دکتر تقی عدالتی، دانشیار دانشگاه فردوسی مشهد - بنیاد پژوهشهای اسلامی
حسن فرّخی، دبیر آموزش و پرورش مشهد - بنیاد پژوهشهای اسلامی

# مقدّمه‌ای بر شناخت نجوم در جغرافیای ریاضی (۶)
## کره سماوی و دستگاههای مختصّات

## «AN INTRODUCTION TO ASTRONOMY IN MATHEMATICAL GEOGRAPHY»

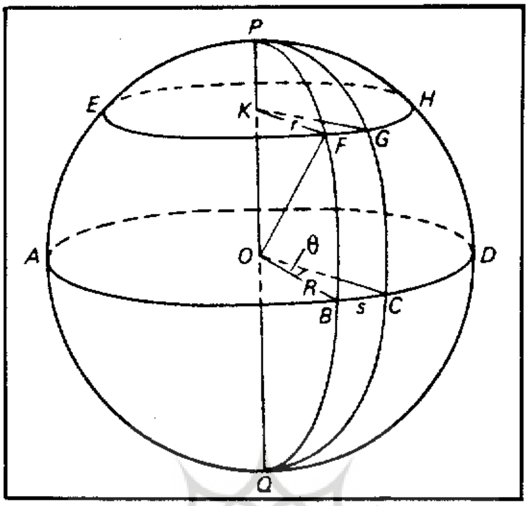
By: M.T. Edalati (Ph.D) Islamic Research Foundation - University of Ferdowsi, Mashhad
H. Farrokhi Ministry of Education - Islamic Research Foundation

There are three different Kinds of coordinates in the sky:
a) Horizontal coordinate
b) Equatorial coordinate
c) Ecliptic coordinate
We can determine an object in the sky by using one of the above systems. In herizontal, we define altitude and Azimuth, in Equatorial, we have declination and hour angle ar kight ascension, and finally, in ecliptic coordinate, we determine coordinates by celesticl latitude and lengtitude.

### مقدّمه:

ناظری که شب هنگام به آسمان نگاه می‌کند، خود را در مرکز نیمکره عظیمی می بیند که تمام اجسام سماوی برروی این نیمکره قرار گرفته اند و جهت آنها با مواضعی که در روی سطح این نیمکره قرار دارند، تعیین می شود. با در نظر گرفتن تغییرات موضعی وابسته به زمان برای تعیین مواضع اجسام باید از دستگاههای مختصّات و یا سیستم های ثبت زمان استفاده کرد. رابطه بین مواضع اجسام به نام «دانش هندسهٔ کروی» مشهور است و این شاخه از ستاره شناسی به نام «نجوم کروی» معروف است که سابقهٔ آن به ۴۰۰۰ سال پیش می رسد. امروزه استفاده از دستگاههای مختصّات در هنگامی که برای محاسبه یا مشاهدهٔ موضع یک ماهوارهٔ مصنوعی و یا سفینهٔ فضایی به مشکلی برخورد می شود، ضروری است. هندسهٔ کره شامل دایره های عظیمه، صغیره و کمانهایی از این اشکال می باشد. فواصل دایره های عظیمه را مانند زاویه در نظر می‌گیرند. یک دایره عظیمه[1]، محّل تلاقی یک صفحه

1- Great Circle




**شکل ۱** ـ نمایش هندسهٔ کروی

با کره است که مرکز کره در درون آن صفحه باشد. چون تمام نقاط روی کره از مرکز به یک فاصله است، طبق تعریف، شکل صفحهٔ تلاقی کننده باید دایره باشد. اگر مرکز کره درون صفحه فوق نباشد، نتیجهٔ تلاقی آن با کره، دایرهٔ صغیره خواهد بود. اگر سه دایره عظیمه به گونه ای یکدیگر را قطع کنند که از سه کمان دایره‌های عظیمه مذکور، یک شکل بسته به وجود آید، در صورتی که شرایط زیر را دارا باشد، آن را **مثلث کروی** گویند:

ـ: مجموع دو ضلع آن از ضلع سوّم بزرگتر باشد.

ـ: مجموع سه زاویه آن از $180^\circ$ بیشتر باشد.

ـ: هر زاویهٔ کروی آن از $180^\circ$ کوچکتر باشد.

در شکل ۱ ـ ( $\overset{\triangle}{PBC}$ ) یک مثلث کروی است. ولی ( PFG ) چون یکی از اضلاع آن ( $\widehat{FG}$ ) کمان یک دایرهٔ صغیره است، مثلث کروی نیست، لذا ( $\triangle$ PBC ) یک مورد خاص است زیرا دو زاویهٔ قائمه آن $\angle PBC$ و $\angle PCB$ قائمه می باشند. اضلاع یک مثلث کروی را بر حسب اندازهٔ زاویه‌ای بیان می‌کنند. اندازهٔ ( S ) یعنی کمان ( BC ) بر حسب زاویهٔ $\theta$ که در مرکز کره مقابل کمان قرار دارد و شعاع کره ( R ) از رابطهٔ زیر به دست می آید:

$$S=R\times\theta$$

در این فرمول: $\theta$ برحسب رادیان است و ( $2\pi$ ) رادیان $=360^\circ$

سایر رابطه های مورد نیاز عبارتند از:

(رادیان) $\simeq$ ۵۷/۳°

کمانی ″۲۰۶۲۶۵ $\simeq$ کمانی ′۳۴۳۸ $\simeq$

اگر شعاع کره، واحد فرض شود، خواهیم داشت: $S = \theta$، که نشان دهنده این است که طول کمان یک دایره عظیمه در روی کره با شعاع واحد برابر با زاویه‌ای است که در مرکز کره، مقابل این کمان واقع می شود. طول کمان یک دایرهٔ صغیره ( $\widehat{FG}$ )، طول کمان دایرهٔ عظیمه‌ای است که صفحهٔ آن با صفحهٔ دایره صغیره موازی است.

## فرمولهای مثلثات کروی:

همان گونه که می توان از فرمولهای مثلثات مسطحه در محاسبات هندسهٔ مسطحه استفاده کرد، فرمولهای مثلثاتی خاصی در هندسه کروی به کار می رود. این فرمولها زیاد هستند ولی چهار فرمول بیش از همه مورد استفاده قرار می‌گیرند این فرمولها روابط بین اضلاع و زوایای یک مثلث کروی را بیان می‌کنند و در حلّ مسایل نجومی ارزش زیادی دارند. در شکل ۲ ( ABC ) مثلث کروی است با اضلاع ( $\widehat{CA}, \widehat{BC}, \widehat{AB}$ ) که اندازهٔ این اضلاع به ترتیب ( b, a و c ) می باشد، این مثلث دارای زوایای CAB>، ABC> و BCA> است که به ترتیب زوایای $\hat{B}, \hat{A}$ و $\hat{C}$ نامیده می شود. چهار فرمول مذکور عبارتند از:

۱ـ فرمول کسینوسها:

$$\text{Cos}a = \text{Cos}b\ \text{Cos}c + \text{Sin}b\ \text{Sin}c\ \text{Cos}\ A$$

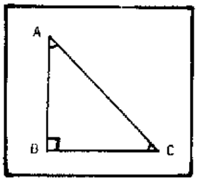
دو شکل دیگر این فرمول عبارتند از:*

$$\text{Cos}b = \text{Cos}c\ \text{Cos}a + \text{Sin}c\ \sin a\ \text{Cos}\ B$$
$$\text{Cos}c = \text{Cos}a\ \text{Cos}b + \text{Sin}a\ \text{Sin}b\ \text{Cos}\ C$$

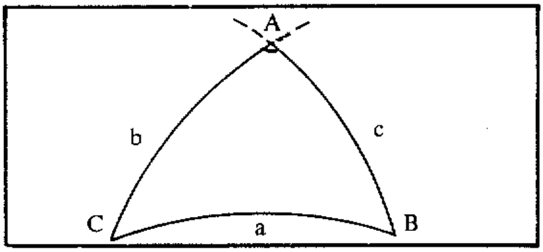
۲ـ فرمول سینوسها:

$$\frac{\text{Sin}\,A}{\text{Sin}a} = \frac{\text{Sin}B}{\text{Sin}b} = \frac{\text{Sin}C}{\text{Sin}c}$$

*: سینوس هر زاویه در یک مثلث قائم عبارت است از حاصل تقسیم ضلع مقابل به وتر.
کسینوس هر زاویه در یک مثلث قائم عبارت است از حاصل تقسیم ضلع مجاور به وتر.
تانژانت هر زاویه در یک مثلث قائم عبارت است از حاصل تقسیم ضلع مقابل به مجاور
کتانژانت هر زاویه در یک مثلث قائم عبارت است از حاصل تقسیم ضلع مجاور به مقابل




$$\text{Sin}A = \frac{BC}{AC}, \text{Cos}A = \frac{AB}{AC} \qquad \text{tg}A = \frac{BC}{AB} \quad \text{Cotg}A = \frac{AB}{BC}$$




**شکل شماره ۲ـ** علائم مشخص‌کننده یک مثلث کروی

این فرمول را باید بادقت به کاربرد، زیرا با داشتن مقادیر (a ، b و B) دانستن این موضوع که A یک زاویهٔ حادّه یا منفرجه است، چندان ساده نمی باشد.

**۳ـ متشابه فرمول** کسینوسها:

$$\text{Sina CosB} = \text{Cosb Sinc} - \text{Sinb Cosc CosA}$$

**٤ـ فرمول چهار جزیی:**

$$\text{Cosa CosC} = \text{Sin a cotgb} - \text{Sinc cotgB}$$

این فرمول، پنج شکل دیگر نیز دارد وچهاربخش متوالی از مثلث کروی را به کار می برد و بیشتربه شکل زیر بیان می شود:

Cos (ضلع داخلی) Cos (زاویه داخلی) =

Sin (ضلع داخلی) Cotg (ضلع دیگر) - Sin (زاویهٔ داخلی) cotg (زاویه دیگر)

## دستگاههای مختصّات:



درمدّت ۴۰۰۰ سال که ازپیشرفت دانش ستاره‌شناسی می‌گذرد به دلیل تنوع مسایل آن، دستگاههای مختصات و سیستمهای ثبت زمان به‌وجود آمده است. این دستگاهها، دوایرعظیمه مرجعی دارند که به کمک آنها می توان جهت هرجسم سماوی را در هرزمان خاص معیّن کرد. اساس هر دستگاه به پدیدهٔ موردِ مطالعه، بستگی دارد. این انتخاب ممکن است موضع ناظر در روی سطح زمین (دستگاه مکان مرکزی)، مرکز زمین (دستگاه زمین مرکزی) مرکز خورشید (خورشید مرکزی) و یا مرکز یک سیّاره (سیّاره مرکزی) باشد. درعصر پرواز سفاین فضایی سرنشین دار، این مرجع می تواند یک سفینه فضایی (مکان مرکزی) و یا حتی مرکز ماه (ماه مرکزی) باشد. سیستم زمانی ممکن است براساس حرکت خورشید،

چرخش زمین یا زمان زیجی وابسته به حرکت سیارات به دور خورشید، باشد. قبل از پرداختن به دستگاههای مختصات، توضیح اصطلاحات زیر ضروری است. (شکل ۳)

۱ـ **کره سماوی**[2]: کره‌ای است به مرکز دید ناظر و شعاع بینهایت (یعنی به قدرت چشم ناظر)

۲ـ **محور عالم**: همان محور زمین است که از دو طرف تا بینهایت امتداد دارد.

۳ـ **استوای سماوی**[3]: همان استوای زمین است که ابعاد آن تا بینهایت ادامه دارد. ( EÉ درشکل ۳)

٤ـ **افق سماوی**[4]: فصل مشترک کره سماوی با صفحه عمود بر راستای بدن ناظر را افق سماوی گویند. ( HH́ )

۵ـ **محور قائم**: همان راستای بدن ناظر است که تا بینهایت امتداد دارد.

٦ـ **قطبین سماوی**[5]: محّل تلاقی محور عالم با کره سماوی را قطب شمال سماوی ( N.C.P. ) و قطب جنوب سماوی ( S.C.P. ) گویند.

۷ـ **سمت الرأس**[6] و **سمت القدم**[7]: محلّ تلاقی محور قائم باکره سماوی دربالای سر را سمت الرأس و در پایین پا را سمت القدم گویند. ( Z و N در شکل ۳)

۸ـ **نصف النهار ناظر**[8]: قوسی از کره سماوی است که از چهار نقطه قطب شمال و جنوب سماوی، سمت الرأس و سمت القدم می‌گذرد. (قوس HEH́É در شکل ۳)

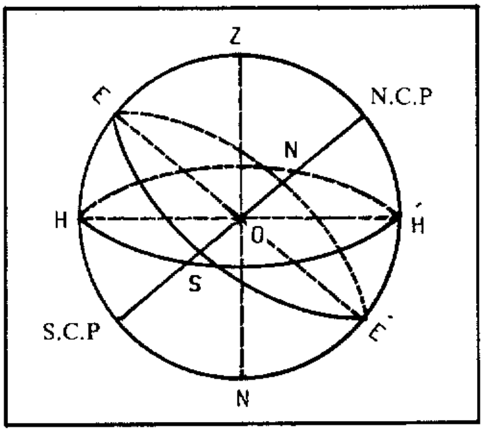


## ۱ـ دستگاه مختصات افقی[9] (سمت ـ ارتفاعی)

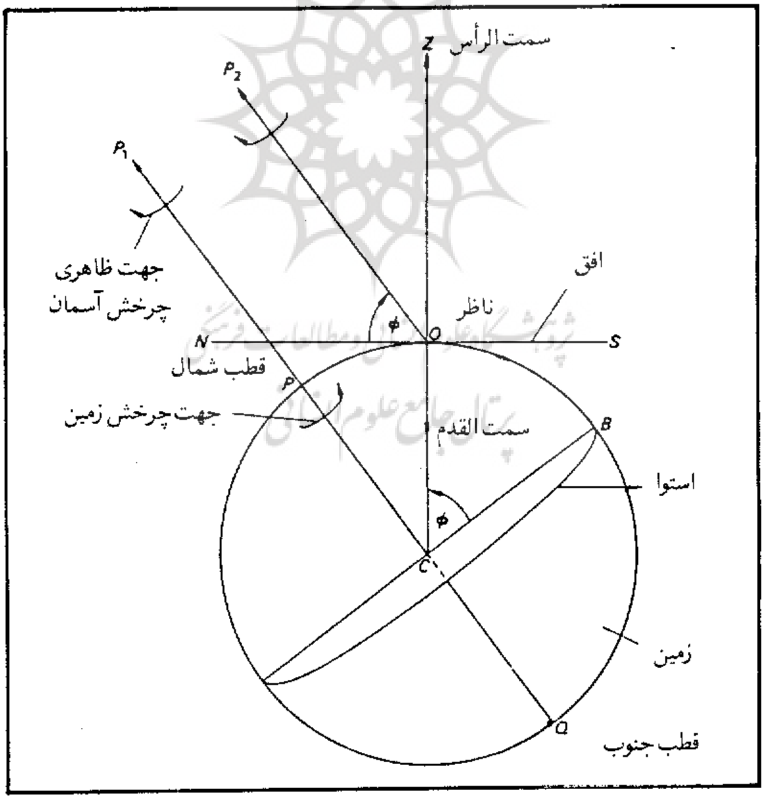
این دستگاه از ابتدایی ترین دستگاههای مختصات است که در آن ناظر خود را در روی یک صفحه صاف و در مرکز نیمکره‌ای می بیند که اجسام سماوی به دور آن می چرخند. (شکل ٤)

در شکل(٤)ناظر در نقطهٔ ( O ) با عرض شمالی ( $\varnothing$ ) قرار دارد. اگر زمین را کروی فرض کنیم، نقطهٔ مقابل جهت نخ شاغول، سمت الرأس ( Z ) و جهت نخ شاغول ( N ) سمت القدم نام دارد که به مرکز زمین منتهی می شود. این صفحه، قاعدهٔ کره سماوی را در افق قطع می‌کند. به دلیل چرخش زمین به دور محور خود ( PQ ) به نظر می آید که آسمان

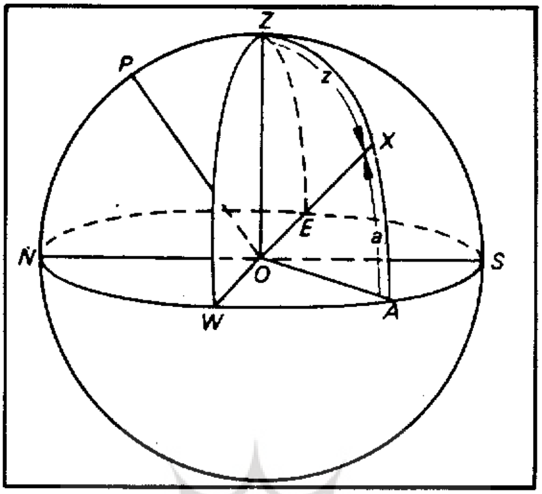
2- Celestial Sphere 3- Celestial Equator. 4- Celestial Horizon. 5- North and South Celestial, Pole 6- Zenith 7- Nadir 8- Observers Meridian 9-Horizon Cooridinate.




**شکل ۳**ـ نمایش کره سماوی، استوا و افق ناظر




**شکل ٤**ـ دستگاه مختصات افقی




شکل ۵- کره سماوی ناظر

نسبت به نقطهٔ ( P ) که محل تلاقی کره سماوی با (PQ) می باشد در جهت عکس چرخش زمین، می چرخد. هر چند شعاع این کره نسبت به شعاع زمین نامحدوذ است ولی به دلیل آن که ( $OP_۲$ ) با ( $QPP_۱$ ) موازی است، لذا ( $P_۲$ ) قطب شمال سماوی خواهد بود و تمام ستارگان به دور ( $P_۲$ ) می چرخند. ستاره قطبی نیز با قطب یک درجه فاصله دارد و این فاصله در ستاره شناسی، مقدار بزرگی است زیرا می توان چهار کره ماه را مجاور یکدیگر در درون مسیر حلقوی ستاره قطبی به دور قطب شمال سماوی، قرارداد. (قطر زاویه ای ماه، ۳۰ است). نقاط ( S, N ) دایرهٔ عظیمه از سمت الرأس به قطب شمال سماوی، افق را قطع می‌کند و نقطه شمالی (N) نسبت به نقطه ( S ) به قطب نزدیکتر است. چون ( $OP_۲$ ) موازی ( $CP_۱$ ) است، لذا: $\varnothing$ -۹۰ = $<OCP_۱$ = $<ZOP_۲$ و چون $<ZON$ یک زاویه قائمه است. پس $<NOP_۲ = \varnothing$ خواهد بود و لذا:

**ارتفاع ستاره قطبی = عرض جغرافیایی محل**

چون در دستگاه مختصات افقی، ناظر در مبدأ قرار می‌گیرد، لذا این دستگاه یک سیستم مکان مرکزی است.* در شکل ۵- (Z) سمت الرأس، (O) ناظر، (P) قطب شمال

* - ا.ای ری و دی. کلارک ستاره شناسی: اصول و عمل، ترجمهٔ احمد سیدی نوقابی، معاونت فرهنگی آستان قدس ۱۳۶٦

سماوی، (OX) جهت لحظه‌ای جسم سماوی است. دایره عظیمه‌ای که از ( P,Z ) می‌گذرد، افق ( NESAW ) را در نقاط شمال (N) و جنوب (S) قطع می‌کند. دایره عظیمه دوّم، دایرهٔ ( ZWE ) می باشد که با دایرهٔ عظیمهٔ ( NPZS ) زاویهٔ قائمه می سازد و افق را در نقاط شرق (E) و غرب (W) قطع می‌کند. کمانهای (ZN و ZW و ZA) عمود می باشند و به این ترتیب نقاط (N,S,E,W) جهات اصلیند. عمودهای سمت شرق و غرب را عمودهای مبدأ می نامند، (ZE) عمود شرقی مبدأ و (ZW) عمود غربی مبدأ است. مقادیری که موضع (X) را در این دستگاه معیّن می‌کند، زاویه سمت[10] (A) و ارتفاع[11] (a) می باشد. زاویه سمت را به طرق مختلفی تعیین می‌کنند و باید در مورد آن دقّت کافی داشت. به عنوان مثال، زاویهٔ سمت را می توان زاویهٔ بین عمودی که از نقطه جنوب و عمودی که از جسم (X) می‌گذرد و در امتداد افق، در جهت شرق از صفر تا ۳۶۰°، تقسیم بندی شده است، تعریف کرد، و یا این که زاویه سمت را زاویه‌ای دانست که بین عمود نقطه شمال و عمود جسم (X) قرار دارد و در امتداد افق و در جهتهای شرق یا غرب از صفر تا ۱۸۰° تقسیم بندی می شود. تعریفی که در این مقاله به آن پرداخته شده است، اندازه گیری زاویه سمت را از نقطهٔ شمال در جهت شرق و از صفر تا ۳۶۰°، درنظر می‌گیرد. این تعریف، به تعریف جهت حقیقی بسیار نزدیک است. برای ناظری که در نیمکره جنوبی است، زاویهٔ سمت نسبت به نقطه جنوب در جهت شرق، از صفر تا ۳۶۰°، اندازه گیری می شود.

ارتفاع (x) یعنی زاویهٔ (a) زاویه‌ای است بین نقطهٔ (R) واقع برافق ونقطه (X) در امتداد دایرهٔ قائمی که از (X) می‌گذرد، اندازه گیری می شود و این زاویه بر حسب درجه است. مختصّه دیگری که مربوط به ارتفاع است، فاصله سمت‌الرأسی (x) یعنی (z) می باشد و برابر است با: $a = 90 - z$. عیب اصلی این دستگاه آن است که اساساً وابسته به مکان می باشد و لذا دو ناظر در نقاط مختلف زمین در یک لحظه؛ زاویه سمت و ارتفاعهای متفاوتی را برای یک ستاره به دست می آورند. همچنین، با چرخش کره سماوی، ناظر در می یابد که مختصّات آن ستاره با زمان تغییر می‌کند. علی رغم این مسایل، مشاهدات بسیاری براساس این دستگاه صورت می‌گیرد.

---

10 - Azimuth    11 - Altitude.

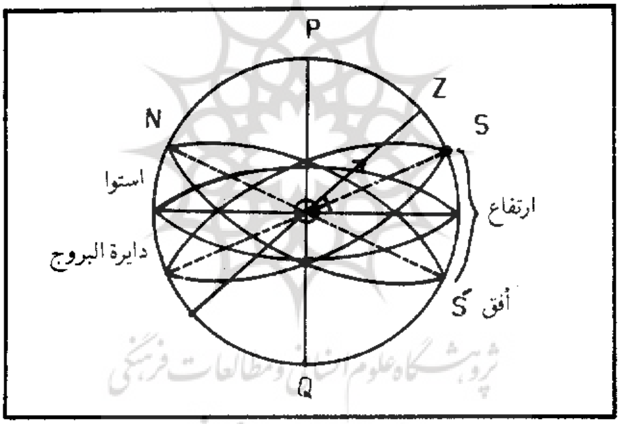
## کاربرد سیستم مختصات افقی

۱ـ مطلوبست تعیین ارتفاع و زاویهٔ سمت خورشید در ظهر روز اوّل تابستان برای ناظری در عرض جغرافیائی °۳۰

ـ حلّ: برای حلّ مسأله فوق استراتژی زیر را به کار می بریم:

الف: کره سماوی را رسم کرده و با توجه به عرض جغرافیایی داده شده، استوای سماوی و افق سماوی ناظر را مشخصّ می‌کنیم.

ب: نیمدایره عمودی ستاره، یعنی قوسی که از ستاره (خورشید در روز اوّل تابستان یعنی در محلّ انقلاب تابستانی) و سمت‌الرأس و سمت‌القدم می‌گذرد را رسم می‌کنیم. محلّ تلاقي این نیمدایره با افق (S) را تعیین می‌کنیم، حال با توجه به شکل ۶، داریم:




شکل ۶ـ موقعیت خورشید در روز اول تابستان

ارتفاع خورشید °a =۶۰+۲۳/۵=۸۳/۵

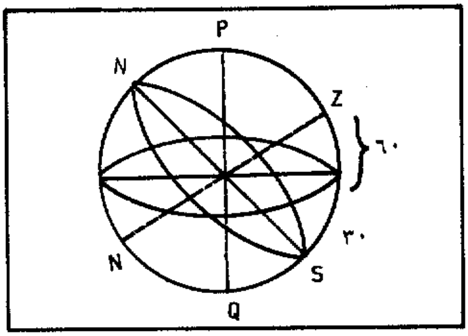
زاویه سمت خورشید در روز اوّل تابستان °Az =۱۸۰

۲ـ مطلوبست تعین ارتفاع و زاویه سمت ستاره‌ای که در سمت‌الرأس ناظری به عرض جغرافیایی °۶۰ قرار دارد.

ـ حلّ: با توجه به استراتژی مثال ۱ و شکل ۷ داریم:

زاویه سمت می تواند از صفر تا °۳۶۰ تغییر کند. °Az= ۰ـ ۳۶۰ و °a=۹۰

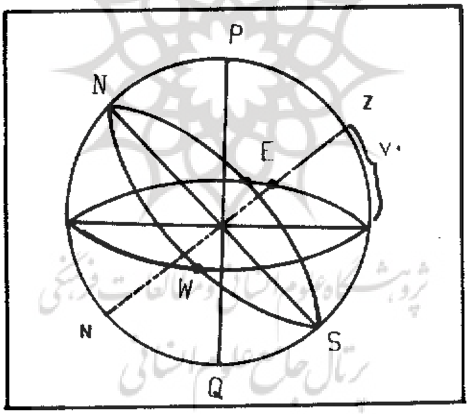
۳ـ مطلوبست تعیین ارتفاع و زاویه سمت خورشید در هنگام طلوع خورشید برای ناظری




**شکل ۷ـ** موقعیت ستاره بر روی سمت الرأس

درعرض جغرافیایی °۷۰ شمالی.

ـ حلّ: با توجه به‌شکل (۸) و استراتژی مثال ۱، داریم.




**شکل ۸ـ** محلّ خورشید هنگام طلوع (E) و غروب (W)



ـ الف: چون خورشید در هنگام طلوع در شرق ( E ) قرار دارد، پس: $A_Z = ۹۰°$ و $a = ۰$

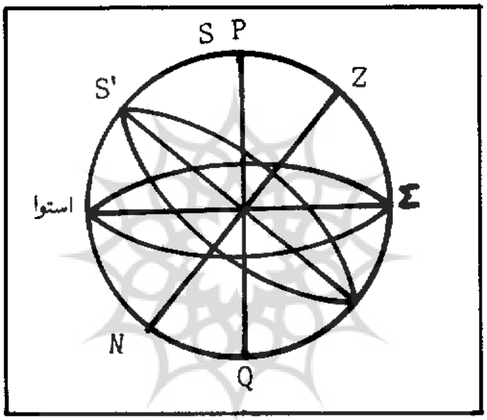
ـ ب: چون خورشید درهنگام غروب درغرب افق (W) قرارمی‌گیرد، لذا: $A_Z = ۲۷۰°$ و $a =$

۴ـ ثابت کنید که در هر محلّ، ارتفاع ستاره قطبی برابر با عرض جغرافیایی آن محلّ است.

ـ حل: الف: ابتدا کره سماوی و ناظری را با عرض جغرافیایی دلخواه مشخص می‌کنیم.

ب: نیمدایره عمودی ستاره قطبی را رسم کرده تا افق را قطع کند، پس ارتفاع ستاره قطبی مساوی قوس $\widehat{SS'}$ است و عرض جغرافیایی ناظر برابر با قوس $\widehat{Z\Sigma}$ می باشد. حال ثابت می شود که زاویه مقابل به قوس $\widehat{SS'}$ و زاویه مقابل به قوس $\widehat{Z\Sigma}$ برابر است و برای اثبات آن می‌گوییم:

**دو زاویه که اضلاعشان بر هم عمود باشند، با هم برابرند** و لذا ارتفاع ستاره قطبی که همان قوس $\widehat{SS'}$ است با عرض جغرافیایی ناظر یعنی قوس $\widehat{Z\Sigma}$ برابر خواهد بود. (شکل ۹)



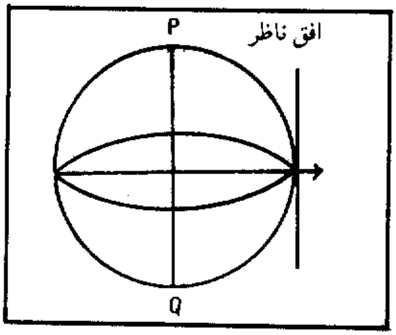

شکل ۹-

۵- چنانچه ناظری در استوا قرار گیرد، ستاره قطبی را در کجا خواهد دید؟

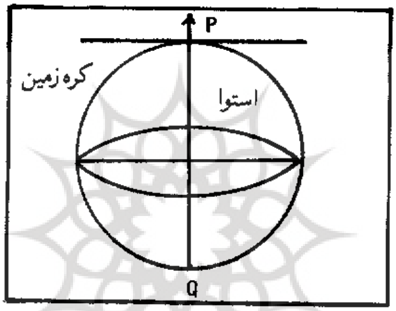
- حل: اگر ناظر در استوا قرار گیرد، افق آن بر استوا عمود است و چون این صفحه با محور عالم موازی می شود، لذا ستاره قطبی را در افقش خواهد دید. (شکل ۱۰)

٦- برای ناظری که در قطب شمال ایستاده است، ارتفاع و زاویه سمت ستاره قطبی چقدر خواهد بود؟

حل: برای ناظری که در قطب شمال قرار دارد، ستاره قطبی را در سمت الرأس خود خواهد دید، لذا ارتفاع آن $90^\circ$ خواهد بود و طبق مسأله ۲، زاویه سمت آن هم بین صفر و $360^\circ$ می باشد (شکل ۱۱ )




**شکل ۱۰ـ** موقعیت ناظر در استوا که افق ناظر بر استوا عمود است

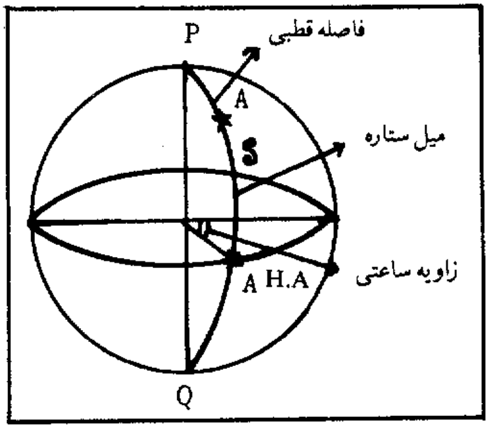



**شکل ۱۱ـ** مکان ناظر در قطب شمال ( P ) که افق آن به موازات استوا است

## ۲ـ دستگاه مختصّات استوایی [12]

اجزای اصلی این سیستم عبارتند از: دایرهٔ عظیمه استوای سماوی، نصف‌النهارات ستاره‌ها و یا دایره‌های ساعتی. دوایر کوچکی که موازی دایره استوا بوده و مسیر حرکت ستاره‌ها برروی این دوایر مشخص می شود، مدارات نام دارند. استوای سماوی فصل مشترک صفحه استوای کره زمین با کره آسمانی است و تمام صفحاتی که از محورعالم ( PṔ ) بگذرد، مقطع آنها با کره آسمانی، دوایری به وجود می آورد که به آنها «دوایر ساعتی [13]» گویند. برای این که وضع ستاره‌ای را با این سیستم مختصّات مشخص کنیم، ابتدا باید دایره ساعتی یا نصف‌النهاری که از ستاره قطب شمال و جنوب سماوی می‌گذرد را رسم کنیم. (شکل ۱۲)، زاویه حادث بین دو صفحه نصف‌النهار محل و نصف‌النهار ستاره

12 - Equatorial Coordinate 13- Hour Circle



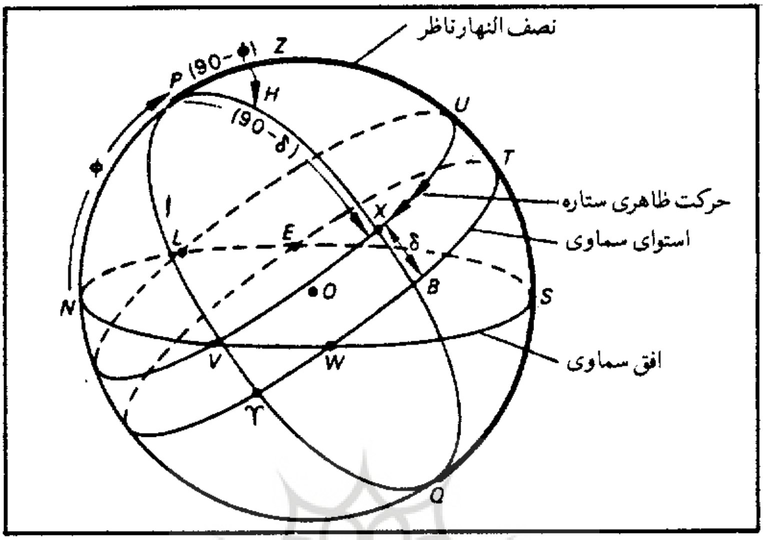

**شکل ۱۲**ـ نمایش نیمدایره ساعتی و میل ستاره

را زاویه ساعتی می نامیم[14]. طول ( AÁ ) یعنی فاصله ستاره تا صفحه استوا را میل ستاره[15] ( δ ) و متمم میل ستاره[16] یا فاصله قطب تا ستاره را در روی دایره ساعتی، فاصله قطبی گویند.

مبدأ زاویه ساعتی ( H.A )، نصف النهار محل بوده و مقدار آن از صفر تا ۲۴ ساعت تغییرمی‌کند. مبدأ میل ستاره، صفحه استوا می باشد که مقدار آن در نیمکره شمالی مثبت و در نیمکره جنوبی منفی است (۹۰° ±). مبدأ فاصله قطبی هم از قطب ( P ) است و مقدار آن تا ۱۸۰° متغیّر و جهت آن از شمال به جنوب است. یک ناظر مشاهده می‌کند که تمام اجسام طبیعی آسمان از شرق طلوع کرده، ارتفاع آنها زیاد می شود تا زمانی که از نصف النهار ناظر عبور کند و پس از مدتی با کاهش ارتفاع در غرب، غروب می‌کنند. در واقع ، هرستاره دایره‌ای صغیره به موازات استوای سماوی طی می‌کند. این دایره را «مدارمیل[17]» گویند (دایره UXV در شکل ۱۳). میل یک ستاره ( δ ) فاصله زاویه‌ای آن ستاره از استواست در امتداد نصف النهار همان ستاره که برحسب درجه بیان می‌شود. بنابراین، میل یک جسم سماوی شبیه عرض یک نقطه در روی زمین است و هنگامی که ستاره‌ای در سمت الرأس باشد، عرض ستاره برابر با میل آن ستاره خواهد بود.

---

14- Hour Angle (H.A.) 15- Declination 16- Co Declination 17- Parallel of Declination




شکل ۱۳- دستگاه مختصات استوایی

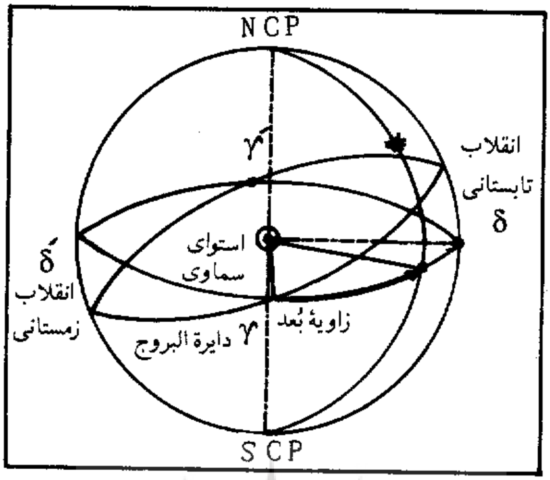
کمیّت فاصلهٔ قطب شمال (کمان PX) را می توان از فرمول زیر به دست آورد:

میل- ۹۰ = فاصله قطب شمال

به این ترتیب می توان گفت که ستاره در نقطه (U) از نصف النهار عبور و در نقطه (V) غروب می‌کند. نقطهٔ (L) طلوع مجدد و دوباره در نقطه (U) از نصف النهار عبور می‌کند. زاویه ($\widehat{ZPX}$) زاویه ساعتی ستارهٔ (X) می باشد که از نصف النهار ناظر تا نصف النهار ستاره، در جهت غرب اندازه گیری می شود. پارامتر دیگر در سیستم مختصّات استوایی زاویه بُعد[18]، است که قوسی از استوای سماوی می باشد که از محلّ نقطه اعتدال بهاری (♈) یعنی محلّ تلاقی دایرةالبروج با استوای سماوی، شروع شده و در جهت عکس حرکت عقربه های ساعت به محل تلاقی نیمدایره ساعتی ستاره و استوای سماوی ختم می شود. زاویهٔ بعد هر ستاره برحسب زمان و از صفر تا ۲۴ ساعت اندازه گیری می شود.

در واقع سیستم مختصّات استوایی دارای دو مختصّه اساسی است، اوّل میل ستاره و دوّم، زاویهٔ بعد یا زاویه ساعتی ستاره. در شکل (۱۴) کره سماوی و مختصات استوایی ستاره

18- Right Ascension




شکل ۱٤ ـ نمایش زاویه بعد ستاره P

(P) نشان داده شده است.

چهار نقطه مهم روی دایرة البروج عبارتند از، اعتدال بهاری (♈) اعتدال پاییزی (♈́) انقلاب تابستانی (δ) و انقلاب زمستانی (δ́). زمان حرکت خورشید یا زمین از نقطهٔ (♈) و بازگشت آن به همان نقطه را سال گویند. یا به عبارت دیگر، هنگامی که مرکز خورشید یا زمین در (♈) قرار دارد، به این معنی است که طول روز و شب برابر می باشد و تابش خورشید بر استوای زمین عمود است. برای ساکنین نیمکره شمالی، زمانی که مرکز خورشید یا زمین به نقطه (♈) می رسد، بهار و زمانی که به نقطه (♈́) می رسد، پائیز آغاز می‌شود.

**تعریف سال تحویل:** لحظهٔ سال تحویل عبارت است از هنگامی که مرکز خورشید یا زمین بر نقطهٔ (♈) منطبق شود و در آن لحظهٔ بخصوص طول روز و شب یکسان است. زمان سال تحویل برای تمام عرضهای جغرافیایی مثبت یا منفی (نیمکره شمالی یا جنوبی) یک لحظه است. ساکنین نیمکره جنوبی، اگر عیدی داشته باشند، زمان عبور مرکز خورشید از نقطه (♈́) سال تحویل، آنها خواهد بود.

از ویژگیهای سیستم مختصات استوائی آن است که زاویه ساعتی و میل ستاره‌ها برحسب زمان و مکان تغییر نمی‌کند. البته برای یک ستاره، این تغییرات کاملاً ثابت نبوده و علّت آن رقص محوری زمین و تغییر مکان قطبها می باشد. لازم به تذکر است که میل یا

فاصله قطبی و یا بعد هر ستاره، نشان دهنده موقعیت آن برروی کره سماوی است و مقدار آن توسط جداول مخصوص تنظیم شده است. با توجه به این که یک ستاره در ۲٤ ساعت یک دور کره سماوی و یا ۳٦۰° گردش می‌کند، بنابراین هر ساعت= ۱۵° قوسی و هر دقیقه ساعتی =۱۵′ قوسی و هر ثانیه زمانی =۱۵″ قوسی خواهد بود.

**زمان نجومی محلی**[19] ( LST ) زاویهٔ بعد به همراه میل، دستگاه مختصاتی را برای مواضع ستارگان تشکیل می دهد که در تهیه لیست اسامی ستارگان مفید است و با دستگاه مختصات سمت ـ ارتفاعی (افقی) که با زمان سریعاً تغیر می‌کند، در تضاد می باشد نقطهٔ اول حمل ($\Upsilon$) به مانند یک ستاره با کائنات در گردش است و طلوع و غروب دارد. بنابراین، می توان تعریف دقیقی برای زاویه ساعتی $\Upsilon$ ( H.A. ) به دست داد و آن زاویه ای است که بین نصف النهار ناظر و نصف النهاری که از نقطه ($\Upsilon$) می‌گذرد (زاویه $<PT$ در شکل ۱۵) تشکیل می شود. این زاویه را زمان نجومی LST می‌گویند، لذا

$$HA(\Upsilon) = LST$$

اگرنقطه(X)ستاره و( PX ) نصف النهارآن باشد که استوارادر نقطه( B ) قطع کرده است:

کمان $\widehat{\Upsilon B}$ = زاویه بعد X و کمان $\widehat{AB}$ = $<ZPX$= زاویه ساعتی

چون $\widehat{A\Upsilon} = \widehat{\Upsilon B} + \widehat{BA}$ می باشد، بنابراین:

**زمان نجومی محلی = زاویه بعد X + زاویه ساعتی X**

و یا

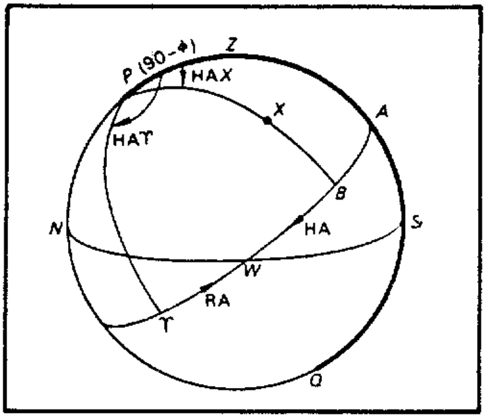
$$HA(X) + RA(X) = LST$$

رابطه فوق بسیار مهمّ است، زیرا (X) می تواند از هر جسم سماوی مانند ستاره، خورشید، ماه، سیارات، یک قمر مصنوعی و حتی سفینهٔ فضایی باشد و چنانچه دو کمیّت از سه کمیّت فوق را داشته باشیم، کمیّت سوم قابل محاسبه است.

اگر زمان نجومی‌محلی را داشته‌باشیم و زاویه بعد (RA) و میل ( $\delta$ ) آن جسم برای آن زمان محاسبه شده باشد، می توان، زوایای ساعتی (HA و $\delta$) را تعیین کرد و جهت آن جسم را بر روی کره سماوی به دست آورد. معمولاً در هر رصدخانه ساعت دقیقی وجود دارد که زمان نجومی محلی، طول جغرافیایی را نشان می دهد. چون زاویه ساعتی یک ستاره هنگام عبور از نصف النهار ناظر، صفر است، زاویه بعد آن ستاره در آن لحظه با زمان نجومی محلی

---

19- Local Sidereal Time (LST)



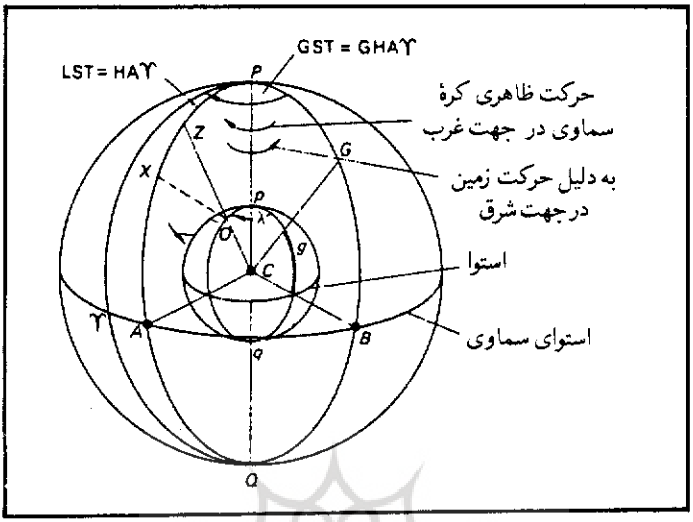

**شکل ۱۵** ـ کرهٔ سماوی و زمان نجومی محلّی

برابر است. قبلاً خطای ساعت و میزان تغییرات آن خطا را با مشاهدهٔ هر چند وقت یک بار زمانهای نجومی عبور ستارگان مشهور و مقایسهٔ این زمانها با زاویهٔ بعد آنها، می سنجیدند و آن ستارگان را «ستارگان ساعت» می نامیدند.

زمان نجومی گرینویچ در سالنمای نجومی و دیگر سالنماهای ملی به ازای مبدأهای مختلف زمان نجومی فهرست بندی شده است. در این صورت زمان بین عبور یک جسم سماوی از نصف النهار گرینویچ و نصف النهار محلّ با طول جغرافیایی محل ناظر برابر است. (شکل ۱٦).

در شکل ۱٦، g نصف النهار گرینویچ. G سمت الرأس گرینویچ. کره سماوی زمین مرکزی که قطب شمال سماوی آن ( P ) به همراه زمین، با قطب شمال ( P ) مشخص می باشد. نصف النهاری که از نقطه (G) می‌گذرد یعنی ( $\widehat{PGB}$ ) نصف النهار گرینویچ ناظر می باشد. ناظری در طول جغرافیایی ( $\lambda$ ) غربی با (O) نشان داده شده که به ترتیب (Z) سمت الرأس و ( $\widehat{PZA}$ ) نصف النهار ناظر می باشند. اعتدال بهاری ($\Upsilon$) و یک جسم سماوی در حال عبور از نقطه (X) نیز نشان داده شده است[20]. لذا زاویه ساعتی گرینویچ جسم (X) برابر با GPX> بوده که طول جغرافیایی ( $\lambda$ ) غربی ناظر است و یا:

۲۰ ـ إ. ای. ری.ودی کلارک ـ ستاره شناسی: اصول و عمل ـ ترجمه احمد سیدی نوقابی ـ معاونت فرهنگی آستان قدس ۱۳٦٦




**شکل ۱۶** - رابطه بین زمان نجومی محلّی و زمان نجومی گرینویچ

GHA (♈) = HA (♈) + λ غربی

ولی زاویه ساعتی (♈) زمان نجومی محلی است، بنابراین: GST= LST+ λ غربی

اگر (♈) هر جسم سماوی مثل * باشد، خواهیم داشت. GHA(*) = HA (*)+ λ غربی

در نتیجه کاملاً مشخص است که اگر طول جغرافیایی محل ناظر، شرقی باشد، رابطه چنین خواهد بود: GHA(*)=HA(*)- λ شرقی

و با در نظر گرفتن طول جغرافیایی شرقی، منفی و طول جغرافیایی غربی، مثبت، روابط زیر را خواهیم داشت: GHA(*)=HA(*)+ λ

روز نجومی هر محل زمانی آغاز می شود که اعتدال بهاری (♈) از نصف النهار ناظر عبور کند و ۲۴ ساعت بعد هنگامی که مجدداً در بالای نصف النهار ناظر قرار گیرد، پایان می یابد. لذا شبانه روز نجومی، زمانی است که زمین نسبت به زمینهٔ ستارگان یک دور حول محورش گردش کند، بنابراین ساعت نجومی یک رصدخانه، وقتی که (♈) روی نصف النهار قرار گیرد، ساعت صفر را نشان می دهد، درنتیجه:

یک روز نجومی = ۲٤ ساعت، یک ساعت نجومی= ٦۰ دقیقه نجومی و یک دقیقه نجومی = ٦۰ ثانیه نجومی. زوایای بعد و میل اجسام فهرست بندی شده است و به کمک آن می توان برای رصد جسم مورد نظر، از تلسکوپ استفاده کرد.

**یادآوری زمان خورشیدی متوسط:** در قدیم برای سنجش حرکت روزانه خورشید، از ساعتهای خورشیدی استفاده می‌کردند و سیستمی که زمان را ثبت می‌کرد، «زمان خورشیدی ظاهری» نام داشت. یک روز خورشیدی ظاهری زمان بین عبورهای خورشید از نصف النهار ناظر بود و یک ساعت از زمان خورشیدی ظاهری، فاصلهٔ زمانی بود که در این مدت زاویه ساعتی خورشید به مقدار یک ساعت افزایش می یافت و هنگام ظهر خورشیدی ظاهری به نصف النهار ناظر می رسید. نیمه شب ظاهری زمانی بود که زاویه ساعتی خورشید ۱۲ ساعت می شد، ولی استفاده از زمان خورشیدی ظاهری دارای این مشکل اساسی است که اگر مدّت روز خورشیدی ظاهری با زمان‌سنج نجومی دقیقی اندازه گیری شود، این زمان در طول سال متفاوت خواهد بود، زیرا:

۱ـ مدار خورشید به دور زمین، بیضی است که در آن شعاع حامل، زوایای یکسان را در زمانهای مساوی طی نمی‌کند.

۲ـ مسیرحرکت خورشید برروی دایرة البروج واقع است‌که با استوا زاویه $23/5^{\circ}$ را می سازد و زاویه ساعتی خورشید در امتداد استوا سنجیده می شود.

مشکل فوق با انتخاب خورشید متوسط که به کمک آن زمان خورشیدی متوسط به‌دست می آید، حلّ شد. خورشید متوسط در امتداد استوا ودرجهتی که زاویه بعد افزایش می یابد، با سرعت زاویه‌ای ثابت، حرکت می‌کند و با میانگین سرعت زاویه‌ای خورشید حقیقی برابر است. از آن جایی که افزایش زاویه بعد خورشید متوسط حدود ۱ درجه درروز است و نیز زاویه ساعتی اعتدال بهاری به میزان ۲۴ ساعت در روز نجومی به‌طوریکنواخت، افزایش می یابند، لذا زمان بین عبورهای متوالی خورشید متوسط از نصف النهار ناظر نیز یکنواخت است. این فاصله را «روز خورشیدی متوسط» گویند. برای این که بتوانیم جسمی را ارائه کنیم که ضمن وابسته بودن به خورشید، طوری حرکت کند که زاویهٔ بعد آن به میزان یکنواختی افزایش یابد، این مسأله با توجه به ناهماهنگیهایی که در زمان خورشیدی ظاهری ایجاد می‌کند، در دو مرحله زیر انجام می شود: **مرحله اوّل:** در صورتی که خورشید در نقطه حضیض باشد، این حالت در سال یک بار رخ می دهد. در این‌جا جسم خیالی به نام «خورشید متوسط دینامیک» مطرح می شودکه از نقطه حضیض و در جهت خورشید شروع به حرکت کرده و در امتداد دایرة البروج با میانگین سرعت زاویه‌ای خورشید به حرکت خود ادامه می دهد، در نتیجه در زمان یکسانی با خورشید به نقطه حضیض‌باز می‌گردد. **مرحله دوّم:**

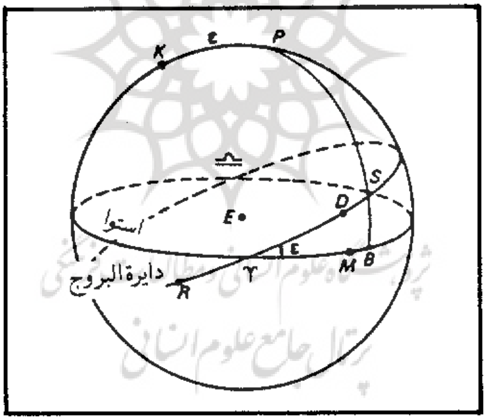
هنگامی که خورشید متوسط دینامیک، در روی دایرة البروج حرکت می‌کند و به نقطه ( $\gamma$ ) می رسد، خورشید متوسط نیز در امتداد استوا شروع به حرکت کرده و با سرعت زاویه ای خورشید در دایرهٔ عظیمه به حرکت خود ادامه می دهد، به گونه ای در یک زمان با خورشید متوسط دینامیک به نقطهٔ ( $\gamma$ ) باز می‌گردد.

در شکل(۱۷)نصف النهاری که از قطب سماوی ( P ) می‌گذرد، در نقطه ( B ) با استوا برخورد می‌کند لذا کمان ( $\widehat{\gamma B}$ ) زاویهٔ بعد خورشید ( $\widehat{RAO}$ ) بوده و زاویه بعد خورشید متوسط ( RA ( MS کمان ( $\widehat{\gamma M}$ ) می باشد.

کمیّت ( $\widehat{BM}$ ) که به نام معادله زمان ( ε ) نامیده می شود از فرمول زیر به دست می آید:

$$\varepsilon = RA(MS) - RA(O)$$

مقدار معادله زمان تقریباً از $\frac{1}{4}$ ۱٤- تا $\frac{1}{4}$ ۱٦+ دقیقه در طول سال متفاوت است. علّت آن، سبقت گرفتن خورشید و خورشید متوسط از یکدیگر می باشد (شکل۱۸).

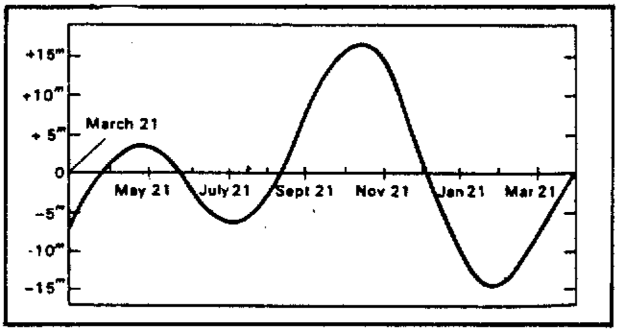



**شکل ۱۷** - نمایش مواضع خورشید ( S ) خورشید متوسط ( M ) خورشید دینامیک متوسط ( D ) و جهت حضیض (R).

وقتی که خورشید متوسط بر فراز نصف النهار قرار می‌گیرد، زاویه ساعتی آن برابر با صفر است ( $HA(MS) = 0$ ) و لذا ظهر متوسط[22] است و وقتی که ساعت ۱۲ = $HA(MS)$ می شود، نیمه شب متوسط[23] می باشد.

۲۱ - رک. مقاله مقدمه ای بر شناخت نجوم در جغرافیای ریاضی(۳)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره۲۲، پاییز ۱۳۷۰

22 - Mean Noon 23 - Mean Midnight




**شکل ۱۸** ـ مقادیر معادله زمان در سراسر سال

$$LST = HA(\star) + RA(\star)$$

اگر علامت * به نوبت به خورشید ($\odot$) و خورشید متوسط ( MS ) دلالت کند لذا:

$$LST = HA(\odot) + RA(\odot) = HA(MS) + RA(MS)$$

و با استفاده از معادلات فوق خواهیم داشت:

$$\varepsilon = HA(\odot) - HA(MS)$$

به زمان متوسط گرینویچ ( GMT ) در اکثر موارد، زمان جهانی ( UT ) نیز گفته می شود، به این صورت که:

$$UT = GMT = GHA(MS) \pm ۱۲^h = GHA(\odot) - \varepsilon + ۱۲^h$$

اگر زمان جهانی عبور خورشید از گرینویچ ( UT$\odot$G ) مورد نظر باشد، معادله به شکل زیر نوشته می شود:

ε ـ ساعت ۱۲ = UT$\odot$G ، زیرا زاویه ساعتی خورشید در گرینویچ در لحظه عبور صفر است یعنی = GHA($\odot$) رابطهٔ بین زمان خورشیدی متوسط و زمان نجومی را با دقت زیاد به صورت زیر می توان نشان داد:

زمان نجومی ۵٦/۵۵۵٤$^s$ و ۳$^m$ و ۲٤$^h$ = ۱ روز خورشیدی متوسط

زمان خورشیدی متوسط ٤/۰۹۰۵$^s$ و ۵٦$^m$ و ۲۳$^h$ = ۱ روز نجومی

ـ **سال برجی و سال تقویمی:** سال برجی[24] که در زندگی روزمره به کار می رود، فاصله

24. Tropical year.

| جدول ١ ـ تبدیل زمان خورشیدی متوسط به زمان نجومی | جدول ٢ ـ تبدیل زمان نجومی به زمان خورشیدی متوسط |
|---|---|
| زمان خورشیدی متوسط ٢٤$^h$ = (٢٤$^h$ + ٣′ و ٥٦/٥٥٦″) زمان نجومی | زمان نجومی ٢٤$^h$ = (٢٤$^h$ - ٣′ و ٥٥/٩١٠″) زمان خورشیدی متوسط |
| زمان خورشیدی متوسط ١$^h$ = (١$^h$ + ٩/٨٥٥٦″) از زمان نجومی | زمان نجومی ١$^h$ = (١$^h$ - ٩/٨٢٩٦″) زمان خورشیدی متوسط |
| زمان خورشیدی متوسط ١′ = (١′ + ٠/١٦٤٣″) زمان نجومی | زمان نجومی ١′ = (١′ - ٠/١٦٣٨″) زمان خورشیدی متوسط |
| زمان خورشیدی متوسط ١″ = (١″ + ٠/٠٠٢٧‴) زمان نجومی | زمان نجومی ١″ = (١″ - ٠/٠٠٢٧‴) زمان خورشیدی متوسط |

زمانی بین عبورهای متوالی خورشید از نقطه اعتدال بهاری است که برابر با ٣٦٥/٢٤٢٢ روز خورشیدی متوسط می باشد. جهت سهولت سال تقویمی دارای ٣٦٥ یا ٣٦٦ روز است، لذا هر چهار سال یک سال را که دارای ٣٦٦ روز است «کبیسه[25]» گویند. به جز سالهای آغازین قرن که رقمهای صدها و هزارهای آن بر عدد ٤ قابل قسمت نیست. این قوانین تشکیل سال عرفی متوسط را می دهند که با ٣٦٥/٢٤٢٥ روز خورشیدی متوسط برابر است.

**تقویم گریگوری** که امروز از آن استفاده می شود در سال ١٥٨٢ توسط پاپ گریگوری ارائه شد. قبل از آن تقویم «ژولینی» به کار می رفت که از هر چهار سال، یک سال، به نام سال کبیسه معروف بود و ٣٦٦ روز بود و روز ٢٩ فوریه آن سال روز اضافی بود. با این کار، مقدار میانگین روزهای سال عرفی ٣٦٥/٢٥ روز خورشیدی متوسط شد. اختلاف بین این رقم و طول سال برجی (٣٦٥/٢٤٢٢ روز خورشیدی متوسط). تا سال ١٥٨٢ به بیش از دوازده روز رسید تا این که با تقویم گریگوری، خطای موجود از بین رفت. موانع سیاسی و مذهبی باعث شد که استفاده از تقویم گریگوری در کشورهای مختلف در زمانهای متفاوت به اجرا درآید.

**تاریخ ژولینی:** ناهماهنگیهای موجود در تقویم کنونی ـ ماههای نابرابر و تاریخ متفاوت روزهای هفتهٔ هر سال نسبت به سال قبل ـ و نیز تغییرات ناشی از تبدیل تقویم ژولینی به گریگوری، اندازه گیری زمان را در طی چند سال متوالی، مشکل می سازد. بنابراین برای سهولت محاسبه، سیستم شماره روز ژولینی * متداول شد. روز اول ژانویه سال ٤٧١٣ ق. م را به عنوان تاریخ آغاز این سیستم و زمان آن را از مبدأ (ظهر متوسط روز اول ژانویه سال

*ـ رک: مقدمه ای بر شناخت نجوم در جغرافیای ریاضی(٣). فصلنامه تحقیقات جغرافیایی شماره ٢٣. زمستان ١٣٧٠.

25. Leap year.

٤۷۱۳ ق. م) انتخاب کردند. امروز در رصدخانه‌ها برای سنجش زمان بیشتر از تاریخ ژولینی استفاده می شود. می توان زمان را برحسب قرنهای ژولینی که دقیقاً ۳٦۵/۲۵ روز دارد، اندازه گرفت. اطلاعات مداری ماهواره‌های مصنوعی به مبدأهایی مربوط می شود که تاریخ اصلاح شده ژولینی را بیان می‌کنند. نقطه صفر (شروع) این سیستم روز۱۷ نوامبر سال ۱۸۵۸ م است لذا:

روز ۲٤۰۰۰۰۰/۵ - تاریخ ژولینی = تاریخ اصلاح شده ژولینی

- **فصول سال:** همان‌طوری که قبلاً بیان شد، فصول در نیمکره شمالی به‌طور متوالی با رسیدن خورشید به اعتدال بهاری، انقلاب تابستانی، اعتدال پاییزی و انقلاب زمستانی آغاز می شود. بنابراین در بهار، زاویهٔ بعد خورشید از صفر تا ٦ ساعت افزایش می یابد، درحالی که زاویه میل آن از صفر تا $^{N}$۲۷َ و ۲۳ْ زیاد می شود. در تابستان، مقدار (⊙ RA) از ٦ تا ۱۲ ساعت افزایش می یابد ولی میل آن از $^{N}$۲۷َ و ۲۳ْ تا صفر کاسته می شود. در پاییز، مقدار (⊙ RA) از ۱۲ تا ۱۸ ساعت افزایش یافته و مقدارمیل آن از صفر تا $^{S}$۲۷َ و ۲۳ْ تغییر می‌کند. در زمستان، زاویه بعد خورشید (⊙ RA) از ۱۸ تا ۲٤ ساعت افزایش می یابد، درحالی که میل آن از $^{S}$۲۷ و ۲۳ْ تا صفر درجه تنزل می‌کند. در نیمکره جنوبی، فصل پاییز از حدود ۲۱ مارس، زمانی که میل خورشید از جنوب به شمال تغییر می‌کند، آغاز و مانند نیمکره شمالی، تکرار می شود.



## کاربرد سیستم مختصّات استوایی

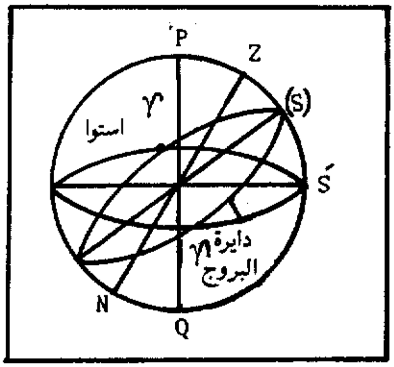
۱- مطلوبست محاسبه زاویه بعد و میل ستاره‌ای که در سمت‌الرأس ناظری به عرض جغرافیایی ۳۰ْ قرار دارد:

حلّ: برای حل مثال فوق موارد زیر را به ترتیب رعایت می‌کنیم: (شکل۱۹)

الف: کره سماوی را رسم کرده و برروی آن راستای ناظر و ستاره را مشخص می‌کنیم.

ب: نیمدایره ساعتی ستاره را رسم می‌کنیم و محلّ تلاقی آن را با استوا ($\acute{S}$) مشخص می سازیم.

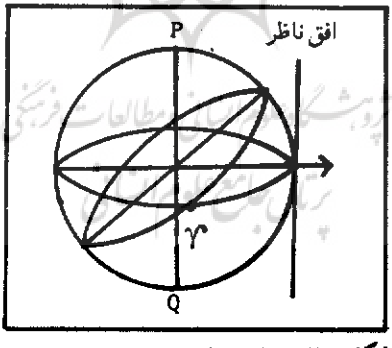
ج: قوس $\widehat{S\acute{S}}$ میل ستاره است که مساوی ۳۰ْ است، پس نتیجه می‌گیریم که اگر ستاره برروی سمت‌الرأس قرار گیرد، میل آن با عرض جغرافیایی ناظر برابر است.




**شکل ۱۹ـ** کره سماوی و نمایش زاویه بعد و میل

د. برای اندازه گیری زاویهٔ بعد طبق تعریف، که قوس $\widehat{\gamma S'}$ از استوا می باشد پس $RA=\gamma S'$ و چون ستاره برروی سمت الرأس قراردارد، یعنی روی نصف النهار محلّ واقع است لذا: ساعت $RA=6^h$ خواهد بود.

۲ـ مطلوبست محاسبه زاویه بعد و میل ستاره قطبی برای ناظری که در استوا قرار دارد:

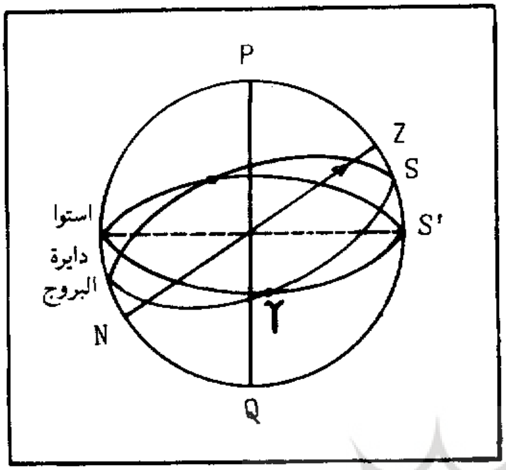



**شکل ۲۰ ـ** نمایش زاویه بعد و میل ستاره قطبی

حلّ: با توجه به شکل ۲۰، میل ستاره برابر °۹۰ است زیرا فاصله استوا تا قطب (میل ستاره) برابر °۹۰ می باشد، چون نیمدایره ساعتی ستاره می تواند، بینهایت نیمدایره باشد، لذا زاویهٔ بعد بین صفر و °۳۶۰ یا بین صفر و $24^h$ می تواند باشد.

۳ـ مطلوبست تعیین زاویه بعد و میل ستاره (X) برای ناظری به عرض جغرافیایی °۳۶

در هنگام ظهر روز اول تابستان.

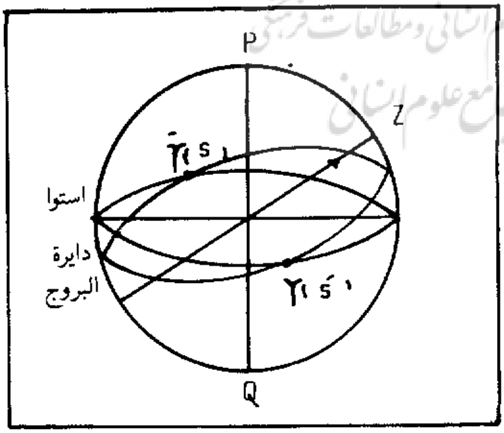



**شکل ۲۱** ـ نمایش زاویه بعد و میل ستاره X

حلّ: با توجه به نیمدایره ساعتی ستاره، و استفاده از استراتژی مثال (۱) و با توجه به شکل ۲۱، داریم:

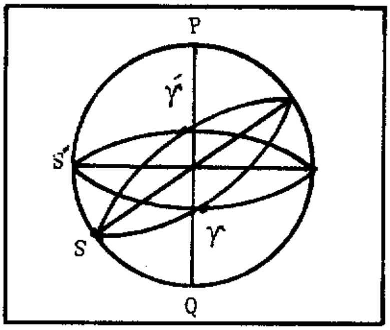
$\delta = \widehat{SS'} = ۲۳/۵^\circ$ و زاویه بعد آن نیز برابر است با ساعت ۶ = $\widehat{\Upsilon S'}$ = RA ، زیرا ستاره را در لحظه اذان ظهر درنظر گرفته ایم.

٤ـ مطلوبست محاسبه زاویه بعد و میل ستاره در روز اول بهار و پاییز برای ناظری به عرض جغرافیایی $٤٥^\circ$




**شکل ۲۲** ـ نمایش زاویه بُعد و میل ستاره در روز اول بهار و پاییز

حلّ: الف: با توجه به شکل ۲۲، میل ستاره مساوی صفر است زیرا ستاره در روی استوا قرار دارد.




**شکل ۲۳ ـ** نمایش زاویه بعد و میل خورشید در اول زمستان

ب: زاویه بعد آن نیز برابر صفر است، یعنی $\delta = 0$ و $RA = 0$

ج: زاویه میل ستاره در اول پاییز نیز صفر است ولی زاویه بعد آن برابر، ۱۲ ساعت است زیرا قوس حاصل از $\gamma$ تا $\acute{\gamma}$ برابر ۱۸۰ درجه است.

۵ـ مطلوبست محاسبه زاویه بعد و میل خورشید در روز اول زمستان در هنگام ظهر برای ناظری به عرض جغرافیایی $75^\circ$

حل: الف: با توجه به شکل ۲۳، قوس $\widehat{S\acute{S}}$ میل خورشید است که مساوی با $23/5^\circ$ـ می باشد.

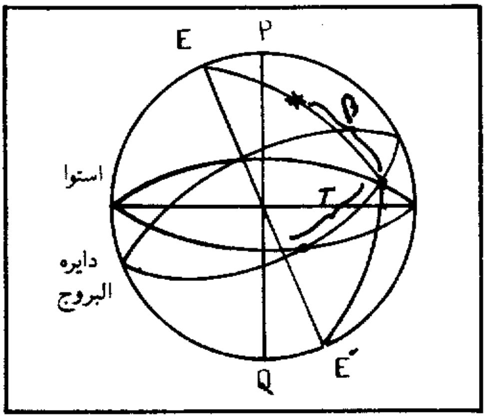
ب: زاویه بعد خورشید براساس همین شکل برابر با ۱۸ ساعت است و یا ساعت $RA = 18$ و $\delta = \widehat{S\acute{S}} = -23/5^\circ$



### ۳ـ سیستم مختصات دایرة البروجی

در این سیستم مختصات سماوی صفحه دایرة البروج و محور عمود بر آن دو مرجع اصلی هستند و مختصات این سیستم عبارتند از طول و عرض سماوی. عرض سماوی ($\beta$) عبارت است از قوسی از نصف النهار ستاره در سیستم مختصات دایرة البروجی (یعنی نیمدایره‌ای که از دو قطب دایرة البروج و ستاره می‌گذرد) که از محل تلاقی آن با دایرة البروج شروع و به ستاره ختم می شود و مقدار آن بین $\pm 90^\circ$ در بالا و زیر دایرة البروج تغییر می‌کند.

طول سماوی ($\lambda$) ستاره، عبارت است از قوسی از دایرة البروج که از نقطهٔ $\gamma$ (اعتدال بهاری) شروع شده و در خلاف جهت حرکت عقربه های ساعت، به محل تلاقی




**شکل ۲۴** ـ کره سماوی و مختصات دایرةالبروجی

نصف‌النهار ستاره در مختصات دایرةالبروجی با دایرةالبروج ختم می‌شود و اندازه آن بین صفر و ۳۶۰ درجه تغییر می‌کند. چون خورشید در عرض سال روی دایرةالبروج قراردارد و لذا عرض سماوی آن همیشه صفر است و تنها میل آن در بهار و تابستان مقادیر مثبت و در پاییز و زمستان مقادیر منفی را به خود می‌گیرد. این سیستم مختصات بیشتر در مورد حرکت سیارات مورد استفاده قرارمی‌گیرد. شکل۲٤.

**ـ کاربرد سیستم مختصات دایرة البروجی:**

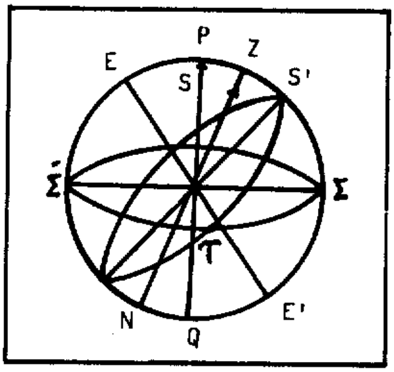
۱ـ مطلوبست تعیین طول و عرض سماوی ستاره قطبی برای ناظری به عرض جغرافیایی ۳۰° شمالی.

ـ حل، الف: ابتدا نصف‌النهار ستاره قطبی را در مختصات دایرة البروجی رسم می‌کنیم، هرکجا دایرةالبروج را قطع کرد با علامت ($\acute{S}$) مشخص می‌کنیم (شکل ۲۵):

ب: مقدار عرض سماوی عبارت خواهد بود از:

$$\beta = \overset{\frown}{S\acute{S}} = \overset{\frown}{S\Sigma} - \overset{\frown}{\acute{S}\Sigma} = ۹۰ - ۲۳/۵ = ٦٦/۵^\circ$$

ج: طول سماوی ستاره قطبی با توجه به این که ستاره قطبی همیشه برروی نصف‌النهار ناظر است، پس: $\lambda = \gamma\acute{S} = ۹۰^\circ$




**شکل ۲۵** ـ نمایش طول و عرض سماوی ستاره قطبی

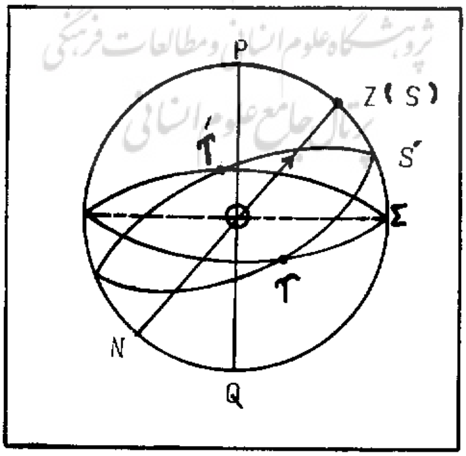
۲ـ مطلوبست محاسبهٔ طول و عرض سماوی ستاره‌ای که در سمت‌الرأس ناظری به عرض جغرافیایی ۴۵° قرار دارد.

ـ حلّ: برای محاسبه عرض سماوی داریم:

$\widehat{S\acute{S}}=\widehat{S\Sigma}-\widehat{\acute{S}\Sigma}$ = ۹۰° ـ ۲۳°/۵ = ۶۶°/۵

چون ستاره بر روی سمت‌الرأس واقع است لذا روی نصف‌النهار ناظر نیز قرار دارد، پس:

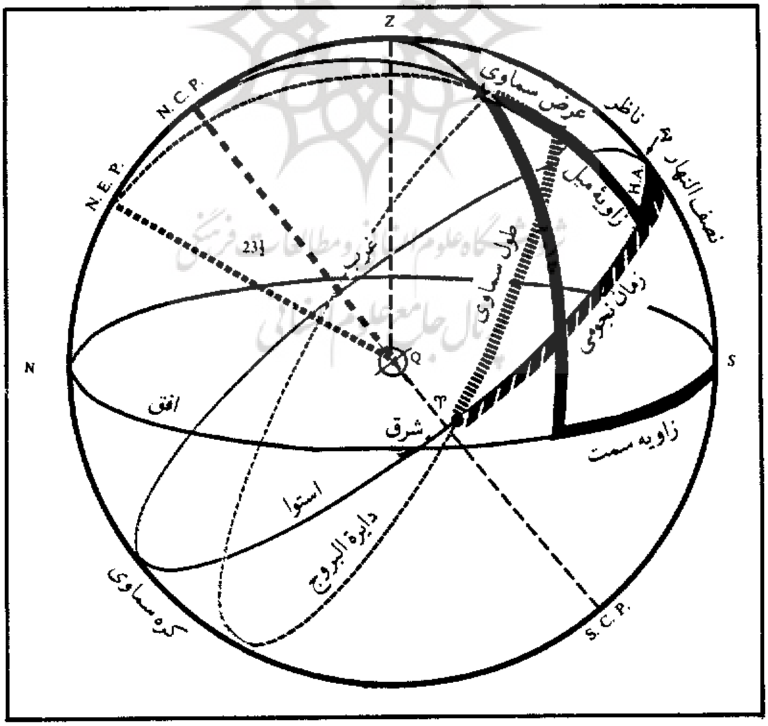
$\lambda = \widehat{\Upsilon\acute{S}}$ = ۹۰°




**شکل ۲۶** ـ نمایش طول و عرض سماوی ستاره ( S )

**جدول شمارهٔ ۱ ـ خلاصه ای ازسیستم های مختصات**

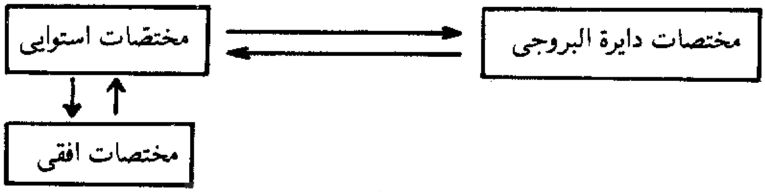
| نام سیستم | مختصّه ها |
|---|---|
| سیستم افقی | زاویه سمت و افق از نقطه شمال جغرافیایی اندازه گیری می شود.<br>ارتفاع یا فاصله سمت الرأسی در امتداد نصف النهار افق یا دایره عمودی است. |
| سیستم استوایی | زاویه ساعتی: از سمت غرب و در امتداد استوا از نقطهٔ Σ اندازه گیری می شود.<br>زاویه میل: در امتداد دایرهٔ ساعتی و از استوا اندازه گیری می شود.<br>زاویه بعد: در امتداد استوا و از نقطهٔ (♈) اندازه گیری می شود. |
| سیستم دایرةالبروجی | طول سماوی (λ) در امتداد دایرة البروج و از نقطهٔ (♈) به طرف شرق اندازه گیری می شود.<br>ارتفاع سماوی (β) به طور عمود بر دایرة البروج، اندازه گیری می شود. |




**شکل ۲۷** ـ نمایش سه سیستم مختصات افقی، استوایی و دایرةالبروجی

## تبدیل سیستمهای مختصّات به یکدیگر

دربسیاری از موارد باید مختصات یک جسم سماوی را دریک سیستم به سیستم دیگر، تبدیل کرد، به عنوان مثال، زمانی که موضع یک ستاره درسیستم افقی در دست باشد برای تبدیل آن به سیستم دایرةالبروجی، باید دقیقاً معلوم باشد که به کجای آسمان نگاه شود. فرمول زیر، تبدیل سیستمهای مختصّات بحث شده را نشان می دهد:




**۱ـ تبدیل مختصّات استوایی به افقی:** برای تبدیل سیستم مختصات استوایی به افقی با توجه به فرمول زیر می توان عمل کرد: $Sin(a)=Sin\ \delta\ Sin\ \varnothing + Cos\ \delta\ Cos\ \varnothing\ Cos(HA)$

در این فرمول:

$$Cos(Az)=\frac{Sin\ \delta - Sin\varnothing\ Cos\ Az}{Cos\varnothing\ Cosa}$$

Az = زاویه سمت، $\varnothing$ = عرض جغرافیایی ناظر، a = ارتفاع ستاره، (HA) = زاویه ساعتی و $\delta$ = زاویه میل

**مثال:** زاویه میل ستاره‌ای ۱۰ و ۱۳ و °۲۳ و زاویه ساعتی آن، ۵ساعت و ۵۱دقیقه و ۴۴ثانیه می باشد. اگر عرض جغرافیایی ناظر °۵۲ باشد، مطلوبست زاویه سمت و ارتفاع ستاره در زمان مشاهده.

ـ تبدیل زاویه ساعتی به ساعتهای اعشاری $H=۵/۸۶۲۲۶۹^h$

ـ تبدیل مقدار (H) به درجه: $H=۸۷/۹۳۴۰۳۵^\circ$

ـ تبدیل مقدار ($\delta$) به درجهٔ اعشاری: $\delta=۲۳/۲۱۹۴۴۴^\circ$

ـ مقدار ( sina ) برابر است با: Sina = ۰/۳۳۱۰۷۳

$$Sina = Sin\ \delta\ Sin\ \varnothing + Cos\ \delta\ Cos\ \varnothing\ Cos\ H$$

ـ مقدار ( a ) از طریق عکس تابع* سینوس به دست می‌آید. $a=۱۹/۳۳۳۹۲۵^\circ$

*: عکس تاب عبارت ازآن است که اگر سینوس، کسینوس، تانژانت و کتانژانت زاویه‌ای معلوم باشد، بتوان اندازهٔ زاویهٔ موردنظر را به کمک فرمول زیر و یا ماشین حساب به دست آورد: به عنوان مثال، اگر $Sin\ \hat{A}=\frac{1}{2}$ باشد، مقدار $\hat{A}$ چقدراست؟ به کمک ماشین حساب و استفاده از فرمول فوق عدد °۳۰ برای زاویه $\hat{A}$ به دست می‌آید.

- مقدار ( CosA ) برابر است با: $\text{CosA} = ۰/۲۲۹۵۶۷$

$$\text{CosA} = \frac{\text{Sin}\,\delta - \text{Sin}\,\varnothing\,\text{Sin}\,a}{\text{Cos}\,\varnothing\ \text{Cos}\,a}$$

- به این ترتیب مقدار Á برابر است با: $\acute{A} = ۷٦/۷۲۸٤٤۲$

- مقدار سینوس H برابر است با[26]: $\text{Sin H} = ۰/۹۹۹۳۵۰$

- اگر حاصل محاسبه منفی شد، زاویه سمت حقیقی برابر با: $A = \acute{A}$ و اگر مثبت، برابر با: $A = ۳٦۰ - \acute{A}$ خواهد بود.

- در نتیجه مقادیر a و A برابر است با:

$a = ۱۹$ و ۲۱ و ۲ $A = ۲۸۳$ و ۱٦ و ۱۸

**۲- تبدیل مختصات افقی به استوایی:** برای تبدیل این سیستم به کمک فرمول زیر، عمل می‌کنیم.

$$\text{Sin}\,\delta = \text{Sina Sin}\,\varnothing + \text{Cos a Cos}\,\varnothing\ \text{CosA}$$

در این فرمول:

$$\text{Cos H} = \frac{\text{Sin a} - \text{Sin}\,\varnothing\ \text{Cos}\,\delta}{\text{Cos}\,\varnothing\ \text{Cos}\,\delta}$$

a = ارتفاع، A = زاویه سمت، δ = زاویه میل، H = زاویه ساعتی و ∅ =عرض جغرافیایی ناظر

این فرمول دقیقاً شبیه فرمول تبدیل سیستم مختصات استوایی به افقی است، فقط جای ( δ و H ) با ( a و A ) عوض شده است.

**مثال:** ستاره‌ای در عرض جغرافیایی $۵۲°N$، با ارتفاع ۲ و ۲۰ و ۱۹ و زاویه سمت ۱۸ و ۱٦ و ۲۸۳ می‌باشد، مطلوبست زاویهٔ ساعتی و میل این ستاره؟

- تبدیل زاویه سمت به درجه های اعشاری: $A = ۲۸۳/۲۷۱٦٦\dot{۷}$

- تبدیل ارتفاع به درجه های اعشاری: $a = ۱۹/۳۳۳۸۸\dot{۹}$

- محاسبهٔ عبارت: $\text{Sin}\,\delta = \text{Sina Sin}\,\varnothing + \text{Cos a Cos}\,\varnothing\ \text{CosA}$ که برابر است با:

---

۲٦ - پیتر دوفت اسمیت، ستاره‌شناسی عملی با ماشین حساب، ترجمه احمد سیّدی نوقابی، معاونت فرهنگی آستان قدس ۱۳٦۵

$\sin\delta = ۰/۳۹۴۲۵۵$

- پیدا کردن مقدار ($\delta$) از طریق عکس تابع سینوسی: $\delta = ۲۳/۲۱۹۴۹۲$

- محاسبهٔ عبارت. $\cos H = \dfrac{\sin a - \sin\varnothing \cos\delta}{\cos\varnothing \cos\delta}$ که برابر است با:

$\cos H = ۰/۰۳۶۰۴۸$

- لذا مقدار ($\acute{H}$)، برابر خواهد بود با: $\acute{H} = ۸۷/۹۳۴۱۵۵$

- محاسبه سینوس (A): $\sin A = ۰/۹۷۳۲۲۹۳$

- چنانچه حاصل عبارت منفی باشد، زاویهٔ ساعتی حقیقی آن برابر با $H = \acute{H}$ و یا:

$H = ۸۷/۹۳۴۱۵۵$

- و اگر حاصل عبارت مثبت باشد، زاویهٔ‌ساعتی‌حقیقی‌آن برابر است با: $H = ۳۶۰ - \acute{H}$

تبدیل مقدار ( H ) به ساعت: $H = ۵/۸۶۲۲۷۷^{h}$

- در نتیجه تبدیل مقادیر (H و $\delta$) به دقیقه و ثانیه:

$\acute{H} = ۵^{h}$ و ۵۱َ و ۴۴ً . $\delta = ۲۳^{\circ}$ و ۱۳َ و ۱۰ً

**۳- تبدیل مختصّات دایرة البروجی به استوایی:** با استفاده از فرمول زیر عمل می‌کنیم:

$$\alpha = \tan^{-1} \frac{\sin\lambda \cos\varepsilon - \tan\beta \sin\varepsilon}{\cos\lambda}$$

$$\delta = \sin\ (\sin\beta \cos\varepsilon + \cos\beta \sin\varepsilon \sin\lambda)$$

در این فرمول: $\lambda$ = طول دایرة البروجی. $\beta$ = عرض دایرة البروجی. $\alpha$ = زاویه بعد. $\varepsilon$ = زاویهٔ بین استوا و دایرة البروج

**مثال:** مطلوبست مقادیر زاویهٔ بعد و میل ستاره‌ای که دارای مختصات زیر می باشد، طول دایرة البروجی آن، ۱۰ً و ۴۱َ و ۱۳۹° و عرض دایرة البروجی آن ۳۱ً و ۵۲َ و ۴°.

- تبدیل مقادیر ( $\lambda$ و $\beta$ ) به درجه های اعشاری:

$\lambda = ۱۳۹/۶۸۶۱۱۱$ . $\beta = ۴/۸۷۵۲۷۸$

- قرار دادن مقدار، ۲۳/۴۴۱۸۸۴ به جای ( $\varepsilon$ ) در فرمول زیر و حلّ آن.

$$\sin\delta = \sin\beta \cos\varepsilon + \cos\beta \sin\varepsilon \sin\lambda$$

$\sin\delta = ۰/۳۳۴۴۲۰$

- محاسبهٔ عکس تابع سینوس $\delta$ به درجه های اعشاری: $\delta = ۱۹/۵۳۷۲۶۹$

- محاسبهٔ عبارتِ $Y = \sin\lambda \cos\varepsilon - \tan\beta \sin\varepsilon$ $Y = ۰/۵۵۹۶۴۴$

- محاسبهٔ مقدار ( X )، از طریق $X=\cos\lambda$ $X=-0/762512$

$\frac{Y}{X}=-0/733948$

- محاسبهٔ مقدار ($\acute{\alpha}$): $\acute{\alpha}=\tan^{-1}(\frac{Y}{X})$ $\acute{\alpha}=-36/2767723^{\circ}$

- قرار دادن ($\acute{\alpha}$) در ربع صحیح خود با اضافه یا کم کردن عدد ۱۸۰ یا ۳۶۰:

$\acute{\alpha}=\acute{a}+18$ یا $a=143/723268^{\circ}$

- تبدیل مقدار ($\alpha$) به ساعت، با تقسیم بر عدد ۱۵:

$\alpha=9/581551^{h}$

- نتیجه آن که، تبدیل مقادیر ( $\alpha$ و $\delta$ ) به دقیقه و ثانیه.

$\alpha=9^{h}34'53''/6$ و $\delta=19^{\circ}32'14''/2$

**۴- تبدیل سیستم مختصات استوایی به دایرةالبروجی:** به کمک فرمول زیر، عمل می‌کنیم:

$$\lambda=\tan^{-1}\frac{\sin\alpha(\cos\varepsilon+\tan\delta\sin\varepsilon}{\cos\alpha}$$

$$\beta=\sin^{-1}(\sin\delta\cos\varepsilon-\cos\delta\sin\varepsilon\sin\alpha)$$

این فرمول، مانند فرمول تبدیل مختصات دایرةالبروجی به استوایی است، فقط در آن جای ( $\beta$ ) با ( $\alpha$ و $\delta$ ) عوض شده است.

**مثال:** مطلوبست مختصات دایرةالبروجی سیاره‌ای را که زاویهٔ بعد آن، $\alpha=9^{h}34'53''/6$ و زاویهٔ میل آن $\delta=19^{\circ}32'14''/2$

- تبدیل مقادیر ( $\alpha$ و $\delta$ ) به درجه و ساعت اعشاری: $\delta=19/537278^{\circ}$

$\alpha=9/581556^{h}$

- تبدیل مقدار ( $\alpha$ ) به درجه با ضرب در عدد ۱۵: $\alpha=143/723333^{\circ}$

- محاسبهٔ عبارت. $\sin\beta=\sin\delta\cos\varepsilon-\cos\delta\sin\varepsilon\sin\alpha$

$\sin\beta=0/084988$ $\beta=4/875309^{\circ}$

- محاسبهٔ عکس تابع سینوسی عبارت فوق برای به دست آوردن مقدار $\beta$ به درجه‌های اعشاری:

$(y=\sin\alpha(\cos\varepsilon+\tan\delta\sin\varepsilon)$

- محاسبهٔ حاصل عبارت $Y=0/684016$

- محاسبهٔ عبارت $X=\cos\alpha$     X=-۰/۸۰۶۱۶۹

- محاسبه عبارت $\lambda' = \tan^{-1}\left(\frac{Y}{X}\right)$     $\lambda'$=-۴۰/۳۱۳۸۳۳°

- قرار دادن ( $\lambda$ ) در ربع آن با اضافه و یا کم کردن عدد ۱۸۰ یا ۳۶۰:

$\lambda = \lambda'$ + ۱۸۰ = ۱۳۹/۶۸۶۱۶۷°

- نتیجه آن که تبدیل مقادیر ( $\lambda$ و $\beta$ ) به دقیقه و ثانیه:     $\lambda$ = ۱۳۹° و ۴۱′ و ۱۰″

$\beta$ = ۴° و ۵۲′ و ۳۱″

## منابع و مآخذ


1. Spherical Astronomy, by smith
2. Astronomy with your calculator, by peter Duffett-smith
3. Astronomy with personal computer, by peter Duffett- smith.
4. Astronomy, principle & practice, by A. E.Roy and D. Clarke.
5. Essentials of Astronomy, by Motz & Duveen.