اذان ظهر، عبور خورشید از نصف‌النّهار ناظر یا بیشینهٔ ارتفاع آن؟

علی‌اکبر نیّری
مرکز تقویم مؤسّسهٔ ژئوفیزیک دانشگاه تهران
aliakbar_nayyeri@yahoo.com

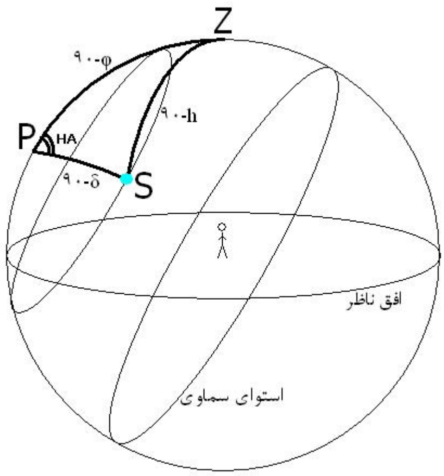
چکیده. برخی گفته‌اند که وقت اذان ظهر مطابق با زمانی است که طول سایهٔ ایجاد شده از یک شاخص عمودی بر اثر تابش آفتاب به مقدار کمینهٔ خود در طول روز رسیده، پس از آن شاهد بلند شدن سایه یا به‌اصطلاح *زوال شمس* باشیم. بنابراین نظر اذان ظهر زمانی است که خورشید بیشینهٔ ارتفاع خود را در طول روز اختیار می‌کند. از طرفی گفته می‌شود که خورشید وقتی به بیشینهٔ ارتفاع خود می‌رسد که در حال عبور از نصف‌النّهار ناظر باشد (عبور بالایی خورشید). در این مقاله نشان داده‌خواهدشد که لحظه‌ای که خورشید در آن به بیشترین ارتفاع خود در طول روز می‌رسد با لحظهٔ عبور بالایی خورشید تفاوتی هرچند بسیار کوچک دارد. در ادامه هم رابطهٔ این مقدار اختلاف، با میل خورشید و نرخ تغییرات آن در حوالی ظهر روز مورد نظر و همچنین با عرض جغرافیایی ناظر استخراج شده، نمودارهای مربوطه ارائه خواهند شد.

۱. مقدّمه

در برخی از روایاتی که در مورد ظهر شرعی نقل شده‌اند اشاره شده‌است به تغییر جهت سایهٔ ایجاد شده از یک شاخص عمودی، از غرب به شرق. در برخی دیگر از روایات هم به زوال شمس اشاره شده‌است. آنچه که از دستهٔ اوّل روایات فهمیده می‌شود وقوع ظهر شرعی در لحظهٔ عبور خورشید از نصف‌النّهار ناظر (عبور بالایی خورشید) و آنچه که از دستهٔ دوّم روایات برداشت می‌شود تطابق آن با لحظهٔ رسیدن خورشید به بیشینهٔ ارتفاع خود است (که در آن حالت طول سایه کمینه خواهد بود و با گذشتن از این لحظه، تدریجاً بر طول سایهٔ ایجاد شده از شاخص عمودی، افزوده شده ارتفاع خورشید کاهش می‌یابد که از آن به‌عنوان زوال شمس تعبیر می‌شود). در حال حاضر برای محاسبهٔ اذان ظهر هر نقطه‌ای از کشور، لحظهٔ دقیق عبور خورشید از نصف‌النّهار آن نقطه (عبور بالایی خورشید) محاسبه می‌شود (استناد به دستهٔ اوّل از روایات) و سپس نتیجهٔ حاصل با دقّت یک دقیقه گرد می‌شود. حال پرسشی که مطرح می‌شود این است که اگر برای محاسبهٔ ظهر شرعی، بیشینهٔ ارتفاع خورشید را در نظر بگیریم آیا تفاوتی دیده خواهد شد؟ در صورت مثبت بودن پاسخ، میزان این تفاوت زمانی چقدر است؟ و آیا ترتیب زمانی وقوع این دو اذان ظهر همواره یکسان است؟ در این نوشتار کوشیده شده‌است تا به این پرسش‌ها پاسخ داده‌شود.

۲. ارتباط عبور از نصف‌النّهار و بیشینهٔ ارتفاع

در مورد اجرام سماوی با این فرض که میل آن‌ها ثابت باشد یا تغییر میل آن‌ها در بازه‌های زمانی کوتاه ناچیز و قابل صرف‌نظر کردن باشد، می‌توان گفت که در لحظهٔ عبور از نصف‌النّهار بیشینهٔ ارتفاع خود را به‌دست می‌آورند. درستی این ادّعا را می‌توان با توجّه به شکل۱ و متعاقب آن رابطهٔ۱ که ارتفاع هر جرم سماوی را بر حسب عرض جغرافیایی ناظر، میل و زاویهٔ ساعتی جرم موردنظر به‌دست می‌دهد، بررسی کرد.



شکل۱

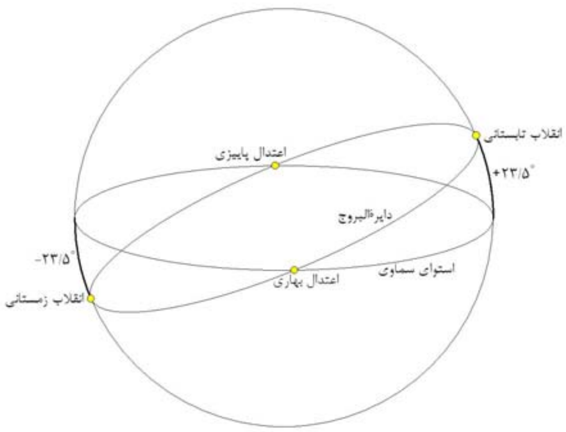
رابطهٔ۱:

$$Sin(h) = Sin(\delta) \cdot Sin(\varphi) + Cos(\delta) \cdot Cos(\varphi) \cdot Cos(HA)$$

این رابطه که از نوشتن قانون کسینوس‌ها در مثلّث کروی PZS به‌دست آمده‌است به‌وضوح مشخّص می‌سازد که با فرض ثابت بودن φ و δ بیشینهٔ ارتفاع (h) وقتی روی می‌دهد که زاویهٔ ساعتی (HA) برابر صفر باشد (عبور بالایی).

۳. تفاوت خورشید با دیگر ستارگان آسمان

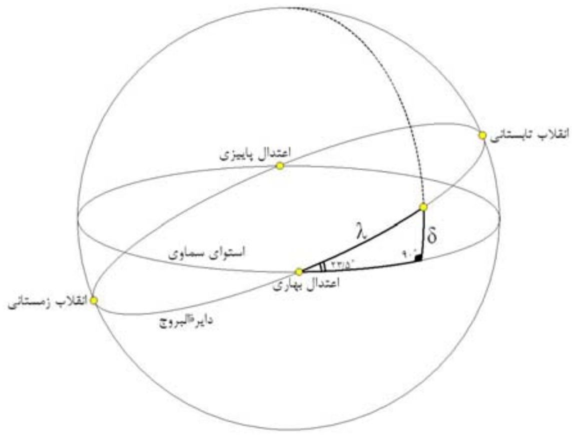
همان‌طور که می‌دانیم اجرام سماوی بعد و میل ثابتی ندارند. این تغییرات بعد و میل عمدتاً به‌دلیل حرکت تقدیمی زمین و حرکات خاصّهٔ اجرام سماوی به‌وجود می‌آیند. حدّاکثر تغییر میل ناشی از حرکت تقدیمی زمین در حدود ۲۰ ثانیهٔ قوسی در یک سال و حدّاکثر تغییر میل ناشی از حرکات خاصّهٔ اجرام سماوی از مرتبهٔ ۱۰ ثانیهٔ قوسی در سال می‌باشد. این در حالی است که به‌دلیل حرکت ظاهری خورشید برروی دایرةالبروج و زاویهٔ حدوداً ۲۳/۵ درجه‌ای بین دایرةالبروج و استوای سماوی، میل خورشید در طول یک سال در محدودهٔ ۲۳/۵- تا ۲۳/۵+ درجه متغیّر است (شکل۲). همان‌طور که می‌بینید تغییرات میل دیگر ستارگان در قیاس با خورشید بسیار ناچیز و قابل چشم‌پوشی است.



شکل۲

۴. تغییرات میل خورشید

در فاصلهٔ زمانی حدوداً ۶ ماههٔ بین انقلاب زمستانی تا انقلاب تابستانی میل خورشید در حدود ۴۷ درجه افزایش می‌یابد و در ۶ ماههٔ بعدی با همین میزان کاهش مواجه هستیم. حال می‌خواهیم نرخ تغییرات میل خورشید را با توجّه به این‌که در چه روزی از سال هستیم تخمین بزنیم. همان‌گونه که در شکل۳ مشاهده می‌کنید، میل خورشید (δ) را می‌توانیم با داشتن طول دایرةالبروجی آن (λ) محاسبه کنیم. در این‌جا از عرض دایرةالبروجی خورشید (β) که بسیار کوچک است صرف‌نظر کرده‌ایم. رابطهٔ۲ نحوهٔ محاسبهٔ میل خورشید را با فرض داشتن طول دایرةالبروجی آن نشان می‌دهد.



شکل۳

رابطهٔ۲:

$$Sin(\delta) = Sin(\lambda) \cdot Sin(\varepsilon)$$

که در آن ε همان زاویهٔ تمایل دایرةالبروج و در حدود ۲۳/۵ درجه می‌باشد. رابطهٔ اخیر با نوشتن قانون سینوس‌ها در مثلّثی که در شکل۳ پررنگ شده است به‌دست می‌آید.

اکنون برای دانستن نرخ تغییرات میل خورشید از رابطهٔ۲ مشتقّ زمانی می‌گیریم تا به رابطهٔ۳ برسیم.

رابطهٔ۳:

$$\frac{d\delta}{dt}=\frac{Sin(\varepsilon)\cdot Cos(\lambda)}{Cos(\delta)}\cdot\frac{d\lambda}{dt}$$

در ضمن فرض می‌کنیم که حرکت خورشید برروی دایرةالبروج یک‌نواخت است (هرچند که به دلیل تفاوت سرعت زاویه‌ای زمین در حرکت انتقالیش به‌گرد خورشید در اوج و حضیض این فرض درست نیست ولی در این مرحله هدف ما ارائهٔ یک برآورد نزدیک به واقعیّت است). حال با دانستن روز سال، طول دایرةالبروجی خورشید و در نتیجه میل و نرخ تغییرات میل آن معلوم می‌گردند.

۵. بیشینهٔ ارتفاع خورشید

اکنون آماده هستیم که برآورد خوبی از تفاوت زمانی بین لحظهٔ عبور خورشید از نصف‌النّهار ناظر و لحظهٔ رسیدن آن به بیشینهٔ ارتفاعش را ارائه کنیم. وقتی که خورشید به اوج ارتفاع خود برسد مشتقّ زمانی h یا همان $\frac{dh}{dt}$ صفر خواهد بود. بنابر این در این مرحله از طرفین رابطهٔ۱ مشتقّ زمانی می‌گیریم.

رابطهٔ۴:

$$Cos(h)\cdot\frac{dh}{dt}=$$

$$[Cos(\delta)\cdot Sin(\varphi)-Sin(\delta)\cdot Cos(\varphi)\cdot Cos(HA)]\cdot\frac{d\delta}{dt}-Cos(\delta)\cdot Cos(\varphi)\cdot Sin(HA)\cdot\frac{dHA}{dt}$$

همان‌گونه که پیش‌تر گفته شد طرفین این تساوی را برابر صفر قرار می‌دهیم و با فرض این‌که HA بسیار کوچک است عبارات حاصل را تا درجهٔ اوّل HA و حول مقدار صفر بسط تیلور می‌دهیم.

رابطهٔ۵:

$$[Cos(\delta)\cdot Sin(\varphi)-Sin(\delta)\cdot Cos(\varphi)]\cdot\frac{d\delta}{dt}=Cos(\delta)\cdot Cos(\varphi)\cdot HA\cdot\frac{dHA}{dt}$$

که در آن HA بر حسب رادیان است. حال اگر از رابطهٔ اخیر HA را محاسبه کنیم، داریم:

رابطهٔ۶:

$$HA=[Tan(\varphi)-Tan(\delta)]\cdot\frac{(\frac{d\delta}{dt})}{(\frac{dHA}{dt})}$$

اگر مدّت زمان گذشته از لحظهٔ عبور بالایی خورشید (برحسب ثانیه) را t بنامیم، می‌دانیم که HA و t با هم متناسب هستند.

رابطهٔ۷:

$$HA=\frac{2\pi}{86400}\cdot t$$

رابطهٔ۸:

$$\frac{dHA}{dt}=\frac{2\pi}{86400}$$

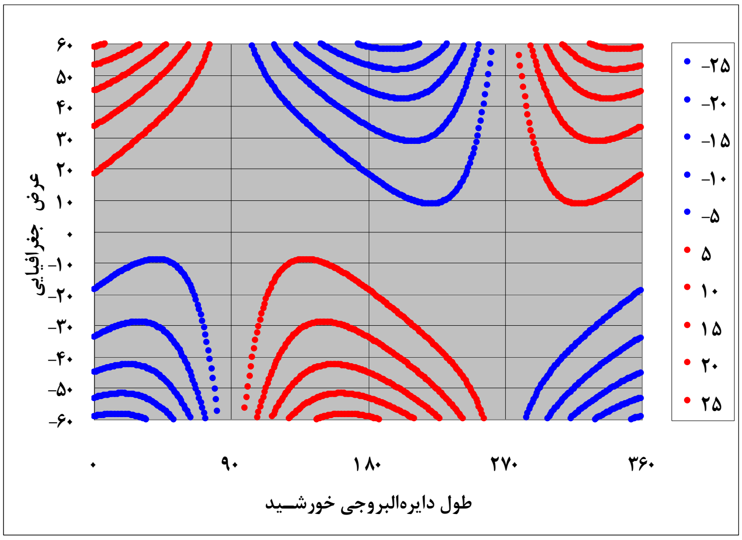
از ترکیب رابطهٔ۶، رابطهٔ۷ و رابطهٔ۸ داریم:

رابطهٔ۹:

$$t = \left(\frac{86400}{2\pi}\right)^2 \cdot [Tan(\varphi) - Tan(\delta)] \cdot \frac{d\delta}{dt}$$

۶. برآوردی از مقدار اختلاف

حال برای آنکه براوردی از مقدار این اختلاف زمانی در طول سال و در عرض‌های جغرافیایی مختلف داشته‌باشیم، با استفاده از فروض بخش۴ نموداری را ارائه می‌کنیم که در آن عرض جغرافیایی بر حسب طول دایرهٔالبروجی خورشید برای مقادیر متفاوت اختلاف زمانی (از ۲۵- ثانیه تا ۲۵+ ثانیه با فواصل ۵ ثانیه‌ای به‌استثنای اختلاف زمانی صفر) ترسیم شده است (نمودار۱).

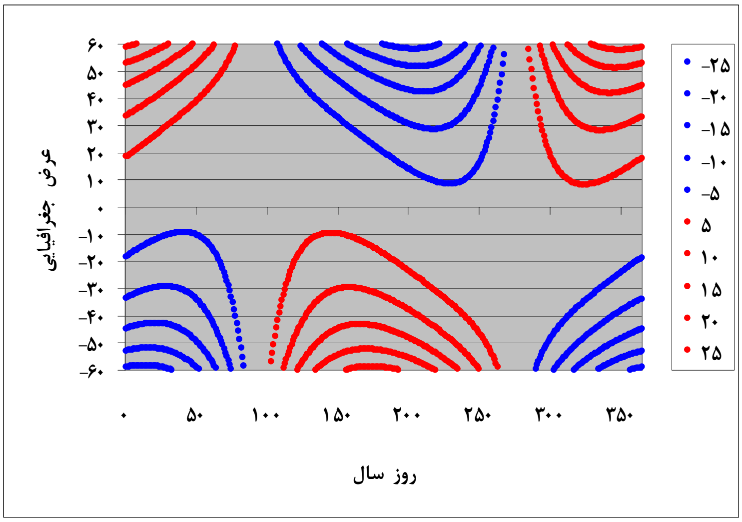


نمودار۱

در رسم این نمودار عرض جغرافیایی در بازهٔ °۶۰- تا °۶۰+ در نظر گرفته شده است. اختلاف زمانی مثبت به این معناست که خورشید پس از عبور از نصف‌النّهار ناظر به بیشینهٔ ارتفاع خود می‌رسد و بالعکس اختلاف زمانی منفی به این معناست که خورشید پیش از عبور از نصف‌النّهار ناظر به بیشینهٔ ارتفاع خود رسیده است. برای پرهیز از شلوغی تمامی منحنی‌های مربوط به اختلاف زمانی مثبت با رنگ قرمز و تمامی منحنی‌های مربوط به اختلاف زمانی منفی با رنگ آبی رسم شده‌اند. در واقع با ۱۰ منحنی (برای ۱۰ مقدار متفاوت اختلاف زمانی) که هر کدام از ۳ بخش مجزّا (۳ بازهٔ زمانی از یک سال شمسی) تشکیل شده‌اند سروکار داریم. هرچه منحنی بزرگ‌تر شده، به عرض جغرافیایی صفر درجه نزدیک‌تر می‌شود اختلاف زمانی مربوط به آن کمتر می‌شود. به عنوان مثال در شهر تهران با عرض جغرافیایی حدوداً °۳۶ در اوایل سال با اختلاف زمانی تقریباً ۱۰+ ثانیه‌ای و در شهر بلگراد با عرض جغرافیایی حدوداً °۴۵ در اوایل پاییز با اختلاف زمانی تقریباً ۱۵- ثانیه‌ای مواجه هستیم.

همان‌گونه که پیشتر گفته شد برای ساده‌سازی، فرض کرده‌ایم که تغییرات طول دایرهٔالبروجی خورشید به‌صورت یکنواخت صورت می‌پذیرد. حال اگر تغییرات واقعی طول دایرهٔالبروجی خورشید را لحاظ کنیم،

اندک تغییراتی در نمودار پدیدار می‌شود (نمودار۲). با مقایسهٔ دو نمودار می‌بینیم که فرض‌های بخش۴ منطقی بوده‌اند.



نمودار۲

نمودار اخیر با استفاده از فرمول‌هایی ترسیم شده‌است که طول دایرةالبروجی خورشید را بر حسب مدّت زمان سپری شده از ابتدای سال محاسبه می‌کنند (Almanac 2007).

۷. تأثیر این اختلاف زمانی در اذان ظهر رسمی کشور

همان‌طور که در مقدّمه هم گفته شد در کشور ما برای محاسبهٔ زمان اذان ظهر هر شهری، لحظهٔ عبور خورشید از نصف‌النّهار منتخب آن شهر به‌دقّت محاسبه شده، عدد حاصل با دقّت ۱ دقیقه گرد می‌شود. اعلام وقت اذان ظهر به‌ویژه در شهرهای گسترده‌ای مثل تهران که اختلاف زمان اذان ظهر بین شرقی‌ترین و غربی‌ترین نقطهٔ آن به بیش از ۱ دقیقه بالغ می‌گردد، با دقّت ثانیه غیر منطقی می‌نماید. حال اگر می‌خواستیم به‌جای عبور بالایی، بیشینهٔ ارتفاع خورشید را در نظر بگیریم و اختلاف زمانی این دو روش مثلاً ۶ ثانیه می‌بود در این صورت به‌لحاظ آماری از هر ۱۰ اذان ظهر، یکی از آن‌ها به‌میزان ۱ دقیقه جابه‌جا می‌شد (۶ ثانیه بر روی ۱ دقیقه یا همان ۶۰ ثانیه). به‌عنوان مثال برای شهر تهران در روزهای حول‌وحوش اعتدال بهاری که این میزان اختلاف در حدود ۱۰ ثانیه است، انتظار داریم که اگر به‌جای عبور بالایی خورشید بیشینهٔ ارتفاع آن را مدّ نظر قرار دهیم، به‌لحاظ آماری از هر ۶ اذان ظهر، یکی از آن‌ها به‌میزان ۱ دقیقه افزوده شود.

۸. نتیجه‌گیری

دیدیم که زمان رسیدن خورشید به بیشینهٔ ارتفاع آن با زمان عبورش از نصف‌النّهار ناظر یکی نیست، بلکه می‌تواند کمی قبل یا بعد از آن رخ دهد. میزان تفاوت این دو اذان ظهر هم در صورتی که خود را به عرض‌های جغرافیایی بین °۶۰- تا °۶۰+ محدود کنیم در بازهٔ صفر تا حدوداً ۲۵ ثانیه واقع می‌شود. در ضمن میزان این تفاوت تابعی است از عرض جغرافیایی ناظر و طول دایرةالبروجی خورشید (که با داشتن

مورد آخر، هم میل خورشید و هم نرخ تغییرات میل آن به‌دست می‌آید). بنابراین کافیست عرض جغرافیایی ناظر و روز سال را بدانیم تا میزان این تفاوت را به‌دست آوریم. هرچه به‌لحاظ مکانی به خطّ استوا و به‌لحاظ زمانی به انقلابین نزدیک‌تر باشیم میزان این اختلاف کوچک‌تر است.

۹. مرجع

THE ASTRONOMICAL ALMANAC FOR THE YEAR 2007