معادله زمان و تقویم نجومی

ترجمه و تنظیم از : مجید اونق دبیر دبیرستانهای بندر ترکمن

مقدمه :

حرکت انتقالی زمین توأم با حرکت وضعی موجب طولانی‌تر شدن روز خورشیدی از روز ستاره‌ای (نجومی)[1] می‌شود. از طرفی طول شبانه روز خورشیدی در عرض سال ثابت نیست و به علل خاصی مانند بیضی شکل بودن مدار انتقالی زمین، تغییر سرعت انتقالی، تمایل محور زمین نسبت به سطح مدار انتقالی و تغییر موقعیت سالانه خورشید در بین ستارگان، از روزی به روز دیگر متفاوت است. این مسئله سبب می‌شود که در محاسبات زمانی و تنظیم ساعات، بجای شبانه روز خورشیدی حقیقی از شبانه روز خورشیدی متوسط استفاده شود. اختلاف این دو شبانه روز (معادله زمان) و درجه تمایل خورشید در عرض سال از تقویمی به نام «تقویم نجومی»[2] قابل محاسبه است که در حل بعضی از مسائل نجومی بکار می‌رود.

تعریف معادله زمان [3]:

معادله زمان را می‌توان به صور مختلف که مفهوم همه آنها یکی است، تعریف نمود. معادله زمان در واقع اختلاف بین ظهر متوسط و ظهر حقیقی یا اختلاف بین زمان متوسط خورشیدی [4] و زمان ظاهری [5] (محلی) یک نقطه و یا تفاضل بین زمان متوسط و زمان حقیقی است. چنانکه در آینده خواهیم دید، این اختلاف برخلاف تصور عده‌ای، هیچ رابطه‌ای با تغییر سرعت حرکت وضعی زمین ندارد و ناشی از ناموزونی حرکت انتقالی زمین است.

مفهوم خورشید تند (با تعجیل) [6]:

اگر خورشید در حرکت ظاهری روزانه خود قبل از ساعت ۱۲ ظهر (زمان متوسط خورشیدی) برفراز نصف‌النهار یک محل برسد، «تند» نامیده می‌شود. در این حالت به علت بزرگی زمان ظهر متوسط از ظهر حقیقی محل، معادله زمان بر روی تقویم نجومی «مثبت» است و ظهر حقیقی زودتر از ظهر متوسط واقع می‌شود حداکثر ارزش مثبت معادله زمان در عرض سال در یازدهم آبان برابر با دوم نوامبر حدود ۱۶ دقیقه و ۲۲ ثانیه است. معادله‌زمان تقریبا" از ۱۱ شهریور تا ۴ دی ماه (۲ سپتامبر تا ۲۵ دسامبر) و از ۲۸ فروردین تا ۲۴ خرداد (۱۷ آوریل تا ۱۴ ژوئن) بر روی تقویم نجومی مثبت است.

مفهوم خورشید کند (با تأخیر) [7]:

اگر خورشید در حرکت ظاهری روزانه خود بعد از ساعت ۱۲ ظهر برفراز نصف‌النهار یک محل برسد، «کند» نامیده می‌شود و به علت کوچکی زمان ظهر متوسط از ظهر حقیقی محل، معادله زمان «منفی» است و ظهر حقیقی دیرتر از ظهر متوسط واقع می‌شود. حداکثر ارزش منفی آن در ۲۲ بهمن (۱۱ فوریه) حدود ۱۴ دقیقه و ۲۵ ثانیه است. تقریبا" از ۲۵ خرداد تا ۱۰ شهریور (۱۵ ژوئن تا اول سپتامبر) و از ۵ دی تا ۲۷ فروردین (۲۶ دسامبر تا ۱۶ آوریل) معادله زمان منفی است.

حالات معادله زمان :

معادله زمان یا به عبارتی انحراف زمان حقیقی از زمان متوسط در عرض سال به حالات متنوعی درمی‌آید. این حالات به‌صورتهای مثبت، منفی و خنثی بیان می‌شوند. بطوریکه در بالا ذکر شد معادله زمان در اکثر ایام سال ارزش مثبت و منفی دارند منتهی هر کدام دارای دو ارزش حداکثر می‌باشند، که $+22^{s'}$ و $+16^{m''}$ در ۱۱ آبان و $+4^{m'}$ در ۲۶ اردیبهشت برای ارزش مثبت و $+25^{s'}$ و $-14^{m''}$ در ۲۲ بهمن و $-30^{s'}$ و $-6^{m''}$ در ۶ مرداد برای ارزش منفی است. تنها ۴ روز

در ایام سال یعنی در ۲۶ فروردین ، ۲۴ خرداد ، دهم شهریور و سوم دی ماه (مطابق با ۱۵ آوریل ، ۱۴ ژوئن ، اول سپتامبر و ۲۴ دسامبر) معادله زمان صفر (خنثی) بوده و زمان متوسط و زمان حقیقی بر یکدیگر منطبق هستند ، شکل شماره ۶.

مفهوم ساعت در سنجش زمان :

ساعتی که ما برای سنجش زمان از آن استفاده می‌کنیم چه چیزی را نشان می‌دهد ؟ هدف از ساعت ۷ بعدازظهر چیست ؟ اگر گفته شود که از مجموع شبانه روز ۷ ساعت از ظهر گذشته است ، مسئله قدری مشکل‌تر می‌شود زیرا مفهوم شبانه‌روز و ظهر باید مشخص‌شود. چون طول شبانه‌روز در ایام سال متفاوت است ولحظه عبور خورشید از نصف‌النهار یک محل نیز که نشان دهنده ظهر می‌باشد از روزی نسبت به روز دیگر فرق می‌کند و خورشید گاه کمی زودتر و گاه کمی دیرتر از این نصف‌النهار عبور می‌کند .

رویهمرفته خورشید ساعت (وقت نگهدار) نامطمئنی است و با دامنه‌ای متجاوز از نیم ساعت بین دو حداکثر تغییر سرعت خود گاهی تند و گاهی کند حرکت می‌کند و بدین جهت بجز « ساعت آفتابی » ، امکان ساختن ساعتی که عقربه‌های آن بتوانند آهنگ تغییرات سرعت ظاهری خورشید را دنبال کنند وجود ندارد زیرا این زمان بسیار متغیر است و بی‌جهت نیست که ساعت سازان پاریسی از گذشته‌ای دور ضرب‌المثلی داشته باشند و بگویند که : « خورشید وقت را نادرست نشان می‌دهد » . بنابراین از چنین کمیت متغیری نمی‌توان به عنوان واحد سنجش زمان استفاده نمود.

سیستم ساعتهای مرسوم ما ، اشتباهات خورشید را تعدیل می‌سازند ونه‌ازروی‌خورشید حقیقی‌بلکه از روی « خورشید متوسط » که در نجوم تنها برای ارزیابی صحیح وقت و زمان‌ابداع شده‌است ، میزان می‌شوند . اگر چه ستارگان از نظر سنجش زمان ساعات بسیار دقیقی هستند ولی بر سیستم قرارداد ساعت و روزها که تقویم ما از آنها تبعیت می‌کنند ، منطبق نیستند . پس در ارتباط با سیستم ساعات مرسوم باید به این حقایق نجومی توجه کرد که همیشه طول شبانه روز خورشیدی معادل ۲۴ ساعت نبود . و ساعت ۱۲ نیز همیشه نشان دهنده ظهر یک نقطه نمی‌باشد . پس یک سال معادل $۳۶۵\frac{۱}{۴}$ روز خورشیدی و $\frac{۱}{۴}$ ۳۶۶ روز ستاره‌ای است . یعنی به علت حرکت انتقالی ، در عرض سال زمین یک دور اضافی به دور خود می‌چرخد و تعداد آن به $۳۶۶\frac{۱}{۴}$ دور می‌رسد [8].

علل تغییر معادله زمان (تندی و کندی سرعت ظاهری خورشید) :

توضیح کامل علل نجومی و روابط ریاضی اینکه چرا خورشید در حرکت ظاهری روزانه خود ، تندی و کندی خاصی دارد و هرگز منظم و سیستماتیک نمی‌باشد از حوصله این مقاله خارج است ، اما برای قسمتی از آن توضیحات ساده‌ای وجود دارد . معادله زمان اساساً " تحت تاءثیر دو عامل قرار می‌گیرد :

اولاً " ، سرعت حرکت انتقالی زمین به دور خورشید در عرض سال متغیر است . یوهان کپلر [9] منجم بزرگ آلمانی که قوانین اساسی حرکت سیارات به دور خورشید را کشف کرده بود به این مسئله پی برده است . براساس قانون اول کپلر ، مسیر مدار انتقالی هر سیاره به دور خورشید تقریباً " بیضی نزدیک به دایره است (درجه خروج از مرکز مدار زمین حدود $\frac{۱۷}{۱۰۰۰}$ است) . در قانون دوم ، شعاع حامل سیارات (خط واصل سیاره و خورشید) در زمانهای مساوی ، سطوح مساوی را دربر می‌گیرد . (شکل شماره ۱) . براین اساس زمین در حضیض [10] (حالت A) می‌بایستی به سرعت انتقالی خود بیفزاید تا جذب نیروی جاذبه خورشید نشود و برعکس در اوج [11] (حالت B) به علت طویل بودن شعاع بردار ، باید قدری از سرعت انتقالی خود بکاهد تا از میدان جاذبه خورشید و مدار حرکت انتقالی خود خارج نشود .

هنگامی که زمین تندتر حرکت کند ، از نظر زمانی یا قوس‌مداری باید قدری بیشتر از حد معمول به دور خود بچرخد تا بتواند در روزهای متوالی خورشید را برفراز یک نصف‌النهار معین قرار دهد (تمایل روز خورشیدی به افزایش) . برعکس هنگامی که در اوج کندتر به دور خورشید می‌گردد ، با چرخش کمتر از حد معمول می‌تواند خورشید را به نصف‌النهار معین قرار دهد (تمایل روز خورشیدی به کاهش) . بدین سبب در اوج ، خورشید حقیقی‌تمایل به سبقت از خورشید متوسط دارد و برعکس در حضیض از آن عقب می‌ماند . در شکل شماره ۲ علاوه بر چگونگی اختلاف بین روز خورشیدی و روز نجومی ، تغییر زاویه δ (قوس یک درجه‌ای) در ارتباط با نوسان سرعت حرکت انتقالی زمین در عرض سال ، نشان دهنده تغییرات اختلاف روز خورشیدی و روز نجومی از یک طرف و اختلاف طول شبانه روز خورشیدی در روزهای متوالی از سوی دیگر است .

ثانیاً " ، محور زمین نسبت به مدار انتقالی خود تمایل دارد ($۲۳\frac{۱}{۲}^{\circ}$) ولی تاءثیر آن در معادله زمان کمتر شناخته شده‌است. به علت تمایل محور زمین ، مدت زمان دو عبور متوالی خورشید از فراز نصف‌النهار یک محل بطور سیستماتیک از اعتدالین به سوی انقلابین کاهش یافته و دوباره به اعتدالین برمی‌گردد . دلیل این امر از نظر نجومی به شرایط مسیر سالانه خورشید در بین ستارگان (دایرة‌البروج [12]) که در ارتباط با دوایر نصف‌النهار یک کره سماوی فرضی مورد مطالعه قرار می‌گیرد ، بستگی دارد . خورشید تمایل دارد که سالی دو بار از خرداد تا تیر (می تا ژوئیه) و از آبان تا دی (نوامبر تا ژانویه) تندتر حرکت کند و از مرداد تا مهر (اوت تا اکتبر) و از دی تا فروردین کندتر حرکت کند . شیب

نمودار تقویم نجومی این تغییر را نشان می‌دهد .

در نظر گرفتن این تمایل که به علت تغییر سرعت حرکت انتقالی و انحراف محور زمین می‌باشد ، اثرات خاصی در معادله زمان دارد. در این رابطه مقدار تغییر ماهیانه درجه تمایل خورشید نیز در عرض سال از اعتدالین به سوی انقلابین و برعکس، یکسان نمی‌باشد (جدول شماره ۱ و ۲) . لازم به تذکر است که خود انحرافات روزانه بین زمان حقیقی و زمان متوسط، از سالی به سال دیگر در نوسان می‌باشد ولی خیلی جزئی بوده بطوریکه یک جدول معادله زمانی ممکن است برای یک قرن مورد استفاده قرار گیرد .

جدول شماره ۱ : میزان تغییرات ماهیانه درجه تمایل خورشید

ماههای سال	مقدار تغییر ماهیانه
۱ ــ ماه اول قبل و بعد از اعتدالین (۴ماه)	$۱۱\frac{۳}{۴}$ درجه
۲ ــ ماه دوم قبل و بعد از اعتدالین (۴ماه)	$۸\frac{۱}{۲}$ درجه
۳ ــ ماههای نزدیک به انقلابین (۴ ماه)	$۳\frac{۱}{۴}$ درجه

بدیهی است که تغییرات تمایلی خورشید در حوالی انقلابین خیلی کند و به هنگام اعتدالین خیلی سریع می‌باشد و شکل نمودار تقویم نجومی نیز گویای آن است . این مسئله ، علت کوتاه و طولانی شدن سریع طول روزها را در پاییز و بهار و دوام ظاهری خورشید را در بالاترین و پایین‌ترین مسیر روزانه خود در ماههای خرداد ــ تیر (ژوئن ، ژوئیه) و آذر ، دی (دسامبر، ژانویه) نشان می‌دهد. شیب منحنی تقویم نجومی دقیقا " درجه تغییرات تمایلی خورشید را در شکل شماره ۳ نشان می‌دهد .

بالاخره در شناخت نقش حرکت انتقالی و شکل مدار انتقالی زمین بر طول شبانه‌روز و معادله زمان می‌توان به موارد زیر اشاره نمود .

۱ ــ اگر زمین در حین حرکت وضعی ، حرکت انتقالی نمی‌داشت طول شبانه‌روز خورشیدی و ستاره‌ای مساوی یکدیگر می‌بودند .

۲ ــ اگر مدار انتقالی زمین به دور خورشید دایره شکل می‌بود ، اولا" ، اختلاف بین طول شبانه‌روز خورشیدی و ستاره‌ای در تمامی عرض سال ثابت می‌بود (حدود ۴ دقیقه) ثانیا" ، طول تمامی شبانه روزهای خورشیدی نیز مساوی بود . و نیازی به محاسبه شبانه روز متوسط خورشیدی در سنجش زمان روزانه نبود و مسئله‌ای به نام معادله زمان بوجود نمی‌آمد .

تقویم نجومی :

تقویم نجومی نموداری است که برای نشان دادن دو متغیر نجومی یعنی معادله زمان (تندی یا کندی حرکت ظاهری روزانه خورشید) و زاویه تمایل خورشید (ارتفاع خورشید) نسبت به خط استوا در عرض سال مورد استفاده قرار می‌گیرد . در این تقویم دو خط مرکزی افقی و عمودی وجود دارد که مقادیر معادله زمان برحسب دقیقه در دو طرف خط مرکزی قائم طرح می‌شود و بستگی به تندی یا کندی سرعت خورشید دارد . اگر تند باشد با ارزش مثبت در طرف چپ و اگر کند باشد با ارزش منفی در طرف راست آن قرار می‌گیرد . مقادیر زاویه تمایل خورشید نسبت به خط استوا برحسب درجه در دو طرف خط افقی مرکزی (استوا) طرح شده و بین $۲۳\frac{۱}{۲}$ درجه شمالی و جنوبی در نوسان است . هنگامی که تمامی مقادیر معادله زمان و درجه تمایل خورشید را در عرض سال بر روی چنین نموداری رسم کنیم ، شکلی شبیه به عدد هشت انگلیسی (8) حاصل می‌شود که به تقویم نجومی موسوم است (شکل شماره ۳) . گاهی این تقویم بر روی کره‌های جغرافیائی نیز رسم می‌شود . (جدول شماره ۲) ، مقادیر سالانه معادله زمان و درجه تمایل خورشید نسبت به استوا را با فواصل زمانی ۱۰ روزه نشان می‌دهد که در واقع از شکل شماره ۳ نیز قابل محاسبه و استخراج است .

کاربرد و چگونگی استفاده از تقویم نجومی :

یک تقویم نجومی دقیق ، وسیله بسیار مناسبی برای جوابگوئی به سئوالاتی از قبیل زیر است :

الف : چه موقعی خورشید برفراز یک نصف‌النهار قرار خواهد گرفت و سایه یک جسم قائم در امتداد شمال حقیقی (جغرافیائی) خواهد بود؟

برای جواب دادن به این سئوالات یا زمان فرا رسیدن حداکثر ارتفاع روزانه خورشید و یا ترسیم خط واقعی شمال ــ جنوب ضروری است . که یک راه حل مناسب و منظم برای حل مسئله به شرح زیر عرضه شود :

ــ فرض کنیم که محل ، شهر نیویورک در طول ۷۴ درجه غربی قرار داشته و زمان ۲۵ فوریه باشد . جهت اجتناب از اشتباهات احتمالی ، همیشه محاسبات را با عدد ۱۲ ظهر که نشان دهنده ظهر خورشیدی ظاهری است ، شروع می‌کنیم .

ــ ظهر خورشیدی ظاهری نصف‌النهار محلی = ۱۲ ظهر

ــ معادله زمان برای روز ۲۵ فوریه = ۱۳ کند (اگر خورشید کند باشد به عدد ۱۲ باید اضافه و اگر تند باشد ، کم شود) .

ــ زمان متوسط خورشیدی نصف‌النهار محلی = ۱۲/۱۳ (ساعت ۱۲ و ۱۳ دقیقه) بعدازظهر .

ــ تصحیح اختلاف زمان نصف‌النهار محلی و نصف‌النهار مرکزی قاچ زمان رسمی (۷۵ درجه غربی) . اگر نصف‌النهار استاندارد در غرب نصف‌النهار محل باشد باید کم و در شرق باشد باید اضافه

کرد = دقیقه زمانی ۴ = ۱ درجه کمانی

اختلاف به درجه $1^\circ = 74^\circ - 75^\circ$

دقیقه ساعت

۱۲/۹ = ۴ — ۱۳ / ۱۲

ـ بنابراین اگر ساعتی به زمان رسمی قاچ شرقی آمریکا (۷۵ درجه) تنظیم شود، هنگامی که مرکز خورشید در ۲۵ فوریه بر فراز نصف‌النهار محلی برسد، ساعت ۱۲/۹ (دوازده، و نه دقیقه) بعدازظهر را نشان خواهد داد.

ب: ارتفاع خورشید به هنگام ظهر برای هر نقطه و هر روز از سال چه زاویه‌ای خواهد بود؟ فرض شود که محل، شهر کیپ تاون از آفریقای جنوبی به عرض جغرافیائی ۳۴ درجه جنوبی و زمان ۱۰ دسامبر باشد.

ـ درجه تمایل خورشید نسبت به استوا در ۱۰ دسامبر (از روی تقویم نجومی قرائت می‌شود) = ۲۳ درجه جنوبی

ـ عرض جغرافیائی شهر کیپ تاون = ۳۴ درجه جنوبی

ـ اختلاف بین دو عرض جغرافیائی فوق به درجه $= 11^\circ = 23^\circ - 34^\circ$

(چون هر دو در نیمکره جنوبی هستند).

ـ اختلاف بین ۹۰ درجه و ۱۱ درجه برابر با جواب مسئله است درجه ۷۹ = ۱۱ — ۹۰، یعنی ارتفاع خورشید در این شهر به هنگام ظهر در ۱۰ دسامبر حدود ۷۹ درجه در بالای افق شمالی است. لازم به تذکر است، هنگامی که عرض جغرافیائی محل و درجه تمایل خورشید هر دو در یک نیمکره شمالی یا جنوبی نباشند یعنی یکی در نیمکره شمالی و دیگری در نیمکره جنوبی و یا برعکس باید ارقام مربوط به آنها با هم جمع و از عدد ۹۰ کم شود تا ارتفاع زاویه‌ای خورشید بدست آید. در این حالت اگر درجه تمایل به حداکثر خود یعنی $23\frac{1}{2}^\circ$ برسد و عرض جغرافیائی محل بالای ۶۶/۵ درجه باشد، ارتفاع زاویه‌ای خورشید معادل صفر و در واقع آغاز شبهای طولانی مناطق قطبی شمال و جنوب کره زمین است.

ارتفاع یا زاویه تابش ۰ = ۹۰ — ۹۰

مجموع عرض و درجه تمایل ۹۰ = ۲۳/۵ + ۶۶/۵

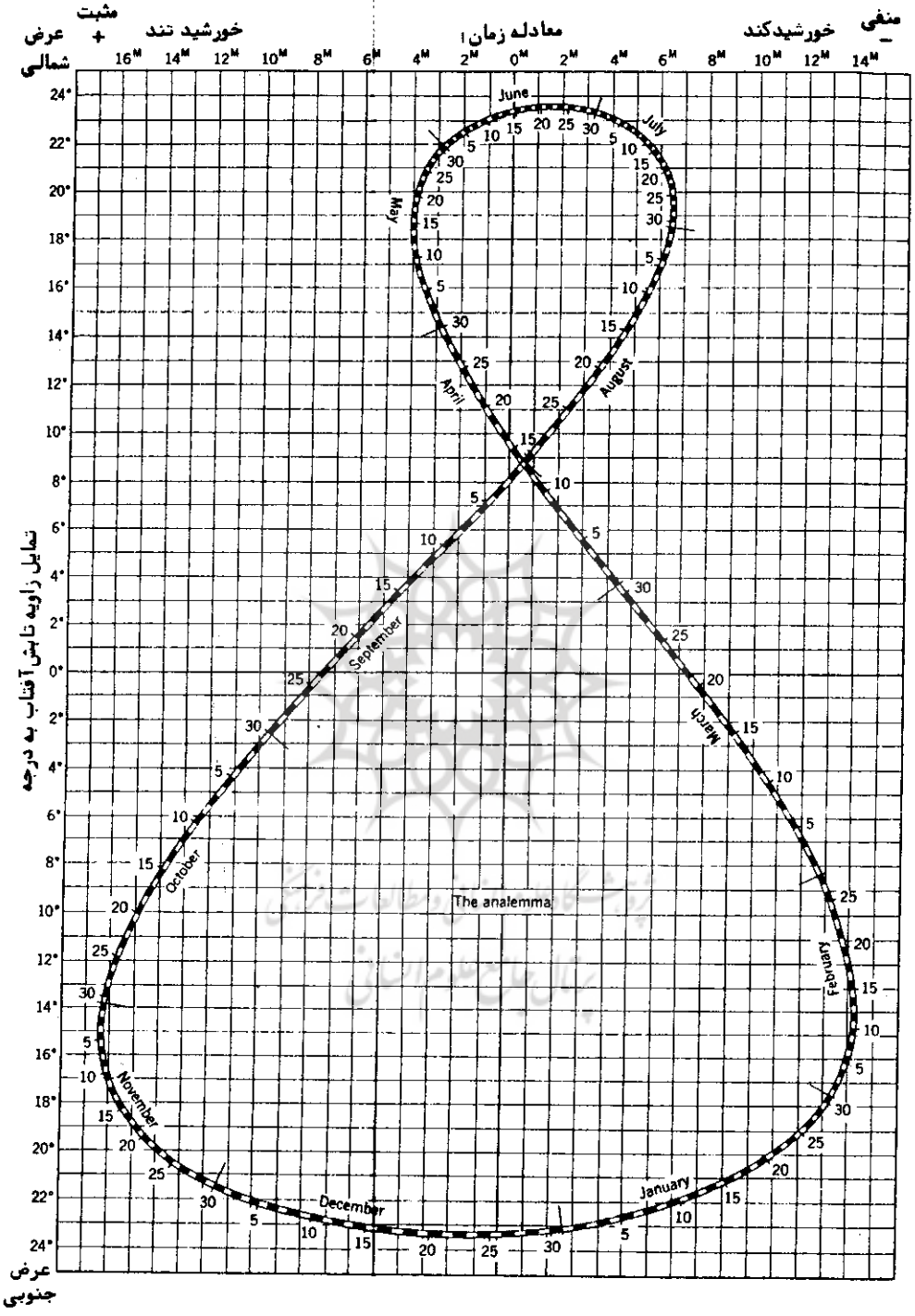
علی‌رغم بررسی علل تغییرات زمان خورشیدی حقیقی و درجه تمایل خورشید در عرض سال و محاسبه مقادیر مربوط به آنها، یک مسئله نجومی باقی می‌ماند که می‌تواند تا اندازه‌ای تمامی محاسبات فوق را تحت‌الشعاع خود قرار دهد و آن محاسبه زمان دقیق طلوع و غروب خورشید در ارتباط با عوامل جوی و نجومی است.

زمان دقیق طلوع و غروب خورشید:

از طریق مجاسبات ریاضی قاعدتا" در اعتدالین طول شب و روز در تمامی نقاط کره زمین می‌بایستی مساوی ۱۲ ساعت باشد، در صورتیکه از طریق تقویم نجومی یا روزنامه‌ها در اعتدالین در عرض جغرافیائی ۴۰ درجه شمالی مانند نیویورک، شیکاگو و سانفرانسیسکو طول روز به حدود ۱۲ ساعت و ۹ دقیقه می‌رسد در این صورت پس از اصلاح معادله زمان، زمان طلوع خورشید ساعت ۵ و ۵۶ دقیقه قبل از ظهر و زمان غروب ساعت ۶ و ۵ دقیقه بعد از ظهر خواهد بود. چرا طول روز (از طلوع تا غروب) در این عرض جغرافیائی در اعتدالین حدود ۹ دقیقه طولانی‌تر از ۱۲ ساعت است؟ این تغییر به دو عامل وابسته است.

اول اینکه، جو زمین بنا به ماهیت خود نور خورشید را منکسر می‌سازد بطوریکه یک خط راست را بتدریج به یک منحنی که تحدب آن به سوی بالاست، تبدیل می‌کند (شکل شماره ۴). در این حالت اشعه نورانی افقی به صورت یک قوس به پایین خم می‌شود و افق دید ما به مقدار ناچیزی در حدود ۳۶ دقیقه قوسی از طریق پایین رفتن سطح افق محل، افزایش می‌یابد. به این دلیل خورشید نسبت به حالتی که زمین جو نمی‌داشت، برای زمانی طولانی‌تر قبل از طلوع و بعد از غروب در معرض دید قرار می‌گیرد و در نتیجه قدری بر طول روز افزوده می‌شود.

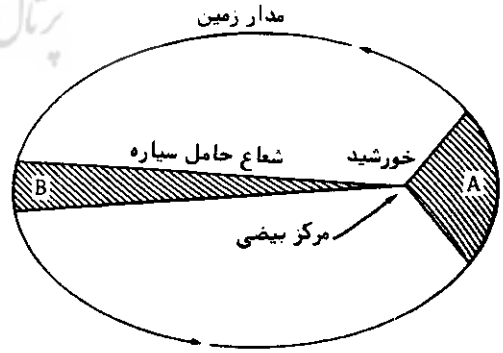
دوم اینکه، خورشید به صورت صفحه‌ای از نور است که متوسط قطر ظاهری آن از زمین معادل قوسی از ۳۲ دقیقه می‌باشد. طلوع خورشید معادل لحظه ظهور لبه بالائی صفحه خورشید در بالای افق و غروب خورشید معادل محو کامل لبه بالائی آن در زیر افق محل است، اما می‌توان مرکز خورشید یا نیمی از قطر ظاهری آن یعنی ۱۶ دقیقه قوسی را برای هر یک از طلوع و غروب خورشید کافی دانست. اگر عدد ′۱۶ و ′۳۶ را با هم جمع کنیم، حاصل عدد ′۵۲ است. در یک مسیر شیبدار خورشید در زیر افق در عرض جغرافیائی ۴۰ درجه، زمان لازم برای طی کردن آن حدود $4\frac{1}{2}$ دقیقه زمانی است (شکل ۵)، با دوبرابر کردن این عدد یعنی هم برای طلوع و غروب مقدار آن به ۹ دقیقه زمانی می‌رسد که کاملا" به عددی که از طریق تقویم نجومی یا روزنامه محاسبه شده نزدیک است و طول روز از ۱۲ ساعت تجاوز می‌کند. در عرضهای جغرافیائی بالاتر به علت پایین بودن زاویه تابش و مسیر حرکت ظاهری خورشید در زیر افق، افزایش طول روز بزرگتر خواهد بود. بدین جهت در اعتدالین، طول روز در عرض ۷۲ درجه شمالی و جنوبی به حدود ۱۲ ساعت و ۲۱ دقیقه می‌رسد و تقریبا" ۱۴ دقیقه طولانی‌تر از طول روز ۱۲ ساعت و ۷ دقیقه‌ای خط استوا است. بنابراین در اعتدالین به شرط اینکه انکسار نور توسط جو زمین نادیده گرفته شود و خورشید نیز یک نقطه نورانی فرض شود، طول شب و روز از نظر ریاضی مساوی و هر یک ۱۲ ساعت و طلوع و غروب خورشید دقیقا" ۶ صبح و ۶ عصر خواهد بود.



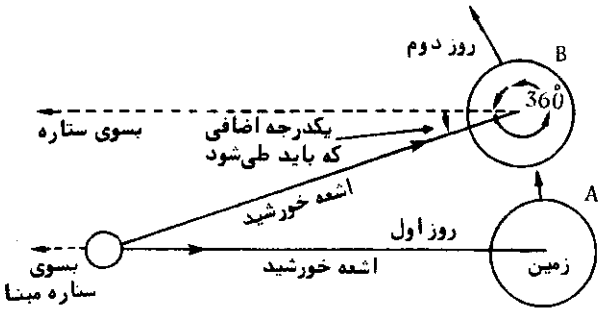
شکل ۳: تقویم نجومی که درجه تمایل خورشید و معادله زمان نقاط را برای هر روز از سال نشان می‌دهد.

	تاریخ	معادله زمان به‌دقیقه	تمایل خورشید به‌درجه
ژانویه	1	-3	23°S
	10	-7	22
	22	-11	20
	30	-13½	17½
فوریه	10	-14	15
	20	-14	11
مارس	1	-13	8
	10	-10½	4½
	20	-8	½
	30	-5	3½ N
آوریل	10	-1½	7½
	20	+1	11
	30	+3	14½
می	10	+4	17
	20	+4	20
	30	+3	22
ژوئن	10	+1	23
	20	-1	23½
	30	-3½	23
ژوئیه	10	-5	22½
	20	-6½	21
	30	-6½	18½
اوت	10	-5½	16
	20	-4	12½
	30	-1	9
سپتامبر	10	+2½	5
	20	+6	1½
	30	+9½	2½ S
اکتبر	10	+12½	6½
	20	+15	10
	30	+16	13½
نوامبر	10	+16	17
	20	+14½	19½
	30	+11½	21½
دسامبر	10	+7½	23
	20	+3	23½

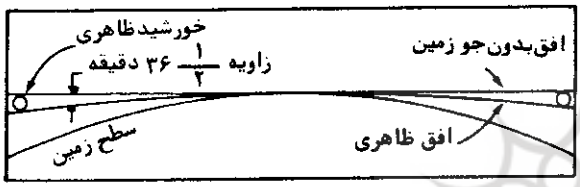
جدول ۲. مقادیر معادله زمان به‌دقیقه و تمایل خورشید به درجه در عرض سال درفواصل زمانی ۱۰ روزه.



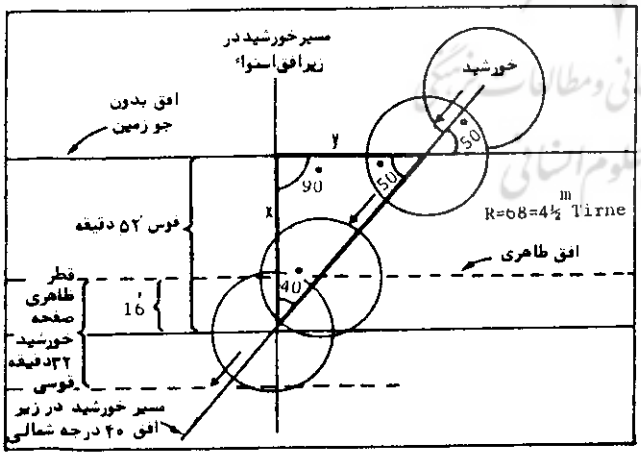
شکل ۱. شعاع حامل سیاره سطوح مساوی A و B را در زمان مساوی در بر می‌گیرد.



شکل ۲. تغییر زاویه α در ارتباط با تغییر سرعت حرکت انتقالی زمین موجب تغییر طول روز حقیقی در عرض سال می‌شود. ضمنا" این شکل علت اختلاف زمان بین روز نجومی و روز خورشیدی را نشان می‌دهد.

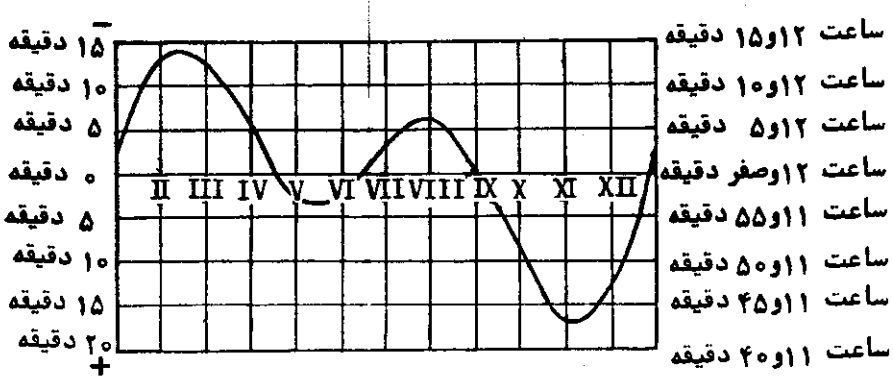


شکل ۴. تاثیر انکسار نور توسط جو زمین در کاهش سطح افق ظاهری محل.



شکل ۵. تاثیر قطر ظاهری خورشید در زمان دقیق طلوع و غروب خورشید و مقایسه آن بین استوا و عرض ۴۰ درجه شمالی از نظر افزایش طول روز.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی



شکل ۶. نمودار معادله زمان که در هر روز تفاوت میان ظهر حقیقی و ظهر متوسط خورشیدی را نشان می‌دهد.

یادداشتها

۱ ــ روز خورشیدی حدود ۴ دقیقه (۳ دقیقه و ۵۶ ثانیه) طولانی‌تر از روز ستاره‌ای است و این مقدار خود در نوسان است. در این محاسبات تغییرات دوره‌ای مدت حرکت وضعی زمین ازجمله طولانی شدن روزها به مقدار ۲ صدمیلیونیم ثانیه در هر روز به علت اصطکاک حاصله از انرژی جزر و مد، منظور نشده است.

2- Analemma.

3- Equation of Time.

4- Mean Solar Time.

5- Apparent Solar Time (Local).

6- Sun fast.

7- Sun slow.

۸ ــ عدد $366\frac{1}{4}$ از تقسیم $365\frac{1}{4}$ (سال خورشیدی) بر $23^h - 56^m - 4^s$ (مدت یک دور زمین بدون حرکت انتقالی) بدست می‌آید. دور $366\frac{1}{4} = 4^s$ و 56^m و $23^h \div 365\frac{1}{4}$

9- Kepler.

10- Perihelion.

11- Aphelion.

12- Ecliptic.

منابع اصلی

Introduction to Physical geography, strahler. Arthur.N.Third Edition. 1976, John Wiley, U.S.A.

منابع فرعی

1- Adictionary of geography, Monkhouse.F.J. Edward Arnold, 1972.

۲ ــ شناخت نجوم، آی. پرلمن، ترجمه: مهندس ثروت شرمینی، کتابهای جیبی سال ۱۳۴۵.

۳ ــ هیئت و کیهان نوردی، تألیف: دکتر محمد تعلیمی، دانشسرای عالی تهران. سال ۱۳۴۱.

۴ ــ حل‌المسائل نجوم، عباس ریاضی کرمانی.

۵ ــ علم فضا، عارف قلی‌نیا، انتشارات سیمرغ.