

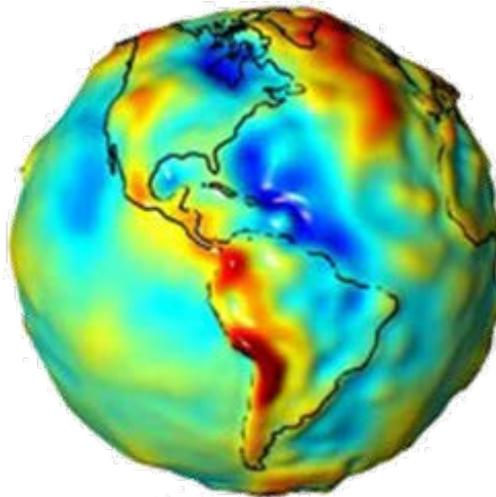
بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



۱۳۷۱

دانشگاه خيام
وزارت علوم تحقيقات و فناوري

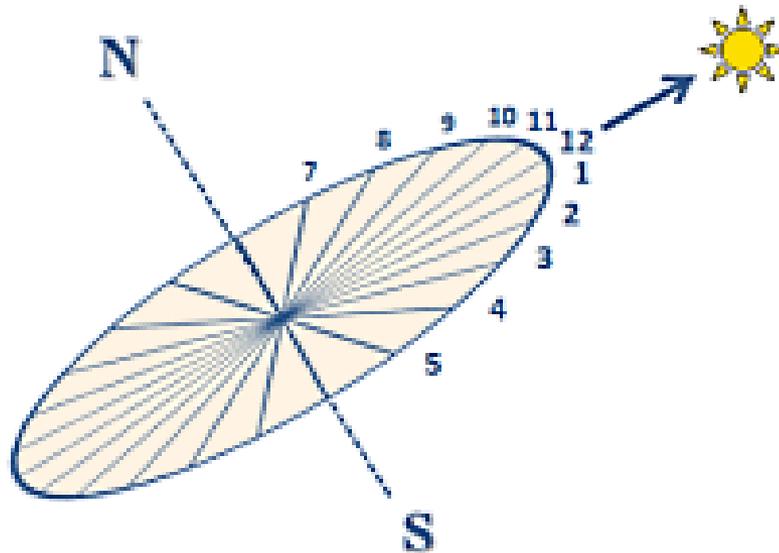
مبانی ژئودزی

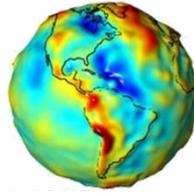


مهندس محمد امیدوار

فصل نهم

سیستم های سنجش زمان





❖ مقدمه

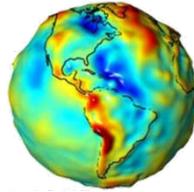
موقعیت یک ستاره بر روی کره ی سماوی در هر یک از چهار سیستم مختصات فقط در یک لحظه از زمان تعیین می گردد و این مختصات در آن لحظه اعتبار دارد. برای توضیح سیستم های زمانی سه مطلب اساسی وجود دارد که می باید شرح داده شوند.

1. مبدا (epoch): که عبارت است از یک لحظه ی خاص از زمان که لحظه ی وقوع یک پدیده یا مشاهده ای را تعریف می نماید.

2. فاصله ی زمانی (Time interval): که زمان طی شده بین دو مبدا را تعریف می کند .

3. مقیاس زمان (Time Scale): فاصله ی زمانی را می باید با وسیله ای سنجید که آن را مقیاس زمان می نامند.

در مورد زمان معمولی و عادی که برای منظوره های روزمره به کار میرود واحد مقیاس زمان (مثلا ثانیه) از نظر طول زمانی ثابت فرض می شود ولی **در سیستم های نجومی واحد های زمانی از نظر طول روز سیستم های مختلف با هم فرق دارند.**

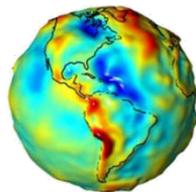


❖ سیستم های اصلی سنجش زمان

به طور کلی سه سیستم اصلی برای زمان وجود دارد

- زمان های نجومی و جهانی (sidereal and universal times) که بر اساس حرکت روزانه ی زمین تعریف شده و با مشاهدات ستارگان تعیین می گردد
- زمان اتمی (Atomic time) که بر اساس زمان متناوب نوسانات الکترومغناطیسی تولید شده به وسیله عبور ذرات اتم $^{133}\text{caesium}$ تعریف و تعیین می شود
- زمان افمریس (Ephemeris time) که بر اساس حرکت انتقالی زمین به دور خورشید تعریف می شود.

زمان افمریس بیشتر در مکانیک سماوی مورد استفاده قرار می گیرد و در نجوم ژئودتیک کاربرد کمی دارد ولی زمان های نجومی و جهانی در ژئودزی از اهمیت بسیاری برخوردارند. این دو زمان با فرمول های دقیقی با هم ارتباط دارند بنابراین در عمل هر یک از آن ها که مناسب باشند به کار می رود چون می توان دیگری را با استفاده از آن تعیین نمود. علائم رادیویی زمان که به وسیله ی ۵۶ فرستنده ی مختلف ارسال می شوند، عموماً زمان اتمی است. بنابر این رابطه ی بین زمان اتمی و زمان نجومی یا جهانی در نجوم ژئودتیک بسیار مهم می باشد.

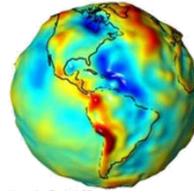


❖ زمان اتمی

ساعت‌های اتمی دقیق‌ترین ساعت و استاندارد فرکانسی بسامد شناخته شده‌اند و به عنوان استانداردهای اولیه برای سرویس جهانی پخش زمان، برای کنترل فرکانس پخش برنامه‌های تلویزیونی و سیستم‌های موقعیت یاب جهانی همانند **GPS** به کار می‌روند. شکل زیر ساعت اتمی **FOCS 1** در سوئیس با خطای یک ثانیه در ۳۰ میلیون سال را نشان می‌دهد که

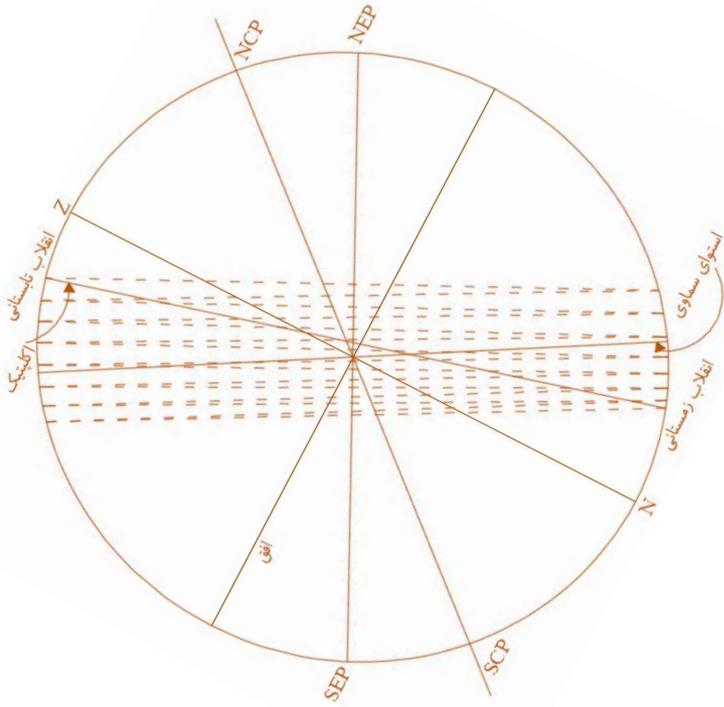
از سال ۲۰۰۴ آغاز به کار کرده‌است.

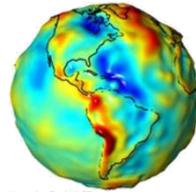




❖ حرکت روزانه و حرکت واقعی

پدیده ای را که ما به عنوان **حرکت ظاهری روزانه** ی خورشید می شناسیم ، در حقیقت معلول حرکت دورانی زمین حول محورش می باشد. بنابراین خورشید را هم می توان به عنوان ستاره ای که دارای حرکت یکنواخت بر روی مداری از مدارات کره ی سماوی است شناخت. حرکت واقعی خورشید نتیجه ی ترکیب حرکت غیر یکنواخت سالیانه ی آن بر روی اکلیپتیک و حرکت تقریبا یکنواخت آن بر روی یک مدار سماوی که در بالا ذکر شده است. بنابراین حرکت واقعی خورشید حرکتی است غیر یکنواخت که مسیر آن شکلی است مانند فنر

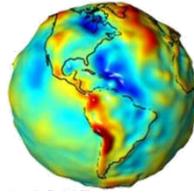




❖ حرکت روزانه و حرکت واقعی

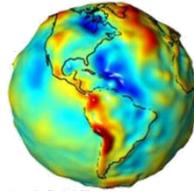
با مراجعه به شکل قبل می توان دید برای $0 \leq \varphi \leq 90 - \varepsilon$ بین اول دی و اول تیر طول روز رو به افزایش و بین اول تیر و اول دی طول روز رو به کاهش می باشد. همچنین در این شکل به سهولت می توان دید که طول روز بین اول فروردین و اول مهر بلندتر از دوازده ساعت و در فاصله ی بین اول مهر و اول فروردین کوتاه تر از دوازده ساعت است. این روابط به طور خلاصه در جدول زیر نشان داده شده است:

| مبدا تقریبی | محل خورشید | مختصات خورشید | | | | نام فصول (نیمکره شمالی) | طول تقریبی فصول |
|-----------------------|-------------------|---------------|-----------|------------|---------------|------------------------------------|-----------------|
| | | λ_s | β_s | α_s | δ_s | | |
| اول فروردین (۲۱ مارچ) | نقطه اعتدال بهاری | 0° | 0° | 0^h | 0° | بهار تابستان پائیز زمستان | 93^d |
| اول تیر (۲۲ جون) | | 90° | 0° | 6^h | $+23.5^\circ$ | | 93^d |
| اول مهر (۲۳ سمپتامبر) | | 180° | 0° | 12^h | 0° | | 90^d |
| اول دی (۲۲ دسامبر) | | 270° | 0° | 18^h | -23.5° | | 89^d |
| اول فروردین (۲۱ مارچ) | | 0° | 0° | 0^h | 0° | | |



❖ حرکت روزانه و حرکت واقعی

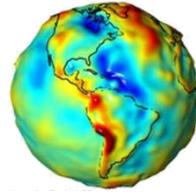
اگر ناظری در محلی که عرض جغرافیایی آن $\pm\varphi=90-\varepsilon=66.5$ درجه است قرار داشته باشد، خواهید دید که در اول تیر (و اول دی) خورشید غروب نمی کند و در اول دی (و اول تیر) خورشید طلوع نمی نماید. در قطبین ($\varphi=\pm 90$) خورشید برای ناظر بین اول فروردین و اول مهر (در قطب جنوب بین اول مهر و اول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



❖ زمان جهانی (خورشیدی) UT

حرکت خورشید واقعی **حرکتی غیر یکنواخت** است و این حرکت غیر یکنواخت در واقع معلول **یکنواخت نبودن سرعت حرکت انتقالی زمین** بر روی مسیرش به دور خورشید است.

بنابراین خورشید واقعی و حرکت آن را نمی توان به عنوان مرجع در اندازه گیری زمان به کار برد. به همین دلیل نقطه ای فرضی را که دارای حرکتی یکنواخت بر روی استوا باشد به نام **خورشید متوسط** تعریف نموده اند این نقطه نسبت به نصف النهار هر محل دارای حرکت روزانه ای مانند حرکت روزانه ی متوسط خورشید واقعی است با تفاوت بسیار کمی که ناشی از اثر تغییرات نصف النهار آن محل (حرکت قطبی) و تغییرات در سرعت دورانی زمین است .



❖ زمان جهانی (خورشیدی) UT

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

است از:

$$TT = h_s + 12^h$$

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

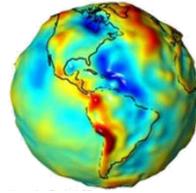
مبدا زمان خورشیدی متوسط برای هر نصف النهار با رابطه ی زیر به دست می آید :

که در آن h_m زاویه ی ساعتی خورشید متوسط می باشد.

$$MT = h_m + 12^h$$

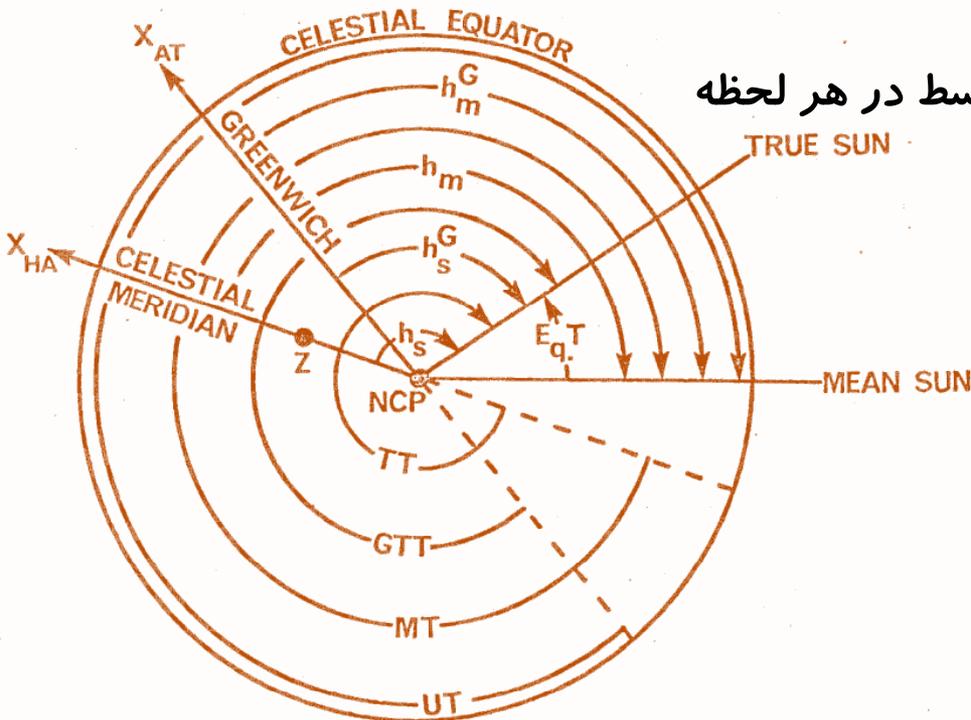
روز خورشیدی: فاصله زمانی بین دو عبور متوالی خورشید از ترانزیت پایین محل

زمان خورشیدی: مدت زمانی است که خورشید از ترانزیت پایین محل عبور کرده است.



❖ زمان جهانی (خورشیدی) UT

اگر زوایای ساعتی حقیقی و متوسط نسبت به نصف النهار گرینویچ تعیین شده باشد زمان ها را زمان حقیقی گرینویچ (GTT) و زمان متوسط گرینویچ (GMT) یا زمان جهانی (UT) نامند

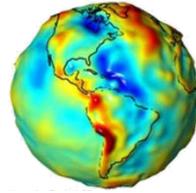


اختلاف بین زمان های خورشیدی حقیقی و متوسط در هر لحظه

موسوم به معادله زمان (Eq.T) می باشد.

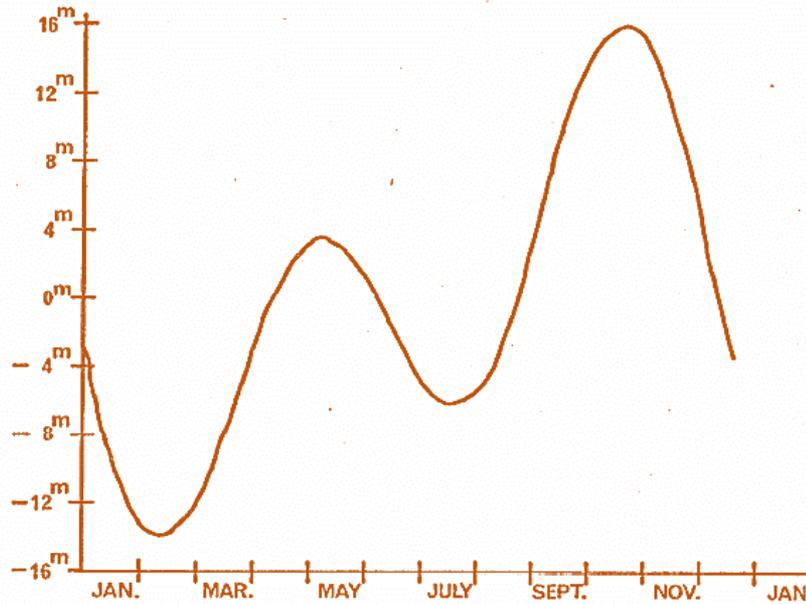
$$Eq.T. = TT - MT$$

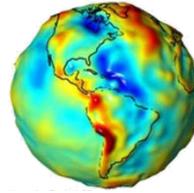
$$Eq.T. = GTT - UT$$



❖ زمان جهانی (خورشیدی) UT

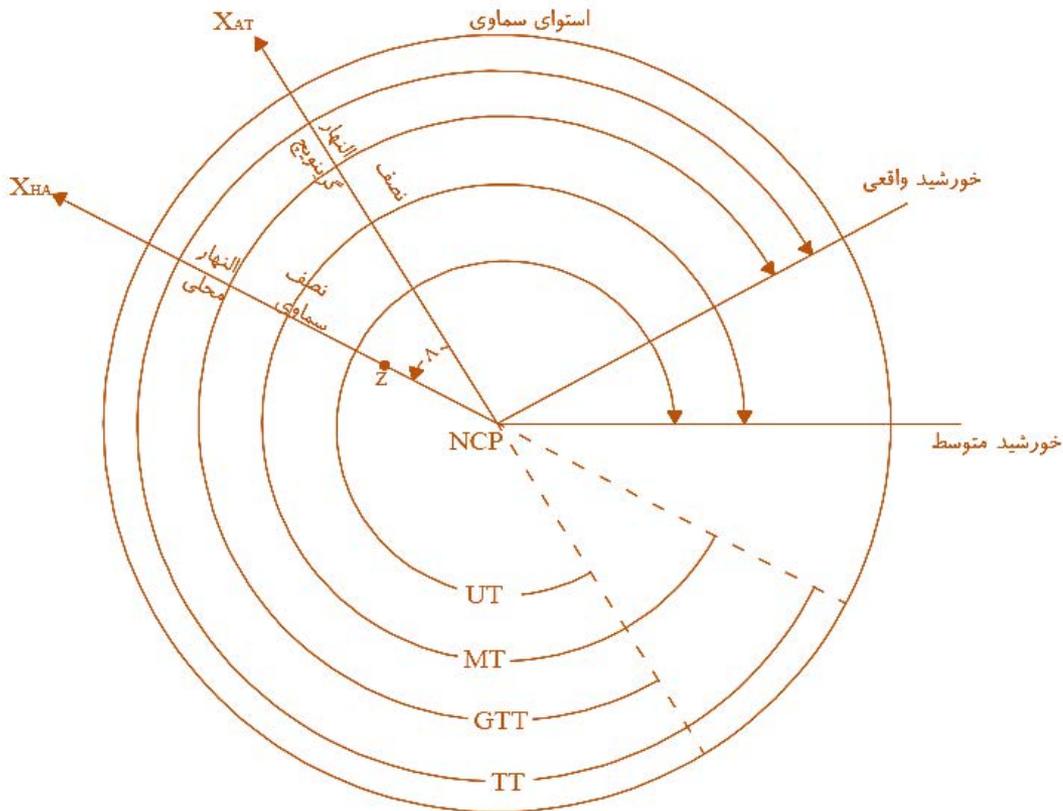
قدر مطلق معادله ی زمان (اختلاف زمان حقیقی و زمان متوسط خورشیدی) تا ۱۶ دقیقه می رسد. شکل زیر معادله ی زمان را برای یک فاصله ی یکساله نمایش می دهد:





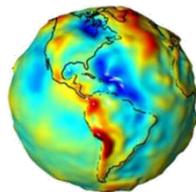
❖ زمان جهانی (خورشیدی) UT

زمان های خورشیدی متوسط و حقیقی با عبارات زیر به طول جغرافیایی نجومی محل ناظر مرتبط می شوند:



$$MT = UT + A$$

$$TT = GTT + A$$

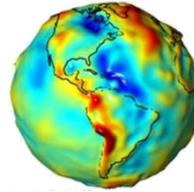


❖ زمان جهانی (خورشیدی) UT

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

روز خورشیدی متوسط $۱ = ۳۶۵.۲۴۲۱۹۸۷۹$ سال تریپیکال

روز خورشیدی متوسط $۱ = ۳۶۵.۲۵۶۳۶۰۴۲$ سال نجومی



❖ زمان جهانی (خورشیدی) UT

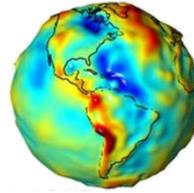
از آنجاییکه سال تروپیکال متغیر است تقویمهای مختلفی با مبنای مختلف بوجود آمد. مثلا سال جولین با تعریف ۳۶۵/۲۵ روز خورشیدی متوسط و یا سال گریگورین با تعریف ۳۶۵/۲۴۲۵ روز متوسط خورشیدی ایجاد شدند. اما سال میلادی که امروزه استفاده می شود بر مبنای ۳۶۵/۲۴۲۱۷ محاسبه می شود که این عدد تقریبا متوسط همان سال تروپیکال است (۳۶۵ روز و ۵ ساعت و ۴۸ دقیقه). حال با توجه به قسمت اعشاری این سالها، تقریبا هر چهار سال یک سال کبیسه وجود دارد. اما هر ۱۲۸ سال این سال کبیسه را نباید محاسبه کنیم با توجه به محاسبات زیر :

$$4 \times 0/25 = 1$$

$$128 \times (./25 - ./2422) = 128 \times 0/0078 \cong 1$$

$$3330 \times (0/2422 - 0/24217) = 3330 \times 0/0003 \cong 1$$

این کبیسه ها برای سال میلادی است. **در تقویمهای شمسی هر گاه مجموع اعشارها از یک روز بیشتر شد یک سال اضافه می شود.** لحظه تحویل سال در کشور ما زمانی است که بعد حقیقی خورشید واقعی صفر شود. این اتفاق در ۲۰ یا ۲۱ ماه میلادی March می افتد. اگر این لحظه قبل از ساعت ۱۲ ظهر باشد آنروز اول فروردین و اگر بعد از آن باشد آنروز ۲۹ و یا ۳۰ اسفند خواهد بود. در سال میلادی یک روز اضافه سال کبیسه به ماه February اضافه می شود (۲۸ روز به ۲۹ روز تبدیل می شود) که یک سال زودتر این کبیسه نسبت به سال شمسی اعمال می شود.

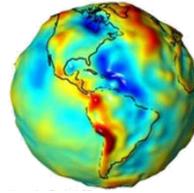


❖ زمان نجومی (LST) SIDERAL TIME

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

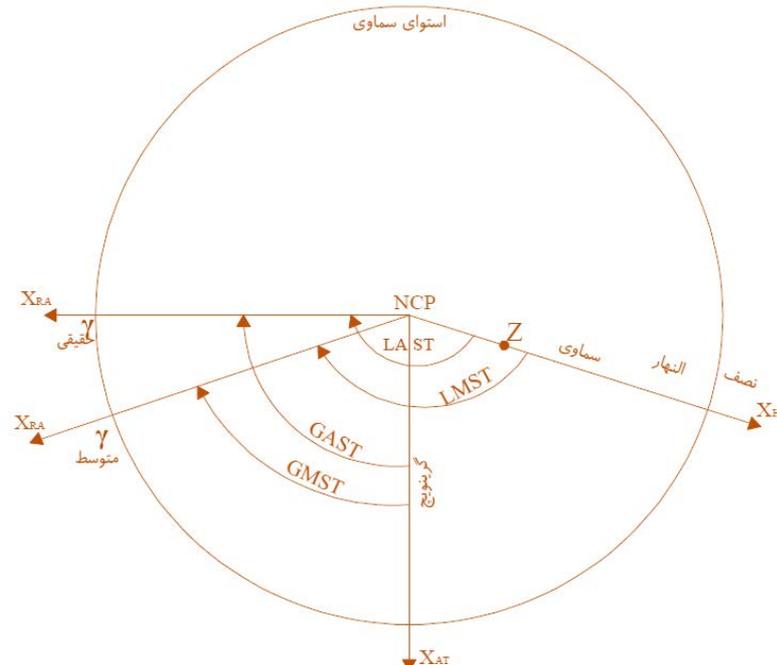
چنانچه زاویه ساعتی نقطه ی اعتدال بهاری حقیقی (موقعیت نقطه ی γ با در نظر گرفتن هر دو حرکت پرسشش و نوتیشن) اندازه گیری شده باشد ، آن را زمان نجومی محلی ظاهری (LAST) (Local Apparent sidereal time) می نامند. وقتی زاویه ساعتی نقطه ی مزبور در نصف النهار متوسط نجومی گرینویچ اندازه گیری می شود ، آن را زمان نجومی ظاهری گرینویچ (GAST) (Greenwich Apparent sidereal Time) می نامند

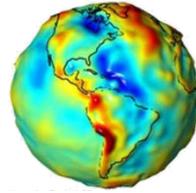


❖ زمان نجومی (LST) SIDERAL TIME

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

$$\text{Eq.E} = \text{LAST} - \text{LMST} = \text{GAST} - \text{GMST}$$



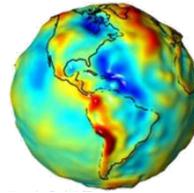


❖ زمان استاندارد

واضح است که چنانچه مبنای زمان سنجی بر این باشد که هر کسی زمان متوسط نصف النهار محل خود را اساس قرار دهد، ناهماهنگی های بسیاری در سیستم زمان سنجی معمولی ایجاد خواهد شد. زیرا نصف النهار یک محل حتی با نصف النهار محلی که در همسایگی بینهایت کوچک آن نیز واقع باشد، متفاوت و متمایز است.

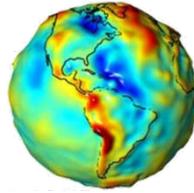
برای اجتناب از این ناهماهنگی، سیستم زمان زون بندی گردیده است. بدین معنی که جهان به بیست و چهار قاچ تقسیم شده یعنی هر قاچ ۱۵ درجه می باشد. این تقسیم بندی بدین نحو است که نصف النهار گرینویچ نصف النهار استاندارد قاچ شماره ی صفر است و از هر دو طرف این نصف النهار یعنی هر طرف به فاصله ی ۷.۵ درجه زمان که به کار برده می شود زمان نصف النهار گرینویچ می باشد. بعد از آن به طرف شرق شماره قاچ منفی و به سمت غرب مثبت است.

به استثنای سه کشور ایران - هند و ونزئولا، اختلاف زمان کشورهایی که در قاچ های مجاور هم واقعند، یک ساعت است. سه کشور مزبور با کشورهای دیگر اختلاف ساعتی یا نیم ساعتی و یا یک و نیک ساعت و ... دارند.



❖ زمان استاندارد





❖ نا منظمی های موجود در سیستم های زمانی دورانی

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

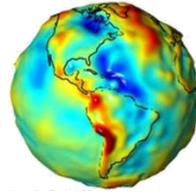
1. تغییرات در نرخ دوران زمین (ω)

2. تغییرات در محور دوران زمین (حرکت قطب)

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

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

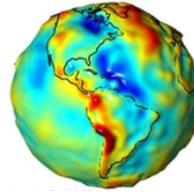
UT1: چنانچه تصحیح حرکت قطبی بر UTO اعمال شود، نتیجه ی آن را به UT1 نشان می دهند که بین حرکت زاویه ی حقیقی زمین است و سیستمی است که در نجوم ژئودزی به کار می رود. البته باید توجه داشت که این سیستم به علت تغییرات در ω سیستمی منظم نیست.



❖ نا منظمی های موجود در سیستم های زمانی دورانی

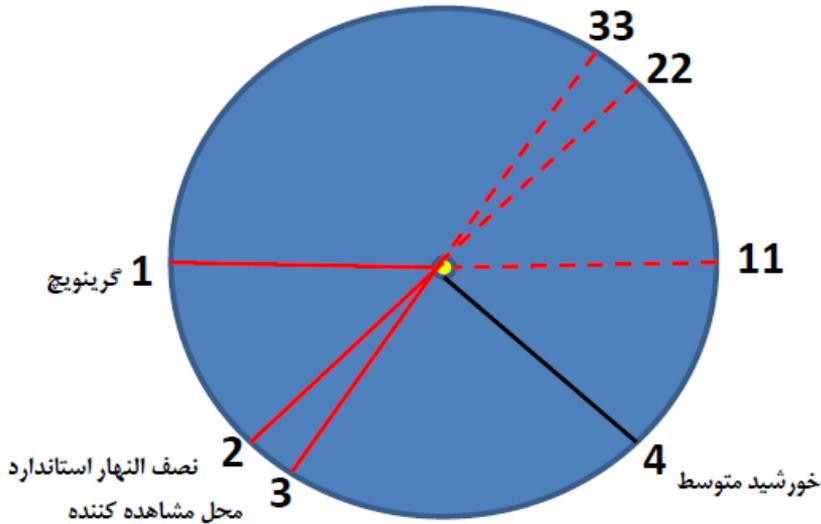
UT2: اگر تصحیح تغییرات فصلی در ω به **UT1** اعمال شود، زمان بدست آمده **UT2** نامیده می شود. این سیستم به علت اینکه ω در حال نقصان است، غیر یکنواخت می باشد.

UTC: که علامت اختصاری **universal time coordinated** می باشد، زمانی است که با علائم مخصوصی به وسیله ی فرستنده های رادیویی پخش می شود. **UTC** رابطه ی تعریف شده ای با زمان اتمی بین المللی (**IAT**) دارد.



❖ روابط بین زمان ها

روابط بین ZT ، UT یا GMT :



$$LMT=33,4$$

$$GMT=11,4$$

$$Zt=22,4$$

$$\Delta Z=1,2 \text{ یا } 11,22=3.5 \text{ یا } 4.5 \text{ (FOR IRAN)}$$

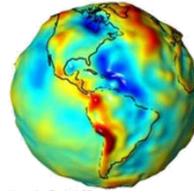
$$\Delta Z=1,3 \text{ یا } 11,33$$

$$UT=GMT=Zt- \Delta Z$$

$$GMT=LMT- \Delta Z$$

$$LMT=Zt+33,22=Zt + \frac{\Lambda - 52.5}{15}$$

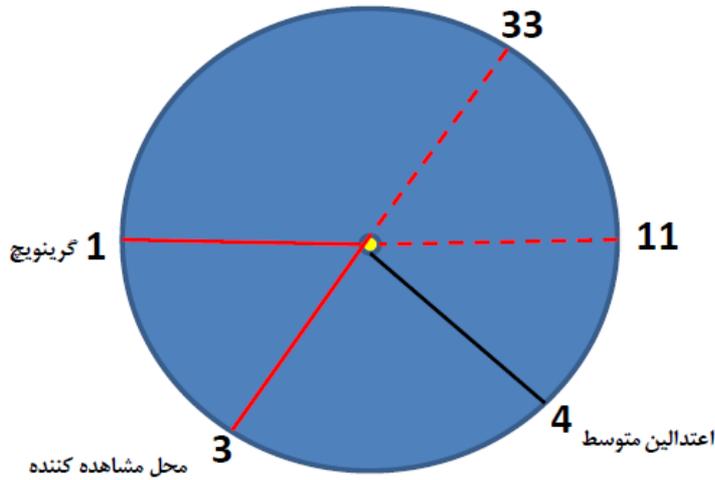
$$UT=LMT \mp \frac{\Lambda}{15}$$



❖ روابط بین زمان ها

روابط بین GST ، LST :

$$\begin{aligned} LST &= 3,4 \\ GST &= 1,4 \\ LST &= GST \pm \frac{\Lambda}{15} \end{aligned}$$



روابط بین GMT ، GST : $GST = GMT * 1.002737 + 3,4 + 12$

چون این دو زمان از یک جنس نیستند و مقیاس آنها با هم فرق می کنند باید ابتدا آنها را هم مقیاس کنیم با ضرب در عدد 1.0027 و سپس با زاویه 3,4 (بعد خورشید متوسط) جمع می کنیم صفر UT همان بعد خورشید متوسط بعلاوه ۱۲ ساعت است.

