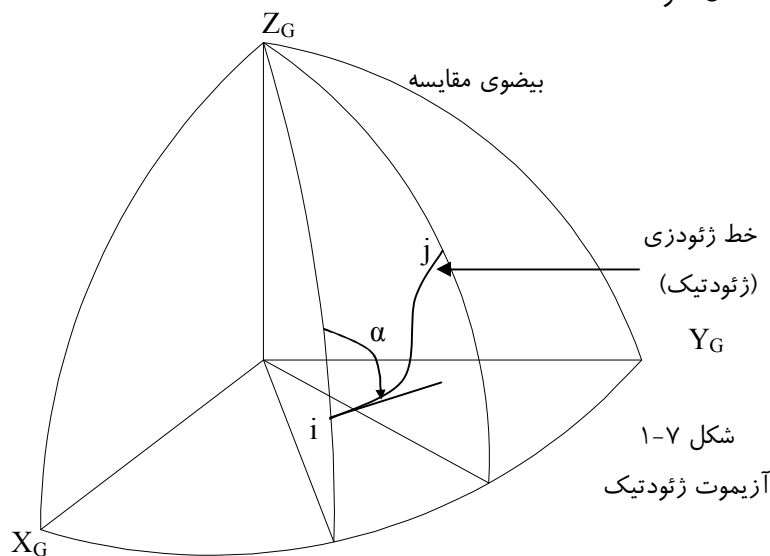
$$N = h - H \quad (1-3)$$

در پایان این بخش تعریف آزیموت ژئودتیک یادآوری می شود. آزیموت ژئودتیک (α) بین دو نقطه j و i واقع بر سطح بیضوی عبارتست از زاویه بین نصف النهار ژئودتیک گذرنده از i و خط مماس بر خط ژئودزی واصل دو نقطه j و i. خط ژئودزی منحنی ای است گذرنده بر دو نقطه که کوتاهترین فاصله بین آندو نقطه را بدست می دهد. (شکل ۷-۱). این زاویه از نصف النهار نقطه i در جهت حرکت عقربه های ساعت اندازه گیری می شود. آزیموت نجومی (A) بین دو نقطه j و i زاویه بین صفحه نصف النهار نجومی گذرنده بر i و صفحه قائم نجومی در i و گذرنده بر j می باشد (شکل ۸-۱). این زاویه از مبدأ شمال در جهت حرکت عقربه های ساعت اندازه گیری میشود.

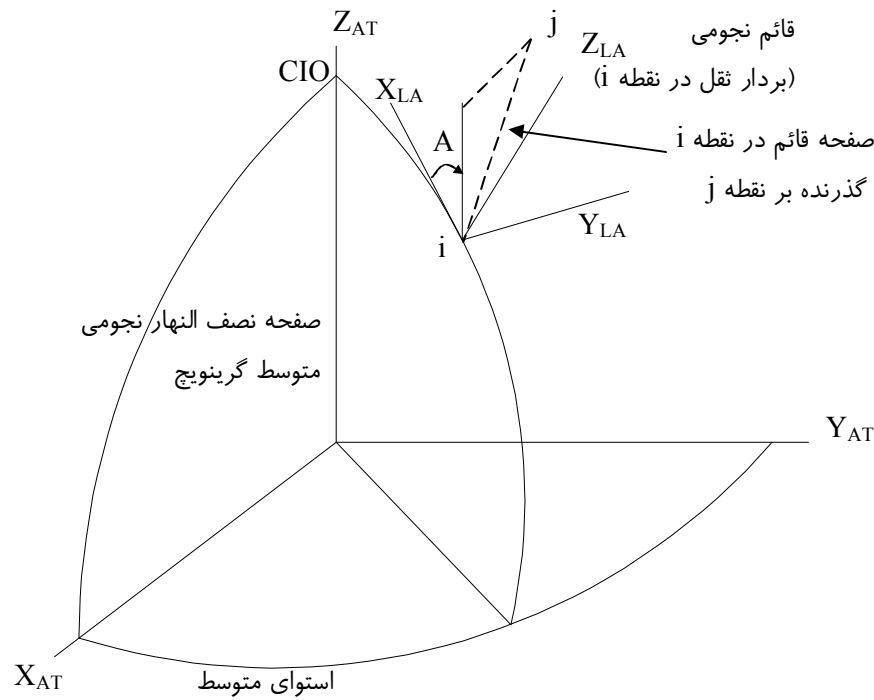
رابطه بین دو آزیموت ژئودتیک و نجومی یعنی A و α با معادله آزیموت لاپلاس بصورت زیر بیان می شود:

$$A - \alpha = \eta \operatorname{Tg} \phi + (\xi \sin \alpha - \zeta \cos \alpha) \cot g z \quad (1-4)$$

که در آن Z فاصله زمینی است. باید توجه داشت که باید به آزیموت ژئودتیک (α) تصحیحات ارتفاع نقطه موردنظر و اختلاف بین مقطع قائم و خط ژئودزی اعمال شود.



توجه:
اندیس G نشان دهنده سیستم
مختصات ژئودتیک است



توجه:

اندیس AT نشان دهنده سیستم مختصات متوسط زمینی (Average Terrestrial) و اندیس LA برای مشخص کردن سیستم نجومی (Local Astronomy) بکار می رود

شکل ۸-۱
آزیموت نجومی



سیستم مختصات سماوی

سیستم های مختصات سماوی برای تعریف مختصات اجرام سماوی مانند ستارگان بکار می روند. این سیستمها به چهار نوع - اکلیپتیک (ecliptic) - بعدی (right ascension) - زاویه ساعتی - افقی تقسیم بندی شده اند که جزئیات و مشخصات آنها را در این فصل بطور مشروح خواهیم دید. بین سیستم های مختصات سماوی و زمینی (همچنین ماهواره ای) دو اختلاف مهم وجود دارد اول اینکه بعلاوه وجود فواصل بسیار زیادی که در نجوم با آن سر و کار داریم امکان اندازه گیری فواصل در نجوم موجود نبوده و بلکه در سیستم های سماوی تنها امتدادها اندازه گیری و مشاهده می شوند و این بدان معنی است که کمیت های برداری را در این نوع سیستم ها می توان به عنوان بردار واحد در نظر گرفت. دومین اختلاف اینست که هندسه سماوی هندسه کروی است بر عکس هندسه مورد استفاده در ژئودزی زمینی و سیستم های مختصات زمینی هندسه بیضوی است که این خود موجب سهولت بیشتری در بیان ریاضی روابط نجومی می شود.

۱-۲ کره سماوی

فاصله زمین از نزدیکترین ستاره بیشتر از 10^9 برابر شعاع کره زمین است. بنابراین واضحست که ابعاد زمین در مقایسه با این فواصل ناچیز و قابل صرف نظر نمودن است. برای مثال فاصله این ستاره (α ENTRAURI) از زمین حدود چهار سال نوری یعنی تقریباً " 40×10^{12} کیلومتر است در حالیکه ستارگان دیگری نیز مانند VEGA با سی سال نوری و USAE α MINORIS یا ستاره قطبی با پنجاه سال نوری فاصله از زمین وجود دارند. فاصله خورشید از زمین فقط ۸.۲۵ دقیقه نوری یعنی تقریباً " 155×10^6 کیلومتر است. بدلیل وجود چنین فواصل بعیدی می توان گفت که حرکات ستارگان برای بیننده ای در زمین بسیار کوچک و ناچیز است. با توجه به این مطالب در نجوم چنین فرض می شود که ستارگان در فواصل مساوی با زمین و بر روی سطح کره ای که آنرا کره سماوی می نامند واقع باشند. ابعاد این کره بقدری بزرگ فرض می شود که زمین و در واقع منظومه شمسی را می توان در مقابل آن بعنوان یک نقطه در مرکز آن انگاشت. گرچه این نقطه فاقد هرگونه بعدی است ولی روابط بین امتدادهای روی زمین و در سیستم خورشیدی را می توان به کره سماوی گسترش داد.

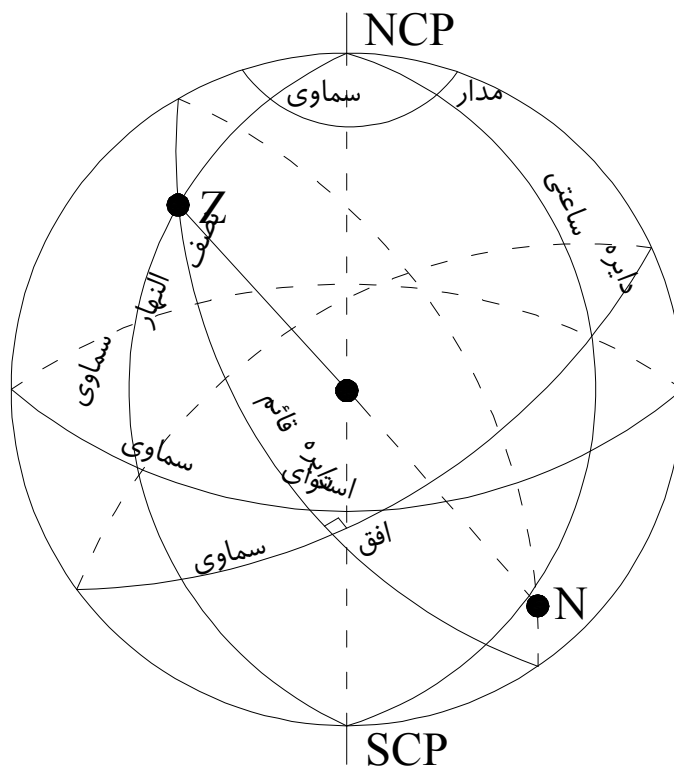
محور دورانی لحظه ای زمین کره سماوی را در دو قطب شمال و جنوب این کره قطع می نمایند که بترتیب با NCP و SCP نشان داده می شوند. چنانچه صفحه استوای زمین از هر سو گسترش داده شود کره سماوی را در طول دایره ای قطع می نماید که آنرا استوای سماوی می نامند (شکل ۱-۲). قائم محل کره سماوی را در بالا سر ناظر و پائین او قطع می نماید که این دو نقطه به ترتیب به سمت الرأس (zenith) و سمت القدم (nadir) موسوم اند (شکل ۱-۲). دایره عظیمه گذرنده بر قطب (عمود بر استوای سماوی) دایره ساعتی نام دارد (شکل ۱-۲). دایره قائم محل که بر قطبین سماوی نیز بگذرد دایره ساعتی ای خواهد بود که از سمت الرأس ناظر محل عبور کرده صفحه این دایره را نصف النهار سماوی می نامند. (شکل ۱-۲). دایره غیر عظیمه ای که به موازات استوای سماوی باشد به مدار سماوی موسوم است. صفحه بسیار مهم دیگر صفحه افق سماوی است و آن صفحه ایست عمود بر قائم محل و گذرنده بر (مرکز کره سماوی) (شکل



(۲-۱). صفحه عمود بر افق و گذرنده بر سمت الرأس صفحه قائم نامیده می شود. صفحه قائم عمود بر نصف النهار صفحه قائم اولیه و محل برخورد آن با افق سماوی نقاط شرق و غرب نام دارند.

بعلت دوران زمین فقط سمت الرأس و صفحات قائم و افق و نصف النهار بطور پیوسته بر روی کره سماوی تغییر موقعیت می دهند. که تأثیر این تغییرات را بعداً "مورد مطالعه قرار خواهیم داد. اگر در یک لحظه ستاره ای مانند S در نظر گرفته شود نصف النهار سماوی و دوائر ساعتی و قائم بر روی کره سماوی مثلی کروی را تشکیل خواهند داد که آنرا مثلث نجومی S می نامند که رأسهای آن سمت الرأس (Z) نقطه شمال سماوی و (NCP) و S هستند (شکل ۲-۲).

بر روی کره سماوی دوائر مهم دیگری نیز تعریف می شوند که به دوران زمین بدور خورشید و یا به مفهوم معکوس آن که در نجوم مفروض است یعنی دوران خورشید بدور زمین یا حرکت ظاهری خورشید بدور زمین بستگی ندارند. مهمترین این دوائر دایره اقلیتیک (ecliptic) است که بطور تقریب مسیر ظاهری خورشید بدور زمین را نمایش می دهد (شکل ۲-۳). اقلیتیک استوای سماوی را در دو نقطه که هر کدام را نقطه اعتدال (equinox) (بمعنای روز و شب سماوی) می نامند قطع می نماید. نقطه ای را که خورشید در مسیرش از جنوب به شمال سماوی قطع می نماید اعتدال بهاری (vernal equinox) و نقطه مقابل آن را اعتدال پائیزی (autumnal equinox) می نامند. زاویه حاده بین استوای سماوی و اقلیتیک به میل اقلیتیک موسوم است و مقدار آن تقریباً $23^{\circ} 27'$ می باشد که با ε نشان داده می شود (شکل ۲-۳). دو نقطه ای را که به فاصله 90° از هر یک از نقاط اعتدال واقعند و در آنها خورشید در حداکثر فاصله زاویه ای خود از استوای سماوی قرار دارند نقاط انقلاب می نامند و به نقطه انقلاب تابستانی (summer solstice) و انقلاب زمستانی (winter solstice) موسوم اند.

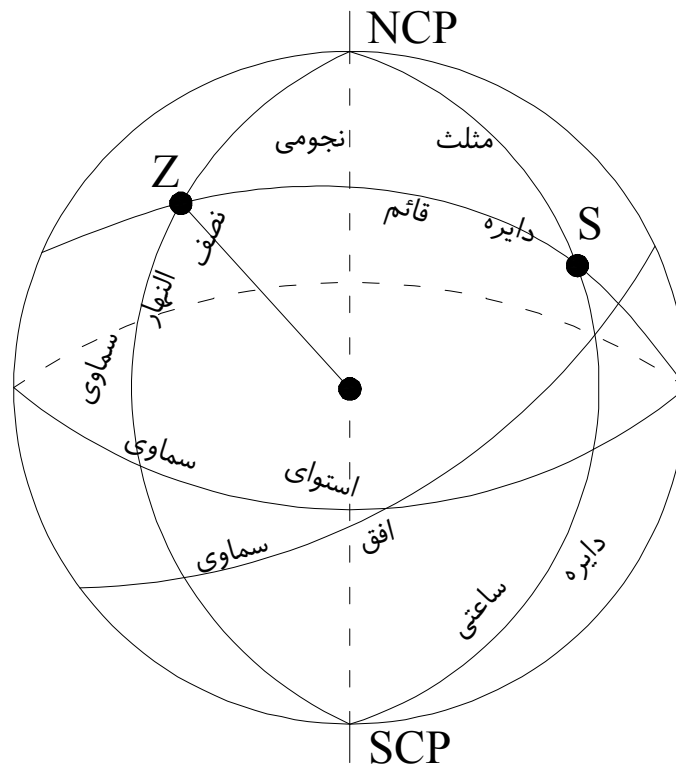


شکل ۲-۱

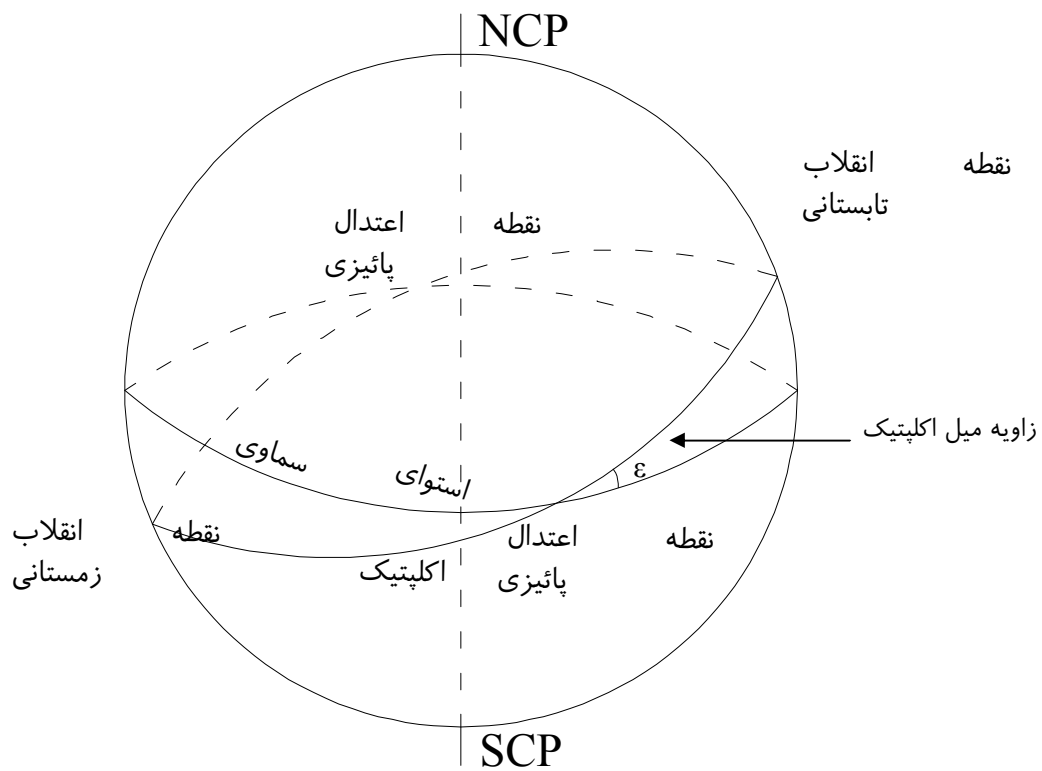
کره سماوی

کلیه حقوق این مجموعه متعلق به انجمن علمی نقشه برداری دانشگاه زنجان می باشد

تهیه شده توسط آقای مهندس سید محمد قادر زرین کیا، آقای مهندس احسان زارعی، آقای مهندس سید مجتبی شهابی، آقای مهندس حامد افشارنیا



شکل ۲-۲
مثالث نجومی



شکل ۳-۲

کلیه حقوق این مجموعه متعلق به انجمن علمی نقشه برداری دانشگاه زنجان می باشد

تهیه شده توسط آقای مهندس سید محمد قادر زرین کیا، آقای مهندس احسان زارعی، آقای مهندس سید مجتبی شهابی، آقای مهندس حامد افشارنیا



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

الف-ستارگان حالت ساکنی بر روی کره 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 (precession, nutation) می نامند.

ج-زمین از مرکز کره سماوی جابجا می شود و بنابراین محل ناظر نیز که از مرکز ثقل زمین فرض شده جابجا می شود. تصحیح بعثت این جابجائی به پارالاکس (parallax) موسوم است.

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

ه- مسیر امتدادهای مشاهده شده در مرحله عبور از آتمسفر منحنی می شود و تصحیح در این مورد تصحیح انکسار (refraction) نامیده می شود.

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

۲،۲ سیستم های مختصات سماوی

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

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

۲،۲،۱ سیستم افقی

در این سیستم صفحه مرجع اولیه افق سماوی و صفحه 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 بین افق سماوی و نقطه S است که در صفحه دایره قائم بین $90^\circ - a$ اندازه گیری می شود. زاویه متمم $z = 90 - a$ فاصله سمت الرأسی یا زینتی نامیده می شود. آزیموت یا سمت (A) زاویه بین نصف النهار سماوی ناظر و دایره قائم گذرنده بر S می باشد که در صفحه افق سماوی بین $0^\circ - 360^\circ$ در جهت حرکت عقربه های ساعت (شمال به شرق) اندازه گیری می شود.



برای تعیین بردار واحدی که وضعیت نقطه S را بر حسب A و α بیان نماید می باید ابتدا نقطه ای را به عنوان مبدأ مختصات و سه محور را به عنوان محورها مختصات تعریف نمائیم. در سیستم افقی هلیوسنتر (مرکز ثقل خورشید) مبدأ مختصات اولیه (Z) در جهت سمت الرأس ناظر، محثر اولیه (X) در جهت نقطه شمال و محور ثانویه (Y) طوری انتخاب می شود که سیستم دست چپی باشد. (شکل ۵=۲) این سیستم مختصات را نمایش می دهد. باید توجه داشت که گرچه سیستم افقی سیستمی است وابسته به موقعیت ناظر در سطح زمین ولی مبدأ آن در خورشید بوده و یا به عبارتی دیگر هلیوسنتریک است نه توپوسنتریک.

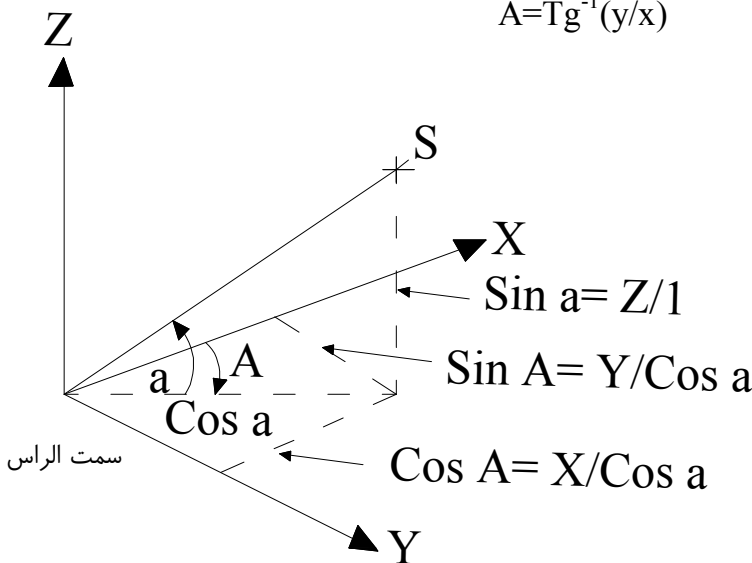
بردار واحد مبین موقعیت S در سیستم افقی با رابطه زیر مشخص می شود:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_H = \begin{bmatrix} \text{CosaCosA} \\ \text{CosaSinA} \\ \text{Sina} \end{bmatrix} \quad (2-1)$$

رابطه برعکس یعنی فرمولیک a و A را بر حسب $[x,y,z]^T$ به دست می دهد عبارتست از:

$$a = \sin^{-1} z \quad (2-2)$$

$$A = \text{Tg}^{-1}(y/x) \quad (2-3)$$



$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_H = \begin{bmatrix} \text{CosaCosA} \\ \text{CosaSinA} \\ \text{Sina} \end{bmatrix}$$

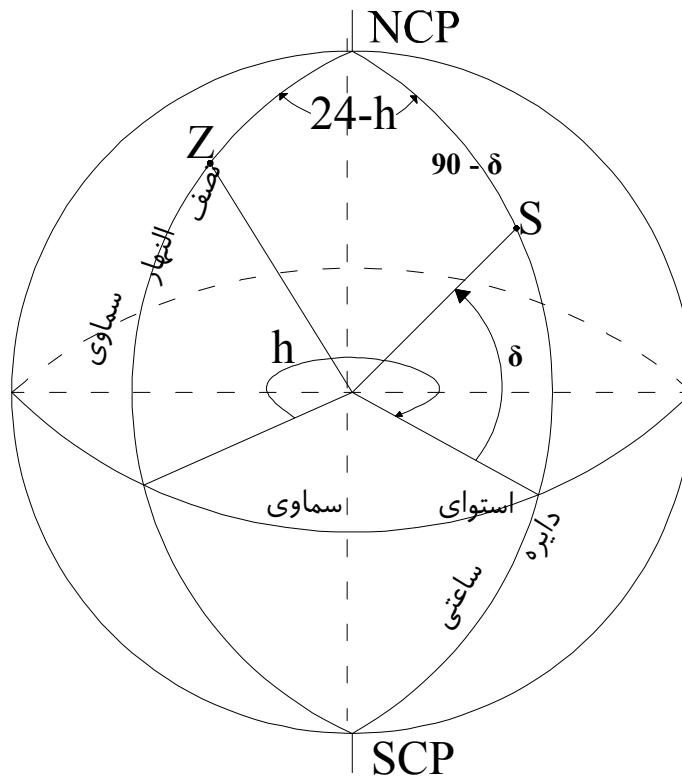
۲،۲،۲ سیستم زاویه ساعتی

در این سیستم صفحه مرجع اولیه استوای سماوی و صفحه ثانویه نصف النهار سماوی ناظر است. مختصات ستاره ای مانند S در این سیستم با میل (δ) و زاویه ساعتی (h) مشخص می شود. میل S زاویه بین استوای سماوی و S است که در صفحه دایره ساعتی گذرنده بر این ستاره و از 0° تا 90° اندازه گیری می شود. متمم میل فاصله قطبی نامیده می شود. زاویه ساعتی ستاره S زاویه بین دایره ساعتی S و نصف النهار سماوی ناظر می باشد و از 0^h تا 24^h در جهت حرکت عقربه های ساعت در صفحه استوای سماوی اندازه گیری می شود. در شکل ۶-۲ سیستم مختصات منحنی الخط زاویه ساعتی نشان داده شده.



برای تعیین بردار واحدی که مبین موقعیت نقطه S در سیستم زاویه ساعتی است سیستم مختصات را به شرح زیر تعریف می‌کنیم:

- (۱) مبدأ مختصات در هلیوسنتر
- (۲) صفحه مرجع اولیه صفحه استوای سماوی
- (۳) صفحه مرجع ثانویه نصف النهار سماوی ناظر
- (۴) قطب اولیه (Z) (محور Z ها) NCP
- (۵) محور اولیه (محور X ها) محل برخورد صفحات استوا و نصف النهار سماوی ناظر
- (۶) محور ثانویه (محور Y ها) طوری انتخاب می‌شود که سیستم دست چپی باشد.



شکل ۶-۲

سیستم زاویه ای



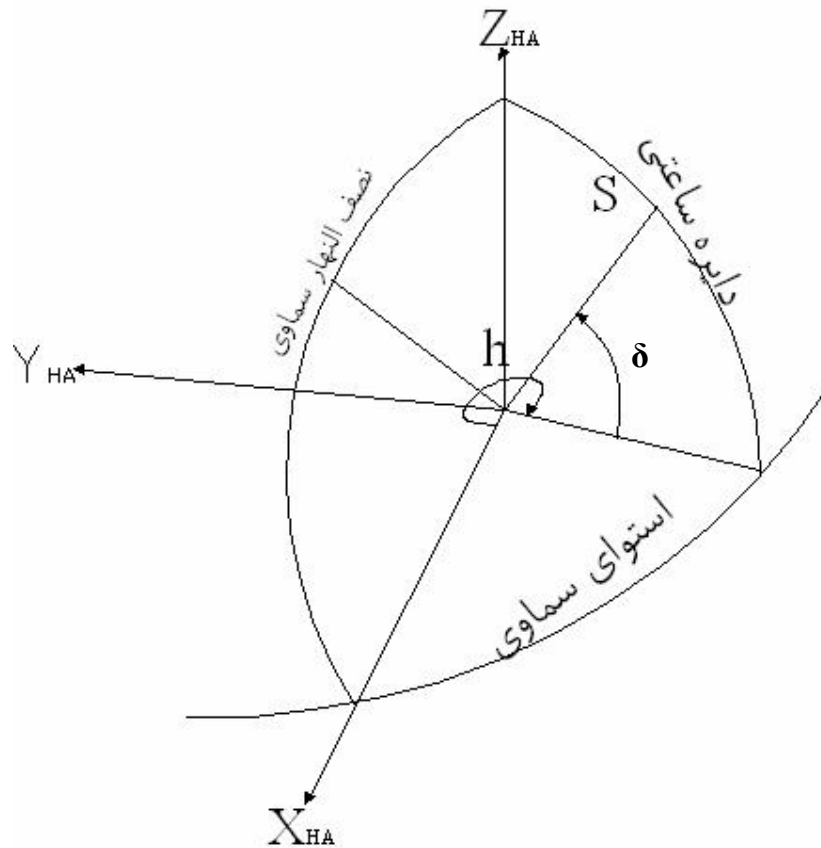
سیستم مختصات زاویه ساعتی سیستمی است که با ناظر دوران می نماید. بردار واحد مذکور در چنین سیستمی با رابطه زیر تعیین می گردد (شکل ۲-۷)

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{HA} = \begin{bmatrix} \cos \delta \cosh \\ \cos \delta \sinh \\ \sin \delta \end{bmatrix} \quad (2-4)$$

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

$$\delta = \sin^{-1} z \quad (2-5)$$

$$h = \tan^{-1}(y/x) \quad (3-5)$$



اندیس HA نشان دهنده Hour Angle (زاویه ساعتی) است.

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

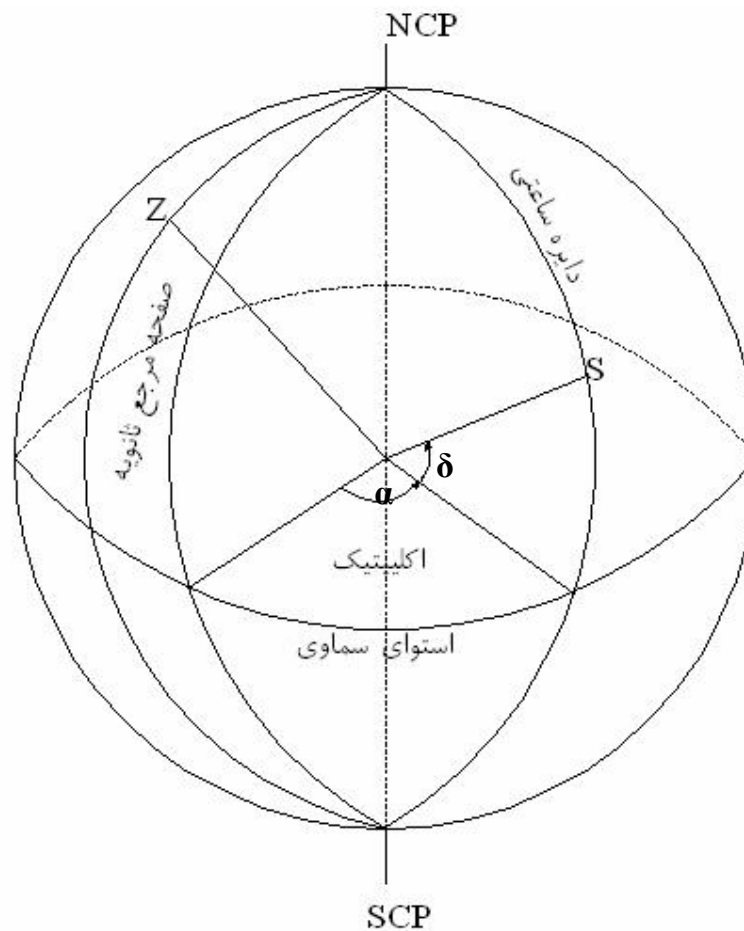
شکل ۲-۷

سیستم زاویه ساعتی



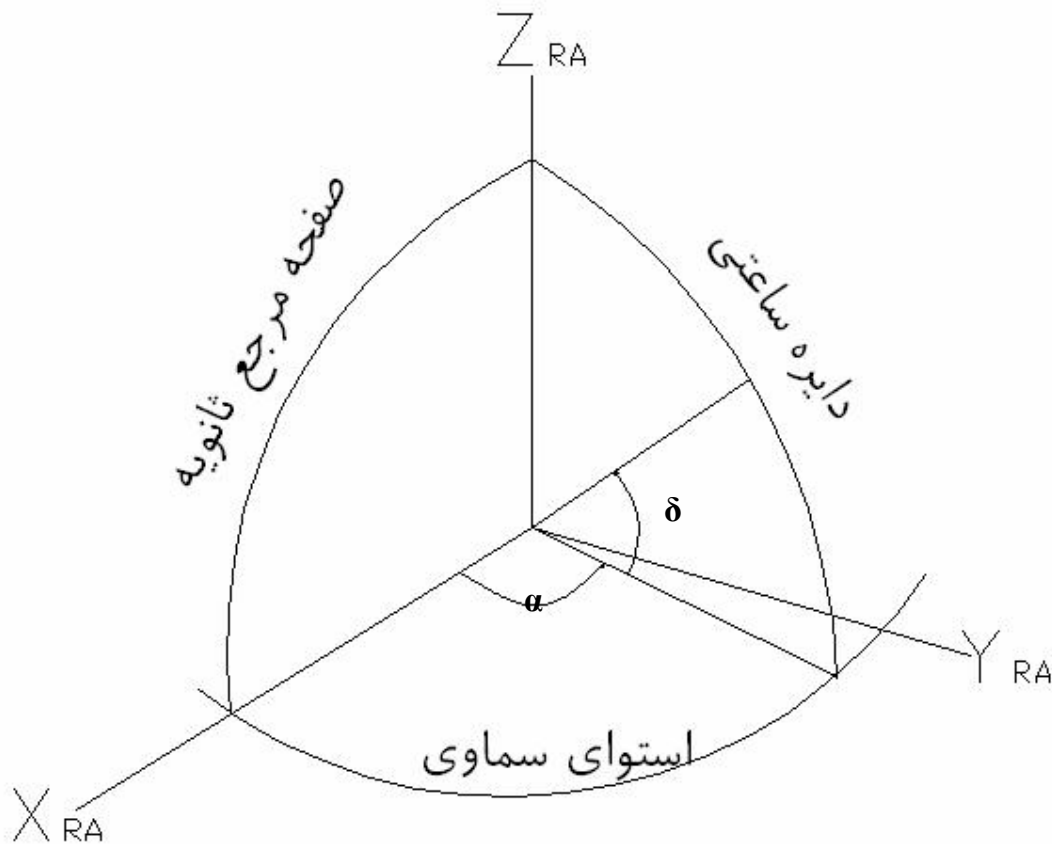
۲،۲،۳ سیستم بعدی (Right Ascension System)

سیستم بعدی از سایر سیستم های مختصات سماوی اهمیت بیشتری دارد زیرا در جداول نجومی مختصات ستارگان نسبت به این سیستم چاپ و منتشر می گردد. همچنین این سیستم رابطه بین سیستم های زمینی، سماوی و اقماری یا سیری است. صفحه مرجع اولیه در این سیستم استوای سماوی و صفحه مرجع ثانویه دایره 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 قبلا در قسمت ۲،۲،۲ تعریف شد. بعد یک ستاره عبارت است از زاویه بین دایره ساعتی آن ستاره و صفحه مرجع ثانویه که در صفحه استوای سماوی از 0^h تا 24^h از مبدا نقطه اعتدال بهاری در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت اندازه گیری می شود.



شکل ۸-۲

سیستم بعدی



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

شکل ۹-۲

سیستم بعدی

در سیستم مختصات بعدی مبدا و محورهای مختصات به شرح زیر تعریف می گردند.

- (۱) مبدا مختصات در هلیو سنتر
- (۲) قطب اولیه (محور Z ها) از NCP می گذرد.
- (۳) محور اولیه (محور X ها) از نقطه اعتدال بهاری (γ) می گذرد.
- (۴) محور ثانویه (محور Y ها) طوری انتخاب می شود که سیستم دست راستی باشد.
- (۵) صفحه مرجع اولیه استوای سماوی است (شکل ۹-۲).



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

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{bmatrix} \quad (2-7)$$

و α و δ با روابط زیر بدست می آیند

$$X = \text{tg}^{-1} \left(\frac{Y}{Z} \right) \quad (2-8)$$

$$\delta = \sin^{-1} Z \quad (2-9)$$

۲،۲،۴ سیستم اکلیپتیک

سیستم اکلیپتیک سیستم مختصاتی است که بیشتر از سایر سیستم ها خاصیت اینرشیال بودن یعنی بیشتر خاصیت ساکن بودن نسبت به ستارگان را داراست لیکن بعلاوه اثر ستارگان بر روی سیستم زمین -خورشید صفحه اکلیپتیک در حول محوری که خود نیز دارای حرکت کندی است دوران کمی حدود ۵ ثانیه در سال دارد و این دوران سبب می شود که این سیستم نیز کاملاً اینرشیال نباشد. صفحه مرجع اولیه در این سیستم مختصات صفحه اکلیپتیک و صفحه مرجع دوم نصف النهار اکلیپتیکی گذرنده بر نقطه اعتدال بهاری (شامل قطب های شمال و جنوب اکلیپتیکی گذرنده بر نقطه اعتدال بهاری و پاییزی) می باشد (شکل ۱۰-۲). امتداد یک نقطه مانند S بر روی کره سماوی در این سیستم با عرض اکلیپتیکی (β) و طول اکلیپتیکی (λ) مشخص می شود. عرض اکلیپتیکی S زاویه بین این نقطه و اکلیپتیک است که در صفحه نصف النهار اکلیپتیکی گذرنده بر S اندازه گیری می شود. طول اکلیپتیکی گذرنده بر S اندازه گیری می شود. طول اکلیپتیکی S زاویه بین نصف النهارات اکلیپتیکی نقاط γ و S است که در صفحه اکلیپتیک بطرف شرق اندازه گیری می شود. شکل (۱۰-۲).

مبدأ و محور های مختصات سیستم اکلیپتیک بشرح زیر تعریف می شوند. (رجوع شود به شکل ۱۱-۲)

- (i) صفحه مرجع اولیه صفحه اکلیپتیک است.
 - (ii) مبدأ در هلیو سنتر واقع شده است.
 - (iii) قطب اولیه (محور Z ها) از NEP (قطب شمال اکلیپتیک) می گذرد.
 - (iv) محور اولیه (محور X ها) از γ می گذرد.
 - (v) محور ثانویه (محور Y ها) طوری انتخاب می شود که سیستم مختصات دست راستی باشد.
- بردار واحد مشخص کننده وضعیت نقطه ای مانند S در این سیستم با فرمول زیر تعیین می گردد:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \beta \cos \lambda \\ \cos \beta \sin \lambda \\ \sin \beta \end{bmatrix} \quad (2-10)$$

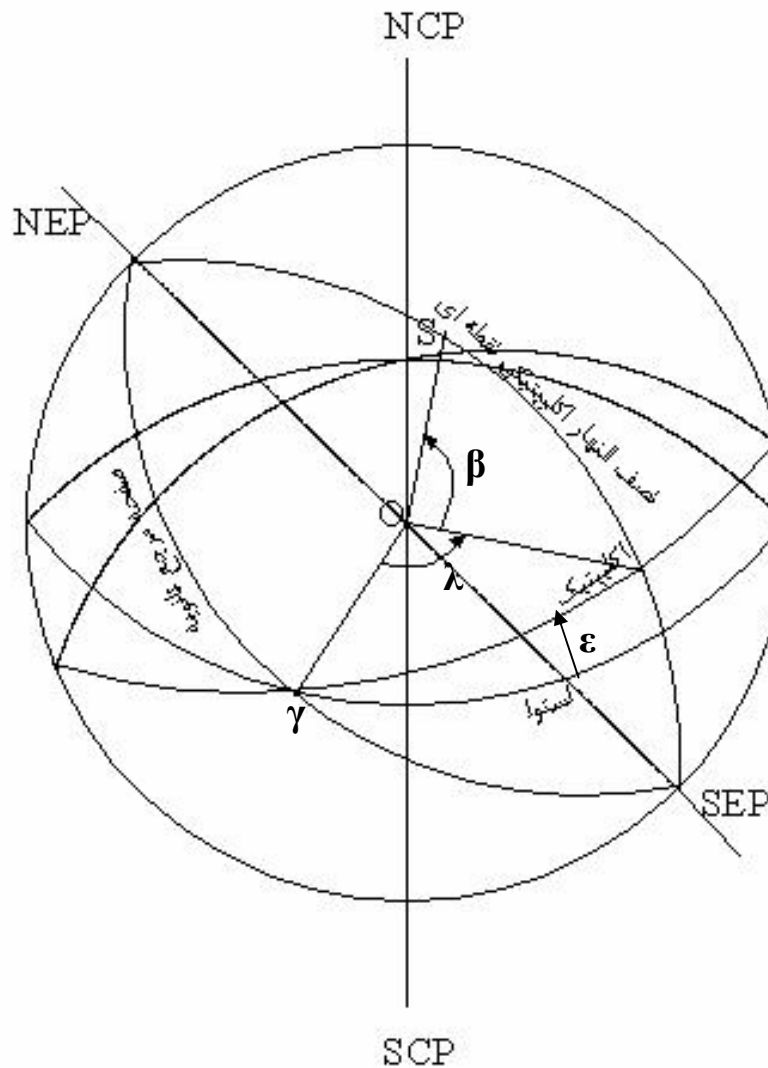
و λ و β با روابط زیر بدست می آیند:

$$\beta = \sin^{-1} z \quad (2-11)$$



$$\lambda = \text{tg}^{-1}(y/x)$$

(۲-۱۲)



شکل ۱۰-۲

سیستم اقلیتیک

توجه NEP و SEP قطب شمال اقلیتیک North Ecliptic Polar و قطب جنوب اقلیتیک Ecliptic Polar را مشخص می کند.



۲،۳ تبدیلات بین سیستم های مختصات سماوی

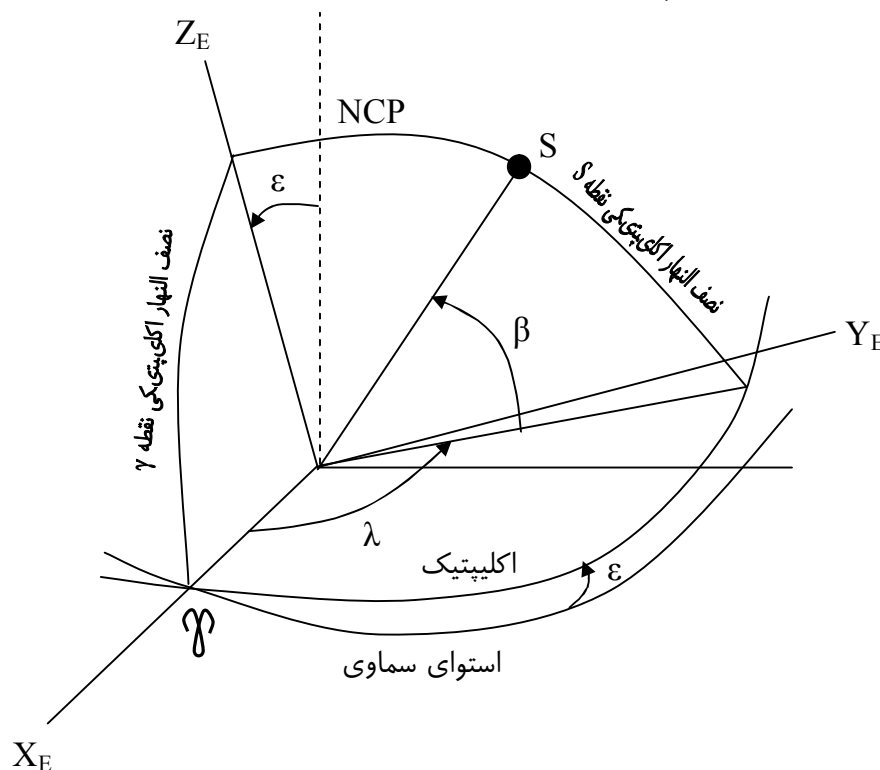
تبدیلات بین سیستم های مختصات سماوی یکی از مطالب بسیار مهم در نجوم ژئودتیک است زیرا دست یابی به مدل های ریاضی برای تعیین موقعیت و آزمون نجومی تنها با استفاده از این تبدیلات و مدل های آن ها امکان پذیر می باشد. در این کتاب دو روش برای تبدیلات سیستم های مختصات مورد استفاده قرار خواهند گرفت (i) استفاده از مثلثات کرو یکه روش معمولی است و (ii) بکار بردن ماتریس ها که جامعیت بیشتری را داراست و مخصوصاً " برای استفاده از کامپیوتر قابل استفاده است. روابطی که در این بخش مشخص می شوند عبارتند از:

(I) رابطه بین سیستم های افقی و زاویه ساعتی

(II) رابطه بین سیستم های زاویه ساعتی و بعدی

(III) رابطه بین سیستم های بعدی و اکلپتیک

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 آنرا در دیگر سیستم ها نیز تعیین نمود.



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

شکل ۱۱-۲

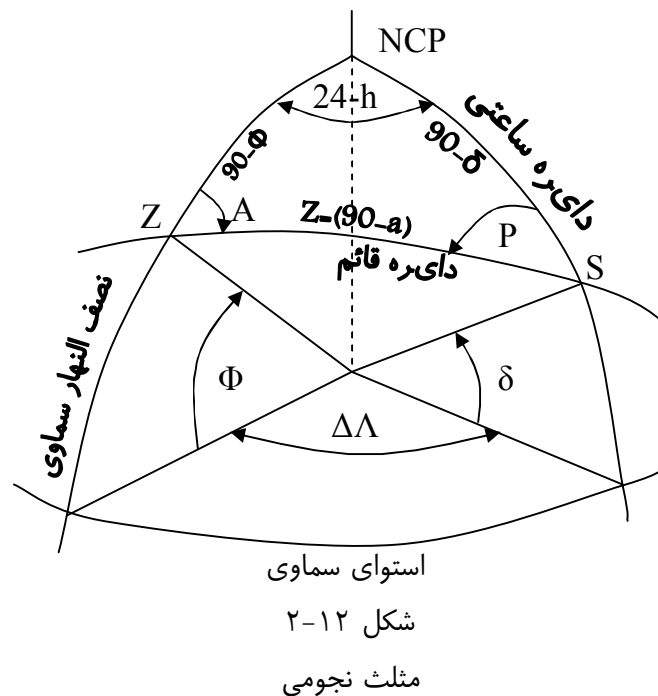
سیستم مختصات اکلپتیک

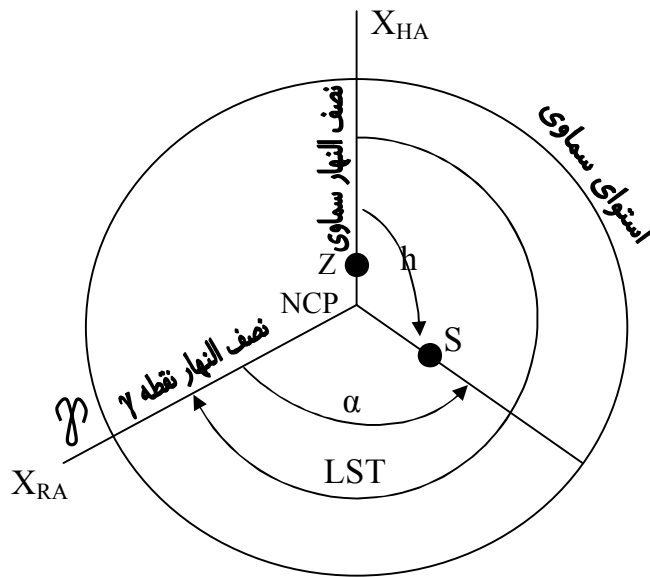
توجه: اندیس E نشان دهنده Ecliptic است.

برای تعیین مدل‌های تبدیلات علاوه بر کمیتهائی که در قسمت قبل تعریف گردید کمیتهای دیگری نیز لازم است که در این بخش معرفی خواهند شد. کمیتهای قبلی که از اجزای سیستمهای مختصات سماوی مختلف هستند و در تشکیل مثلث نیز شرکت دارند (شکل ۱۲-۲) عبارتند از:

- (i) آزیموت نجومی (A) و ارتفاع (a) یا متمم آن فاصله سمت الرأسی (z=90-a) از سیستم مختصات افقی
- (ii) زاویه ساعتی (h) یا مکمل آن (24-h) از سیستم مختصات زاویه ساعتی
- (iii) میل (δ) و یا متمم آن فاصله قطبی (90-δ) از سیستم زاویه ساعتی یا سیستم بعدی
- کمیت‌های دیگر که برای تکمیل مثلث نجومی مورد نیازند عبارتند از عرض نجومی Φ یا متم آن $\Phi-90$ ، اختلاف در طول نجومی $\Delta\Lambda = \Lambda_s - \Lambda_z = (24-h)$ و زاویه بین دوایر قائم و ساعتی در S که بهع زاویه پارالاکتیک (P) موسوم اند (شکل ۱۲-۲).

آخرین کمیت 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 آنرا بطور خلاصه باینصورت تعریف می‌نمائیم که ابتدا سه نصف النهار در نظر می‌گیریم (i) نصف النهار سماوی ناظر (ii) دایره ساعتی گذرنده بر S و (iii) نصف النهار گذرنده بر γ . حال چنانچه از نظر NCP به کره سماوی نگاه کنیم سه زاویه بر روی صفحه استوا خواهیم دید (i) زاویه ساعتی (h) یعنی زاویه بین نصف النهار سماوی و دایره ساعتی (در جهت حرکت عقربه‌های ساعت)، (ii) بعد (α) یعنی زاویه بین نصف النهار گذرنده بر γ و دایره ساعتی (در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت)، (iii) یک کمیت جدید که همان زمان نجومی محلی (LST) است و در جهت حرکت عقربه‌های ساعت از نصف النهار سماوی به نصف النهار گذرنده بر γ اندازه‌گیری می‌شود. LST را می‌توان بعنوان زاویه ساعتی نقطه γ نیز تعریف نمود و شناخت.





شکل ۱۳-۲

زمان نجومی محلی
(LST)

۱، ۲، ۳ تبدیل سیستمهای افقی و زاویه ساعتی به یکدیگر

ابتدا با استفاده از روش حل مثلث کروی تبدیل سیستم زاویه ساعتی به سیستم افقی را مورد مطالعه قرار می دهیم بطوریکه می دانیم در سیستم زاویه ساعتی مختصات δ و h هستند که میباید این کمیتها بصورت تابعی از مختصات افقی یعنی a (یا z) و A بیان شوند. البته در این تبدیل مقدار Φ نیز بایستی معلوم باشد. از مثلث کروی (شکل ۱۴-۲) و با استفاده از قانون سینوسها خواهیم داشت:

$$\frac{\sin(24-h)}{\sin z} = \frac{\sin A}{\sin(90-\delta)} \quad (2-13)$$

یا

$$\frac{-\sinh}{\sin z} = \frac{\sin A}{\cos \delta} \quad (2-14)$$

و یا

$$\sin A \sin z = -\sinh \cos \delta \quad (2-15)$$

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

$$\cos A \sin z = \cos(90-\delta) \sin(90-\Phi) - \cos(90-\Phi) \sin(90-\delta) \cos(24-h) \quad (2-16)$$



و یا

$$\cos A \sin z = \sin \delta \cos \Phi - \sin \Phi \cos \delta \cosh \quad (2-17)$$

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

$$\frac{\sin A \sin z}{\cos A \sin z} = \frac{-\sinh \cos \delta}{\sin \delta \cos \Phi - \sin \Phi \cos \delta \cosh} \quad (2-18)$$

و یا

$$\operatorname{tg} A = \frac{-\sinh}{\operatorname{tg} \delta \cos \Phi - \sin \Phi \cosh} \quad (2-19)$$

یا

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sinh}{\sin \Phi \cosh - \operatorname{tg} \delta \cosh} \quad (2-20)$$

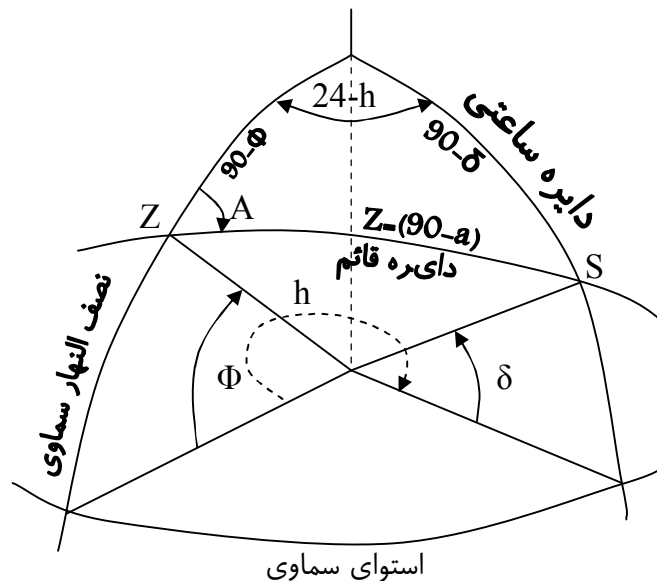
برای تعیین Z برحسب h و δ با استفاده از قانون کسینوسها می توان نوشت:

$$\cos z = \cos(90 - \Phi) \cos(90 - \delta) + \sin(90 - \Phi) \sin(90 - \delta) \cos(24 - h) \quad (2-21)$$

و یا

$$\cos z = \sin \Phi \sin \delta + \cos \Phi \cos \delta \cosh \quad (2-22)$$

معادلات (۲-۲۰) و (۲-۲۲) 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.



شکل ۲-۱۴

مربوط به تبدیل سیستمهای افقی و زاویه ساعتی بیکدیگر



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

$$\cos \delta \sinh = -\sin z \sin A \quad (2-23)$$

و از روابط پنج جزئی خواهیم داشت:

$$\cos \delta \cosh = \cos z \cos \Phi - \sin z \cos A \sin \Phi \quad (2-24)$$

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

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sin A}{\cos A \sin \Phi - \cot g z \cos \Phi} \quad (2-25)$$

و بالاخره با استفاده از قانون کسینوسها رابطه زیر را می توان نوشت:

$$\sin \delta = \cos z \sin \Phi + \sin z \cos A \cos \Phi \quad (2-26)$$

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

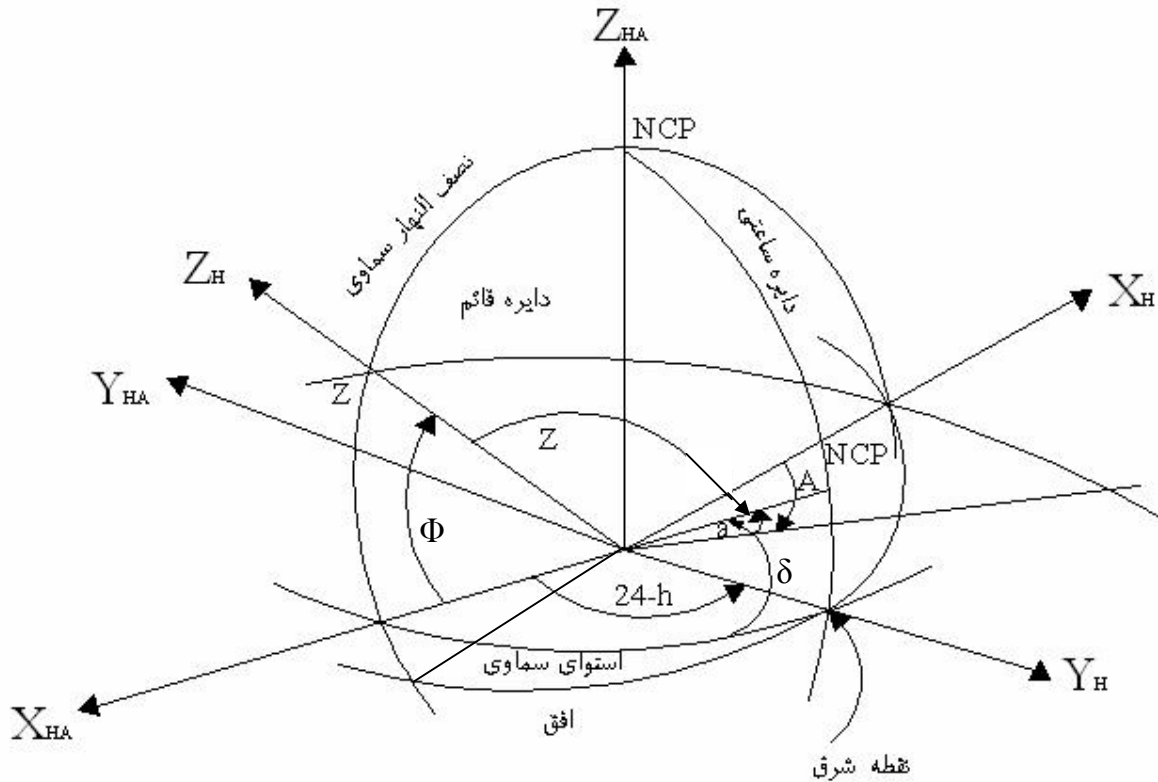
روش دیگر برای حل این تبدیلات استفاده از ماتریسهای دورانی است. بطوریکه می دانیم هر دو سیستم هلیوسنتریک و دست چپی هستند و با توجه به شکل ۱۵-۲ می بینیم که Y_{HA} منطبق بر $-Y_H$ (یا Y_H منطبق بر $-Y_{HA}$) است بنابراین این دو محور 180° با هم اختلاف دارند. همچنین با توجه به این شکل درمی یابیم که محورها X_{HA} ، Z_H و Z_{HA} همه در صفحه نصف النهار سماوی واقع اند. همچنین Z_H و Z_{HA} باندازه $(90-\Phi)$ با هم اختلاف دارند. بنابراین تبدیل سیستم مختصات زاویه ساعتی (HA) به سیستم افقی (H) را می توان بهسولت با رابطه زیر بیان نمود:

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_H = R_3(180^\circ) R_2(90-\Phi) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HA} \quad *(2-27)$$

و چنانچه بجای R_2 و R_3 مقادیر اصلی آنها گذارده شود خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_H = \begin{bmatrix} \cos 180^\circ & \sin 180^\circ & 0 \\ -\sin 180^\circ & \cos 180^\circ & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \cos(90-\Phi) & 0 & -\sin(90-\Phi) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(90-\Phi) & 0 & \cos(90-\Phi) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{HA} \quad (2-28)$$

اثر اولین دوران یعنی $R_2(90-\Phi)$ اینست که محور Z_{HA} را بر محور Z_H منطبق نموده و در ضمن X_{HA} را در همان صفحه ای که X_H قرار دارد یعنی صفحه افق قرار می دهد. دومین دوران، $R_3(180^\circ)$ ، X_{HA} و Y_{HA} را بترتیب بر X_H و Y_H منطبق می نماید و باینترتیب این تبدیل کامل می گردد.
* R_2 و R_3 بترتیب دوران حول y و محور z هستند.



شکل ۱۵-۲

سیستمهای افقی و زاویه ساعتی

تبدیل معکوس یعنی تبدیل سیستم افقی به سیستم زاویه ساعتی را می توان بسادگی با معکوس نمودن (۲-۲۷) بدست آورد:*

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{HA} = R_2(\Phi - 90)R_3(180) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_H \quad (2-29)$$

۲،۳،۲ تبدیل سیستمهای مختصات زاویه ساعتی و بعدی بیکدیگر

ابتدا با روش مثلثات کروی فرمول این تبدیل را بدست می آوریم. از شکل ۱۶-۲ بسهولت می توان دریافت که:

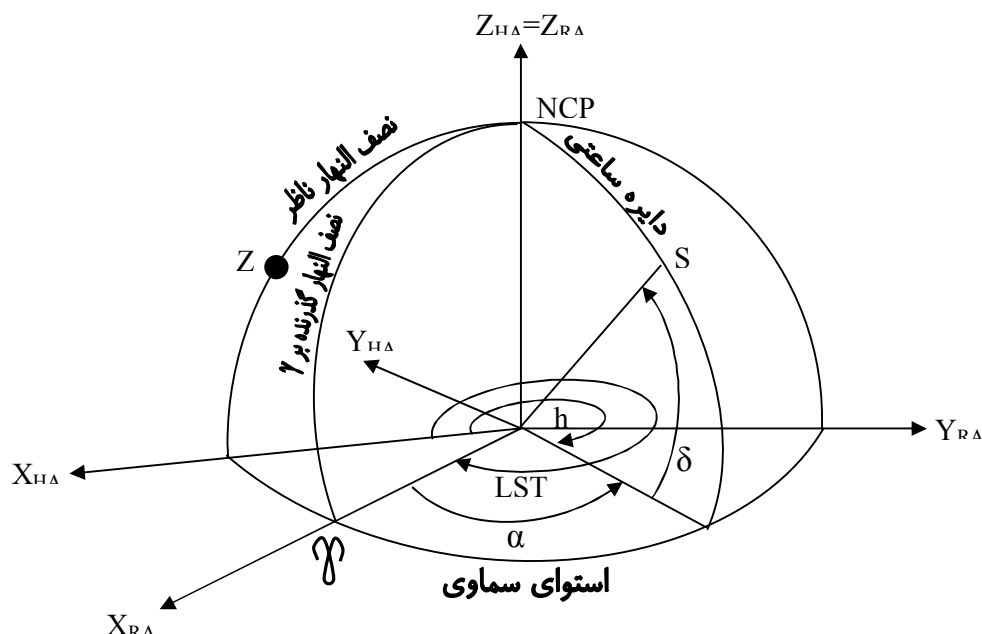
$$\alpha = LST - \alpha \quad (2-30)$$

$$\delta = \delta \quad (2-31)$$

به همین ترتیب تبدیل معکوس را می توان بسهولت نوشت یعنی:

$$h = LST - \alpha \quad (2-32)$$

$$\delta = \delta \quad (2-33)$$



شکل ۱۶-۲

سیستم های مختصات زاویه ساعتی و بعدی

در روش ماتریس با توجه به شکل ۱۶-۲ می بینیم که $Z_{HA} \equiv Z_{RA}$ ، X_{HA} ، Y_{HA} ، X_{RA} و Y_{RA} همه در یک صفحه استوایی قرار دارند و همچنین می دانیم هر دو سیستم هلیوسنتریک هستند. اختلافات دو سیستم اینست که سیستم HA دست چپی و سیستم RA دست راستی است و X_{HA} و X_{RA} باندازه LST با هم اختلاف دارند. معادله زیر تبدیل سیستم HA به سیستم RA را بیان می نماید: **

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{RA} = R_3(-LST)P_2 \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{HA} \quad (2-35)$$

که فرمول فوق پس از گسترش $R_3(-LST)$ و ماتریس انعکاس P_2 بصورت زیر خواهد بود:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{RA} = \begin{bmatrix} \cos(-LST) & \sin(-LST) & 0 \\ -\sin(-LST) & -\cos(-LST) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{HA} \quad (2-36)$$

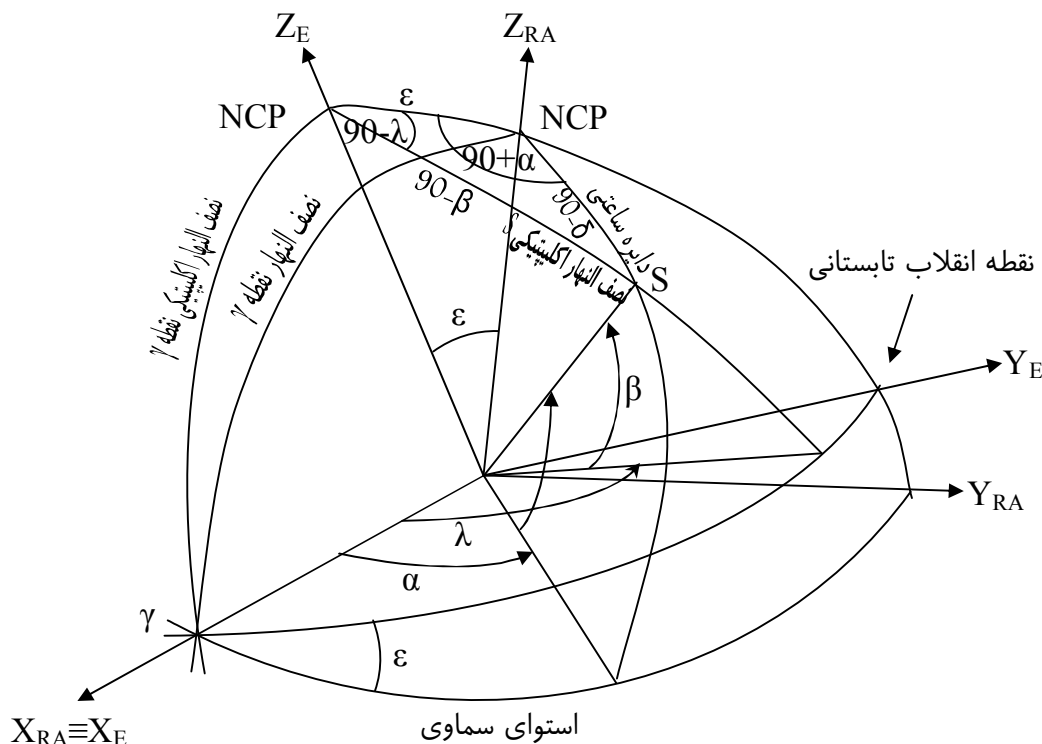
ماتریس P_2 جهت سیستم HA را تغییر می دهد یعنی آنرا از یک سیستم دست چپی به یک سیستم دست راستی تبدیل می کند و ماتریس دورانی $R_3(-LST)$ محورهای Y_{RA} و X_{RA} منطبق می نماید. فرمول تبدیل معکوس عبارتست از:



$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{HA} = P_2 R_3 (LST) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RA} \quad (2-37)$$

* درمورد ماتریسهای دوران که ماتریسهای قائم (orthogonal) هستند قوانین زیر صادق است: اگر داشته باشیم

$x = Ry$ خواهیم داشت $y = R^{-1}x$ همچنین $(R_i R_j) = R_j^{-1} R_i^{-1}$ و $R^{-1}(\theta) = R(-\theta)$ ** در (۲-۳۵) علامت P ماتریس انعکاسی (Reflection) است.



شکل ۲-۱۷

سیستم های مختصات بعدی و اقلیتیک

۲،۳،۳ تبدیل سیستمهای بعدی و اقلیتیک بیکدیگر

برای تبدیل سیستم RA به سیستم E از طریق مثلثات کروی ، مثلث کروی به رئوس NCP ، S و RA در شکل ۲-۱۷ در نظر می گیریم. برای تبدیل مختصات اقلیتیک δ و β (ϵ را معلوم فرض می کنیم) به مختصات بعدی α و λ از روش ذکر شده در ۲،۳،۱ استفاده می شود. با استفاده از قانون سینوسها در مثلثات کروی داریم:

$$\cos \delta \cos \alpha = \cos \beta \cos \lambda \quad (2-38)$$

و از روابط پنج جزئی می توان نوشت:

$$\cos \delta \sin \alpha = \cos \beta \sin \lambda \cos \delta - \sin \beta \sin \epsilon \quad (2-39)$$



که پس از تقسیم (۲-۳۹) بر (۲-۳۸) چنین بدست خواهد آمد:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\sin \lambda \cos \varepsilon - \operatorname{tg} \beta \sin \varepsilon}{\cos \lambda} \quad (2-40)$$

همچنین از قانون کسینوسها داریم:

$$\sin \delta = \cos \beta \sin \lambda \sin \delta + \sin \beta \cos \delta \quad (2-41)$$

دو فرمول (۲-۴۱) و (۲-۴۰) همان روابط مطلوب اند که مختصات اکلپتیک نقطه ای را به مختصات بعدی تبدیل می کنند.

تبدیل معکوس (بعدی به اکلپتیک) را می توان با استفاده از همان قوانین مثلثات کروی یعنی قوانین سینوسها، روابط پنج جزئی و کسینوسها انجام داد:

$$\cos \beta \cos \lambda = \cos \delta \cos \alpha \quad (2-42)$$

$$\cos \beta \sin \lambda = \cos \delta \sin \alpha \cos \varepsilon + \sin \delta \sin \varepsilon \quad (2-43)$$

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

$$\operatorname{tg} \lambda = \frac{\sin \alpha \cos \varepsilon + \operatorname{tg} \delta \sin \varepsilon}{\cos \alpha} \quad (2-44)$$

و

$$\sin \beta = -\cos \delta \sin \alpha \sin \varepsilon + \sin \delta \cos \varepsilon \quad (2-45)$$

با مراجعه به شکل ۲-۱۷ به سهولت می توان دریافت که اختلاف بین سیستمهای E و RA تنها در میل اکلپتیک نسبت به استوا یعنی ε است و این زاویه محورهای Z_E و Z_{RA} و Y_G و Y_{RA} را از هم جدا می کند در حالیکه هر یک از این دو زوج محورها در یک صفحه قرار دارند. بنابراین مدل تبدیل با روش ماتریسی با فرمول ساده زیر بدست خواهد آمد:

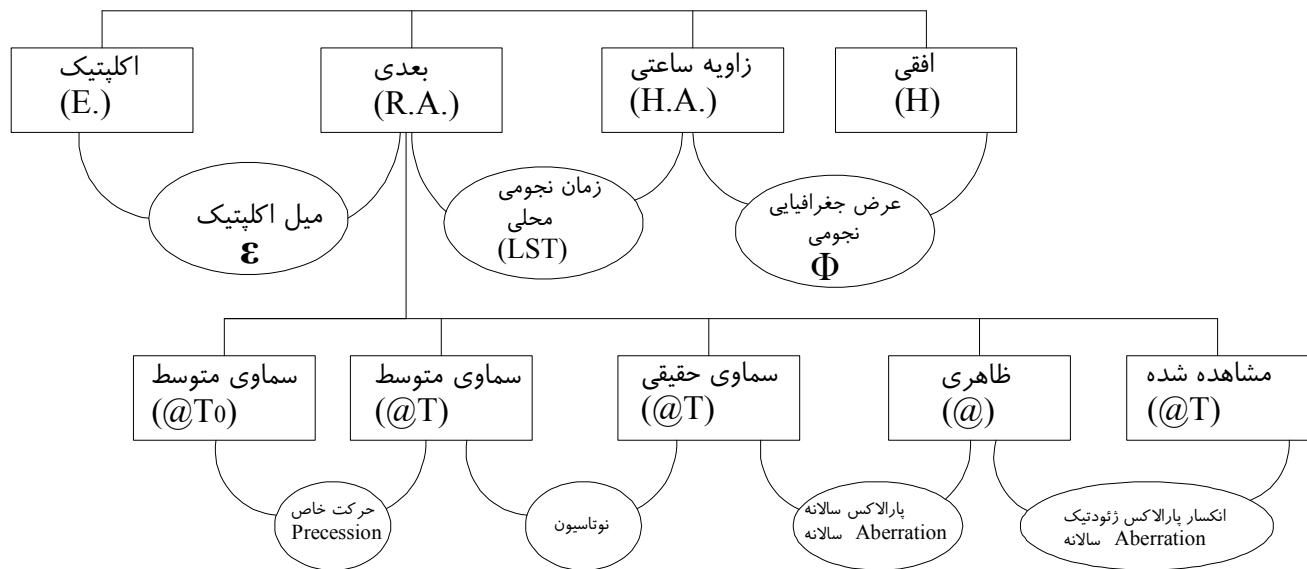
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{RA} = R_1(-\varepsilon) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_E \quad (2-46)$$

و

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_E = R(\varepsilon) \begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix}_{RA}$$

۲،۳،۴ خلاصه سیستم های مختصات سماوی

در شکل ۲-۱۸ و جدول ۲-۱ تبدیلات بین سیستمهای مختصات سماوی (عوامل لازم) برای اجرای این تبدیلات بطور خلاصه و دیاگراماتیک نمایش داده شده. همچنین در شکل ۲-۱۸ سیستم بعدی (RA) برای نشان دادن حرکات سیستمهای مختصات در زمان و فضا گسترش داده شده که در این مورد در فصل سوم توضیح داده خواهد شد. جدول ۲-۱ روش ماتریسی را در تبدیلات بین سیستمهای مختصات سماوی نمایش می دهد.



شکل ۱۴-۶

سیستم های مختصات سماوی و مراحل انتقال مختصات بدست آمده از جدول به سیستمی که وابسته به زمان مشاهده است

۴-۲ موقعیت های خاص ستارگان

موقعیتهای معین و خاصی از ستارگان نامهای مخصوصی دارند و بطوریکه بعداً "خواهیم دید بعضی از مدلهای ریاضی برای تعیین مختصات و آزمون نجومی براساس این موقعیتهای خاص که ستارگان در آنها قرار می گیرند تشکیل می گردند.

در شکل ۱۹-۲ حالاتی را که ستارگان در حرکت ظاهریشان بدور زمین از شرق بغرب دارند از دید ناظری (Z) واقع در محلی بین استوا و قطب ($0 \leq \Phi \leq 90$) نشان داده شده. با مراجعه به این شکل حالات زیر را می توان تشخیص داد:

۱. ستارگان حول قطبی* (circumpolar) (a) که دایره قائم اصلی را قطع نمی کند (b) که دایره قائم اصلی را قطع می کند. هر دو دسته (a) و (b) در تمام زمانها برای ناظر واقع در نیمکره شمالی قابل رؤیت 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 پائین 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 زمانهای مزبور در مورد آنها مساوی است
 - (c) ستارگانی که بیشتر در زیر افق قرار دارند

۳. ستارگان حول قطبی جنوبی هرگز برای ناظر مزبور قابل رؤیت نیستند.

برای ناظری در نیمکره جنوبی ($0 \geq \Phi \geq 90$) موارد ۱ و ۲ و ۳ ذکر شده در بالا برعکس است. در حالت استثنائی نیز در این بحث قابل ذکر می باشد (۱) Z در استوا قرار داشته باشد که در این حالت نصف مسیر تمام ستارگان برای ناظر قابل رؤیت خواهد بود و (۲) Z در یکی از دو قطب واقع باشد که در چنین حالتی تمام ستارگان واقع در آن نیمکره برای ناظر قابل دیدن هستند.



		سیستم اولیه			
		اکلیپتیک	بعدی	زاویه ساعتی	افقی
سیستم تبدیل یافته	اکلیپتیک	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_E$			
	بعدی	$R_1(-E)$	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{R.A}$	$R_3(-LST) P_2$	
	زاویه ساعتی		$P_2 R_3 (+LST)$	$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{H.A}$	$R_2 (\Phi-90^\circ) R_3(180^\circ)$
	افقی				$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_H$

جدول ۱-۲

تبدیل های بین سیستم های مختصات سماوی

۲،۴،۱ طلوع و غروب ستارگان

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

میل

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

$$\delta \geq 90 - \Phi \quad (2-48)$$

و شرط فوق برای ستاره ای جنوبی بصورت

$$\delta \geq \Phi - 90 \quad (2-49)$$



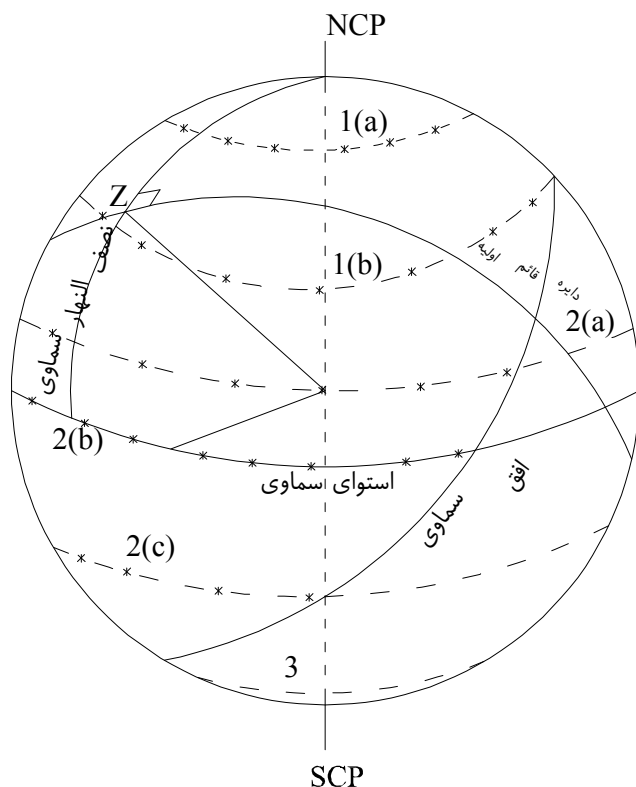
خواهد بود. بنابراین شرط کلی برای طلوع و غروب یک ستاره عبارتست از:

$$90 - \Phi > \delta > \Phi - 90 \quad (2-50)$$

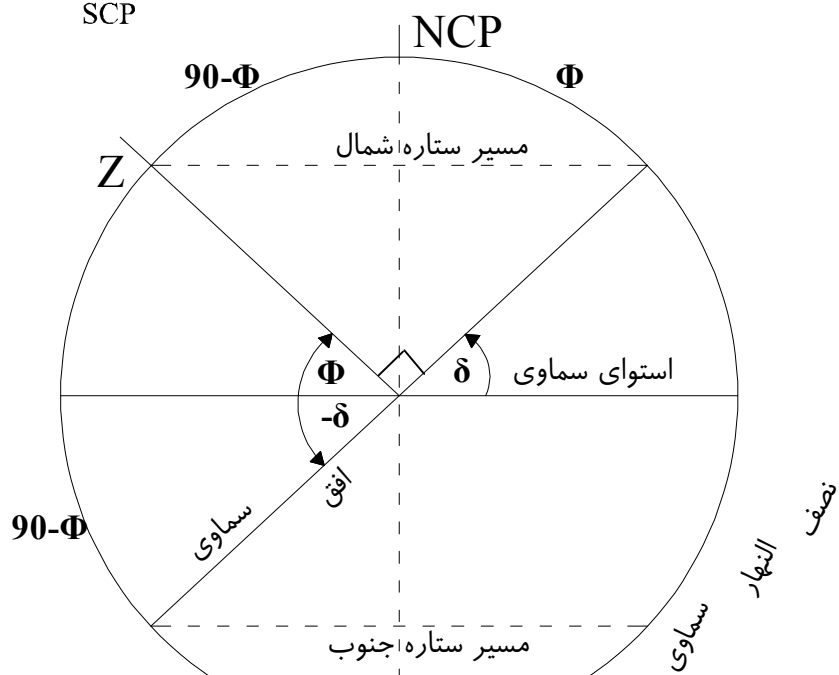
بطور مثال برای اینکه ستاره ای در تهران که دارای عرض جغرافیائی حدود ۳۸ درجه است قابل رؤیت باشد میل آن می باید محدود به حدود زیر باشد:

$$-52^\circ < \delta < 52^\circ$$

البته چنانچه میل ستاره ای در رابطه فوق صدق کند این ستاره برای مدتی قابل رؤیت است ولی اگر $\delta > 52^\circ$ ستاره هرگز غروب نمی کند (یعنی ستاره ای است حول قطبی) و اگر $\delta < -52^\circ$ باشد ستاره هرگز طلوع نخواهد کرد (یعنی برای ناظر مزبور ستاره ای جنوبی و حول قطبی خواهد بود)



شکل ۲-۱۹
ستارگان حول قطبی و حول استوایی



شکل ۲-۲۰

میل ستارگان برای تعیین قابلیت رویت

کلیه حقوق این مجموعه متعلق به انجمن علمی نقشه برداری دانشگاه زنجان می باشد

تهیه شده توسط آقای مهندس سید محمد قادر زرین کیا، آقای مهندس احسان زارعی، آقای مهندس سید مجتبی شهابی، آقای مهندس حامد افشارنیا



زاویه ساعتی

اکنون باید دید ستارگانی که میل آنها در زمانهای طلوع و غروبشان در بالا تعیین شد در این زمانها دارای چه زاویه ساعتی خواهند بود.

در بحث تبدیل مختصات منحنی الخط زاویه ساعتی به افقی (قسمت ۱، ۳، ۲ و (۲-۲۲) رابطه زیر را دیدیم:

$$\cos z = \sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cosh \cos \Phi$$

در حظات طلوع و غروب $z=90^\circ$ است و در چنین شرایطی رابطه فوق تبدیل به فرمول

$$\sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cosh \cos \Phi = 0 \quad (2-51)$$

خواهد شد که می توان آنرا بصورت زیر نوشت:

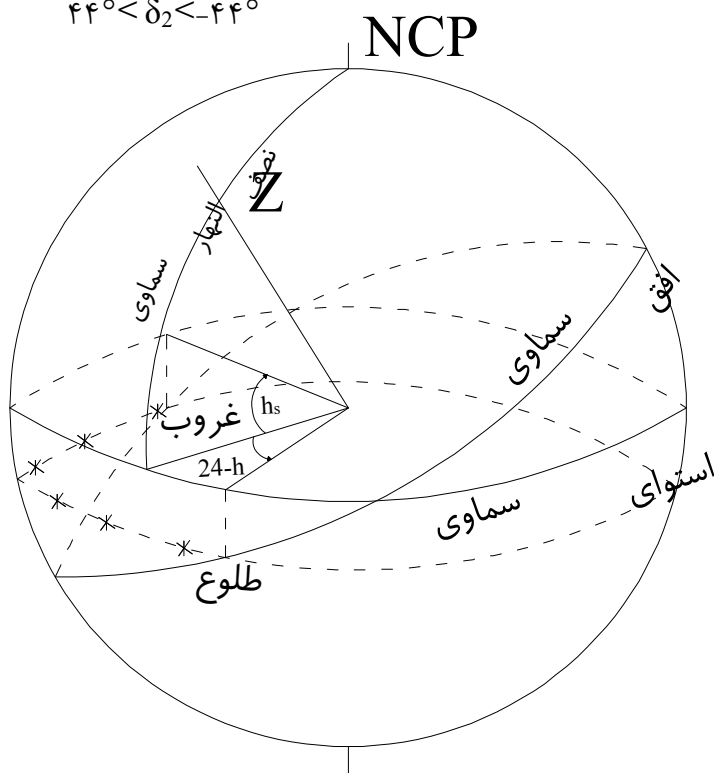
$$\cosh = -\operatorname{tg} \delta \operatorname{tg} \Phi \quad (2-52)$$

باید توجه داشت حرکت ظاهری ستاره بر روی کره سماوی از شرق بغرب است. برای ستاره ای که طلوع و غروب می کند معادله (۲-۵۲) دارای دو جواب می باشد که جواب کوچکتر زمان غروب و جواب بزرگتر زمان طلوع را مشخص می کند (شکلهای ۲-۲۲ و ۲-۲۱). مثال زیر این مطلب را بخوبی نشان می دهد.

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

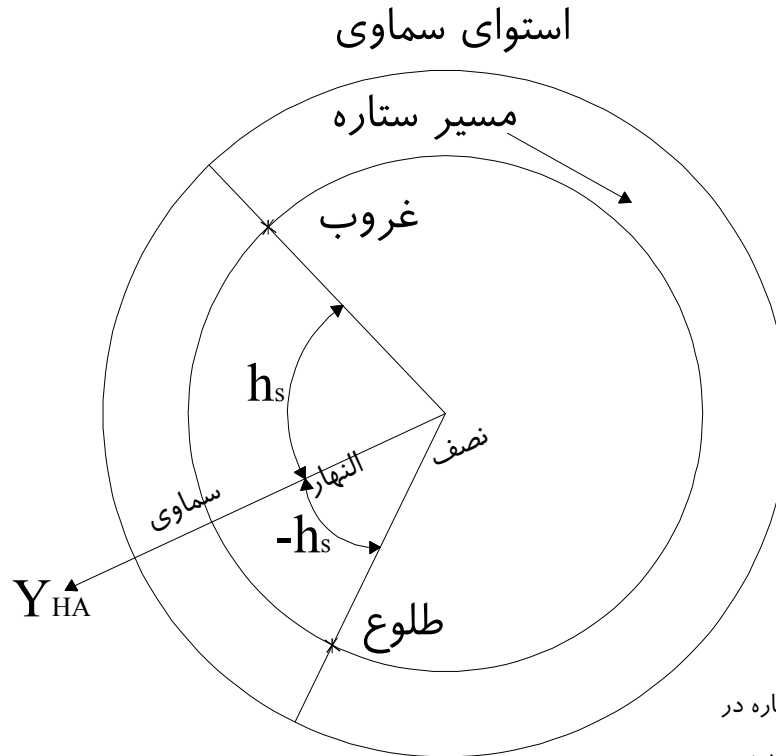
$$44^\circ > \delta_1 > -44^\circ$$

$$44^\circ < \delta_2 < -44^\circ$$



شکل ۲-۲۱

طلوع و غروب یک ستاره



شکل ۲-۲۲
زاویه ساعتی یک ستاره در
زمانهای طلوع و غروب

با توجه به اینکه اولین ستاره در معادله (۲-۵۰) صدق می کند دارای طلوع و غروب می باشد ولی دومین ستاره بدلیل آنکه میل آن بزرگتر 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 اول ادامه می دهیم. از معادله ۲-۵۲ داریم:

$$\cosh_1 = -\operatorname{tg} 35^\circ \operatorname{tg} 46^\circ$$

یا

$$h_1^s = 136.4759 = 9^h 05^m 54^s.22$$

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

$$h_1^r = (24^h - h_1^s) = 14^h 54^m 05^s.78$$

آزموت

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

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

که با قرار دادن $z=90^\circ$ یعنی حالت طلوع و غروب رابطه فوق را بصورت زیر خواهیم داشت:

$$\sin A = -\cos \delta \sinh \quad (2-53)$$

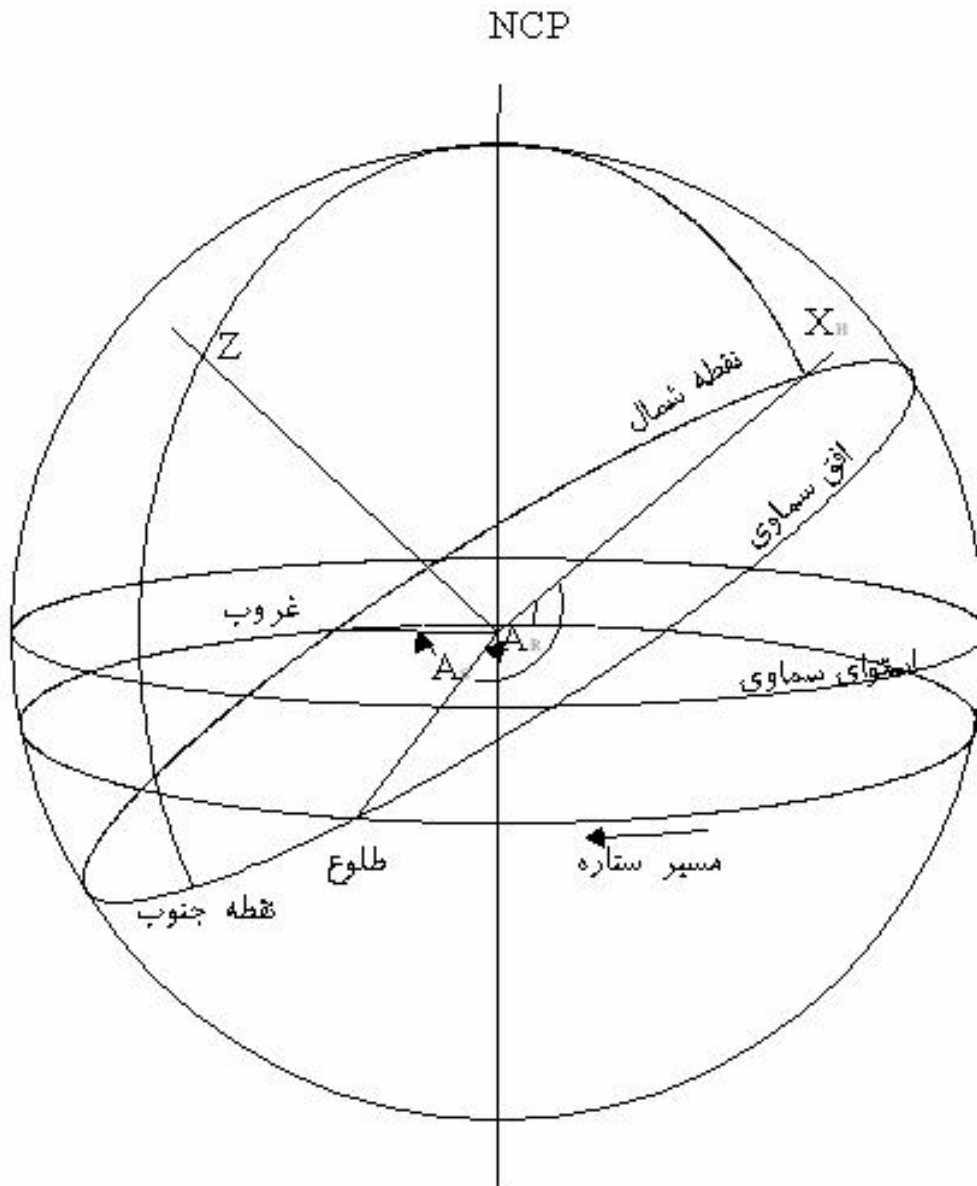
که البته این معادله دو جواب خواهد داشت (شکل های ۲-۲۳ و ۲-۲۴) که یکی از آنها با قرار دادن h^r (زاویه ساعتی ستاره در هنگام طلوع ستاره) و دیگری با قرار دادن h^s (زاویه ساعتی ستاره در هنگام غروب ستاره) در (۲-۵۳) بدست



می آیند. با قرار دادن ($h_1^r = 14^h 54^m 05^s.78$ و $h_1^s = 9^h 05^m 54^s.22$ و $\Phi = 46^\circ$ و $\delta_1 = 35^\circ$) از مثال بالا مقادیر زیر تعیین می گردند:

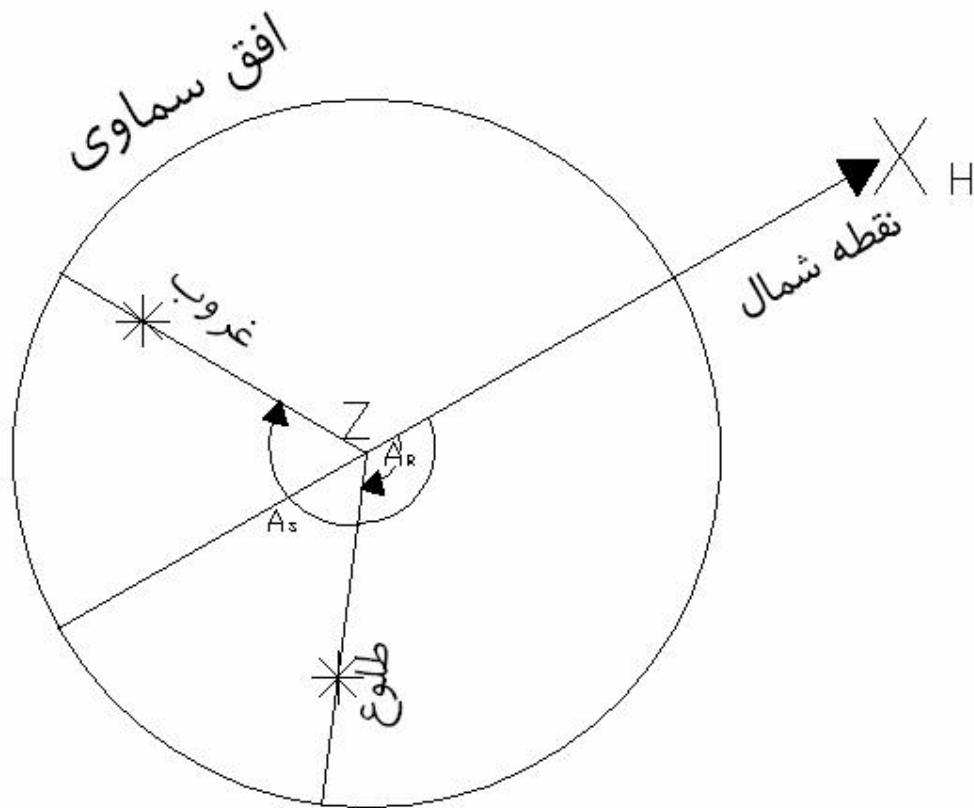
$$\sin A_1^r = -\cos 35^\circ \sin 223^\circ.5241$$

$$A_1^r = 34^\circ 20' 27''.64$$



شکل ۲۳-۲

طلوع و غروب یک ستاره



آزیموت یک ستاره در حال طلوع و غروب

و بهمین ترتیب

مجموعه قوانین زیر برای زوایای ساعتی و آزیموتها در تعیین طلوع و غروب ستارگان بکار می روند:

ستارگان شمالی ($\delta > 0^\circ$)	طلوع	$12^h < h < 18^h$	$0^\circ < A < 90^\circ$
	غروب	$6^h < h < 12^h$	$270^\circ < A < 360^\circ$
ستارگان استوایی ($\delta = 0^\circ$)	طلوع	$h = 18^h$	$A = 90^\circ$
	غروب	$h = 6^h$	$A = 27^\circ$
ستارگان جنوبی ($\delta < 0^\circ$)	طلوع	$18^h < h < 24^h$	$90^\circ < A < 180^\circ$
		$0^h < h < 6^h$	$180^\circ < A < 270^\circ$

۲،۴،۲ عبور ستاره از نصف النهار محل (Culmination (Transit)

زمانیکه دایره ساعتی ستاره ای منطبق بر نصف النهار سماوی ناظر باشد گویند ستاره در حال عبور Transit یا Culmination است. عبور بالا (Upper Culmination) (UC) حالتی است که ستاره از طرف سمت الرأس دایره ساعتی از نصف النهار محل عبور می نماید و این حالت می تواند در شمال یا جنوب سمت الرأس وقوع می یابد (شکل 2-25a و 2-25b). چنانچه UC در شمال Z باشد فاصله سمت الراسی با فرمول



$$Z = \delta - \varphi \quad (2-54)$$

(شکل ۲-۲۵a) محاسبه می شود و اگر UC در جنوب Z اتفاق می افتد این فاصله با رابطه

$$Z = \varphi - \delta \quad (2-55)$$

تعیین می شود. عبور پایین (LC) (Lower culmination) (شکل ۲-۲۵c) در طرف راست سمت القدم دایره ساعتی است و برای ناظری در نیمکره شمالی همواره در شمال سمت الراس وقوع می یابد. فاصله سمت الراسی در LC با فرمول

$$Z = 180 - (\delta + \varphi) \quad (2-56)$$

بدست می آید.

مثال های قسمت ۲، ۴، ۱ را که در آن $(\phi = 46^\circ, \delta_1 = 35^\circ, \delta_2 = 50^\circ)$ بود مجددا در نظر می گیریم بنا براین در مورد اولین ستاره فاصله سمت الراس برابر خواهد با

$$Z_1^{UC} = \phi - \delta_1 = 11^\circ$$

که در جنوب سمت الراس می باشد.

$$Z_1^{Lc} = 180^\circ - (\delta_1 + \phi) = 99^\circ$$

که بدینمعنی است که ستاره قابل رویت نمی باشد ($Z < 90^\circ$).

$$Z_2^{UC} = \delta_2 - \varphi = 40^\circ$$

در مورد دومین ستاره کمیت های فوق را بترتیب زیر خواهیم داشت

$$Z_2^{Lc} = 180^\circ - (\delta_2 + \varphi) = 84^\circ$$

که هر دو حالت در شمال سمت الراس وقوع می یابند. در عبور بالای ستاره از نصف النهار $h=0^h$ و برای عبور پائین $h=12^h$ می باشد. آزمونتها در لحظات عبور عبارتند از $A=0^\circ$ برای تمام عبور های بالای در شمال Z و تمام عبور های پائین، $A=180^\circ$ برای تمام عبور های بالای در جنوب Z.

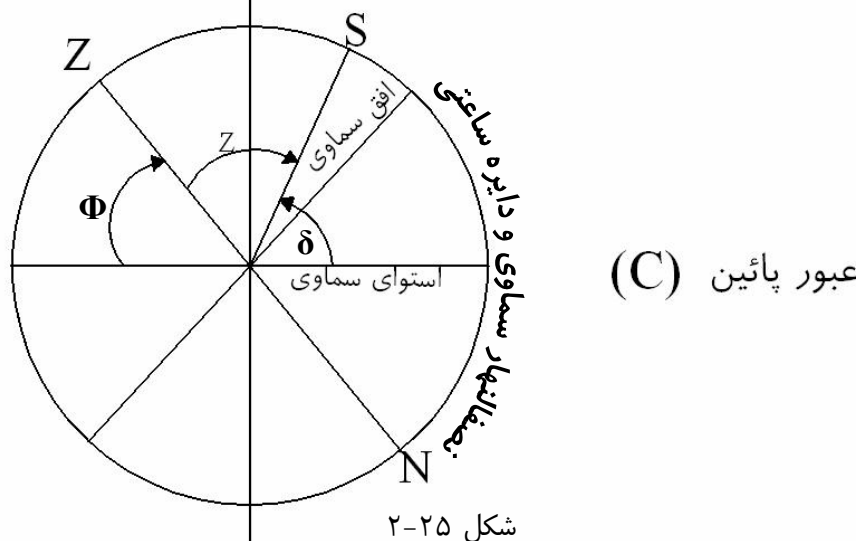
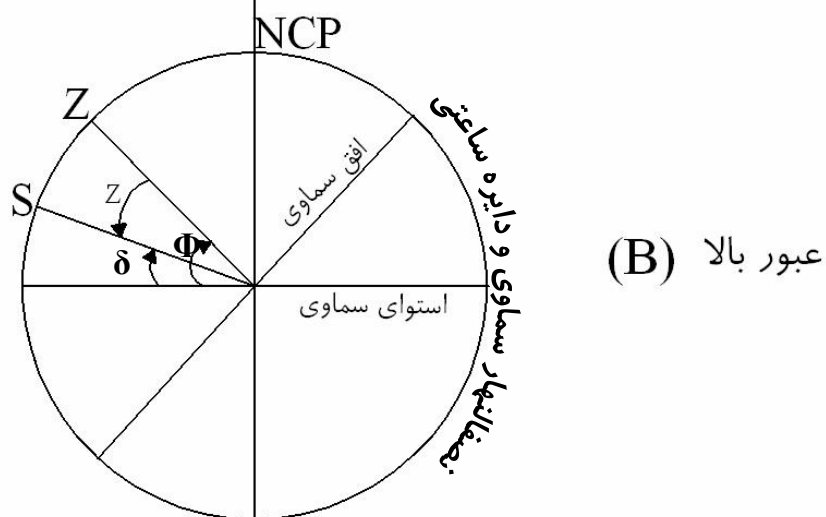
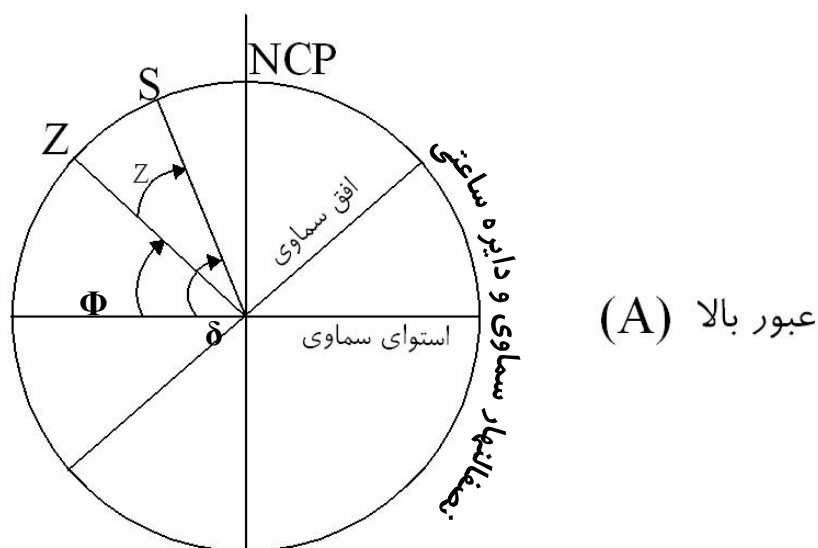
یاد آوری می شود که در تبدیل سیستم های مختصات زاویه ساعتی و بعدی داشتیم

$$LST = h + \alpha$$

(معادله ۲-۳۰) چون در حالات عبور بالا $h=0^h$ و در عبور پایین $h=12^h$ می باشد بنابر این خواهیم داشت:

$$LST^{UC} = \alpha \quad (2-57)$$

$$LST^{Lc} = \alpha + 12^h \quad (2-58)$$



شکل ۲۵-۲

عبور ستاره از نصف النهار مبدا



۲،۴،۳ برخورد ستاره با دایره قائم اولیه

برای اینکه ستاره ای دایره قائم اولیه را قطع نماید شرط زیر بایستی برقرار باشد

$$0^\circ < \delta^\circ < \varphi \quad (2-59)$$

برای محاسبه فاصله سمت الراسی ستاره در چنین حالتی معده زیر را که در بحث تبدیل سیستم افقی به سیستم زاویه ساعتی (معادله ۲-۲۶) بکار رفت مورد استفاده قرار می دهیم

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

در برخورد ستاره با دایره قائم اولیه در شرق یعنی حالتی که ارتفاع ستاره در حال افزایش است $A=90^\circ$ بوده و در برخورد در غرب که ارتفاع ستاره در حال کاهش است $A=270^\circ$ می باشد. بنابراین خواهیم داشت

$$\cos z = \frac{\sin \delta}{\sin \phi} = \sin \delta \operatorname{cosec} \phi \quad (2-60)$$

برای محاسبه زاویه ساعتی ستاره در زمان برخورد با نصف النهار محل باین ترتیب عمل می کنیم که معادله

$$\cos z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cosh \cos \phi \quad (2-60) \text{ را در معادله (2-22) یعنی}$$

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

جایگزین می نمائیم:

یا

$$\sin \delta = \sin \delta \sin^2 \phi + \cos \delta \cosh \cos \phi \sin \phi \quad (2-61)$$

که می توان آنرا بصورت زیر نوشت

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

یا

$$\cosh = \operatorname{tg} \delta \left(\frac{1 - \sin^2 \phi}{\cos \phi \sin \phi} \right) = \operatorname{tg} \delta \left(\frac{\cos^2 \phi}{\cos \phi \sin \phi} \right)$$

و یا

$$\cosh = \operatorname{tg} \delta \cot \phi \quad (2-62)$$

مانند آنچه در تعیین طلوع و غروب یک ستاره دیدیم در اینجا نیز دو امتداد برای h بدست می آید که یکی مربوط به قطع ستاره در شرق ($18^h < h < 24^h$) و دیگری در غرب ($0^h < h < 6^h$) است. بتا توجه به مثالهای قبل که داشتیم ($\delta_1 = 35^\circ, \delta_2 = 50^\circ$) واضحست که ستاره دوم دایره قائم اولیه را قطع نمی نماید زیرا ($\delta_2 > 46^\circ$) می باشد. اولین ستاره این دایره را قطع نمی نماید چون ($0 < \delta_1 < 46^\circ$) که برای برخورد در شرق $A=90^\circ$ و در غرب $A=270^\circ$ است. فاصله سمت الراسی بر هر دو برخورد از معادله (۲-۶۰) تعیین می گردد.

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

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

و زوایای ساعتی غربی و شرعی در حالت برخورد، با استفاده از معادله (۲-۶۲) بدست می آیند

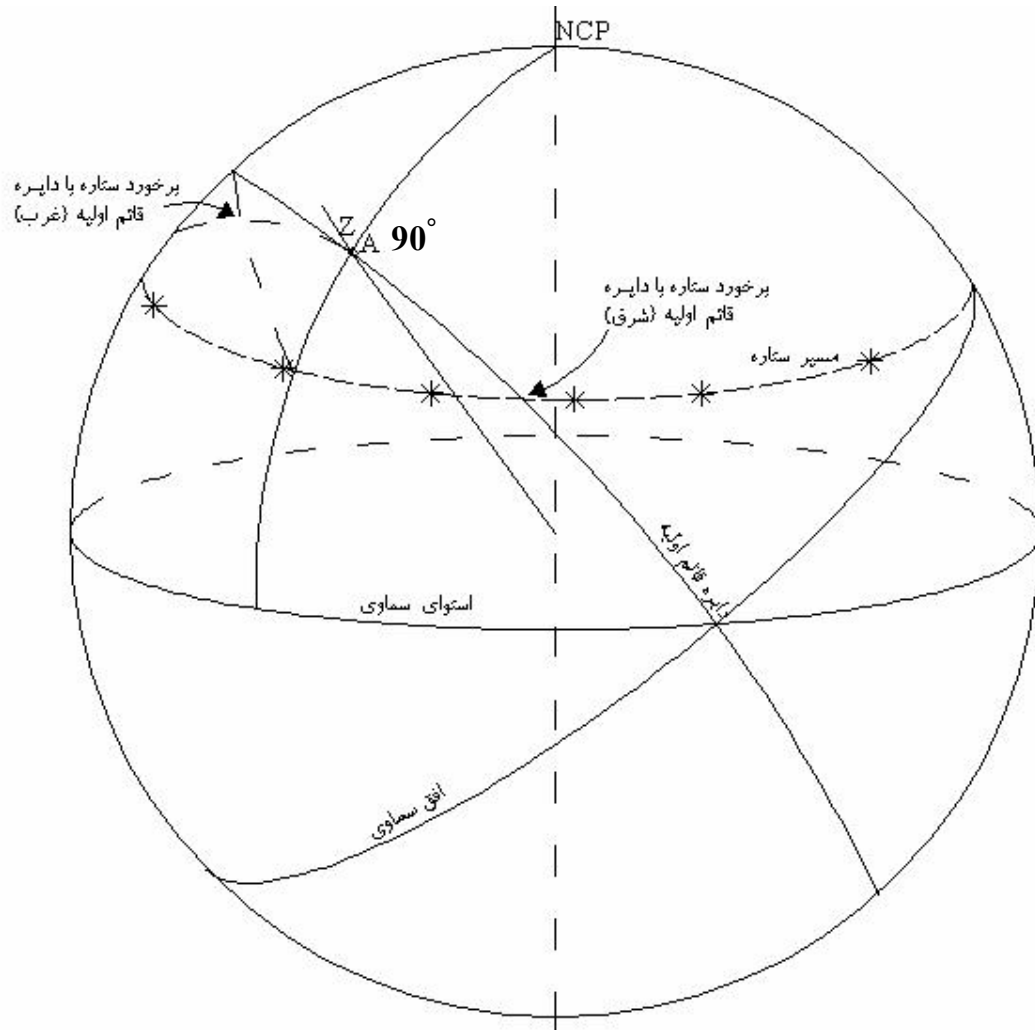


$$\cosh_1^W = \operatorname{tg} \delta \cot g \phi = \operatorname{tg} 35^\circ \cot g 46^\circ$$

$$h_1^W = 47^\circ.45397 = 3^h 09^m 48.9^s$$

9

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



شکل ۲-۲۶

برخورد ستاره با دایره قائم اولیه

وقتی زاویه پارالاکتیک (زاویه p در شکل ۲-۱۲) 90° 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 می افتد ولی شروط بر آنکه ستاره دایره قائم اولیه را قطع ننماید بنابراین شروط وقوع Elongation اینست که رابطه زیر برقرار باشد

$$\delta > \phi \quad (2-63)$$

از مثلث نجومی (شکل ۲-۱۲) و با استفاده از قانون سینوسها می توان چنین نوشت :



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

یا

$$\sin A = \frac{\sin P \cos \delta}{\cos \phi} \quad (2-64)$$

چون در Elongation داریم $p=90^\circ$ بنابر این (۲-۶۴) را در این حالت بصورت زیر خواهیم داشت :

$$\sin A = \cos \delta \sec \phi \quad (2-65)$$

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

برای تعیین فاصله سمت الراسی و زاویه ساعتی در Elongation از قانون کسینوسها استفاده می شود. با در نظر گرفتن مثلث نجومی (شکل ۱۲-۲) و استفاده از این قانون می توان نوشت:

$$\cos(90-\phi) = \cos(90-\delta) \cos z + \sin z \sin(90-\delta) \cos p \quad (2-66)$$

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

$$\cos z = \sin \phi \operatorname{cosec} \delta \quad (2-67)$$

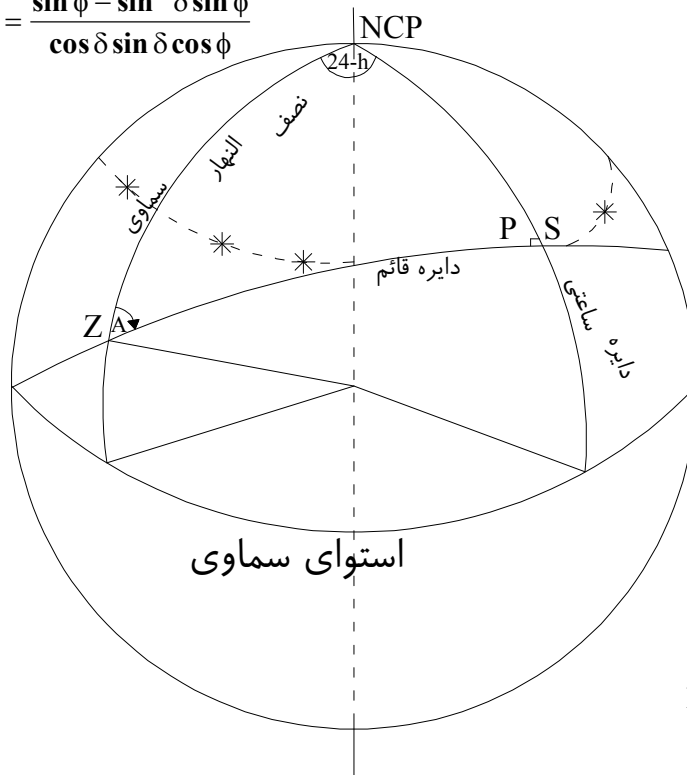
اکنون با قرار دادن $\cos z$ از (۲-۶۷) در عبارت مربوط به تبدیل سیستم مختصات زاویه ساعتی به سیستم مختصات افقی

$$\cos z = \sin \delta \sin \phi + \cos \delta \cosh \cos \phi \quad \text{یعنی معادله (۲-۲۲) که بصورت}$$

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

و یا

$$\cosh = \frac{\sin \phi - \sin^2 \delta \sin \phi}{\cos \delta \sin \delta \cos \phi} \quad (2-68)$$



شکل ۲-۲۷
Elongation



که پس از مقداری عملیات مثلثاتی این فرمول بصورت زیر نوشت

و بالاخره

$$\cosh = \operatorname{tg} \phi \cot g \delta \quad (2-69)$$

باید توجه داشت که دو نوع Elongation (شرقی و غربی) وجود دارد که وقوع این حالات به آزمون دارد.

مثالهای قبلی را که در آنها داشتیم $\delta_1 = 35^\circ, \delta_2 = 50^\circ, \phi = 46^\circ$ مجددا در نظر می گیریم می بینیم که در مورد

ستاره اول $\delta_1 < \phi$ می باشد و بنابراین Elongation وقوع نخواهد یافت. در مورد دومین ستاره این حالت پیش خواهد

آمد زیرا $\delta_2 > \phi$ و بنابراین هر دو Elongation شرقی و غربی در مورد این ستاره اتفاق خواهد افتاد.

آزمونها، فاصله سمت الراسی و زوایای ساعتی برای این ستاره عبارتند از:

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

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

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

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

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

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

$$\cosh_2^W = \operatorname{tg} \phi \cot g \delta = \operatorname{tg} 46^\circ \cot g 50^\circ$$

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

$$h_2^E = 24^h - h_2^W = 22^h 01^m 19.8^s$$



سیستم های سنجش زمان

همانطور که در شروع فصل دوم اشاره شد موقعیت یک ستاره بر روی کره سماوی در هر 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 (بطور 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 بکار می روند آشنا بود.

برای توضیح سیستم های زمانی سه مطلب اساسی وجود دارد که میباید شرح داده شوند. اولین موضوع مبدا (epoch) است که عبارت است از یک لحظه خاص از یک زمان که لحظه وقوع یک پدیده یا مشاهده ای را تعریف می نماید. دومین مطلب فاصله زمانی (Time interval) است که زمان طی شده بین دو مبدا را تعریف می کند. این فاصله زمانی را می باید با وسیله ای سنجید که آنرا مقیاس زمان Time scale می نامند که همان سومین موضوع اساسی است. در مورد زمان معمولی و عادی (civil Time) که برای منظور های روزمره بکار می رود واحد مقیاس زمان (مثلاً ثانیه) از نظر طول زمانی ثابت فرض می شود ولی در سیستم های نجومی واحد های زمانی از نظر طول در سیستم های مختلف با هم فرق دارند. واحدهای زمانی باید بنحوی با یک پدیده فیزیکی تکراری در ارتباط باشند و این پدیده می باید از نامنظمی هایی که دارای زمان متناوب کوتاه هستند مستقل بوده و یا اینکه قابلیت آزاد شدن و مستقل شدن از این نامنظمی ها را دارا باشد تا بتوان زمانی را که بوسیله وسایل سنجش زمان بدست می آید درون یابی بیرون یابی (interpolation and extropolation) نمود.

بطور کلی سه سیستم اصلی برای زمان وجود دارد:

- (۱) زمانهای نجومی و جهانی (sidereal and universal Time) که بر اساس حرکت روزانه زمین تعریف شده و با مشاهدات ستارگان تعیین می گردد.
- (۲) زمان اتمی (ATOMIC Time) که بر اساس تناوب نواسانات الکترومغناطیسی تولید شده بوسیله عبور ذرات اتم $Caesium\ 133$ تعریف و تعیین می شود.

(۳) زمان Ephemeris که بر اساس حرکت انتقالی زمین بدور خورشید تعریف می شود.

زمان Ephemeris بیشتر در مکانیک سماوی مورد استفاده قرار می گیرد و در نجوم ژئودتیک کاربرد کمی دارد ولی زمانهای نجومی و جهانی در ژئودزی از اهمیت بسیاری برخوردارند. این دو زمان با فرمولهای دقیقی با هم ارتباط دارند بنابراین در عمل هر یک از آنها که مناسب باشند بکار می رود چون می توان دیگری را با استفاده از آن تعیین نمود. علائم رادیویی زمان که بوسیله فرستنده های مختلف ارسال می شوند عموماً زمان اتمی است. بنابراین این رابطه بین زمان اتمی و زمان نجومی یا جهانی در نجوم ژئودتیک بسیار مهم می باشد.



۳،۱ زمان نجومی

واحد اصلی فاصله زمان نجومی روز متوسط نجومی است که عبارت است از فاصله بین دو عبور بالای متوالی اعتدال بهاری متوسط (این نقطه موقعیت نقطه γ را در حالیکه حرکت یکنواخت Precession برای آن در نظر گرفته شده ولی حرکت غیر یکنواخت با دوره تناوب کوتاه nutation درباره آن محسوب نشده معین می کند) از نصف النهار یک محل در حالیکه اثرات حرکت قطبی بر روی این نصف النهار بحساب نیامده باشد.

روز متوسط نجومی از ساعت صفر (0^h) در عبور بالا حساب می شود و ظهر نجومی شناخته می شود و واحد های آن عبارتند از $1^h = 60^m, 1^m = 60^s$. زمان نجومی ظاهری یا حقیقی (ثر مورد این زمان اثرات Precession و nutation هر دو بر روی موقعیت γ در نظر گرفته می شود) که بعلت متغیر بودن و یکنواخت نبودنش نمی توان آن را در سنجش فاصله های زمانی مورد استفاده قرار داد. بعلت اینکه در نقطه اعتدال متوسط تنها اثر precession در نظر گرفته می شود ولی در نقطه اعتدال حقیقی هر دو اثر Precession و nutation بحساب می آیند روز متوسط نجومی باندازه 0.0084^s کوتاهتر از زمان یک دوران کامل حقیقی زمین می باشد.

از تعریف بالا در مورد واحد اصلی فاصله زمانی نجومی میتوان چنین نتیجه گرفت که زمان نجومی مستقیماً با دوران زمین مربوط است بدینمعنی که در این حرکت دورانی زوایای مساوی، متناظر با فواصل زمانی نجومی مساوی می باشد. مبدا نجومی sidereal epoch بوسیله اندازه گیری زاویه ساعتی نقطه اعتدال بهاری تعیین می شود چنانچه زاویه ساعتی نقطه اعتدال بهاری حقیقی (موقعیت نقطه γ با در نظر گرفتن هر دو اثر Precession و nutation) اندازه گیری شده باشد آنرا زمان نجومی محلی ظاهری (LAST) (Local Apparent Sideral Time) می نامند. وقتی زاویه ساعتی نقطه مزبور در نصف النهار متوسط نجومی گرینویچ اندازه گیری شود آنرا زمان نجومی ظاهری گرینویچ (GAST) (Greenwich Apparent Sideral 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 بدینمعنی که باین ترتیب روابط مستقیمی بین زمان و طول جغرافیایی ایجاد شده و همچنین باعث سهولت در بدست آوردن مختصات ستارگان گردیده که مستقل از محل و مختصات نقطه مشاهدات هستند در ضمن ارتباط مستقیم با طول جغرافیایی نقطه مزبور دارند.

زاویه ساعتی نقطه اعتدال بهاری متوسط در یک محل زمان نجومی متوسط محلی (LMST) (Local Mean Sideral Time) و زاویه ساعتی نقطه مزبور در گرینویچ زمان نجومی متوسط گرینویچ (GMST) (Greenwich Mean Sideral Time) و نامیده می شوند. اختلاف بین LMST و LAST یا بین GMST و GAST به معادله نقاط اعتدالین (Eq.E) (equation of the Equinoxes) موسوم است یعنی

$$\text{Eq.E} = \text{LAST} - \text{LMST} = \text{GAST} - \text{GMST} \quad (3-1)$$

LAST, LMST, GAST, GMST و Eq.E همه در شکل ۳-۱ نشان داده شده اند.

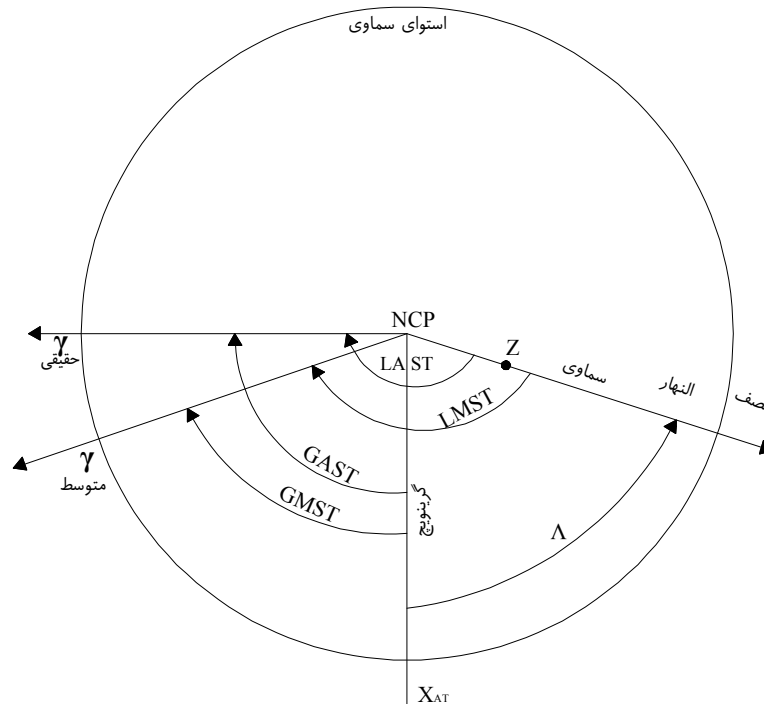
علت وجود معادله اعتدالین وجود nutation می باشد و دارای تغییرات متناوبی با دامنه حداکثر حدود یک ثانیه است (شکل ۳-۲) و مقدار آن در جدول American Ephemerise and Nauutical Almanac برای ساعت صفر UT که در بخش ۳،۲ راجع به آن صحبت خواهد شد برای هر روز از سال داده شده.

$$\text{LAST} = \text{GAST} + \Lambda \quad (\text{3-3})$$

The diagram illustrates the celestial sphere with the following components:

- Earth's Axis:** A vertical line passing through the center, with the North Celestial Pole (NCP) at the top and the South Celestial Pole (SCP) at the bottom. The axis is labeled with X_{AT} at the bottom.
- Observer's Location:** A point Z on the sphere's surface, representing the observer's location. A line connects the NCP to Z , labeled Z at the point and λ (latitude) along the arc.
- Time Systems and Arcs:**
 - LAST (Local Astronomical Time):** The arc from the NCP to the observer's meridian.
 - LMST (Local Mean Solar Time):** The arc from the NCP to the mean solar meridian.
 - GAST (Greenwich Astronomical Time):** The arc from the NCP to the Greenwich meridian.
 - GMST (Greenwich Mean Solar Time):** The arc from the NCP to the Greenwich meridian.
- Earth's Rotation:** Indicated by curved arrows around the axis, showing the Earth's rotation from left to right.
- Coordinate Systems:**
 - Horizontal System:** Defined by the X_{RA} (Right Ascension) and X_{HA} (Hour Angle) axes.
 - Equatorial System:** Defined by the X_{AT} (Astronomical Time) and X_{MT} (Mean Time) axes.
- Angles:**
 - γ (True): The angle between the X_{RA} and X_{HA} axes.
 - γ (Mean): The angle between the X_{RA} and X_{MT} axes.
- Labels:**
 - استوای سماوی (Celestial Equator)
 - سمای (Heaven)
 - النهار (Day)
 - نصف (Half)
 - متوسط (Mean)
 - حقیقی (True)

تہیہ شدہ توسط آقای مهندس سید محمد قادر زرین کیا، آقای مهندس احسان زارعی، آقای مهندس سید مجتبی شہابی، آقای مهندس حامد افشارنیا



شکل ۳-۳

زمان نجومی و طول جغرافیایی نجومی

۳،۲ حرکت روزانه و حرکت واقعی

پدیده ای که ما بعنوان حرکت ظاهری روزانه خورشید می شناسیم در حقیقت معلول حرکت دورانی زمین حول محورش می باشد بنابر این خورشید را هم می توان به عنوان ستاره ای که دارای حرکتی یکنواخت بر روی مداری از مدارات کره سماوی است شناخت. حرکت واقعی خورشید نتیجه ترکیب حرکت غیر یکنواخت سالیانه آن بر روی اکلیپتیک و حرکت تقریباً یکنواخت آن بر روی یک مدار سماوی که در بالا ذکر شده است بنابر این حرکت واقعی خورشید حرکتی غیر یکنواخت که مسیر آن شکلی است مانند فنر (شکل ۵-۳).

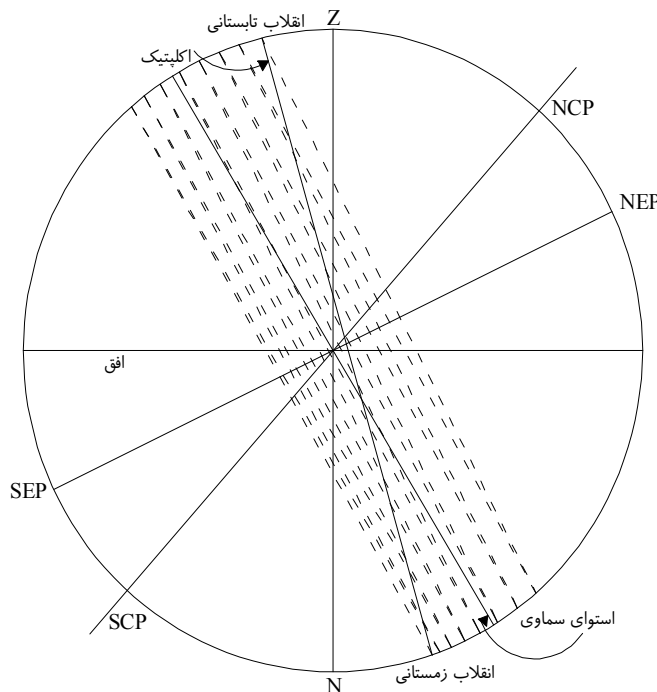
حدود بیست و یکم مارچ (اول فروردین) خورشید به نزدیک نقطه اعتدال بهاری میرسد یعنی در حوالی استوا با میل (declination) صفر حرکت می کند. بعد از بیست و یکم مارچ میل بتدریج رو به افزایش مینهد بطوریکه در حدود بیست و دوم جون (اول تیر) بحد اکثر میلش که برابر میل اقلیتیک نسبت به استوا یعنی $23^{\circ}.5$ است می رسد. از این تاریخ تا بیست و سوم سپتامبر (اول مهر) میل خورشید بتدریج کم شده و بسمت صفر میل می نماید که در اینحالت خورشید به نقطه اعتدال پاییزی می رسد. در چنین زمانی خورشید مجدداً به استوا رسیده و در ادامه حرکتش میل آن منفی خواهد بود و تدریجاً کم می شود تا حدود بیست و دوم دسامبر (اول دی) که به نقطه انقلاب زمستانی می رسد. از این نقطه با میل منفی بطرف نقطه اعتدال بهاری بحرکت خود ادامه می دهد و در تاریخ بلیت و یکم مارچ به این نقطه یعنی نقطه ای که میل 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 دید برای $0^{\circ} < \Phi < 90^{\circ}$ بین اول دی و اول تیر طول روز رو به افزایش و بین اول تیر و اول دی طول روز رو به کاهش می باشد. همچنین در این شکل سهولت می توان دید که طول روز بین اول فروردین و اول



مهر بلندتر از دوازده ساعت و در فاصله بین اول مهر و اول فروردین کوتاهتر از دوازده ساعت است. این روابط بطور خلاصه در جدول ۱-۳ نشان داده شده.

اگر ناظری در محلی که عرض جغرافیائی آن $\Phi = 90^\circ - \epsilon = 66.5^\circ$ است قرار داشته باشد خواهد دید که در اول تیر (یا اول دی) خورشید غروب نمی کند و در اول دی (یا اول تیر) خورشید طلوع نمی نماید. در قطبین ($\Phi = \pm 90^\circ$) خورشید برای ناظر بین اول فروردین و اول مهر (در قطب جنوب بین اول مهر و اول فروردین) بالای افق و در بقیه اوقات سال پائین افق واقع خواهد بود. بر روی استوا ($\Phi = 0^\circ$) طول شب و روز در تمام سال دقیقاً دوازده ساعت می باشد.

طول تقریبی فصول	نام فصول (نیمکره شمالی)	مختصات خورشید				محل خورشید	مبدأ تقریبی
		λ_s	β_s	α_s	δ_s		
93 ^d	بهار تابستان پائیز زمستان	0°	0°	0 ^h	0°	نقطه اعتدال بهاری	اول فروردین (۲۱ مارچ)
93 ^d		90°	0°	6 ^h	+23.5°		اول تیر (۲۲ جون)
9 ^d		180°	0°	12 ^h	0°		اول مهر (۲۳ سپتامبر)
۸۹ ^d		270°	0°	18 ^h	-23.5°		اول دی (۲۲ دسامبر)
		0°	0°	0 ^h	0°		اول فروردین (۲۱ مارچ)



شکل ۳-۵
حرکت ظاهری خورشید

۳،۳ زمان جهانی (خورشیدی) UT

بطوریکه 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 بدور خورشید است. بنابراین با توجه بمطلبی که در ابتدای



این بحث در مورد در نظر گرفتن یک پدیده فیزیکی با حرکت یکنواخت بعنوان مرجع و اساس زمان سنجی ذکر گردید خورشید واقعی و حرکت آنرا نمی توان بعنوان ممرجع در اندازه گیری زمان بکار برد. بنابراین دلیل نقطه ای را که دارای حرکتی یکنواخت بر روی استوا باشد بعنوان خورشید متوسط تعریف نموده اند. این نقطه نسبت به نصف النهار هر محل دارای حرکت روزانه ای مانند حرکت روزانه 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 بوسیله آن زمان متوسط خورشیدی تعیین می شود بوسیله دانشمندی بنام "نیو کامب" در سال ۱۸۹۵ بصورت فرمول زیر تعیین گردید.

$$\alpha_m = 18^h 38^m 45^s.836 + 8640184^s.542t_m + 0^s.0929t_m^2 \quad (3-4)$$

که در آن t_m تعداد قرون "جولی ین" (یک قرن جولی ین ۳۶۵۲۵ روز متوسط خورشیدی است) طی شده از مبدأ استاندارد زمان جهانی (standard epoch of UT) که نیمروز زمان جهانی در سال ۱۹۰۰ می باشد (0.5 UT) ژانویه ۱۹۰۰ در نیم شب شروع روز است.

زمان خورشیدی متوسط بوسیله مشاهدات بر خورشید واقعی به حرکت ظاهری روزانه این خورشید متوسط می شود. مبدأ زمان خورشیدی ظاهری (واقعی) برای هر نصف النهار عبارتست از:

$$TT = h_s + 12^h \quad (3-5)$$

(شکل ۳-۶) که در این فرمول h_s زاویه ساعتی خورشید حقیقی است و دوازده ساعت به آن اضافه می شود تا ساعت صفر TT در شب (ترانزیت پائین) اتفاق یابد و عملاً "با زمانی که در زمان سنجی معمولی بکار می رود متشابه گردد. مبدأ زمان خورشیدی متوسط برای هر نصف النهار با رابطه زیر بدست می آید:

$$MT = h_m + 12^h \quad (3-6)$$

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

اختلاف بین زمانهای خورشیدی حقیقی و متوسط در هر لحظه موسوم به معادله زمان (Eq.T.) می باشد. با مراجعه به شکل ۳-۶ می توان نوشت:

$$Eq.T. = TT - MT \quad (3-7)$$

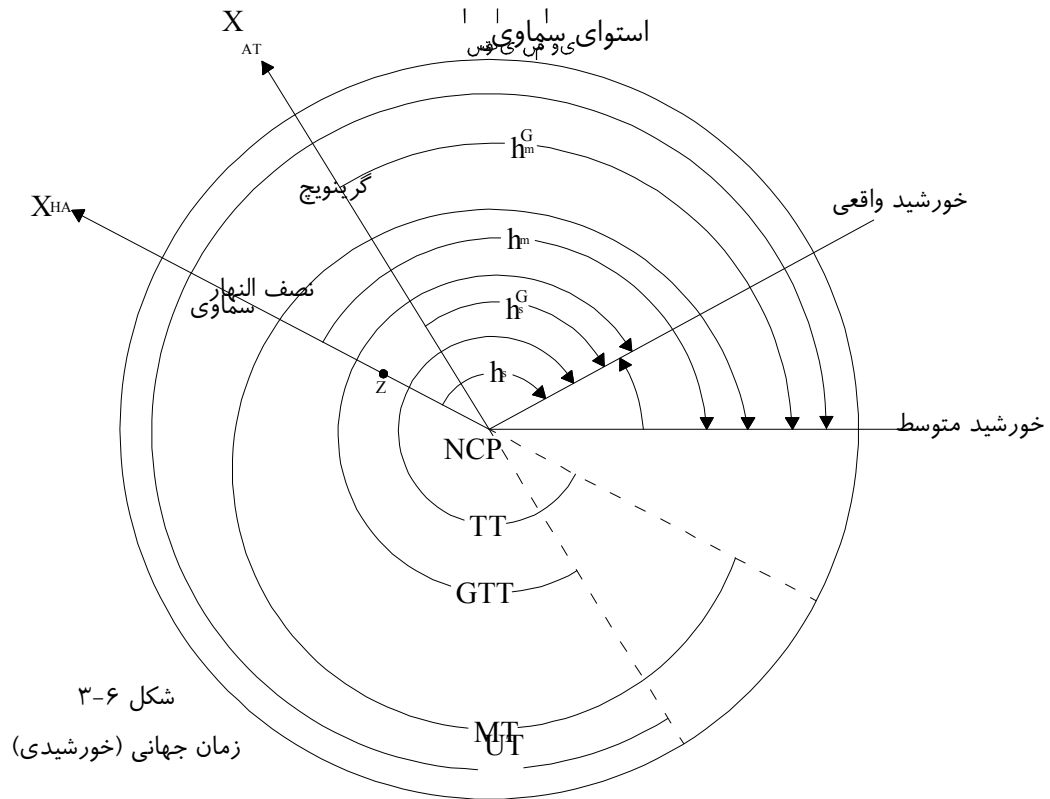
$$Eq.T. = GTT - UT \quad (3-8)$$

قدر مطلق معادله زمان تا شانزده دقیقه میرسد. شکل ۳-۷ معادله زمان (Eq.T.) را برای یک فاصله یکساله نمایش می دهد.

زمانهای خورشیدی متوسط و حقیقی با عبارات زیر به طول جغرافیائی نجومی محل ناظر مربوط می شوند (شکل ۳-۸).

$$MT = UT + \lambda \quad (3-9)$$

$$TT = GTT + \lambda \quad (3-10)$$



شکل ۳-۶
زمان جهانی (خورشیدی)

زمان لازم برای دو عبور متوالی خورشید از نقطه اعتدال بهاری را سال تروپیکال و زمان لازم برای اینکه این خورشید یکدور کامل را بر روی استوا طی کند سال نجومی می نامند و مقادیر آنها با رابطه زیر تعریف می گردند:

روز خورشیدی متوسط $1 = 365,24219879$ سال تروپیکال

روز خورشیدی متوسط $1 = 365,25636042$ سال نجومی

چون این سالها هر دو دارای رقمهای اعشاری زیاد هستند در تقویمهای معمولی یکی از سالهای جولی ین با تعریف:

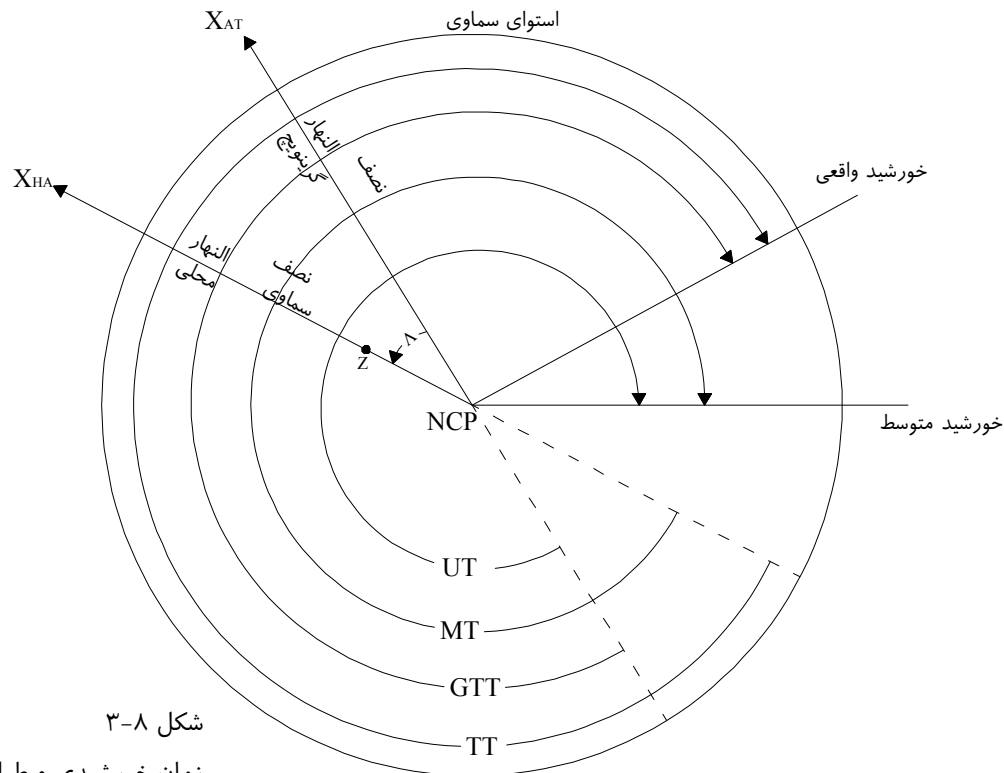
$365^d 6^h =$ روز خورشیدی متوسط $1 = 365^d 25$ سال جولی ین

یا گریگورین برابر با $365,2425$ روز متوسط خورشیدی بکار می روند. در مسائل نجومی، سال نجومی در ساعت صفر UT در ۳۱ دسامبر سال قبل شروع می شود. این مبدأ به تاریخ نجومی روز صفر از ماه ژانویه در سیستم زمانی جهانی است (Jan. 0^d 0 UT.)

متناظر با تاریخ نجومی گرنیچ (GSD) تاریخ دیگری بنام تاریخ جولی ین Julian date یا باختصار (JD) تعریف گردیده. این تاریخ عبارتست از تعداد روزهای متوسط خورشیدی که از ساعت ۱۲ UT در اول ژانویه ($1^d 5$ UT از ماه ژانویه) سال ۴۷۱۳ قبل از میلاد تاکنون طی شده. برای مبدأ زمانی استاندارد در نجوم یعنی $0^d 5$ UT از ماه ژانویه ۱۹۰۰ ، $JD = 2415020.0$ می باشد. تبدیل بین JD و GSD با روابط زیر انجام می گیرد:

$$GSD = 0.671 + 1.0027379093 JD \quad (3-11)$$

$$JD = -0.669 + 0.9972695664 GSD \quad (3-12)$$



شکل ۳-۸
زمان خورشیدی و طول جغرافیایی

واضحست که چنانچه مبنای زمان سنجی بر این باشد که هر کس زمان متوسط نصف النهار محل خود را اساس قرار دهد نا هماهنگیهای بسیاری در سیستم زمان سنجی معمولی ایجاد خواهد شد. زیرا نصف النهار یک محل حتی با نصف النهار محلی که در یک همسایگی بینهایت کوچک آن نیز واقع باشد متفاوت و متمایز است. برای اجتناب از این ناهماهنگی ها سیستم زمان قاچی (zone) گردیده بدینمعنی 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 صفر است و از هر دو طرف این نصف النهار یعنی هر طرف بفاصله $7\frac{1}{2}$ درجه زمان که بکار برده می شود زمان نصف النهار گرینویچ می باشد. از این قاچ بطرف شرق قاچها دارای شماره هالی $12, -1, -2, \dots, -12, +1, +2, \dots, +12$ بطرف غرب هستند. قاچ شماره ۱۲ بدو قسمت که هر یک $7\frac{1}{2}$ درجه ضخامت دارند تقسیم می شود که درطرفین خط تاریخ بین المللی ($180^\circ E$) قرار دارند. تمام این مطالب فوق در شکل ۳-۹ نشان داده شده اند:

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

$$UT = ZT + \Delta Z \quad (3-13)$$

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 را یک ساعت نسبت به ZT جلو میبرند. باید توجه داشت که به استثناء سه کشور ایران- هند و



و نزوئلا، اختلاف زمان کشورهایی که در قاچه‌های مجاور واقعند یکساعت است. سه کشور مزبور با کشورهای دیگر اختلاف ساعتی با نیم ساعت - یکساعت و نیم و دارند.

۳،۳ روابط بین مبدأها و فواصل زمانی نجومی و خورشیدی

موضوع را با رابطه بین مبدأهای زمانی آغاز می کنیم. از معادله (۳-۶) داشتیم:

$$MT = 12^h + h_m$$

که در آن h_m زاویه ساعتی خورشید متوسط است که با استفاده از شکل ۱۰-۳ می توان آنرا بصورت زیر بیان نمود:

$$h_m = LMST - \alpha_m \quad (3-14)$$

بنابراین رابطه زیر برقرار می باشد:

$$MT = LMST - (\alpha_m - 12^h) \quad (3-15)$$

و یا

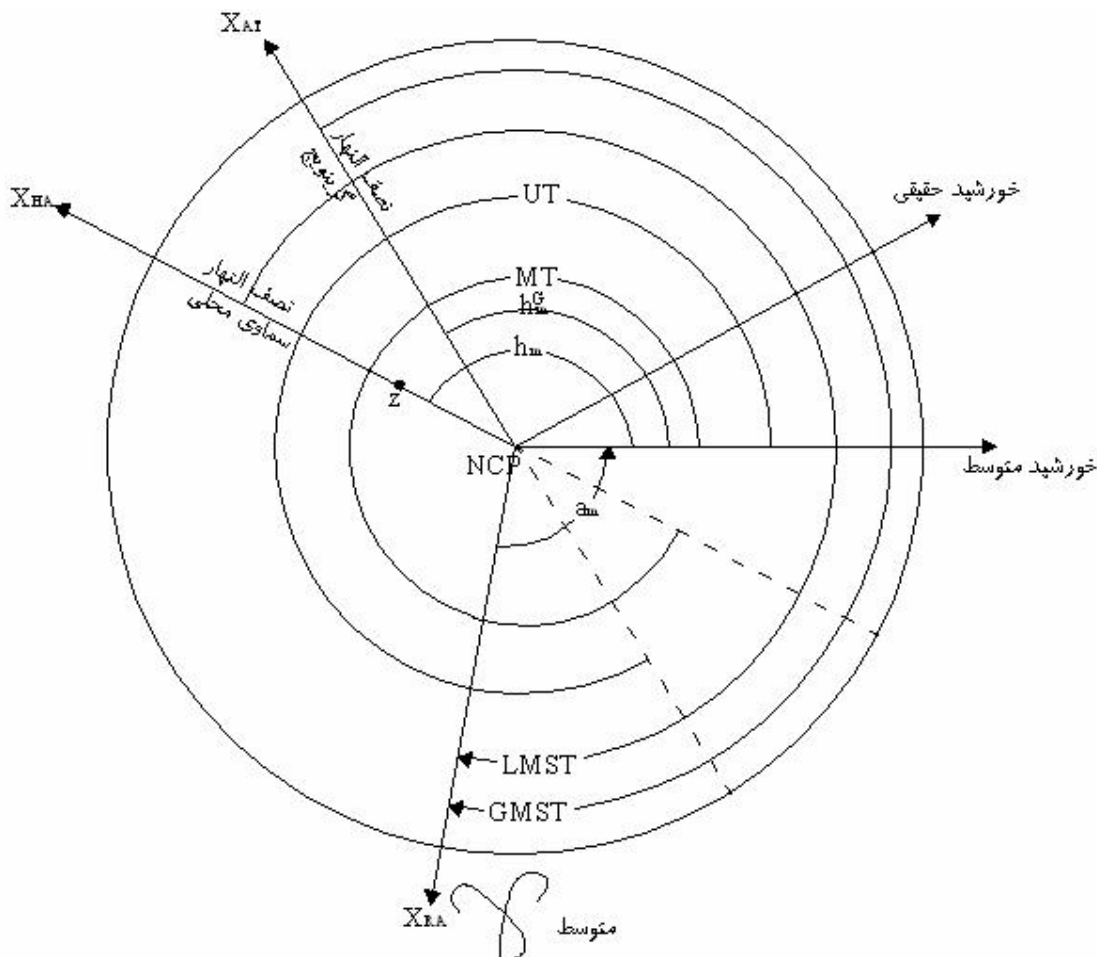
$$LMST = MT + (\alpha_m - 12^h) \quad (3-16)$$

معادلات (۳-۱۶) و (۳-۱۵) تبدیل بین MT و LMST و بالعکس را نشان می دهند. اگر مقادیر LMST و h_m و MT را با GMT و h_m^G جایگزین کنیم، خواهیم داشت:

$$UT = GMT - (\alpha_m - 12^h) \quad (3-17)$$

و

$$GMT = UT + (\alpha_m - 12^h) \quad (3-18)$$



کلیه حقوق این مجموعه



شکل ۱۰-۳

روابط بین مبدا های زمانی نجومی و جهانی

در محاسبات معمولی مقادیر فوق با استفاده از جداول نجومی تعیین می گردند. مثلاً" مقادیر (α_m-12^h) در جدول American Ephemeris and Nautical Almanac که به اختصار AENA نامیده می شود موجود است و یا کمیت ($\alpha_m-12^h+Eq.E$) را می توان از جدول Star Almanac for Land Surveyors (SALS) بدست آورد. بنابراین برای سهولت بایستی همیشه MT به UT و LMST به GMST تبدیل شوند. باید یاد آور شد که روابط (۳-۱۸) و (۳-۱۷) و (۳-۱۶) ارتباط بین زمانهای متوسط خورشیدی و متوسط نجومی را بیان می کنند. برای مرتبط ساختن زمان حقیقی خورشیدی با زمان ظاهری نجومی مراحل زیر باید انجام گیرد:

$$(i) \quad \text{زمان متوسط خورشیدی حساب گردد } (UT=GTT-Eq.T. \text{ یا } MT=TT-Eq.T.)$$

$$(i) \quad \text{زمان متوسط نجومی حساب شود } (\text{معادله } (3-16) \text{ یا } (3-18))$$

$$(i) \quad \text{زمان ظاهری نجومی محاسبه شود } (LAST=Eq.E.+KMST \text{ یا } GAST=Eq.E.+GMST)$$

در زیر دو مثال برای درک بهتر مطالب فوق ذکر می شود که مقادیر جدولی موردنیاز برای محاسبات مربوط به این دو مثال را از شکل های ۳-۱۳ و ۳-۱۲ و ۳-۱۱ می توان بدست آورد.

مثال ۱ (جدول SALS)

$$MT=18^h 21^m 41^s.00 \quad \text{مقادیر}$$

در ۱۴ فوریه ۱۹۷۸

$$\Lambda=66^\circ 38' 28'' \text{ w با}$$

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- Λ)	$22^h 48^m 14.87^s$
$R(\alpha_m-12^h+Eq.E.)$ در $18^h UT 9^h 37^m 35^s$	
ΔR برای $4^h 48^m 14.87^s$	47.4^s
$(\alpha_m-12^h + Eq.E)$	$9^h 38^m 23.3^s$
$GAST=UT+(\alpha_m-12^h)+Eq.E$	$32^h 26^m 38.17^s$
	-24
GAST	$8^h 26^m 38.17^s$
$\Lambda(-66^\circ 38' 28'')$	$(-) 4^h 26^m 33.87^s$
LAST= (GAST + Λ)	$4^h 00^m 04.3^s$

مثال ۲ (جدول AENA)

داده های مسئله:

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

در ۱۴ فوریه ۱۹۷۸

$$\Lambda=66^\circ 38' 28'' \text{ W}$$



LAST را تعیین کنید

MT		$18^h 21^m 41.00^s$
$\Lambda(66^\circ 38' 28'')$	(-)	$4^h 26^m 33.87^s$
$UT=(MT-\Lambda)$		$22^h 48^m 14.87^s$
$(\alpha_m - 12^h)(GHA)$ در $0^h UT$		$9^h 34^m 38.27^s$
$22^h 48^m$ فاصله نجومی برای		$03^m 44.73^s$
14.87^s فاصله نجومی برای		0.04^s

$9^h 38^m 23.04^s$

$32^h 26^m 37.91^s$

-24

$8^h 26^m 37.91^s$

0.23^s

GMST

Eq.E ($0^h UT$ ۱۹۷۸ فوریه چهاردهم)

$GAST=GMST + Eq.E$

$8^h 26^m 38.14^s$

$\Lambda(66^\circ 38' 28'')$

(-) $4^h 26^m 33.87^s$

$LAST=(GAST + \Lambda)$

$4^h 00^m 04.27^s$

اکنون به رابطه بین فواصل خورشیدی و نجومی می پردازیم. امتداد خورشید در فضا نسبت به مرکز زمین بعثت 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:

$$1^d(s) = 23^h 56^m 04.09054 (M)$$

$$1^d(M) = 24^h 03^m 56.55536(s)$$

$$1^h(s) = 59^m 50.17044^s (M)$$

$$1^h(M) = 1^h 00^m 09.85647^s (s)$$

$$1^m(s) = 59.83617^s (M)$$

$$1^m(M) = 01^m 00.16427^s (s)$$

$$1^s(s) = 0.99727^s (M)$$

$$1^s(M) = 1.00273^s(s)$$

که در این فرمولها S و M بترتیب بعنوان علامت اختصاری زمان های متوسط خورشیدی و متوسط نجومی بکار رفته .این

اعداد و ارقام با توجه به اینکه یک سال تریپکال (خورشیدی) شامل ۳۶۶،۲۴۲۲ روز متوسط نجومی و شامل ۳۶۵،۲۴۲۲

روز متوسط خورشیدی است بدست آمده. با توجه به این مطلب نسبت های زیر را می توان محاسبه نمود

فاصله زمانی متوسط نجومی * $0.9972695664 = (365.2422/366.2422)$ = یک فاصله زمانی متوسط خورشیدی

فاصله زمانی متوسط خورشیدی * $1.002737909 = (366.2422/365.2422)$ = یک فاصله زمانی متوسط نجومی

مثال ۳ (جدول AENA)

داده های مسئله :

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

در چهاردهم فوریه ۱۹۷۸

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

ZT را محاسبه کنید

LAST

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



Λ	$(-) 4^h 26^m 33.87^s$
$GAST = LAST - \Lambda$	$8^h 26^m 38.17^s$
Eq.E (در 0^h U.T. از ۱۴ فوریه ۱۹۷۸)	$0^s.23$
$GMST = (GAST - Eq.E)$	$8^h 26^m 37.94^s$
$GMST$ (در 0^h U.T. از ۱۴ فوریه ۱۹۷۸)	$9^h 34^m 38.27^s$
$(GMST_0^{U.T.} - GMST)$ فاصله زمانی متوسط نجومی	$22^h 51^m 59.67^s$
اختلاف فاصله زمانی نجومی و خورشیدی (از جدول)	$-3^m 44.77^s$
U.T.	$22^h 48^m 14.90^s$
(یا $22^h 51^m 59.67^s * 0.9972695664$)	$22^h 48^m 14.90^s$
$\Delta z(66^\circ W/15^\circ = 4^h)$	4^h
$ZT(U.T. - \Delta Z)$	$18^h 48^m 14.90^s$

۳،۴ نامنظمیهای موجود در سیستمهای زمانی دورانی

سیستمهای زمانی نجومی و جهانی براساس دوران زمین تعریف گردیده اند. بنابراین مشمول نامنظمیهایی به این شرح می شوند:

(i) تغییرات نرخ (rate) دوران زمین (W_e)

(ii) تغییرات در موقعیت محور دوران زمین (حرکت قطب)

این اختلافات بر حسب زمان جهانی (U.T.) بشرح زیر بیان می شوند:

UTO عبارتست از UT که از مشاهدات بدست می آید. شامل هر دو نوع تغییر W_e و تغییر قطبی است. بنابراین سیستم زمانی تغییر نامنظم می باشد.

UT1 چنانچه تصحیح حرکت قطبی به UTO اعمال شود نتیجه آنرا با UT1 نشان می دهند که مبین حرکت زاویه حقیقی زمین است و سیستمی است که در نجوم ژئودزی بکار می رود (البته باید توجه داشت که این سیستم بعلت تغییرات در W_e سیستمی نامنظم است).

UT2 اگر تصحیح تغییرات فصلی در W_e به UT1 اعمال شود زمان بدست آمده UT2 نامیده می شود. این سیستم بعلت اینکه W_e در حال نقصان است غیر یکنواخت می باشد.

UTC که علامت اختصاری Universal Time Coordinate می باشد زمانی است که با علائم مخصوصی بوسیله فرستنده های رادیویی پخش می شود. UTC رابطه تعریف شده ای با زمان اتمی بین المللی (International Atomic Time) یا باختصار (IAT) و یا UT1 و UT2 دارد.

اطلاعات بیشتر درباره UT2 و UT1 و UTC مخصوصاً " برای هدفهای نجومی در فصل چهارم داده شده.



۴

پخش، دریافت و ثبت زمان

۴،۱ پخش زمان

بطوریکه قبلاً" 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 زمینی استخراج می شوند در مبداهای 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 واضحست که بر حفظ همگنی بسیار مناسب است که در تمام جهان برای عملیات نجومی از یک مقیاس زمانی واحد استفاده شود.

امروزه علائم زمانی بوسیله بیش از سی ایستگاه رادیویی در سرتاسر جهان با فرکانسهای زیاد (HF, 1 تا 50MHz) و فرکانسهای (LF 10 تا 100KHZ) پخش می شوند. بکار 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 تأخیر زمانی پخش امواج را با سهولت بیشتری محاسبه نمود.

علائم زمان رادیویی را UTC (Universal Time Coordinate) می نامند. سیستمی است ثانیه ای بر اساس زمان اتمی (Atomic Time) یعنی 1^s UTC با دقت زمان اتمی (۱ تا ۲ قسمت در 10^{12}) برابر است با 1^s AT و این مقدار ی است ثابت. برطبق تعریف در $UT^h 0$ ، اول ژانویه ۱۹۷۲، UTC برابر بوده با IAT منهای ده دقیقه تمام. کمیت (IAT-UTC) با DAT نشان داده می شود و با توجه به تعریف "leap second" یا ثانیه جهشی که بعداً ارائه خواهد شد این کمیت همواره عددیست ثابت.

در نجوم زمانی که مورد بحث و توجه است UT_1 می باشد. مقدار (UT₁-UTC) با DUT₁ نشان داده شده و هرگز از $0^s.9$ تجاوز نمی کند. مقدار DUT₁ بوسیله مؤسسه BIH (Bureau International de 1 Heure) در پاریس بطور تخمینی محاسبه و منتشر می گردد و مقدار واقعی آن یکماه بعد منتشر می شود. همچنین DUT₁ را می توان با استفاده از علائم خاص رادیویی که بوسیله فرستنده های آمریکای شمالی ارسال می شود می توان دید.

نظر به اینکه سرعت زاویه زمین بطور آهسته در حال کاهش است UT_1 هم باید با همین آهنگ رو به کاهش باشد. بنابراین با توجه به ثابت بودن UTC مقدار DUT₁ نیز بطور پیوسته در حال نقصان می باشد. برای حفظ این کمیت در حد $0^s.9$ ، در زمانهای معین از مقدار UTC یک ثانیه کامل کسر می شود. مفهوم این ثانیه جهشی را از شکل ۲-۴ می توان دریافت. همچنین مواردی نیز برای ثانیه جهشی منفی در نظر گرفته شده که در مواقع لزوم اعمال می شود.

تمام رصدخانه های بزرگ جهان UTC را با خطائی کمتر از $0^s.001$ و اغلب کمتر از $0^s.0003$ پخش می کنند. زمان تأخیر پخش امواج HF بحدود 0.5 ms میرسد و چون مشاهدات ژئودتیک ندرتا" دارای دقتی بیشتر از $0^s.01$ یا 10 ms است بنابراین خطای تأخیر پخش تأثیر کمی در نتیجه عمل دارد. علائم مختلف ارسالی عبارتند از :

(i) علائم کوتاه که هر ثانیه فرستاده می شوند و شروع علامت مبین شروع ثانیه است



- (ii) هر دقیقه با علامت خاصی که با نوعی تأکید همراه است مشخص می شود.
- (iii) در فواصل معینی ایستگاه فرستنده امواج با ارسال علائمی خود را معرفی می کند و زمان و تاریخ را اعلام می نماید. این معرفی و اعلام بوسیله موریس کد یا صدا یا هر دو انجام می گیرد.
- (iv) DUT1 در اولین پانزده ثانیه هر دقیقه با تأکید خاصی بر تعدادی از ثانیه ها که مساوی این تصحیح است مشخص می شود.

مقادیر مثبت DUT1 با تأکید بر مقداری از علائم ثانیه های متوالی که بعد از علامت دقیقه فرستاده می شوند و آنرا با (n) نشان می دهیم مشخص می شوند. این علائم از اولین ثانیه بعد از دقیقه شروع و تا (n) که عددی است صحیح بین ۱ تا ۷ ادامه می یابند. در این حالت چنین خواهیم داشت:

$$DUT1 = (n * 0.1)s$$

مقادیر منفی DUT1 نیز به همین طریق تعیین می گردند. با این تفاوت که علائم مشخص کننده از ثانیه نهم بعد از علامت دقیقه با تأکید بر علائم رادیویی فرستاده می شوند. چنانچه تعداد این علائم را با (m) نشان دهیم خواهیم داشت:

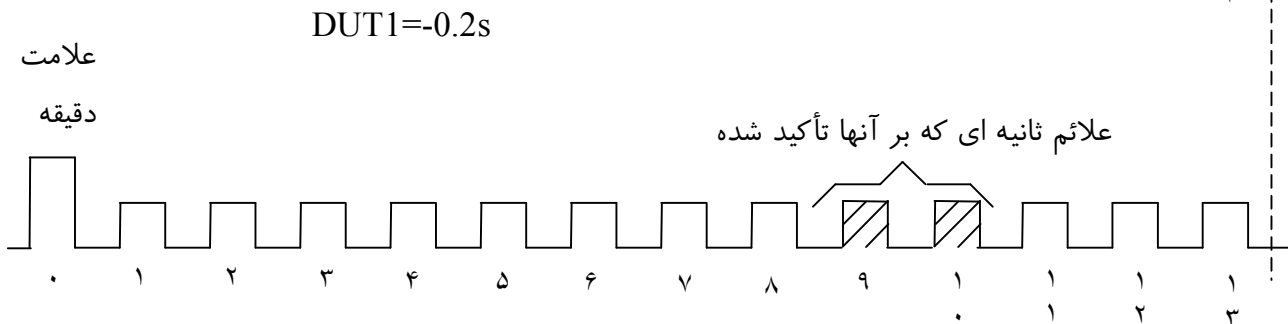
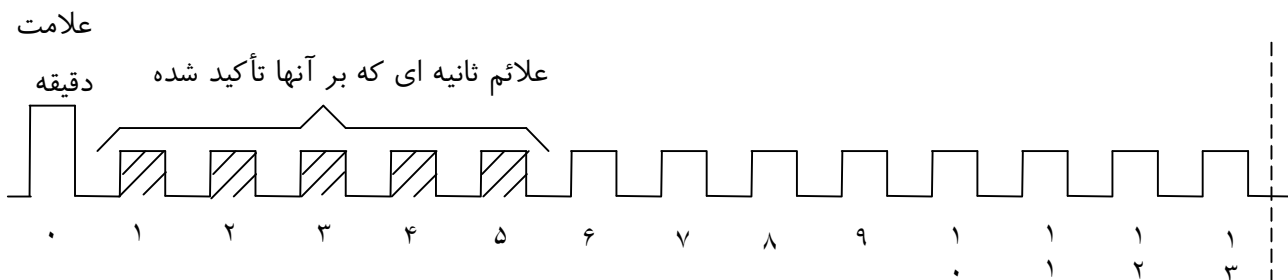
$$DUT1 = -(m * 0.1)s$$

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

تأکید بر علائم معمولی که نشان دهنده DUT1 است معمولاً "با طولانی شدن زمان فرستادن علامت، دو ضربه کردن آن و یا نصف کردن آن بوسیله فرستنده رادیویی انجام می گیرد.

$$DUT1 = +0.5s$$

مثال :



شکل ۱-۴

کد DUT1



۶

تغییرات در مختصات سماوی

در مدل‌های ریاضی مربوط به تعیین طول و عرض و آزیموت نجومی لازمست که مختصات ظاهری (حقیقی) ستارگان بکار رود ولی مختصاتی که معمولاً از جداول نجومی استخراج می‌شوند (α, δ)، مختصات ستارگان در لحظه مشاهده نیستند. بنابراین این مختصات می‌باید با اعمال تصحیحاتی تبدیل به مختصات در لحظه مشاهده شوند. همانطور که قبلاً در فصل پنجم ذکر شد این عمل رامی توان بسهولت انجام داد. مسئله مهم اینست که چگونه مختصات از جداول سالیانه استخراج می‌شوند و چگونه استفاده کنندگان از این جداول می‌باید مراحل مختلف و متوالی را در این مورد عمل نمایند. هدف این فصل از کتاب پاسخگوئی به این سؤال است.

با توجه به بحث‌های قبلی در این کتاب روشن است که مختصات در سیستم بعدی (RA) نسبت به زمان ثابت هستند. در موارد سیستم‌های مختصات افقی و زاویه ساعتی اگر می‌بینیم که مختصات نسبت به زمان متغیرند تنها بعلت دوران زمین است. البته نباید تصور کرد که سیستم بعدی لا متغیر است و مشمول هیچگونه تغییر یا حرکتی نمی‌باشد. زیرا همانگونه که خواهیم دید این سیستم نیز ثابت نیست و حداقل چهار نوع حرکت مشروحه زیر بر روی آن اثر می‌گذارند. این حرکات و نوسانات نه فقط شامل این سیستم مختصات بوده بلکه بر روی سایر سیستمها نیز تأثیر دارند. ولی بسبب آنکه سیستم مختصات بعدی واسطه ای بین سیستمهای زمینی، سماوی و ماهواره ای است و همچنین مختصات ستارگان در جداول نجومی نسبت به این سیستم مختصات داده شده اند در این فصل تأثیر این حرکات بر روی این سیستم مورد مطالعه قرار خواهد گرفت. این حرکات عبارتند از:

(i) Precession و Nutation (حرکات سیستم مختصات نسبت به ستارگان)

(ii) حرکت مخصوص (Proper motion) (حرکت ستارگان نسبت بیکدیگر)

(iii) انکسار، aberration، پارالاکس (جابجائی ظاهری ستارگان به سبب پدیده های فیزیکی)

(iv) حرکت قطبی (حرکت سیستم مختصات نسبت به زمین صلب)

عوامل فوق الذکر باستانیای حرکت قطبی بر حسب تأثیرشان 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 ۱-۶ نیز می‌توان روابط بین آنها را یافت:

(i) محل متوسط (mean place) (موقعیت یک ستاره نسبت به سیستمی که مرکز آن در مرکز خورشید

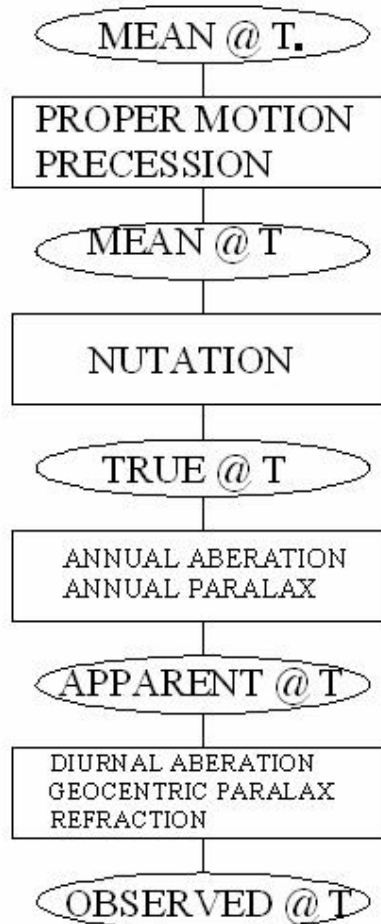
خورشید مرکزی) (heliocentric) بوده و مرجعهای آن استوا و نقطه γ متوسط باشند).

(ii) محل حقیقی (True place) (موقعیت یک ستاره نسبت به سیستم خورشید مرکزی با مرجعهای استوا و نقطه γ حقیقی می‌باشد).

(iii) محل ظاهری (Apparent place) (موقعیت یک ستاره نسبت به سیستمی که مبدأ آن مرکز زمین (Geocentric) با مرجعهای استوا و نقطه γ حقیقی می‌باشد).



(iv) محل مشاهده شده (Observed place) (موقعیت یک ستاره نسبت به سیستمی که مبدأ آن نقطه ای واقع بر سطح زمین (Topocentric) و صفحه اولیه آن قائم فیزیکی آن محل است. این مختصات بوسیله قرائت سیستم بوسیله دستگاهی که خطای سیستماتیک آن برطرف شده باشد بدست می آید) در بخشهای بعدی، این تعاریف بطور مفصل مورد بحث قرار می گیرند.



شکل ۱-۶

تغییرات در سیستم مختصات بعدی

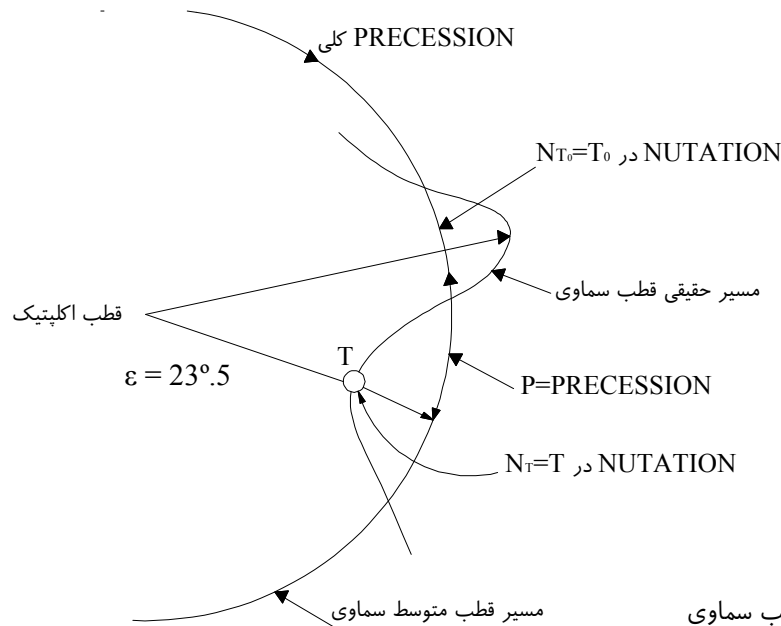
۱،۶ حرکت مخصوص Precession, nutation

تأثیر نیروهای جاذبه 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 استوا در صفحه اقلیتیک میل به دوران داشته باشد. این دوران یا جنبش را می توان تعبیر به دوران محور دورانی زمین حول قطب اقلیتیک نمود. این حرکت Precession نامیده می شود. Precession حاصل از ممان ایجاد شده از نیروی ماه و خورشید را luni-solar Precession می نامند و این عامل موجب حرکت نقطه γ بر روی استوا به میزان $50.3''$ در سال در جهت غرب می شود. زمان تناوب این حرکت یعنی زمانی که لازم است طی شود تا نقطه γ یک دور کامل استوا را بپیماید ۲۶۰۰۰ سال و دامنه این حرکت (میل اقلیتیک) تقریباً 23.5° است. علاوه بر luni-solar Precession عامل



سایر ستارگان یا Planetary Precession را نیز باید در نظر داشت و بآن اضافه نمود که خود باعث حرکت نقطه γ بر روی استوا باندازه $12.5''$ در یک قرن و در جهت غرب می شود علاوه بر این ممان مزبور سبب تغییر در میل اقلیم تیک به میزان $47''$ در قرن است. Precession کلی عبارتست از جمع luni-solar Precession و Planetary Precession.

در پریود طولانی Precession پریود کوتاهتری وجود دارد که آنرا نوتاشیون نجومی (astronomic nutation) می نامند. این حرکت نتیجه حرکت زمین بدور خورشید، حرکت ماه بدور زمین و قرار نداشتن مسیر ماه است در صفحه اقلیمتیک. دوره تناوب این حرکت نوزده سال با دامنه $9''$ می باشد. Precession کلی با اضافه نوتاشیون نجومی در شکل ۶-۲ نشان داده شده است.



شکل ۶-۲

حرکت قطب سماوی

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

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

(۱) از نظر مبدا هلیو سنتریک است.

(۲) در موقعیت قطب اولیه آن (Z) تاثیر Precession در نظر گرفته می شود ملی از اثر nutation اغماض می شود این قطب را قطب متوسط سماوی می نامند.

(۳) در موقعیت محور اولیه (محور X ها) نیز مانند قطب اولیه Precession موثر و nutation بی تاثیر است یعنی همیشه از نقطه اعتدال بهاری متوسط (γ متوسط) عبور می نماید.

(۴) محور Y طوری در نظر گرفته می شود که سیستم مختصات دست راستی باشد.



با توجه به این مسئله مهم که در هر نظر به سبب تغییر Precession یک سیستم مختصات سماوی متوسط مربوط به آن لحظه خاص تعریف می شود اگر بخواهیم در لحظه T از یک جدول نجومی که مختصات داده شده در آن مربوط به مبدا زمانی T_0 است استفاده می کنیم می باید این سیستم مختصات را از زمان T_0 به زمان T انتقال دهیم. رابطه بین سیستم های سماوی متوسط بر حسب پارامتر های (τ_0, θ, Z) (شکل ۳-۶) که آنها را اجزا تشکیل دهنده Precession یا Precessional elements می نامند و همچنین اجزا تشکیل دهنده حرکت خاص یا Proper motion elements (μ_0^a, μ_0^d) تعریف می شود.

عبارات مربوط به Precessional elements حدود سال ۱۹۰۰ بوسیله سیمون نیوکامب بشرح زیر استخراج شد

$$\tau_0 = (2304.250'' + 1.396''t_0)t + 0.302''t^2 + 0.018''t^3 \quad (۶-۱)$$

$$\tau = \tau_0 + 0.791''t^2 + 0.001t^3 \quad (۶-۲)$$

$$\theta = (2004.682'' - 0.853''t_0)t - 0.462''t^2 - 0.042''t^3 \quad (۶-۳)$$

که در این روابط مبدأ اولیه $T_0 = 1900.0 + t_0$ و مبدأ نهائی $T = 1900.0 + t_0 + t$

و t_0 بر حسب قرون تروپیکال (خورشیدی) حساب می شوند. مقادیر (θ, Z, I_0) بطور سالیانه برای سالهای ۱۹۰۰ تا ۱۹۸۰ در (AENA) چاپ شده. رابطه زیر را با مراجعه به شکل (۳-۶) می توان بدست آورد:

$$\begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix}_{MC_T} = \mathbf{R}_3(-Z)\mathbf{R}_2(\theta)\mathbf{R}_3(-\zeta_0) \begin{matrix} x \\ y \\ z \end{matrix}_{MC_{T_0}} \quad (۶-۴)$$

و با قراردادن

$$P = \mathbf{R}_3(-Z)\mathbf{R}_2(\theta)\mathbf{R}_3(-\zeta_0) \quad (۶-۵)$$

خواهیم داشت:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_T} = \mathbf{P} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \quad (۶-۶)$$

(MC) مخفف Mean Coordinate (مختصات متوسط است)

حرکت خاص یک ستاره نیز در سیستم مختصات بعدی متوسط به حساب می آید و تعیین اثر آن بر روی (α_0, γ_0) بخشی از تبدیل محل متوسط از زمان T_0 به محل متوسط در لحظه T می باشد. این تبدیل که از اثبات آن در این کتاب صرفنظر می شود عبارتست از:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_T} = \mathbf{R}_3(-\alpha_0)\mathbf{R}_2(\delta_0 - 90)\mathbf{R}_3(\psi_0)\mathbf{R}_2\left(\mu t + \frac{1}{2} \frac{d\mu}{dt} t^2\right)\mathbf{R}_3(-\psi_0)\mathbf{R}_2(90 - \delta_0)\mathbf{R}_3(\alpha_0) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \quad (۶-۷)$$



که در آن $t=T-T_0$ (به سال)، $\frac{d\mu}{dt}$ و μ بترتیب مؤلفه مماسی سالیانه حرکت خاص و نرخ تغییرات آن و ψ_0 امتداد (آزیموت) حرکت خاص در لحظه T_0 می باشند. مقادیر فوق در جداول اساسی داده شده اند. مانند FK4 که مقادیر مؤلفه های سالیانه حرکت خاص را در بعد و میل تحت عنوان $\mu_0^\alpha, \mu_0^\delta$ و همچنین نرخ تغییرات آنها را برای یکصد سال تحت عنوان $\frac{d\mu^\alpha}{dt}, \frac{d\mu^\delta}{dt}$ بدست می دهد. مقادیر سالانه ψ_0 و μ را نیز می توان با استفاده از عبارات زیر تعیین نمود:

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

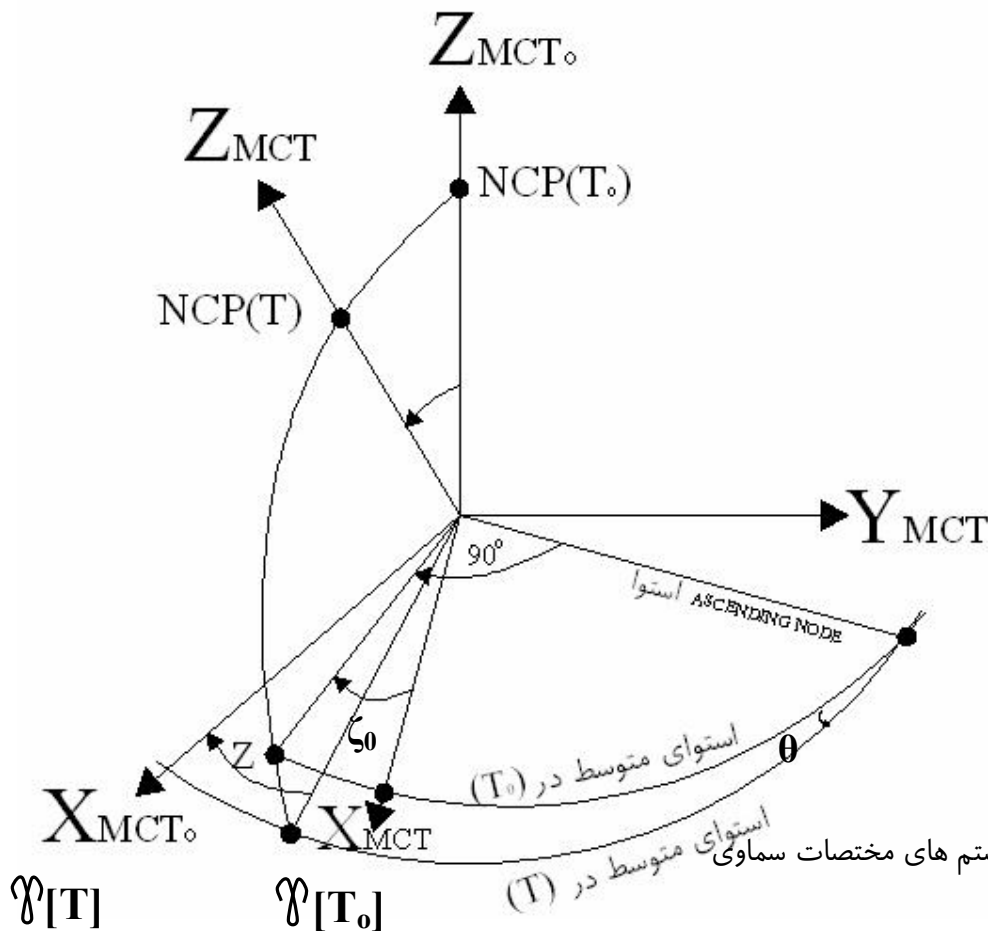
$$\mu = ((\mu_0^\alpha \cos \delta_0)^2 + (\mu_0^\delta)^2)^{\frac{1}{2}}$$

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

با قرار دادن

$$\mu = R_3(-\alpha_0)R_2(\delta_0-90)R_3(\psi_0)R_2(\mu t + \frac{1}{2} \frac{d\mu}{dt} t^2)R_3(-\psi_0)R_2(90-\delta_0)R_3(\alpha_0) \quad (6-8)$$

رابطه (۶-۷) را می توان اختصاراً" بصورت زیر نوشت:





$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_T} = M \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \quad (۶-۹)$$

اکنون با ترکیب (۶-۶) و (۶-۹) فرمول کامل و کلی تبدیل یک سیستم متوسط در T_0 را به یک سیستم متوسط در T می توان بدست آورد:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_T} = PM \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \quad (۶-۱۰)$$

همانگونه که در شکل ۶-۱ ملاحظه می شود برای رسیدن از سیستم سماوی متوسط در زمان T به سیستمهای حقیقی در همین زمان می باید مقدار نوتاسیون نجومی به سیستم متوسط اعمال شود. این کمیت به دو صورت نوتاسیون در طول جغرافیائی نجومی ($\Delta\psi$) و نوتاسیون در میل اکتیپتیک ($\Delta\epsilon$) در جداول نجومی مانند (AENA) داده شده است. بطور کلی یک سیستم سماوی حقیقی در لحظه T بصورت زیر تعریف می شود:

- مبدأ آن در مرکز خورشید (هلیوسنتر) واقع است.
 - قطب اولیه آن (z) که قطب حقیقی سماوی است از محوری که دارای هر دو حرکت Nutation و Precession می باشد پیروی می کند.
 - محور اولیه آن (x) از نقطه γ حقیقی عبور می کند. (نقطه γ حقیقی نقطه اعتدال بهاری است که هر دو حرکت Nutation و Precession بر روی آن تأثیر دارند).
 - محور y آن طوری در نظر گرفته می شود که سیستم مختصات دست راستی باشد.
- سیستمهای سماوی متوسط و حقیقی در شکل ۶-۴ نشان داده شده اند و از روی این شکل رابطه زیر را می توان نتیجه گرفت:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{TC_T} = R_1(-\epsilon - \Delta\epsilon) R_3(-\Delta\psi) R_1(\epsilon) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_T} \quad (۶-۱۱)$$

(TC) نشانگر True Coordinate (مختصات حقیقی است)

با قرار دادن

$$N = R_1(-\epsilon - \Delta\epsilon) R_3(-\Delta\psi) R_1(\epsilon) \quad (۶-۱۲)$$

(۶-۱۱) بصورت

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{TC_T} = N \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_T} \quad (۶-۱۳)$$

نوشته می شود. با ترکیب معادلات (۶-۱۳) و (۶-۹) و (۶-۶) رابطه تبدیلی یک سیستم سماوی متوسط در لحظه T_0 به یک سیستم حقیقی در لحظه T را بصورت:



$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{TC_T} = NPM \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \quad (۶-۱۴)$$

خواهیم داشت.

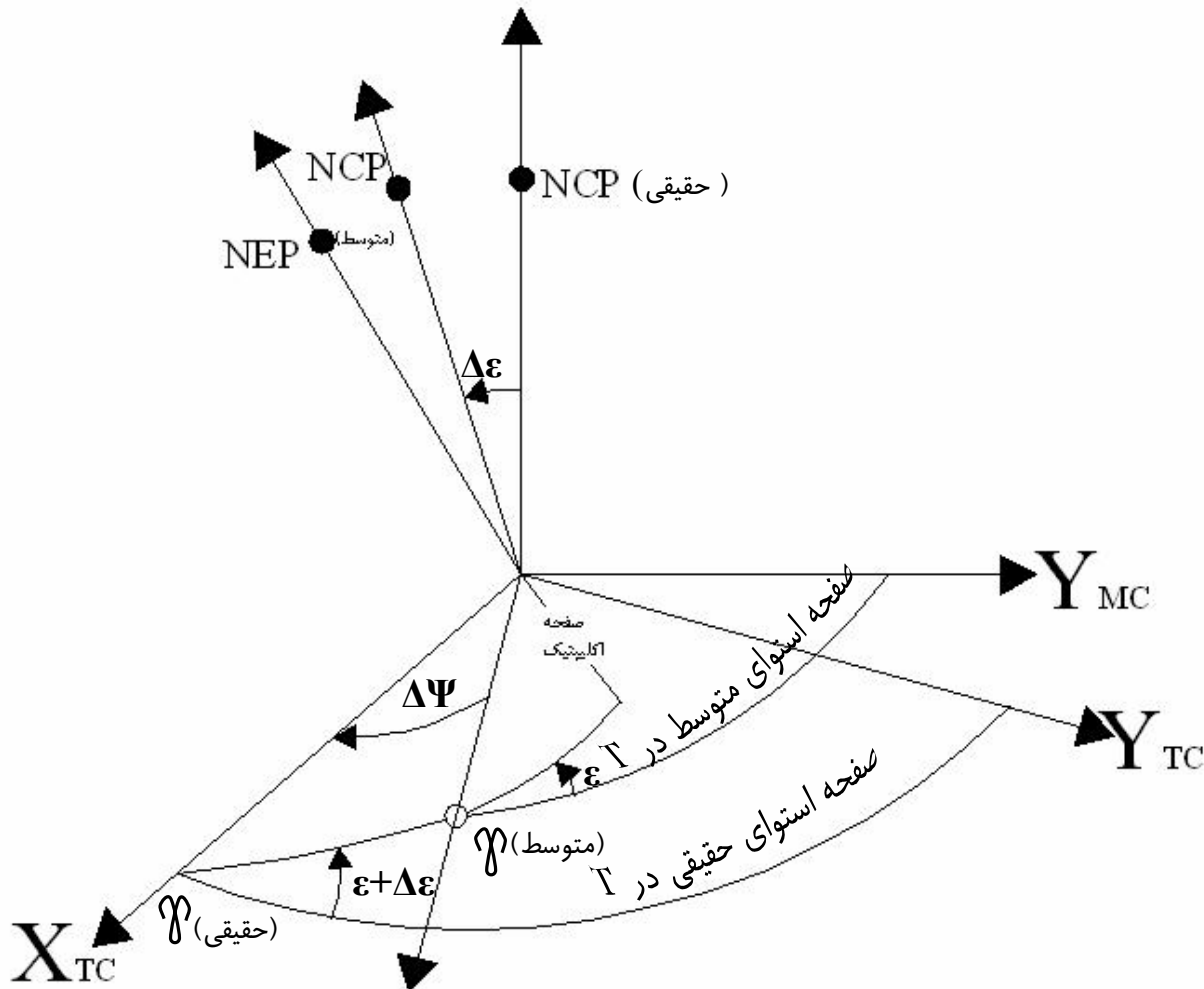
۶،۲ aberration و پارالاکس سالانه

سیستم مختصاتی که بوسیله آن مختصات نجومی (Φ, Λ) بیان می شوند سیستم سماوی محلی ظاهری (apparent place celestial system) است و در این سیستم است که مدلهای ریاضی یعنی فرمولهائی که مشاهدات و معلومات

و مجهولات نجومی را بیان می کنند تشکیل می شوند. بنابراین لازمست که مختصات یک ستاره (α_0, δ_0) تبدیل به

مختصات در این سیستم شوند. مشخصات سیستم سماوی محل ظاهری بدین شرح است:

- مبدأ آن منطبق بر مرکز ثقل زمین می باشد.
- قطب اولیه سیستم (z) منطبق بر محاور دورانی لحظه ای زمین است.
- محور اولیه آن (x) از نقطه 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 مبدأ از مرکز خورشید به مرکز ثقل زمین ایجاد می شود. در این انتقال دو عامل فیزیکی تأثیر خواهند داشت: (i) پارالاکس سالانه بعلت انتقال مبدأ و (ii) aberration سالانه که منشأ آن چرخش مبدأ بدور مرکز خورشید می باشد.

بطور کلی aberration عبارتست از جابجائی ظاهری یک جرم سماوی که علت آن ترکیب دو عامل سرعت انتشار نور و حرکت نسبی ناظر و آن جرم است. بدینمعنی که اگر ناظر نسبت به حرکت دورانی زمین کاملاً ساکن فرض شود وقتی به یک ستاره نشانه روی مینماید نور ستاره به انتهای شیئی تلسکوپ وارد شده و بلافاصله در چشمی آن بوسیله ناظر رؤیت می گردد ولی بدلیل آنکه مسیر حرکت زمین بدور خورشید، بیضی یا با 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 نورانی طوری متمایل نماید تا اشعه ای که از شیئی دورین عبور می نماید به خط مستقیم در چشمی آن به رؤیت ناظر برسند. بحث فوق مربوط به aberration سالانه زمین است که زیرمجموعه ای است از aberration کلی منظومه شمسی. Aberration روزانه که بعداً مورد بحث قرار خواهد گرفت با تفاوت مقدار دارای همین تعریف است. از قانون کلی aberration که از شکل ۵-۶ قابل استنتاج است و دلایل دیگری که مربوط به حرکت زمین حول خورشید می شود و در اینجا از اثبات آنها صرفنظر می گردد بعلت aberration سالیانه که آنها را با $(\Delta\alpha_A, \Delta\delta_A)$ نشان می دهیم با عبارات زیر تعیین می گردند.

$$\Delta\alpha_A = -K \sec\delta (\cos\alpha \cos\lambda_s \cos\varepsilon + \sin\alpha \sin\lambda_s) \quad (۶-۱۵)$$

$$\Delta\delta_A = -K (\cos\lambda_s \cos\varepsilon (\operatorname{tg}\varepsilon \cos\delta - \sin\alpha \sin\lambda_s)) \quad (۶-۱۶)$$

در (۶-۱۵) و (۶-۱۶)، λ_s طول اکتیویکی خورشید، α و δ مختصات ستاره در سیستم سماوی حقیقی در زمان T و K عبارتست از ثابت aberration برای مسیر زمین و برابر است با $K=20''.4958$. تغییر در بردار وضعیت به صورت ماتریس

$$\mathbf{A} = \begin{bmatrix} -\mathbf{D} \\ \mathbf{C} \\ \mathbf{C} \operatorname{tg}\varepsilon \end{bmatrix} \quad (۶-۱۶)$$

است که D و C به Besselian day numbers aberration مفروضند. (باید توجه داشت که این مقادیر عبارتند از $D=-K \sin\lambda_s, C=-K \cos\varepsilon \cos\lambda_s$). این کمیتها در جداول نجومی مانند APFS و AENA داده شده اند. جابجائی پارالاکتیک، طبق تعریف عبارتست از زاویه بین امتداد یک جسم سماوی مشاهده شده و یک نقطه مرجع استاندارد پارالاکس سالانه بعلت فاصله و جدائی زمین از خورشید ایجاد می شود و برابر است با اختلاف بین یک امتداد ژئوسنتریک بطرف یک ستاره و یک امتداد هلیوسنتریک بطرف همان ستاره (شکل ۶-۶) که بصورت تغییرات در (α, δ) بصورت زیر بیان می شود:

$$\Delta\alpha_p = \Pi (\cos\alpha \cos\varepsilon \sin\lambda_s - \sin\alpha \cos\lambda_s) \sec\delta \quad (۶-۱۷)$$

$$\Delta\delta_p = \Pi (\cos\delta \sin\varepsilon \sin\lambda_s - \cos\alpha \sin\delta \cos\lambda_s - \sin\alpha \sin\delta \cos\varepsilon \sin\lambda_s) \quad (۶-۱۸)$$



که در این فرمولها Π پارالاکس سالانه است. Π کمیت کوچکی است که مقدار آن برای نزدیکترین ستاره $0''.76$ می باشد. δ و α در (۶-۱۸) و (۶-۱۷) در سیستم سماوی حقیقی در زمان T هستند و با بکار بردن Besselian day numbers یعنی مقادیر D و C تغییرات در بردار وضعیت را می توان بفرم زیر نوشت:

$$\mathbf{R} = \begin{bmatrix} -C \sec \varepsilon \\ -D \cos \varepsilon \\ -D \sin \varepsilon \end{bmatrix} \left(\frac{\Pi}{K} \right) \quad (6-19)$$

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

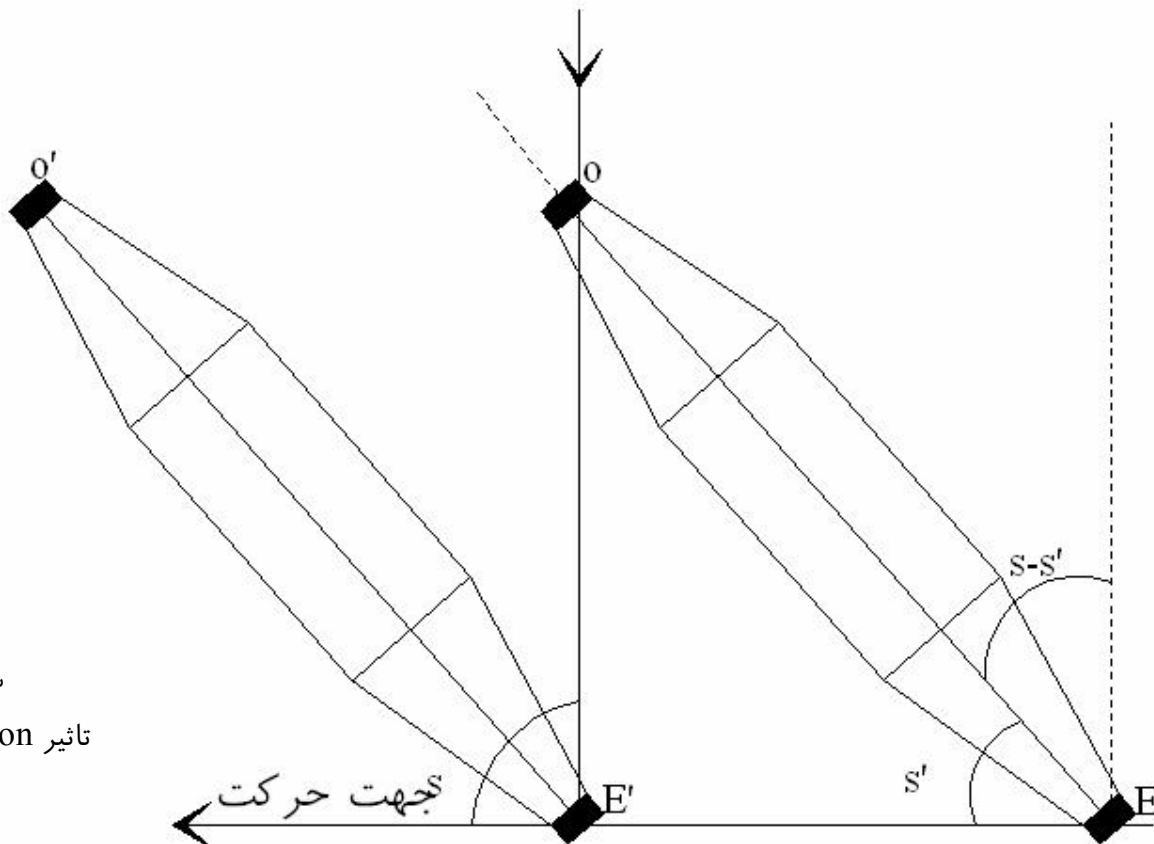
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{AC_T} = \mathbf{A} + \mathbf{R} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{TC_T} \quad (6-20)$$

(AC) نشانگر Aooarent Coordinate (مختصات ظاهری است).

و بالاخره تبدیل کامل یعنی تبدیل از سیستم سماوی متوسط در لحظه T_0 به سیستم سماوی ظاهری در T با فرمول زیر انجام می پذیرد:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{AC_T} = \mathbf{A} + \mathbf{R} + \mathbf{NPM} \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{MC_{T_0}} \quad (6-21)$$

فرمول (۶-۲۱) بیانگر یک مرحله مهم در نجوم ژئودتیک است که تمام آن در شکل ۶-۷ نشان داده شده و نشانه هائی که در این شکل بکار رفته در جدول ۶-۱ معرفی گردیده اند.



شکل ۶-۵
تأثیر aberration



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 tilt در جهت حرکت که تحت آن زمانی که S-S'=

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

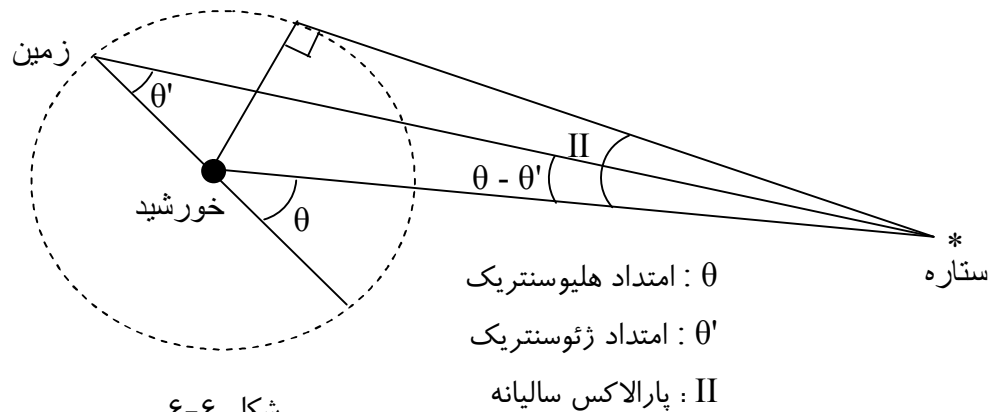
زمان لازم برای رسیدن ناظر از E به E' t=

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 aberr. زاویه نوری S-S' و کوچکی آن خواهیم داشت

$$\frac{\sin K}{\sin S'} = \frac{EE'}{OE'} = \frac{V}{C}, K = \frac{V \sin S}{C \sin I''}$$



شکل ۶-۶

پارالاکس سالیانه

۶.۳ aberration روزانه ، پارالاکس ژئوسنتریک و انکسار نجومی

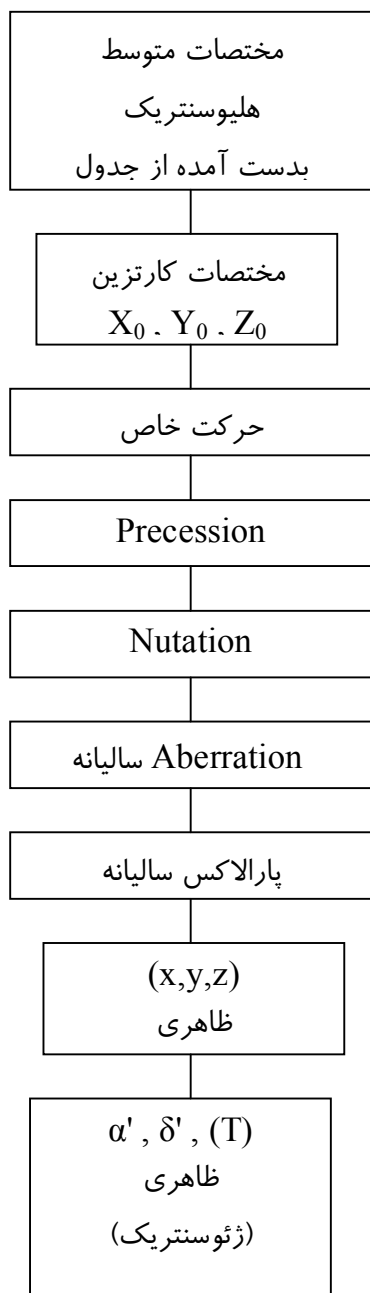
در پایان بحث بخش ۲-۶ ، (δ و α) را نسبت به سیستم مختصات ظاهری در زمان T داشتیم. در لحظه T ناظر ستاره

ای را نسبت به سیستم محلی مشاهده شده Observed Place System مشاهده می کند. بنابراین می باید سیستم

مزبور را به سیستم ظاهری تبدیل نمود ولی برای انجام این تبدیلیابیستی مشخصات سیستم محلی مشاهده شده که آنرا

به اختصار با OP نشان می دهیم برای ما شناخته شده باشد. مشخصات این سیستم عبارتند از:

- مبدأ این سیستم در ایستگاه مشاهدات است..
- قطب اولیه آن (Z) به موازات قطب حقیقی لحظه ای سماوی می باشد.
- محور اولیه این سیستم (X) بموازات خط واصل بین نقاط اعتدالین حقیقی است.
- محور Y آن طوری در نظر گرفته می شود که سیستم دست راستی باشد.



$$\begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \delta_0 \cos \alpha_0 \\ \cos \delta_0 \sin \alpha_0 \\ \sin \alpha_0 \end{bmatrix}$$

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

$$R_3(-\psi_0)R_2(90 - \delta_0)R_3(\alpha_0)$$

$$P = R_3(-z)R_2(\theta)R_3(-\xi_0)$$

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

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

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

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = R + A + NPM \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

$$\alpha' = tg^{-1} \frac{y}{x}$$

$$\delta' = \sin^{-1} Z = tg^{-1} \frac{z}{(x^2 + y^2)^{1/2}}$$

شکل ۶-۷

تبدیل وضعیت M.C.T0 به وضعیت A.P.T



نشانه ها	شرح	مأخذ
(α_0, δ_0)	بعد و میل ستاره در مبدأ زمانی T_0	جدول نجومی
(X_0, Y_0, Z_0)	مقادیر مشخص کننده امتداد ستاره در T_0	(α_0, δ_0)
μ $\frac{d\mu}{dt}$	مؤلفه مماسی حرکت خاص سالیانه ستاره در T_0 نرخ تغییر حرکت خاص	جدول نجومی
t	فاصله زمانی در سال	$t=T-T_0$
Ψ_0	امتداد (آزیموت) حرکت خاص در T_0	جدول نجومی
(I_0, Z, θ)	اجزاء Precession	Ephemeris نجومی
$(\Delta\Psi, \Delta\varepsilon)$	اجزاء Nutation	
ε	میل ا کلیپتیک	Ephemeris نجومی
(C, D)	Aberration Day Numbers	
Π	پارالاکس سالیانه ستاره	جدول نجومی
k	عدد ثابت Aberration سالیانه	$K=20''.4958$
(X, Y, Z)	مقادیر مشخص کننده 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, Y, Z) در زمان T

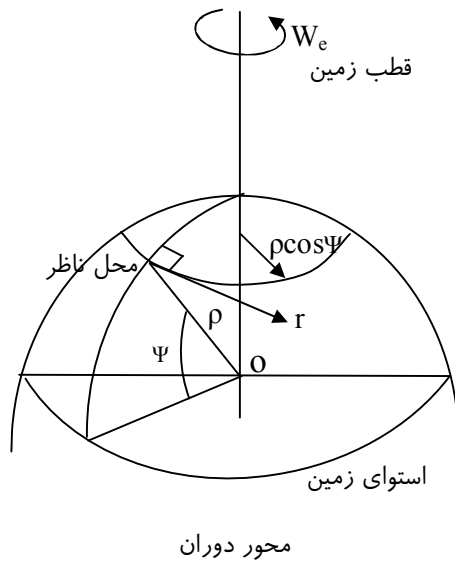
جدول ۱-۶

شرح نشانه ها

با توجه بمطالب فوق واضحست 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: (i) aberration روزانه (ii) پارالاکس ژئوسنتریک و (iii) انکسار نجومی. در بخش ۲-۶ در مورد aberration بطور کلی و در مورد aberration سالانه بطور خاص بحث شد. مفهوم aberration روزانه با تعریف کلی aberration قابل درک است ولی در اینجا بایستی در نظر داشت که سرعت دوران زمین (w_e) و عرض جغرافیائی ژئوسنتریک ناظر (ψ) و طول بردار وضعیت ژئوسنتریک محل ناظر (P) در مقدار این عامل تأثیر مستقیم دارند. همانگونه که در شکل ۵-۶ دیدیم مقدار کلی aberration با عبارت 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. معمولاً aberration سالانه با K و aberration روزانه با K' نشان داده می شوند. با توجه به رابطه فوق و شکل زیر



سرعت روزانه
شکل ۸-۶

می توان سرعت دوران ناظر را در یک ثانیه با فرمول

$$v = \frac{2M\rho \cos \psi}{24 \times 60 \times 60} = 0.464 \cos \psi \quad \text{و } \rho \approx 6.378 \text{ كيلومتر}$$

تعیین نموده و در رابطه مزبور قرار داد:

$$K' = \frac{0.464 \cos \psi}{300,000 \sin 1''} \sin S$$

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

$$K' = 0.319'' \cos \psi \text{ и } K' = 0.00213^s \cos \psi \quad (6-22)$$

در عمل معمولاً از اختلاف بین عرضهای ژئو سنتریک و ژئودتیک صرفنظر نموده و از فرمول زیر برای تعیین

$K' = 0.0213^s \cos \varphi$ aberration روزانه استفاده می شود

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

$$\Delta\alpha_{\mathbf{p}} = \mathbf{K}^{\mathbf{s}} \cosh \sec \delta' \quad (6-23)$$

$$\Delta\delta_D = K'' \sinh \sin \delta^1 \quad (6-24)$$

این تصحیح بطریق زیر ایجاد می شود:

$$\Delta\alpha_{\mathbf{D}} = \alpha_{\mathbf{AP_T}} - \alpha_{\mathbf{OP_T}} \quad (6-25)$$

$$\Delta\alpha_{\mathbf{p}} = \delta_{\mathbf{Ap}_T} - \delta_{\mathbf{Op}_T} \quad (6-26)$$

کلیه حقوق این مجموعه متعلق به انجمن علمی نقشه برداری دانشگاه زنجان می باشد

تہیہ شدہ توسط آقای مهندس سید محمد قادر زرین کیا، آقای مهندس احسان زارعی، آقای مهندس سید مجتبی شہابی، آقای مهندس حامد افشارنیا



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

پارالاکس ژئوسنتریک عبارتست از اختلاف بین امتداد توپوسنتریک (آنچه عملاً مشاهده می شود) و امتداد ژئوسنتریک مربوطه (شکل ۹-۶). تغییرات حاصل از این خطا بر روی بعد و میل ستاره با عبارات زیر تعیین می شوند:

$$\Delta\alpha_G = -\pi \sin h \operatorname{cosec} z \cos\Phi \sec\delta' \quad (6-27)$$

$$\Delta\delta_G = \pi (\sin\Phi \operatorname{cosec} z \sec\delta' - \operatorname{tg} \delta' \cotg z) \quad (6-28)$$

لازم بتذکر است که در مورد اجرام سماوی باستثنای خورشید تصحیحات فوق بقدری کوچک اند که می توان از آنها صرفنظر نمود.

جابجائیظاهری اجرام سماوی را بعلت شکست نور آنها در برخورد این اشعه با جو زمین انکسار نجومی می گویند. بطور کلی در این برخورد اشعه نورانی بطرف پائین 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

$$\Delta z_R = z - z' \quad (6-29)$$

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

$$\Delta\alpha_R = -\Delta z_R \sinh \operatorname{cosec} z' \cos\Phi \sec\delta' \quad (6-30)$$

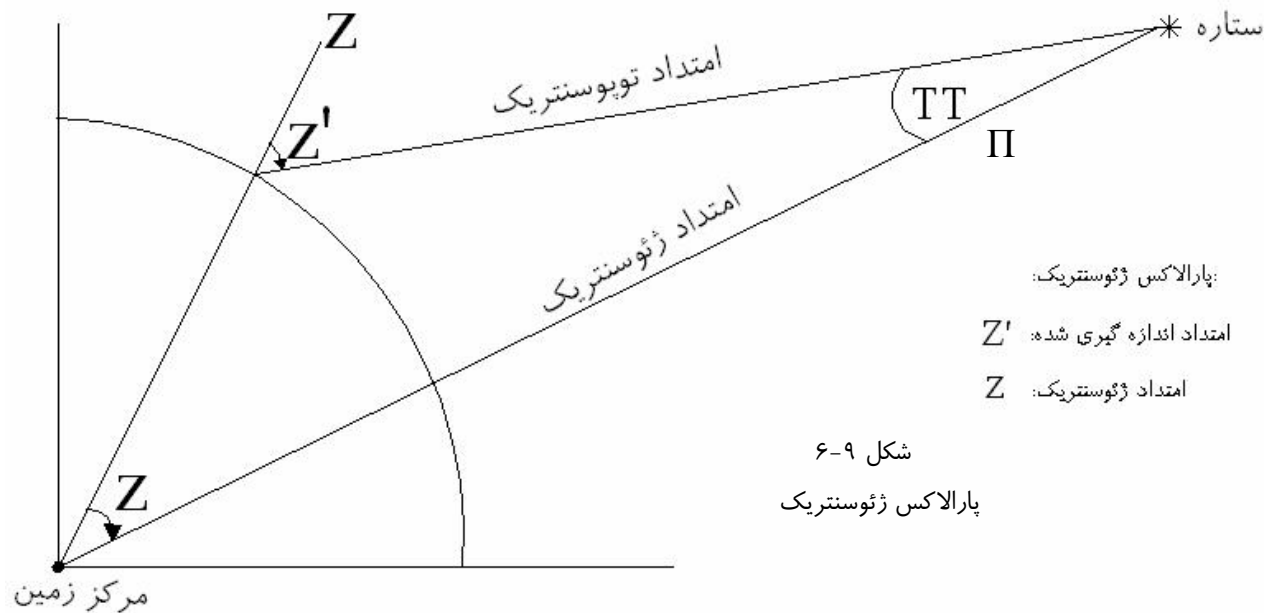
$$\Delta\delta_R = -\Delta z_R (\sin\Phi \operatorname{cosec} z' \sec\delta' - \operatorname{tg} \delta' \cotg z') \quad (6-31)$$

معمولاً مقادیر Δz_R برای بعضی شرایط استاندارد حرارت و فشار طی جداولی در دسترس است (معمولاً جیوه $T=10^\circ\text{C}$, 760mm و رطوبت نسبی 60%) و تصحیحات مربوط به این مقادیر با تعیین حرارت، فشار و رطوبت نسبی در زمان مشاهدات (T) محاسبه می شوند.

با توجه بمطالب فوق می توان عبارات کلی زیر را در مورد بعد و میل جرم سماوی نوشت

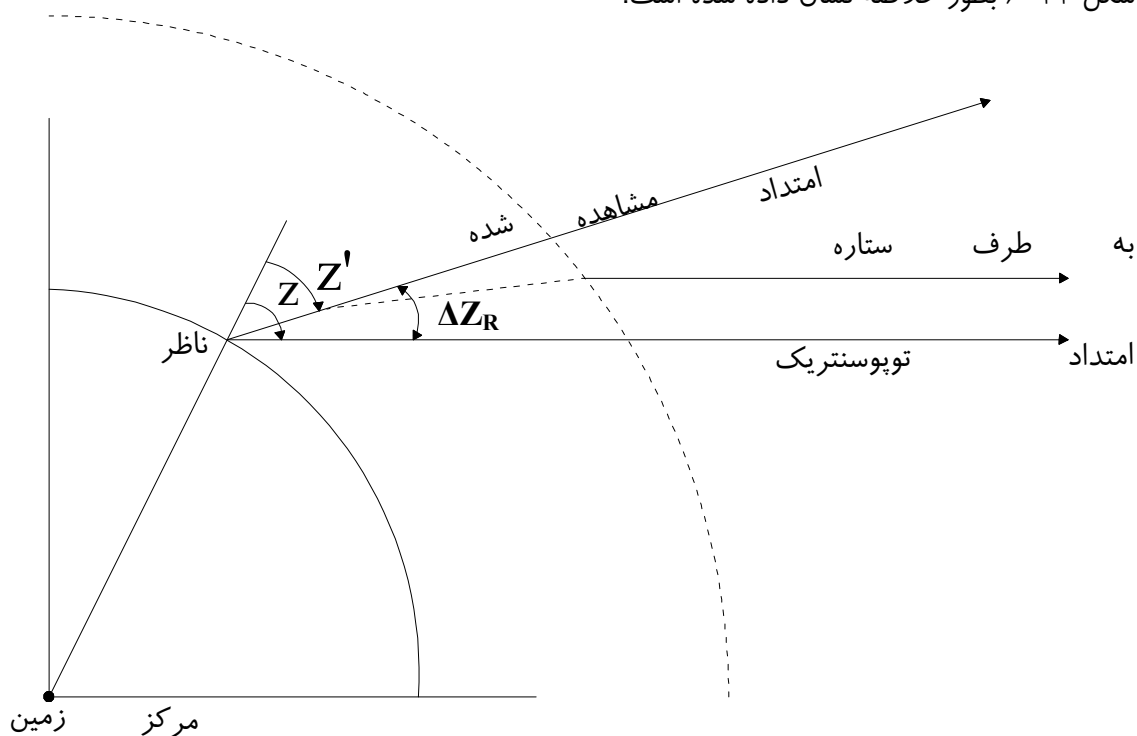
$$\alpha_{AP_T} = \alpha'_{AP_T} - (\Delta\alpha_D + \Delta\alpha_G + \Delta\alpha_R) \quad (6-32)$$

$$\delta_{AP_T} = \delta'_{AP_T} - (\Delta\delta_D + \Delta\delta_G + \Delta\delta_R) \quad (6-33)$$



که در این معادلات α'_{APT} و δ'_{APT} بعد و میل ستاره نسبت به سیستم مختصات محلی ظاهری هستند که از معادله (۶-۲۱) بدست آمده اند.

این مرحله در شکل ۱۱-۶ بطور خلاصه نشان داده شده است.



شکل ۱۰-۶

انکسار نجومی



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

$$Z = Z' - (\Delta Z_R + \Delta Z_G) \quad (6-34)$$

ΔZ_G یعنی تصحیح بفاصله سمت الراسی بعلت پارالاکس ژئوسنتریک در جداول نجومی (بطور مثال در SALS) داده شده اند و گاهی نیز نشانه ΔZ_P بجای ΔZ_G برای نشان دادن این خطا بکار می رود.

۴،۶ حرکت قطبی

آخرین مطلبی که در این فصل مورد بررسی قرار می گیرد تبدیل مختصات نجومی (Λ, Φ) از سیستم سماوی محلی ظاهری به سیستم مختصات متوسط زمینی لحظه ای Average Terrestrial (A.T) است. این تبدیل شامل دو مرحله است (i) تبدیل α_{AP}, δ_{AP} به سیستم زمینی لحظه ای I.T Instantaneous Terrestrial و (ii) تبدیل Φ_{IT}, Λ_{IT} به مختصات دیر 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

(۱) مبدا آن در مرکز زمین ژئوسنتریک است.

(۲) قطب اولیه آن (Z) منطبق بر قطب لحظه ای زمین می باشد.

(۳) محور اولیه این سیستم (X) محل برخورد نصف النهار متوسط نجومی گرینویچ و صفحه استوای لحظه ای است.

(۴) محور Y آن طوری انتخاب می شود که سیستم دست راستی باشد.

(۵) با مقایسه 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 آنهاست. با توجه به تعاریف زمان نجومی می بینیم که سیستم های $I.T$ و

$A.P$ بوسیله $GAST$ با هم مربوط هستند (شکل ۱۲-۶). این رابطه بصورت زیر می باشد:

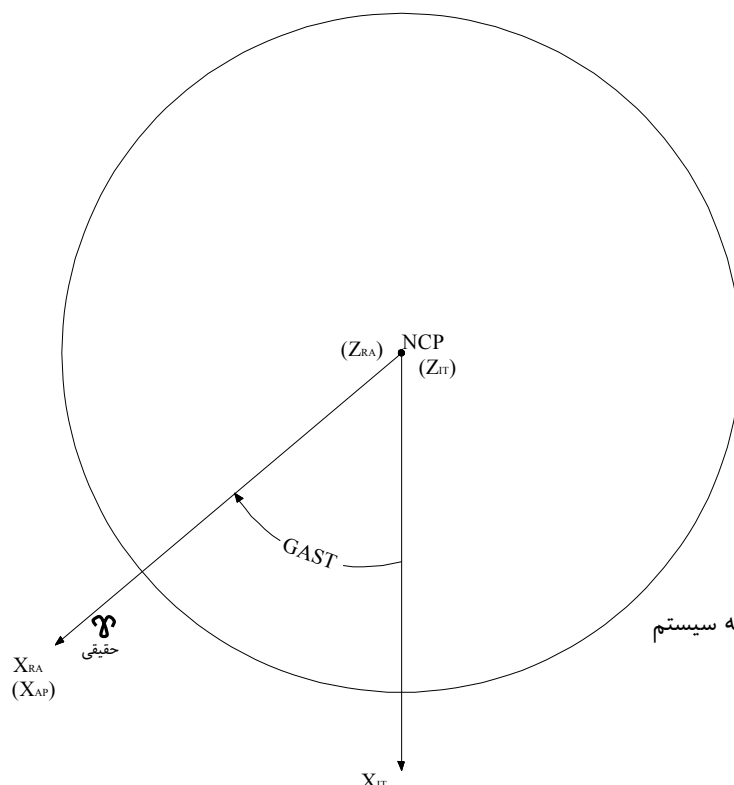
$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{IT} = R_3(GAST) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{AP} \quad (6-35)$$

که در آن

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{AP_T} = \begin{bmatrix} \cos \delta \cos \alpha \\ \cos \delta \sin \alpha \\ \sin \delta \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{IT_T} = \begin{bmatrix} \cos \psi \cos \Lambda \\ \cos \psi \sin \Lambda \\ \sin \psi \end{bmatrix}_{IT_T} \quad (6-36)$$

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

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{IT} = \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \Lambda \\ \cos \phi \sin \Lambda \\ \sin \phi \end{bmatrix} IT$$



شکل ۱۲-۶

تبدیل سیستم محلی ظاهری به سیستم
زمینی لحظه ای
(A.P. → I.T.)

باید توجه داشت که فرمول ۳۵-۶ فرم ضمنی رابطه ایست که در مدل‌های ریاضی تعیین مختصات و آزمون نجومی بکار می‌رود که ما بگونه‌ای دیگر صورت صریح این رابطه را در فصل‌های ۹ و ۸ این کتاب در مدل‌های ریاضی مزبور خواهیم دید. بنابراین نتایج حاصله عبارتند از Φ, Λ, A که تماماً نسبت به یک سیستم IT بیان شده‌اند. مرحله نهایی تبدیل این کمیتها از سیستم IT به سیستم مختصات زمینی متوسط "Average Terrestrial" (AT) می‌باشد.

امتداد محور دورانی لحظه‌ای زمین نسبت به سطح زمین دارای حرکتی است. این حرکت، حرکت قطبی نامیده می‌شود و حرکتی است نا منظم در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت با دامنه حدود ۵ متر و پریود تقریباً ۴۳۰ m.s.d. این حرکت بر حسب موقعیت محور دوران لحظه‌ای نسبت به یک نقطه مبنا واقع بر پوسته زمین بیان می‌شود که این نقطه قطب متوسط زمین بین سالهای ۱۹۰۵-۱۹۰۰ است و آنرا conventional International Origin (C.I.O) می‌نامند.

سیستم مختصاتی که می‌باید 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 می‌باشد. فرمول زیر رابطه بین دو سیستم را بیان می‌کند. در این فرمول x_p و y_p مولفه‌های بردار حرکت قطبی هستند (شکل ۱۳-۶).

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{A.T} = R_2(-x_p) R_1(-y_p) \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix}_{I.T} \quad (۶-۳۷)$$

که با در نظر گرفتن تقریب کروی چنین خواهیم داشت



$$\begin{bmatrix} \cos \phi \cos \Lambda \\ \cos \phi \sin \Lambda \\ \sin \phi \end{bmatrix}_{A.T} = R_2(-x_p) R_1(-y_p) \begin{bmatrix} \cos \phi \cos \Lambda \\ \cos \phi \sin \Lambda \\ \sin \phi \end{bmatrix}_{I.T} \quad (۶-۳۸)$$

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

$$\Delta \Phi = \Phi_{AT} - \Phi_{IT} = y_p \sin \Lambda_{IT} - x_p \cos \Lambda_{IT} \quad (۶-۳۹)$$

$$\Delta \Lambda = \Lambda_{AT} - \Lambda_{IT} = -(x_p \sin \Lambda_{IT} + y_p \cos \Lambda_{IT}) \operatorname{tg} \Phi_{IT} \quad (۶-۴۰)$$

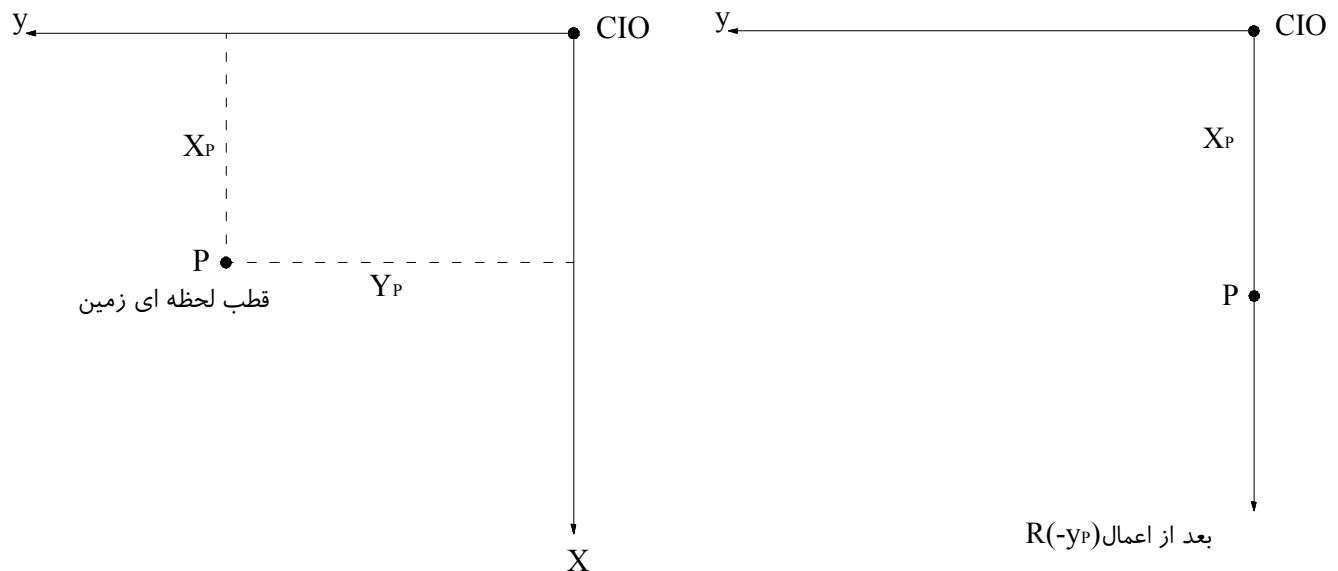
تاثیر حرکت قطبی بر آزیموت نجومی با فرمول زیر بیان می شود:

$$\Delta A_p = A_{AT} - A_{IT} = -(x_p \sin \Lambda_{IT} + y_p \cos \Lambda_{IT}) \sec \Phi_{IT} \quad (۶-۴۱)$$

روابط بین سیستم های سماوی و مراحل مختلف انتقالی که در این فصل مورد بحث قرار گرفت در شکل ۱۴-۶ و روابط

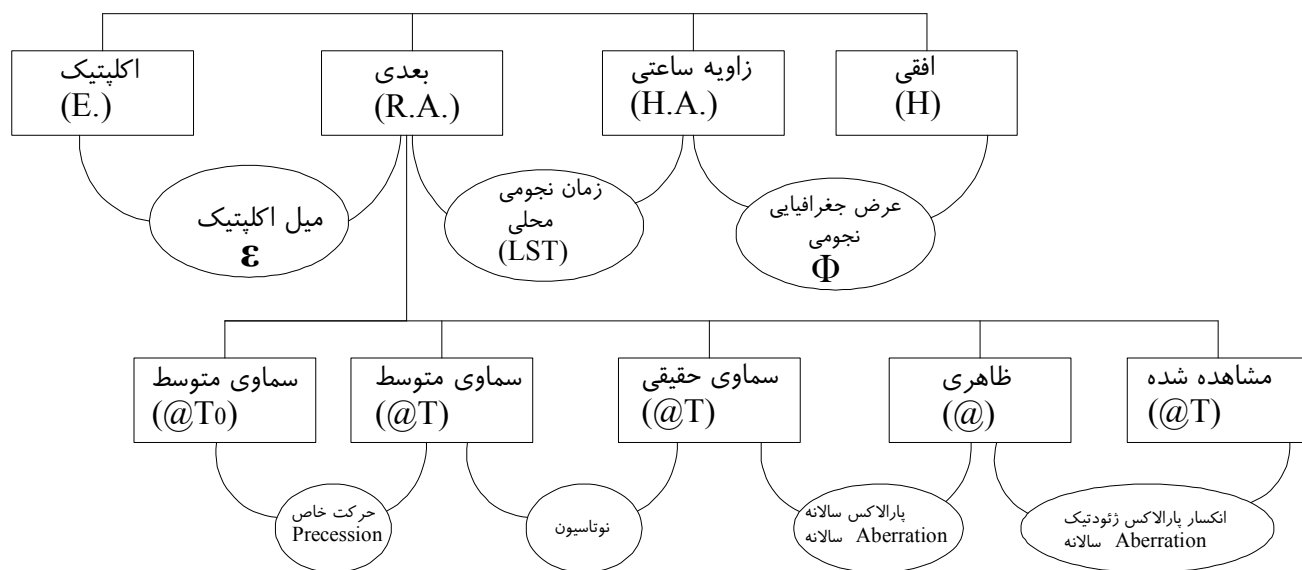
بین تمام سیستم های مختصاتی که در ژئودزی مورد استفاده قرار می گیرند با سیستم های مختصاتی سماوی در شکل

۱۵-۶ نشان داده شده.



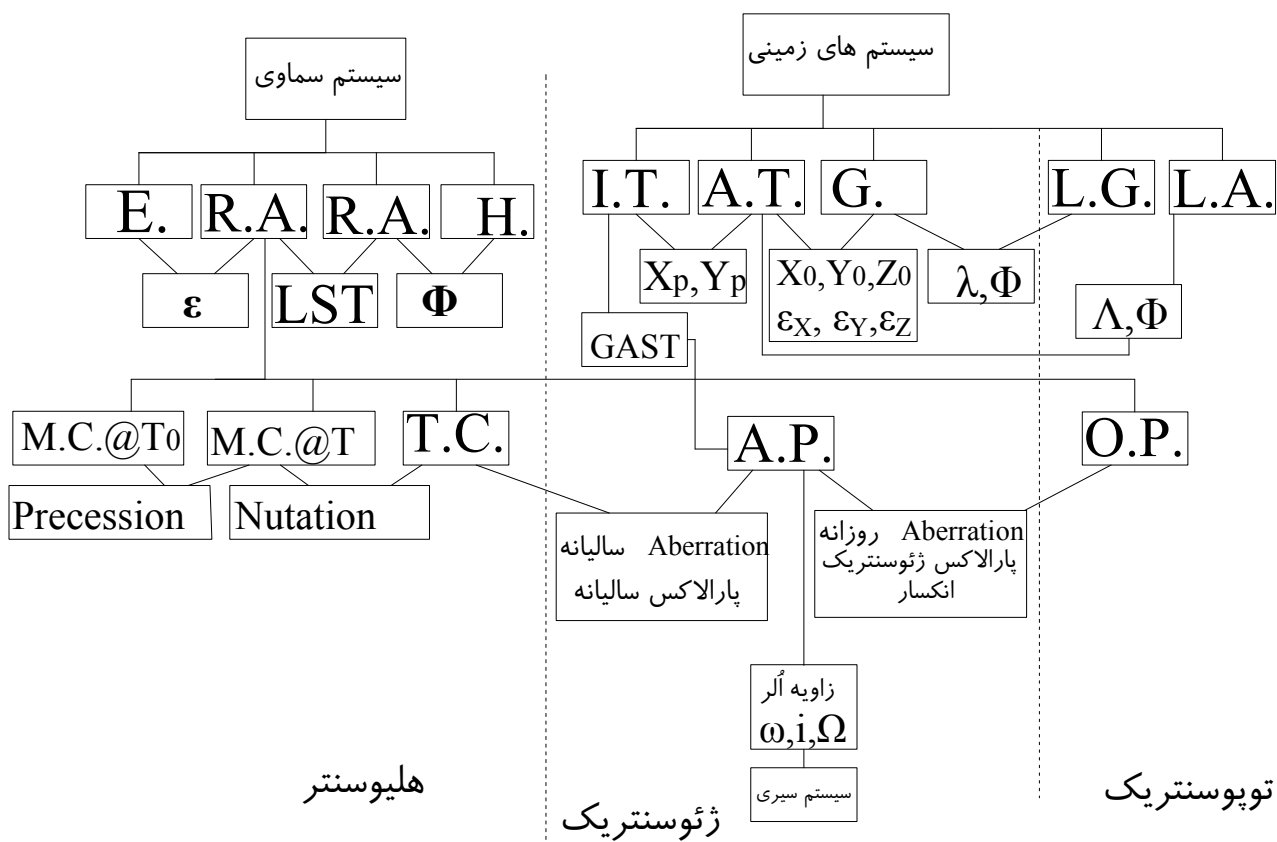
شکل ۱۳-۶

تبدیل از سیستم I.T. به سیستم A.T.



شکل ۱۴-۶

سیستم های مختصات سماوی و مراحل انتقال مختصات بدست آمده از جدول به سیستمی که وابسته به زمان مشاهده است



سیستم های مختصاتی که در ژئودزی به کار می رود



۷

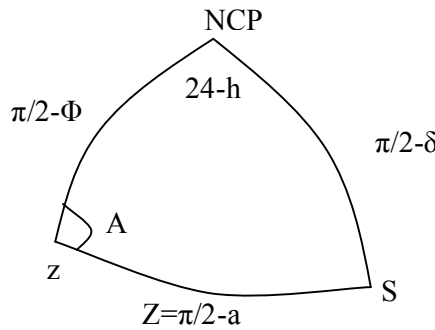
تعیین مختصات نجومی یک نقطه

(Φ, Λ)

کلیات

مقدمه ای بر تعیین Φ

۷-۱- بطوریکه می دانیم عرض جغرافیائی نجومی عبارتست از زاویه بین قائم محل (vertical) و صفحه استوای لحظه ای این زاویه در صفحه نصف النهار سنجیده می شود. همچنین می توان آنرا 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 معمولاً ارتفاع ستاره (و یا متمم آن فاصله سمت الراسی) و زاویه ستاره آن هستند.



رابطه اساسی بین این کمیتها بصورت فوق است.

$$\cos z = \sin \delta \sin \Phi + \cos \delta \cos h \cos \Phi \quad (7-1)$$

خطای سیستماتیک حاصل از سنجش فاصله سمت الراسی و زاویه ساعتی بر روی Φ را می توان با دیفرانسیل گیری از معادله فوق بصورت زیر بیان نمود.

$$d\Phi = -\sec A dz - \cos \Phi \operatorname{tg} A dh \quad (7-2)$$

واضحست که چنانچه اندازه گیری Φ بروش عبور ستاره از نصف النهار محل انجام پذیرد خطای کوچکی در h (یعنی در سنجش زمان) هیچ تاثیری بر Φ نداشته و خطای کوچکی در Z حداقل تاثیری را برای اندازه بدست آمده این کمیت خواهد داشت. بدین دلیل اغلب تعیین عرض جغرافیائی نجومی بر اساس اندازه گیری مستقیم فاصله سمت الراسی Z زمانی که ستاره در حال عبور از نصف النهار است و یا بطور غیر مستقیم با تبدیل فاصله سمت الراسی اندازه گیری شده آن در حالتی که نزدیک نصف النهار بوده به نصف النهار انجام می پذیرد.

منشا اصلی خطای سیستماتیک در Z یعنی تاثیر انکسار همیشه با قرائت زوج ستاره هایی که در شمال و جنوب سمت الرأس (Z) واقع بوده و تقریباً دارای فواصل سمت الراسی مساوی باشند تقلیل می یابد. اگر فواصل سمت الراسی در حالتی که ستاره بر نصف النهار واقع نیست اندازه گیری شوند باید زاویه ساعتی (یعنی زمان نجومی) مشاهدات دقیقاً معلوم باشد.



باید توجه داشت که تعیین Φ با استفاده از زاویه ساعتی و زاویه افقی نیز امکان پذیر است. روابطی که در این صورت بکار میروند عبارتند از:

$$\operatorname{tg} A = \frac{\sinh}{\sin \phi \cosh - \cos \phi \operatorname{tg} \delta} \quad (7-3)$$

$$dA = \sin A \cotg z d\Phi + \cos \Phi (\operatorname{tg} \Phi - \cos A \cotg Z) dh \quad (7-4)$$

$$\operatorname{tg} \Phi = \cos A \cotg z \quad (7-5)$$

در این حالت برای تقلیل اثر خطای زمان سنجی ستاره ها بایستی در حالت elouation مشاهده شوند بطوریکه می دانیم برای تعیین عرض جغرافیائی نجومی بروش ترانزیت روابط زیر بکار میروند.

$$\Phi = \delta_N - Z_N = \delta_N + a_N - 90^\circ \quad (7-6) \text{ (عبور بالای شمال)}$$

$$\Phi = \delta_s + Z_s = 90^\circ - a_s + s_s \quad (7-7) \text{ (عبور بالای جنوب)}$$

$$\Phi = 180^\circ - \delta_N - Z_N = 90^\circ + a_N - \delta_N \quad (7-8) \text{ (عبور پائین شمال)}$$

که در این روابط Z فاصله سمت الراسی است. البته باید توجه داشت که Z یا متمم آن a پس از اعمال تصحیح انکسار بر آنها در این معادلات صدق می نماید. اندیسه های S و N نشان دهنده شمالی و جنوبی بودن ستاره هستند. بزرگترین خطاهای سیستماتیکی که در این روش می توانند وجود داشته باشند مرکب اند از خطای انکسار، خطای حاصل از عدم استقرار دقیق دستگاه در نصف النهار (ابریشن روزانه هنگامی که ستاره در نصف النهار است تأثیری بر میل ستاره ندارد). علت اول همراه با نیاز بدانستن نقطه سمت الراسی ستاره نجومی می تواند با مشاهده زوج ستاره های شمالی و جنوبی در ارتفاعی حدوداً یکسان حذف شود. زیرا Φ را می توان یا با مجموع معادلات (7-6) و (7-7) یعنی :

$$\Phi = 1/2(\delta_s + \delta_N) + 1/2(Z_s - Z_N) + 90^\circ = 1/2(\delta_s - \delta_N) + 1/2(a_N - a_s) + 90^\circ \quad (7-9)$$

۲-۱- مقدمه ای بر تعیین طول جغرافیائی نجومی (Λ)

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

تعیین Λ بر اساس معادله زیر انجام می پذیرد.

$$\Lambda = \text{LAST} - \text{GAST} \quad (7-11)$$

در این رابطه LAST یعنی زمان نجومی ظاهری محل، بوسیله مشاهدات نجومی و GAST یعنی زمان نجومی ظاهری گرینویچ با همزمان ساختن کرنومتر مورد استفاده با علائم زمانی دریافت شده بوسیله گیرنده رادیوئی انجام می پذیرد. بطوریکه می دانیم زمان نجومی محلی در رابطه زیر صدق می کند.

$$\text{LAST} = \alpha + h \quad (7-12)$$

که h زاویه ساعتی یک ستاره و α بعد آن است می توان در حالت متمایز را در این رابطه در نظر گرفت الف-تلسکوپ دوربین را در نصف النهار قرار داد و لحظه عبور ستاره را در 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 اینست که طول جغرافیائی تقریبی ایستگاه معلوم باشد و منظور ما از عملیات تعیین Λ ، بدست آوردن میزان تصحیحی است که بایستی به مقدار تقریبی مزبور اعمال گردد تا مقدار قطعی Λ معین شود. بطوریکه می دانیم در حالت الف زمان نجومی (LAST) مساوی است با بعد ستاره (α) . بنابراین چنانچه طول جغرافیائی ایستگاه را بدانیم و تلسکوپ را در نصف النهار محل قرار دهیم و زمان LMT ستاره ای را که قبلاً تهیه کرده ایم و هویتش یعنی (δ, α) برایمان معلوم است از نصف النهار محل دقیقاً نسبت نمائیم و سپس با روشی که در نجوم یک آموخته ایم این زمان را تبدیل به LAST نمائیم، ای زمان یابد برابر با بعد ستاره (α) باشد. اختلاف ایندو یعنی LAST و α بیانگر میزان خطائی است که در طول جغرافیائی تقریبی وجود دارد. و با اعمال این تصحیح به طول مزبور، طول جغرافیائی نجومی ایستگاه تعیین خواهد شد.

در مورد حالت (ب) بایستی زمان UT بدست آمده از علائم رادیوئی 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 آنها را در رابطه بکار برد و مقدار Λ را محاسبه نمود.

این بود کلیاتی به صورت محمل در مورد تعیین مختصات نجومی یک دستگاه، اینک به شرح جزئیات این روشها و موارد کاربرد آنها تحت عناوین نجوم درجه یک و نجوم درجه دو می پردازیم. ولی قبلاً باید متذکر شد که یکی از مراحل بسیار مهم و حساس در مورد مشاهدات نجوم ژئودتیک تهیه لیستی از ستارگان مفیدی است که با توجه به روش متخذ قبل از شروع عملیات بایستی انتخاب شوند.

۲- تعیین مختصات نجومی درجه ۲

نجوم درجه ۲ و مختصات نجومی که با اجرای روشهای مربوط به آن بدست می آیند. در تعیین ارتفاع ژئوئید N (Geoidal undulation) و دیگر مسائلی که در تعیین شکل زمین در رابطه با ژئودزی کلاسیک با آن روبرو هستیم کاربرد وسیعی دارد. بدین دلیل به متدی قابل اطمینان برای تعیین طول و عرض نجومی درجه دو احتیاج داریم تا بتوانیم آنها را با مختصات ژئودتیک (φ, λ) ایستگاه مورد نظر مقایسه نمائیم.

در دستور العمل و روشی که در زیر خواهد آمد درباره متدهائی در تعیین Λ و Φ بحث خواهد شد که حداکثر دقت قابل حصول را بین روشهای نجوم درجه دو بدست خواهند داد. در این بخش رویه ای را برای تهیه لیست مشاهدات با استفاده از جداول APFS خواهیم دید که در آن ستاره هائی انتخاب خواهند شد که کلیه نیازهای مشاهداتی و محاسباتی را به بهترین وجه تامین نمایند. محاسباتی که بکار می رود بر اساس مثلثات کروی است. چنانچه کلیه مراحل که ذکر می گردد به دقت رعایتن شود مختصات نجومی حاصله معیارها و استانداردهای درجه دو را تامین خواهد نمود.

۷-۲. وسائل صحرائی

وسائل و دستگاههای مورد نیاز برای تعیین مختصات نجومی درجه دو عبارتند از :

۱- ژئودولیت- ژئودولیت ویلد T-3 برای تعیین ارتفاع در این تیپ عملیات نجومی مورد استفاده قرار می گیرد ویلد T-3 دارای دقت قرائت افقی و قائم در دهم ثانیه شصت قسمتی است و حساسیت یا ارزش تقسیمات تراز افقی آن حدود هفت



ثانیه شصت قسمتی و ارزش تقسیمات تراز قائم آن دوازده ثانیه است. البته این ارقام اسمی و ادعا شده از طرف کارخانه سازنده است در حالیکه مخصوصا در مورد تراز قائم حساسیت یا ارزش تقسیمات بیش از این اعداد است.

چون مختصات نجومی (Λ, Φ) بستگی به اندازه گیری ارتفاع ستارگان دارد بنابر این دقت تراز لمب قائم و قرائت و توجه دقیق و زیاد از اهمیت بسیار زیادی برخوردار است. تراز قائم در بالای محور ثنودولیت در سمت دایره قائم تعبیه گردیده است و حباب آن بوسیله قرائت منشوری که در بالای تراز قرار گرفته قابل رویت است. دو لبه این حباب که اصطلاحا آن را لوبیائی می نامند برای هر قرائت و اندازه گیری ارتفاع بایستی با استفاده از پیچ حرکت مربوطه منطبق گردند.

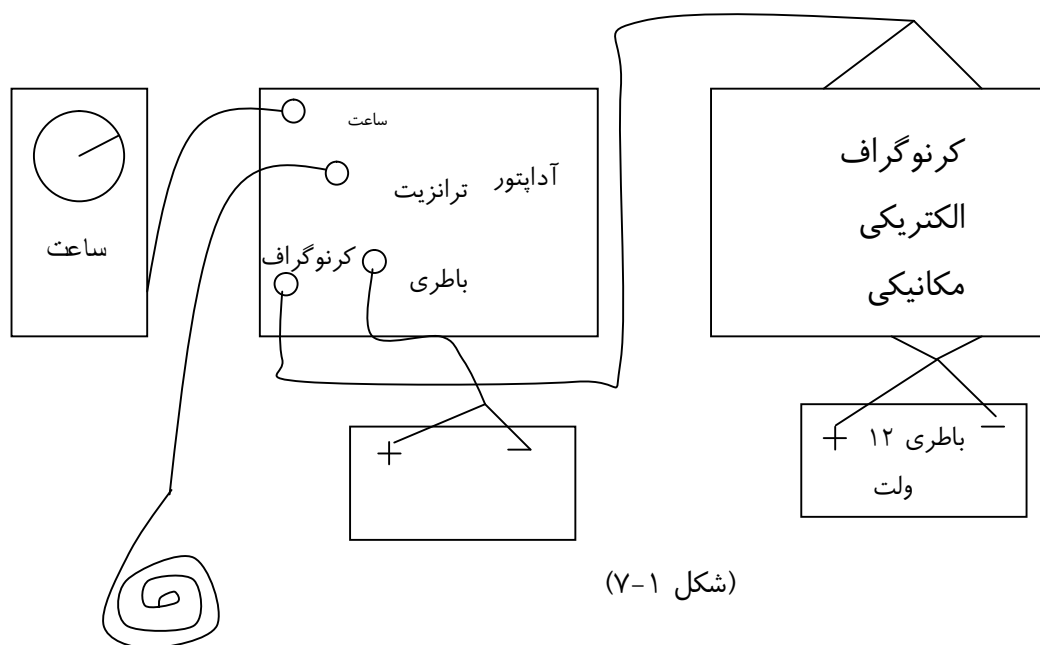
البته می توان بجای T-3 از دوربین های مشابه دیگری نیز استفاده نمود ولی جداول و شکل ها و مطالبی که در این کتاب در ارتباط با قرائتهای دستگاهی بکار رفته بر اساس این دوربین می باشد.

۲- کرونوگراف- کرونوگراف وسیله 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 این چنین قرائتی باید ثبت شود.

در وسائل قدیمی نجومی ثبت زمان در کرونوگراف بوسیله یک یا دو قلم بر روی استوانه ای که بطور منظم دوران می نمود انجام می پذیرفت.

قلم مزبور می توانست دارای حرکت منظم و یکنواخت و مستقیم الخطی بر روی استوانه باشد. برای شنجش زمان از ساعتی که در اثر نوسان و لرزش کریستالهای کوارتز کار می کرد استفاده می شد این ساعت قبل از انجام عملیات شبانه با استفاده از یک اسیلوسکپ با علائم زمانی ارسالی از فرستنده های زمان همزمان می گردید و هنگام عملیات ساعت مذکور جایگزین رادیو گردیده و پس از اتمام عملیات مجددا عمل همزمانی انجام گرفته و میزان تغییرات ساعت (Rate) محاسبه می شد ساعت کرونوگراف و دوربین هر سه به آداپتوری که جریانی به فرکانس ۱۰۰۰ هرتز ایجاد می نمود و امروزه نیز در وسائل مدرن مورد استفاده قرار می گیرد وصل می گردیدند. (شکل ۱-۷)

در وسائل مدرن کرونوگراف های الکترونیکی جایگزین نوع نیمه مکانیکی سابق شده. در این کرونوگرافها یک ساعت کریستاله تعبیه گردیده که از دوازده باطری یک و نیم ولت داخلی تغذیه می شود و بنابراین هر دو وسیله در یک دستگاه خلاصه گردیده.



(شکل ۱-۷)



کرنوگرافهای مدرن موجود در ایران دو نوعند یک ساخت کارخانه OMEC و دیگری ساخت کارخانه LON Gines. نوع اول دیگر تولید نمی شود و نوع دوم که دقیق تر است دستگاهی است که در این نوشته و دستور العمل مورد بحث خواهد بود (شکل ۲-۷). در نجوم درجه باید یک دگمه دستی (PUSH BUTTON) نیز در سیستم وجود داشته باشد. بطوریکه در فوق اشاره گردید یکی از وسائل اصلی در عملیات نجومی رادیو گیرنده قوی است که به نقش آن نیز اشاره کوتاهی شد و بعدا بصورت دو مورد کاربرد آن و سایر وسائل بحث خواهد گردید. و در پایان بایستی متذکر گردید که برای سنجش میزان تاثیر شرایط جوی و تغییرات آن بر مشاهدات بارومتر و حرارت سنج نیز از وسائل مورد نیاز در عملیات نجومی است.

۲-۷ لیست مشاهدات

برای انجام مشاهدات دقیق نجومی در مورد طول و عرض جغرافیائی وجود لیستهای مشاهداتی بسیار لازم است. در این لیست ها تمام ستارگان قابل استفاده از جدول APFS انتخاب می شوند. این لیستها موجب گردیده که مشاهدات سریعتر، متوافق تر و محاسبات بلا اشغال انجام پذیرند. چنانچه بدون تهیه این لیست ها مشاهداتی بعمل آیند که خود اینکار مستلزم جستجوی خسته کننده توأم با اتلاف وقت زیادی است امکان پیش آمدن یک یا همه اشکالات زیر نیز وجود خواهد داشت.

الف- ستاره ای مشاهده می شود که در جدول APFS نباشد و بنابر این مختصات آن (δ, α) که در محاسبات مختصات (Λ, Φ) نقش مستقیمی دارند در دسترس نخواهند بود.

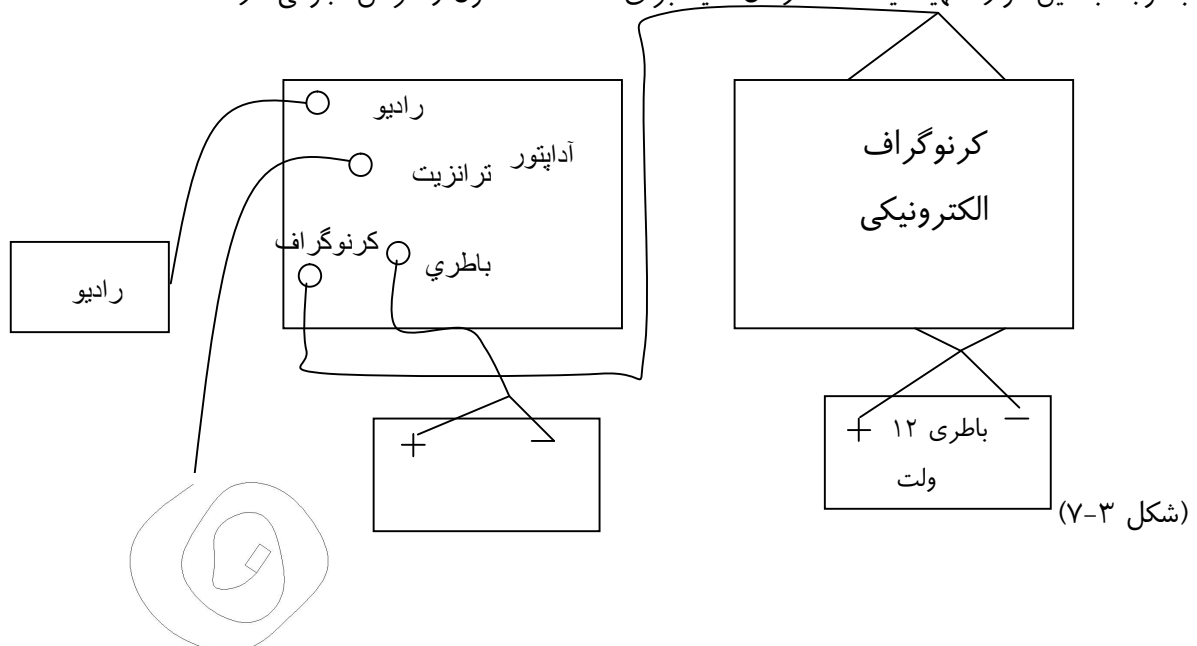
ب- ستاره ای که برای تعیین طول جغرافیائی مشاهده می شود بیش از پنج درجه از دایره قائم اولیه فاصله داشته باشد.

ج- ارتفاع ستاره از حداقل ارتفاعی که لازمست ستاره در هنگام مشاهده داشته باشد کمتر بوده و موجب ایجاد خطای انکسار زیادی می گردد.

د- ارتفاع ستاره با ارتفاع ستاره زوجش متوافق نباشد.

ه- زمان طی شده بین یک ستاره شمالی و جنوبی نظیرش زیاد گردد.

با توجه به این موارد تهیه لیست ستارگان مفید برای مشاهدات طول و عرض نجومی لازمست.





۱-۲-۷ لیست عرض جغرافیائی

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

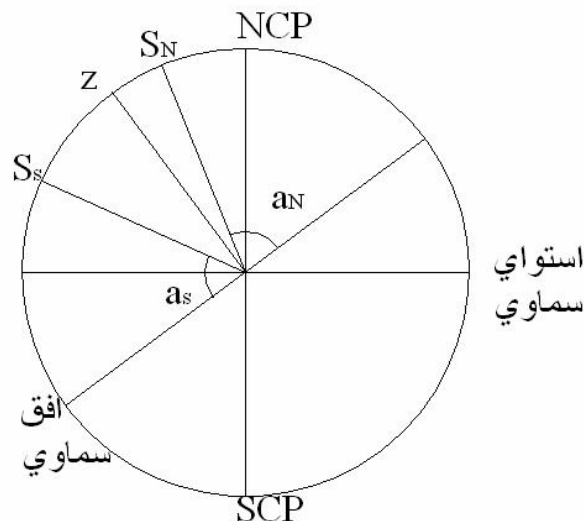
یکی از مزایای تهیه لیست برای ستارگان در مورد تعیین عرض جغرافیائی اینست که با در دست بودن چنین لیستی می توان مشاهدات مزبور را در فاصله زمانی مشاهدات مربوط به تعیین طول جغرافیائی نیز انجام داد. در مناطقی مانند ایران که دارای عرض جغرافیائی متوسط هستند می توان همواره از ستاره قطبی بعنوان ستاره شمالی استفاده نمود و تنها لیستی از ستارگان جنوبی تهیه نمود. در چنین حالتی به ستاره قطبی در هر زاویه ساعتی دلخواه می توان نشانه روی کرد ولی ستارگان جنوبی بایستی در تست قبل و بعد از گذر از نصف النهار محل مورد مشاهده قرار گیرند. ستارگان حول قطبی (رجوع شود به نجوم I) در لحظه ای که LST برابر با بعد آنها باشد از نصف النهار محور عبور (بالا) خواهند کرد. در عرضهای جغرافیائی که ستاره قطبی خیلی پائین یا زیر افق است، لیست مشاهدات شامل هر دو دسته ستارگان شمالی و جنوبی با میل مناسب می باشد.

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

- (۱) مشاهده ستاره باید در لحظه ای انجام پذیرد که ارتفاع آن حداقل سی درجه باشد.
- (۲) ارتفاع ستارگان شمالی و جنوبی حداکثر حداکثر ۵ درجه با هم اختلاف داشته باشند. (شکل ۴-۷).
- (۳) چنانچه هر دو دسته ستارگان شمالی و جنوبی انتخاب شده باشند زمان طی شده بین عبور ستارگان حول قطبی، شمالی و جنوبی از نصف النهار محل نباید بیش از سی دقیقه بشود.
- (۴) مشاهداتی که در آن از ستاره قطبی به عنوان ستاره شمالی استفاده می گردد باید بلا درنگ در مورد ستاره شمالی و جنوبی انجام پذیرد.

با داشتن طول جغرافیائی تقریبی ایستگاه و زمان غروب محل میتوان زمان نجومی محل را که برای مشاهدات مناسب است محاسبه و با استفاده از آن حدود بعد (α) ستارگان مناسب برای مشاهدات را تعیین نمود و با استفاده از عرض جغرافیائی تقریبی ایستگاه حدود میل (δ) ستارگان مناسب را مشخص کرد.

با این اطلاعات می توان ستارگان حائز شرائط را از جدول APFS انتخاب نمود. لیست باید شامل شماره ستارگان، (mag) بعد (α) آنها تا تقریب ثانیه، میل آنها تا تقریب دقیقه و ارتفاع و میزان قرائت نظیر ارتفاع که باید به لمب قائم T-3 در مورد هر ستاره باید بسته باشد.



(۴-۷)



مثال ۱- در عرض جغرافیائی شمالی ۳۹ درجه و طول جغرافیائی ۷۷ درجه در شب هشتم نوامبر ۱۹۶۳ زمان نجومی محلی تقریبی (LST) غروب خورشید محاسبه و مقدار $20^h 02^m$ تعیین گردیده. این زمان متانظر با $LMT=17^h 01^m$ بوده بنابراین زمان اولین مشاهده می تواند برابر با ساعت هفده و یک دقیقه خورشیدی محلی و یا ساعت بیست و دو دقیقه نجومی محلی انجام پذیرد. چنانچه بخواهیم ستاره قطبی را بعنوان تنها ستاره شمالی لیست مشاهدات عرض جغرافیائی در نظر بگیریم با توجه به اینکه عرض جغرافیائی محل تقریباً برابر ارتفاع ستاره قطبی است بنابراین لیست مذکور شامل ستارگانی با اختلاف $\pm 5^\circ$ درجه از 39° درجه یعنی ستارگانی در محدوده 34° تا 44° درجه ارتفاع خواهد بود. با محاسبه زیر می توان حدود میل ستارگان جنوبی را تعیین نمود:

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

$$\Phi = 1/2[(\delta_N + \delta_S) + (Z_N - Z_S)] = 1/2[(\delta_N + \delta_S) + (a_N - a_S)]$$

در این حالت ستاره شمالی ستاره قطبی است $a_N \sim \Phi \sim 90^\circ$ بنابراین برای $Z_S = 34^\circ$ خواهیم داشت

$$\delta_S = -17^\circ \quad \text{و یا} \quad 39^\circ \sim 1/2(39^\circ - 34^\circ) + 45^\circ + 1/2 \delta_S$$

$$\text{و بازاء } a_S = 44^\circ$$

$$\delta_S = -7^\circ \quad \text{و یا} \quad 39^\circ \sim 1/2(39^\circ - 44^\circ) + 45^\circ + 1/2 \delta_S$$

بنابر این ستارگانی که در مورد آنها رابطه $-7^\circ \leq \delta \leq -17^\circ$ برقرار باشد از نظر میل برای مشاهدات انتخاب می گردند. با استفاده از جدول APFS ستارگانی با این میل ها و بعد های بزرگتر از $20^h 02^m$ که مقدار آنها زیاد است برای مشاهدات انتخاب می گردند.

اگر عرض جغرافیائی محل کم و زیاد باشد بحدی که ستاره قطبی یا غیر قابل رویت و یا نشانه روی به آن مشکل باشد باید ستارگان جنوبی برای تعیین حدود میل ستارگان شمالی با توجه به حدود ارتفاع ستارگان ($30^\circ \leq a \leq 40^\circ$) و معلوم بودن Φ تقریبی محاسبه ای انجام داد و سپس با استفاده از جدول APFS و با داشتن حدود بعد و میل ستارگان شمالی و جنوبی زوج ستارگان شمالی و جنوبی مناسب را انتخاب نمود.

پس از انتخاب این ستارگان لیستی که شامل شماره ستاره به همراه بعد، میل و ارتفاعشان باشد تهیه نمود.

۷،۲،۲- لیست مشاهدات مربوط به تعیین طول جغرافیائی

تعیین لیست مشاهدات مربوط به تعیین Δ مشکل تر از لیست مشاهده برای تعیین Φ است و محدودیتهای متعددی برای مشاهده ستارگان در بخشهای کوچکی از قسمتهای شرقی و غربی آسمان همواره وجود خواهد داشت. لازم بتذکر است که در تعیین طول جغرافیائی نجومی درجه دو ستارگانی را در حوالی دایره قائم اولیه در هر دو طرف شرق و غرب باید مورد مشاهده قرار داد. در انجام این روش ستارگان انتخابی باید دارای شرایط زیر باشند.

الف- ستارگان باید در محدوده ۵ درجه از دایره قائم اولیه مشاهده شوند.

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

ج- ارتفاع ستارگان برای کاستن از اثر انکسار نبایستی کمتر از 30° درجه و بمنظور ایجاد تسهیل در نشانه روی به آنها و پیش گیری از وارد آمدن فشار به عامل مشاهدات که خود تاثیر بسیار منفی ای بر کیفیت مشاهدات خواهد داشت نباید از 40° درجه تجاوز نماید. تحت این شرایط حدود آزمون مشاهدات از 85° تا 95° درجه از شمال می باشد.



لیست مشاهدات مربوط به تعیین طول جغرافیائی نجومی از سه قسمت تشکیل مییابد. یک جدول پیش انتخابی، یک لیست ستارگان قابل دسترس شرقی و غربی و یک چارت از این ستارگان که بر اساس زمان نجومی محلی (LST)، ارتفاع و آزیموت آنها در لحظه نشانه روی باید تهیه شود. معمولاً به این چارت نیز عنوان لیست مشاهدات تعیین طول جغرافیائی نجومی اطلاق می شود زیرا این چارت ماحصل این مرحله از کار است.

جدول پیش از انتخابی

با استفاده از حدود تعیین شده ارتفاع و آزیموت و معلوم بودن عرض جغرافیائی تقریبی (Φ) این جدول تهیه می شود که زاویه ساعتی (h) و میل ستارگان (δ) را بعنوان توابعی از ارتفاع (a) و آزیموت (A) را بدست میدهد. فرمولهائی که اساس تهیه این جدول هستند عبارتند از:

$$\sin \delta = \sin \Phi \sin a + \cos \Phi \cos a \cos A \quad 7-12$$

$$\cosh = \frac{\sin a - \sin \phi \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta} \quad 7-13$$

در تعیین این جدول (شکل ۴-۷) فقط مقادیر چهار گوشه جدول با استفاده از فرمولهای فوق محاسبه می شوند: این جدول دو بخش شرقی و غربی از آسمان را در حدود میل مناسب برای مشاهدات نشان می دهد و این ستارگان در زمان ها، ارتفاعات و آزیموتهای معین شده در جدول به این دو ناحیه از آسمان وارد و از آن خارج می شوند. در شرق، ارتفاع و آزیموت دائماً در حال افزایش و زاویه ساعتی در حال تنزل است. بنابراین ستاره های شرقی یا در ردیف بالای جدول وارد و از ستون سمت راست خارج می شوند و یا از ستون سمت چپ وارد و از ردیف پائین خارج می گردند و یا از ستون چپ وارد و از ستون راست خارج می شوند. ستارگان غربی در جهت عکس ذکر شده در فوق حرکت می نمایند زیرا ارتفاع و آزیموت آنها در حال کاهش و زاویه ساعتی در حال افزایش است.*

با توجه به این مطالب در می یابیم که مقادیر زوایای ساعتی و میل ستارگان مندرج در چهار گوشه جدول پیش انتخابی حدود مسیر ظاهری بخشی از آسمان که مورد مشاهده برای تعیین طول جغرافیائی نجومی است را تعیین می نمایند و بطوریکه اشاره شد برای تعیین این مقادیر از روابط (۷-۱۳) و (۷-۱۲) استفاده می شود (شکل ۴-۷). در تهیه این جدول کفایت که علاوه بر مقادیر چهار گوشه، مقادیر میانی هر یک از سطر ها و ستون ها نیز با فرمول های مزبور محاسبه و سپس مقادیر بین آنها با میان یابی (interpolation) تعیین گردند.

نکته ای که در ارتباط با این جدول حائز اهمیت است اینست که باید هدف

از تهیه آن و نقشی را که آن در انجام مشاهدات ایفا می نماید بنحوی درک شود. اولاً بخشهایی از آسمان در شرق و غرب را که این جدول ارائه می دهد باید بتوان تصور نمود. ثانیاً باید بخاطر داشت که با میا یک ستاره می توان به جدول رجوع و زاویه ساعتی، ارتفاع و آزیموت ستاره را در دو نقطه تعیین نمود. در ارتفاعی که جدول شکل ۴-۷ نشان می دهد یعنی ۴۰ 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 عرضهای جغرافیائی کمتر مسیر ظاهری ستاره در جدول مستقیم تر خواهد بود که البته تغییر در آزیموت کم و تغییر در ارتفاع سرعت بیشتری خواهد داشت. در استوا یا جاییکه میل ستاره نزدیک صفر درجه باشد عملاً "تغییری در آزیموت وجود نخواهد داشت."



روش مشاهدات چنین ایجاب می کند که ستاره حداقل بمدت پنج دقیقه در منطقه ای از آسمان که بوسیله جدول مشخص می شود و منطقه مشاهدات است واقع باشد. ولی عملاً "مسیر چنین ستاره ای بعلت کوتاهی زیاد در جدول ترسیم نمی شود و معمولاً" ستارگانی برای مشاهده انتخاب می گردند که حداقل بمدت ده دقیقه در بخش مورد مشاهده در آسمان واقع باشند. بنابراین ستارگانی با میل نزدیک به میل های حدی مندرج در جدول ۴-۷ یعنی $27^{\circ} 40'$ و $15^{\circ} 17'$ بعلت کوتاهی مسیرشان مفید برای مشاهده نیستند و انتخاب نمی شوند.

* بمنظور ایجاد تسهیل در تدوین جدول پیش انتخابی مبدأ زاویه ساعتی نصف النهار محل ولی در مورد ستارگان شرق جهت این زاویه در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت و در مورد ستارگان غربی هم جهت با گردش عقربه های ساعت در نظر گرفته می شود و بدین ترتیب همواره مقدار آن کمتر از دوازده ساعت خواهد بود. همچنین بهمین منظور جهت آزمون ستارگان شرقی و غربی نیز ثابت در نظر گرفته می شوند.

با مقایسه دو زاویه ساعتی مرتبط با ستاره ای با میل $16^{\circ} 30'$ ملاحظه می شود که این ستاره حدود ده دقیقه در حوزه مورد مشاهده از آسمان مسیر خواهد داشت و همچنین دیده می وشد که آن قسمت از جدول که میل ها زیاد است ستارگانی با میل بیشتر از $25^{\circ} 45'$ مفید برای کار نیستند. بنابراین ستارگانی با حدود میل $26^{\circ} 45'$ تا $16^{\circ} 30'$ در لیست وارد می شوند (شکلهای شماره 5-7a, 5-7b) و مسیر آنها ترسیم می شود (شکل ۶-۷) تا سپس مسی زوج شرقی یا غربی آنها نیز ترسیم گردد. اشکال زیر براساس کاربرد این روش برای ترسیم مسیر ستاره های مناسب برای مشاهدات مربوط به تعیین طول جغرافیائی نجومی بصورت زوج ستاره ها تهیه گردیده.

لیست ستارگان قابل دسترس شرقی و غربی

قبل از ثبت ستارگان قابل مشاهده و قابل حصول در لیست باید زمان نجومی تقریبی را برای تاریخ مورد نظر و طول جغرافیائی تقریبی و زمان شروع باید محاسبه شوند. بعنوان مثال در نقطه ای به عرض و طول جغرافیائی تقریبی 40° و 80° غربی (بر حسب زمان $05^h 20^m$) مشاهدات برای اول ماه مه ۱۹۶۳ طراحی شده. زمان غروب تقریبی محل $19^h 15^m$ و تناظر با این زمان برابر $09^h 32^m$ بوده. با اضافه نمودن $04^h 07^m$ (زاویه ساعتی تقریبی برای تمام ستارگان در عرض جغرافیائی 40°) در دایره قائم اولیه، بعد اولین ستاره $13^h 39^m$ بدست می آید. با کاستن زاویه ساعتی بابر با $04^h 07^m$ از LST بعد تقریبی اولین ستاره غربی در این عرض جغرافیائی و در دایره 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 بمیزان روشنائی آنها نیز توجه داشت و از انتخاب ستارگان با mag. بیشتر از ۶ خودداری نمود.

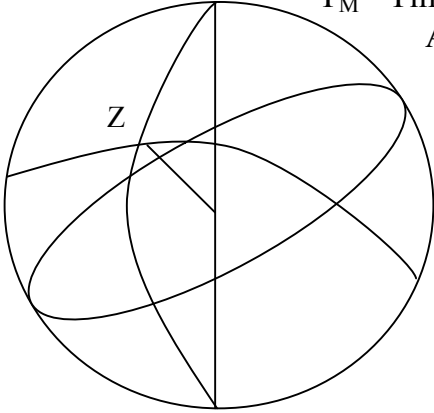
پس از ثبت ستارگان سه پارامتر ورود و خروج هر ستاره بایستی از جدول پیش انتخابی میان یابی شوند. برای تعیین این پارامترها در مورد ستاره شماره ۵۱۳ از لیست ستارگان قابل دسترس، میل $18^{\circ} 35'$ بعنوان مبنای این انتخاب بکار رفته. این میل در ستون سمت چپ با استفاده از ارتفاع 30° و آزمون بین 90° و 91° زاویه ساعتی $04^h 25^m$ یافته شده. با میان یابی آزمون این ستاره برابر با $90^{\circ} + (10/24 \times 60^{\circ}) = 90^{\circ} 14' = 90^{\circ}$ بدست آمده. همچنین این میل ($18^{\circ} 35'$) در ردیف پائین جدول نیز دیده می وشد ولی این بار با آزمون 95° و ارتفاع $35^{\circ} 29' = 35^{\circ} + (17/35 \times 60^{\circ})$ و زاویه



ساعتی $03^h 56^m$. این مقادیر یعنی ارتفاع آزیموت و زاویه ساعتی این ستاره در ستونهای مربوطه در لیست ستارگان قابل دسترسی وارد می شوند. LST مربوطه به ورود و خروج با استفاده از فرمولهائی که در گوشه سمت راست و بالای این لیست نوشته شده محاسبه شده اند.

$$GAST = T_M + \Delta T_M$$

$T_M = \text{Time shown on the Local time}$
At the instant of oils



$$\alpha = LST - t$$

$$\sin \alpha = \cos Z \sin \Phi + \sin Z \cos A \cos \Phi$$

$$\cosh = \frac{\cos Z - \sin S \sin \Phi}{\cos S \cos \Phi}$$

ارتفاع	آزیموت
۳۰	۸۵-۹۵
۴۰	۸۵-۹۵
۳۰-۴۰	۸۵
۳۰-۴۰	۹۵

با استفاده از این میان یابیها وضعیت هر ستاره در دو نقطه از مسیرش مشخص گردیده و با ترسیم این قطعه از مسیرها (شکل ۶-۷) موقعیت تقریبی هر ستاره را می توان در هر لحظه از زمان مسیرش در بخش مورد مشاهده از آسمان تعیین نمود.

لیست طول جغرافیائی نجومی

برای ترسیم مسیر ستاره ها چارتی با استفاده از ارتفاع و زمان نجومی محلی بعنوان پارامتر تهیه می شود و آزیموت آنها در لحظات مختلف بر روی این مسیرها مشخص و نوشته می شود (شکل ۶-۷). ارتفاع را تبدیل به مقادیر مناسب برای مشاهدات ارتفاعی دوربین T_3 نموده (ارتفاع بر دو تقسیم شده و 90° به آن اضافه شود) و آزیموت بعنوان مقداری که باید به لمب افق دوربین بسته شود بر روی مسیر ستاره نوشته می شوند. مسیر تمام ستاره های قابل دسترس جز در حالتی که دو ستاره مسیری یکسان را نسبت به سیستم مختصات زمان - ارتفاع طی نمایند در چارت 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 و غرب یادداشت می شوند. در چنین نقاطی ستارگان شرقی و غربی در یک زمان به ارتفاع مساوی می رسند. زوج ستاره های شرقی و غربی معمولاً از ستارگانی که



مسیرشان یکدیگر را قطع می کنند انتخاب می شوند. در بعضی حالات زوجها ممکنست از ستاره هائی که مسیرشان یکدیگر را قطع نمی نمایند انتخاب شود ولی انتخاب حالت اول مرجح است.

پس از ترسیم مسیر ستاره ها آزمون ستاره ها با تقسیمات 10' کنار هر مسیر نوشته می شود. اینکار بسادگی امکان پذیر است زیرا آزمون هر ستاره در دو نقطه انتهائی از مسیر آن معلوم است و می توان اختلاف آزمون آن در این دو نقطه را متناسب با طول مسیر تقسیم نمود. پس از ترسیم مسیر تمام ستاره مرحله بعد انتخاب زوج ستاره ها است که در این مرحله علاوه بر مطالب فوق باید زمان کافی را نیز برای انجام مشاهدات بعنوان پارامتری در نظر داشت. در شکل (۶-۷) زوج ستاره های ممکن با خطوط ضخیم تری مشخص گردیده اند و آزمون یک ستاره شرقی و یک ستاره غربی نشان داده شده.

گاهها "چنانچه مسیر ستاره ای بقدری طولانی باشد که با مسیر چندین ستاره در طرف مقابل تقاطع داشته باشد می توان از آن بیش از یک بار برای انجام مشاهدات استفاده نمود.

۷،۳ مراحل انجام مشاهدات

کنترل زمان در تعیین طول جغرافیائی (Λ) از اهمیت بسیاری برخوردار است. با استفاده از گرنوگراف می توان بصورت اتوماتیک با فشار دگمه ای که در دست ناظر قرار دارد زمان مشاهدات را ثبت نمود.

اگر عرض جغرافیائی ایستگاه بیشتر یا کمتر از عرضی باشد که جدول مشاهدات بر پایه آن تهیه گردیده باید یکی از پارامتر های مشاهدات ستاره تغییر نماید تا لیست با عرض جغرافیائی ایستگاه هماهنگ گردد. آسان ترین پارامتر برای تغییر، آزمون است زیرا این پارامتر مستقل از زمان و ارتفاع ستاره در گراف وارد شده . اگر لیست برای عرض جغرافیائی 40° تهیه گردیده و عرض جغرافیائی $30^{\circ} 40'$ است برطبق یک تقریب کلی می توان آزمون ها را بمیزان $20'$ تغییر داد. با محاسبه می توان دریافت که ستاره ای با میل $(18^{\circ} 45')$ در لیست عرض جغرافیائی 40° در ارتفاع 30° و آزمون 90° (رجوع شود به شکل ۴-۷) ، در عرض جغرافیائی $30^{\circ} 40'$ دارای آزمون $17^{\circ} 90'$ خواهد بود. بنابراین برای یک ستاره شرقی میزانی که به لمب افقی دستگاه بسته شده بایستی $17'$ افزایش داده شود.

ثبت اطلاعات زاویه ای

در شکل ۴-۷ الی ۱۰-۷ نمونه هائی از کلیه مشاهدات زاویه ای نمایش داده شده.

استقرار دستگاه

برنامه مشاهدات با کنترل دستگاه تئودولیت بمنظور تحقیق در کارکرد همزمان و هماهنگ دایره قائم و تراز دایره قائم شروع می شود. تراز افقی دستگاه دقیقاً تراز شده و یک نشانه روی قائم بر روی نقطه ای واقع در افق انجام می پذیرد. سپس شانه های تراز دایره قائم دستگاه بر هم منطبق و قرائت قائم بعمل می آید و بعد دوربین معکوس و عملیات فوق تکرار و مجدداً ارتفاع نقطه تعیین می گردد. با برگرداندن تئودولیت به وضعیت نخست تراز افقی دستگاه چندین تقسیم از حالت قبل منحرف می شود و در اینحالت یک کوپل قرائت دیگر مانند آنچه در بالا ذکر شد انجام می پذیرد و مجدداً ارتفاع نقطه محاسبه می گردد (شکل ۷-۷). اگر دو ارتفاع حاصل از دو کوپل حدود ۲ تا ۳ ثانیه با یکدیگر متوافق باشند، دستگاه مناسب کار است و الا می باید دستگاه دستگاه با تئودولیت دیگری که به درستی عمل نماید تعویض گردد.



خطای کولیماسیون دستگاه چنانچه مجموع قرائی های دایره بچپ و دایره به راست افقی بیش از یک دقیقه از 180° اختلاف داشته باشد بایستی در این موقع حذف گردد.

توجیه تئودولیت در نصف النهار محل

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

خارج از ایستگاهی

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

مشاهدات مربوط به تعیین Λ

مواردی که در ارتباط با سنجش زمان چه در تعیین Λ و چه در تعیین Φ ذیلا ملاحظه می شود برپایه استفاده از کروگرافهای مدرن الکترونیکی که بطور اتوماتیک قادر به ثبت علائم رادیویی زمان و ثبت زمان لحظه هائی است که بطور دستی دگمه های مخصوص تعبیه شده بر آنها فشار داده شود. ذکر این مطلب بدین مناسبت است که در اغلب دستورالعملهای نجومی سیستم زمان سنجی با اساس استفاده از کروگرافهای مکانیکی - الکترونیکی بیان گردیده که اکنون از رده خارج شده اند و مورد استفاده واقع نمی شوند.

برای آماده نمودن دستگاه کروگراف کافیسیت رادیو و کروگراف را به آداپتور وصل نموده و گیرنده رادیویی را یکدقیقه قبل از شروع ارسال زمان روشن نموده و پس از شروع ارسال زمان از رادیو اجازه داد به مدت یک دقیقه علائم رادیویی زمان بر روی کروگراف ثبت گردد. سپس می توان رادیو را خاموش نمود و با یک ماژیک ظریف زمان UT متناظر با اولین زمان ثبت شده بر کاغذ کروگراف را بر روی آن یادداشت نمود. پس از خاتمه عملیات نیز اینکار را تکرار کرد. انجام اینکار بدو منظور صورت می گیرد. اول تعیین زمان خورشیدی تقریبی نصف النهار ایستگاه مشاهدات که با جمع نمودن UT با طول جغرافیائی تقریبی ایستگاه صورت می پذیرد و دوم تعیین میزان rate کرنومتر تعبیه شده در کروگراف در مدت زمان عملیات و اعمال آن بعنوان تصحیح به زمانهای حاصله است. در اینجا لازم به تذکر است که چون در سیستم وسایل جدید نجوم ژئودتیک معمولًا کرنومتری که نشان دهنده زمان نجومی محل باشد وجود ندارد، لازم است در گراف مسیر ستاره ها (شکل ۶-۷) بموازات محور LST خطی ترسیم شده و زمان خورشیدی متناظر با زمانهای نجومی شروع و خاتمه عملیات بر روی آن نوشته شود و سپس مقادیر بین آنها میان یابی گردد تا بتوان این گراف را بدون داشتن کرنومترهای نشان دهنده زمان نجومی نیز مورد استفاده قرار داد.

در مورد مشاهدات مربوط به تعیین Φ و Λ تقدم و تأخری نمی توان قائل شد و می توان هر یک را به دلخواه زودتر انجام داد. اگر قرار است ابتدا مشاهده طول جغرافیائی نجومی انجام پذیرد نویسنده اکیپ لیست مشاهدات را چک کرده و زوایای ارتفاعی و افقی ستاره مورد نظر را به مشاهده کننده اعلام می نماید و او این مقدار را به دایره های قائم و افق



تئودولیت می بندد. همچنین میزان روشنائی ستاره از طرف نویسنده تذکر داده می شود. وقتی ستاره در تلسکوپ ظاهر شد مشاهده کننده بعنوان کنترل میزان روشنائی تقریبی (mag.) 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 دگمه ای را که در دست دارد و بوسیله 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 بهم زده و مجدداً "شانه های مزبور را بر هم منطبق و قرائت قائم را انجام می دهد (شکلهای ۱۰ و 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 معکوس و چهار قرائت زاویه ارتفاعی بشرح فوق باضافه یک قرائت افقی همراه با قرائت اول قائم انجام می پذیرد. اولین قرائت دایره بچپ با اولین قرائت دایره براست ترکیب شده و بهمین ترتیب در مورد سایر قرائت ها عمل می شود. بطوریکه چهار وضعیت کامل از نشانه روی بر روی یک ستاره بدست آیند. هر بار که یک نشانه روی انجام می گیرد و دگمه فشار داده می شود نویسنده اکیپ ساعت و دقیقه آنرا همراه با قرائت زوایا یادداشت می کند. در ضمن توصیه می شود که نویسنده با گذاردن علامتی بر روی کاغذ کرنوگراف مشخص نماید که این زمان مربوط به کدام قرائت است.

دیگر مشاهدات

برای مشاهدات مربوط به تعیین طول جغرافیائی قبل و بعد از انجام مشاهدات باید قریثتهای مربوط به درجه حرارت و فشار بارومتریک در مورد هر یک از ستاره های زوج انجام گرفته و یادداشت شود. در مورد عرض جغرافیائی بارومتر و حرارت سنج بایستی قبل و بعد از هر چهار وضعیت بر روی ستاره قرائت گردند.

مشاهدات مربوط به تعیین عرض جغرافیائی نجومی

اگر قرار است از ستاره قطبی به عنوان ستاره شمالی استفاده شود برنامه مشاهدات بدین شرح باید انجام پذیرد: چهار نشانه روی بر روی ستاره قطبی (شکل ۹)، هشت نشانه روی بر روی یک ستاره جنوبی (شکل ۱۰) با تعداد مساوی نشانه روی قبل و بعد از عبور از نصف النهار مجدداً "چهار نشانه روی بر روی ستاره قطبی. تمام مشاهدات بصورت سری بدینصورت انجام می گیرد: CL (دایرن بچپ)، CR، CL، CL، CR تا زمانی که تعداد 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 مشاهدات چنین ایجاب می نماید که حداقل در هشت وضعیت بر روی ستارگان نشانه روی گردد. بطوریکه تعداد نشانه رویها قبل و بعد از عبور ستاره از نصف النهار محل مساوی باشند و تا حد امکان این نشانه رویها از نظر زمانی به زمان عبور ستاره از نصف النهار محل نزدیک باشند. اختلاف زمان بین بعد این ستاره ها نباید از سی دقیقه بیشتر باشد. اگر مشاهدات هر یک از ستارگان حول نصف النهاری در زمانی خیلی دورتر از زمان عبورشان از نصف النهار محل انجام پذیرد تعداد مشاهدات باید بیشتر از هشت باشد.

مانند حالت مشاهدات مربوط به تعیین طول جغرافیائی پس از هر 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 دگمه مخصوص بر روی کرنوگراف ثبت می شود.

۷،۴ محاسبات Λ و Φ

محاسبات مقدماتی

مختصات نجومی یک ایستگاه درجه دو براساس مشاهدات زوایای قائم بوسیله فرمولهائی که مستقیماً از مثلثات کروی استخراج شده اند محاسبه می شوند. فرمولهای زیر در تعیین طول جغرافیائی بکار می روند:

$$\cos(90^\circ - a) = \cos(90^\circ - \Phi) \cos(90^\circ - \delta) + \sin(90^\circ - \Phi) \sin(90^\circ - \delta) \cosh$$

و یا

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

$$\cosh = \frac{\sin a - \sin \Phi \sin \delta}{\cos \Phi \cos \delta}$$

و

فرمولهای تعیین عرض جغرافیائی نجومی نیز از مثلثات کروی قابل حصول است ولی بعلاوه اینکه کمی این فرمولها پیچیده هستند از ارائه آنها در این دستورالعمل خودداری می شود.

در محاسبات مربوط به تعیین Λ و Φ (شکلهای ۱۳ و ۱۲ و ۱۱-۷) تعدادی موارد مشترک وجود دارد. اولین آنها 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 آنها در انکسار متوسط که با استفاده از ارتفاع مشاهده شده تا حد دقیقه و از جدول شماره ۳ بدست می آید ضرب شود. انکسار بدست آمده به ارتفاع مشاهده شده اعمال می شود و ارتفاع واقعی بدست می آید.

تاریخ مشاهدات با استفاده از مبدأ متوسط مشاهدات تا تقریب دهم روز باید محاسبه شود. اگر طول مدت مشاهدات کمتر از سه ساعت باشد زمان یکسان در تمام محاسبات بکار خواهد رفت و موقعیت ستاره با میان یابی از جدول APFS که مختصات ستارگان را باستثنای ستارگان حول قطبی برای فواصل ده روزه داده مختصات ستارگان حول قطبی برای هر روز در عبور بالایشان از نصف النهار گرینویچ در این جدول داده شده است. بنابراین اگر این جدول برای مختصات ستاره قطبی مورد استفاده واقع شود کسر یک روز باید قبل از میان یابی تعیین شود. بهر حال مختصات ستاره را در زمان متوسط مشاهدات با میان یاب از جدول APFS می توان بدست آورد. سپس تصحیحات مربوط به تأثیر عبارات پریود کوتاه نوتاسیون (Nutation) با فرمولهای زیر محاسبه و به آنها اعمال نمود:

$$\Delta\alpha = [d\alpha(\psi)]d\psi + [d\alpha(\epsilon)]d\epsilon$$

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

ضرایب $d\psi$ و $d\epsilon$ عبارات پریود کوتاه در طول و میل اکتیویته هستند و در جدول شماره ۱ از جدول APFS یافت می شوند. در نمونه های مثال (اشکال ۱۳ و ۱۲ و ۱۱-۷)، که نمونه هائی از محاسبات تعیین Λ و Φ با استفاده از کرنوگرافهای مکانیکی - الکتریکی تصحیح کرنومتری (choron.com) در برکهای محاسبات وارد شده که این ردیف در محاسبه مختصات با استفاده از وسایل جدید تنها برای 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 آنها برای زاویه ساعتی بکار برده ایم و برای نشان دادن زاویه ساعتی از حرف t استفاده شده. بنابراین در مطالعه این نمونه ها باید به این مطلب کاملاً توجه



داشت. در شکل ۱۱-۷ فاصله زمانی بین مشاهدات مربوط به دایره به چپ و دایره براست در ردیف ΔT وارد شده.

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 به جدول

شماره ۴ مراجعه و با استفاده از ΔT مقدار آنرا یافته و سپس با مراجعه به جدول S و استفاده از زاویه ساعتی که در این نمونه ها با t نشان داده شده قسمت دیگری از m که با m_2 نشان داده شده یافته و m_1 و m_2 را جمع می نمائیم تا m

بدست آید و سپس همانطور که در این نمونه ذکر گردیده آنرا در A که برابر است با $A = \frac{\cos \delta \cos^2 \Phi}{\cosh}$ ضرب می

نمائیم. A_m حاصل که تصحیح مسیر است به ارتفاع ستاره اضافه و ارتفاع حقیقی ستاره یعنی h' در مورد ستارگان حول نصف النهار بدست می آید. لازم به یادآوری است که فرم ۱۲-۷ مربوط به تعیین Φ با استفاده از ستاره قطبی به عنوان ستاره شمالی و فرم ۱۱-۷ مربوط به تعیین Φ با استفاده از یک ستاره جنوبی است و فرم ۱۳-۷ مربوط به تعیین Λ با مشاهده یک ستاره شرقی و یک ستاره غربی است.

در فرم ۱۱-۷، Φ از h' متوسط و میل ستاره بوسیله معادلاتی که در زیر فرمولهای مربوط به ستارگان حول نصف النهار (Circum Meridian) در پائین فرم محاسبه می شود.

محاسبه مربوط به تعیین Φ باید قبل از محاسبه Λ انجام گرفته و مقدار حاصله در محاسبه Λ مورد استفاده واقع شود. روش مشاهدات باعث ایجاد خطای کوچکی در نتایج طول جغرافیائی حاصله می شود. زیرا انحناء مسیر ستاره در زمان بین وضعیتهای دایره بچپ و دایره به راست دورین نمی تواند در این مورد بی تأثیر باشد. میزان این تصحیح به آزمون متوسط ستاره و زمان متوسط بین دایره بچپ ها و دایره براست ها بستگی دارد. آزمون ها با تقریب دهم درجه و فاصله زمانی تا تقریب دهم دقیقه در تعیین این تصحیح که با فرمول زیر محاسبه می شود بکار می روند:

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

$$= -\frac{(\Delta t)^2 \cos \Phi \cos A}{2} (\text{tgh cot } A - \text{tg } \Phi \text{ cosec } A) 15 \sin 1''$$

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

مشاهدات Λ بطور خلاصه در شکل ۱۴-۷ وارد شده و از چهار $\Delta \lambda_e$ (اختلاف طول جغرافیائی حاصل از طول جغرافیائی

تقریبی با استفاده از یک ستاره شرقی) و چهار $\Delta \lambda_w$ (غربی) جداگانه متوسط گرفته شده و مقدار $\frac{1}{2}(\Delta \lambda_e - \Delta \lambda_w)$ از

هر یک از $\Delta \lambda_e$ ها کم و به هر یک از $\Delta \lambda_w$ ها اضافه گردیده و این عمل برای کاهش تأثیرات در نظر گرفته نشده

انکسار انجام می پذیرد. سپس $\Delta \lambda$ نهائی محاسبه و خطای احتمالی محاسبه می گردد. $\Delta \lambda$ متوسط به طول جغرافیائی

نجمی تقریبی که در دست است اعمال می شود تا طول جغرافیائی نجومی حاصل گردد. تصحیح aberration روزانه با

فرمول زیر محاسبه می شود:

$$D.A. = 0.319 \cos \Phi \sec \delta \cosh$$

(h زاویه ساعتی است)



که برای طول های جغرافیائی شرقی مقدار آن مثبت است. همچنین تأخیر زمان موجب ایجاد خطائی 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 جغرافیائی نجومی محاسبه شده نهائی اعمال گردد. همچنین اگر خارج از ایستگاهی وجود داشته باشد باید مختصات ایستگاه اصلی با محاسباتی که اغلب با آن آشنائی دارند و با استفاده از مختصات حاصله در ایستگاه فرعی محاسبه گردد.

پیروز باشید

انجمن علمی نقشه برداری دانشگاه زنجان