ثانیه، روز، ماه، سال

احمد شریعتی

این مقاله، مرور ی است بر تعریف‌ها ی ِ ثانیه، روز ِ نجومی، روز ِ خورشیدی، ماه ِ قمری، سال ِ اعتدالی (خورشیدی)، سال ِ نجومی (خورشیدی)، و سال ِ نابه‌هنجار (خورشیدی). این زمان‌ها، با استفاده از فیزیک ِ نسبتاً مقدماتی ی ِ حرکت ِ ماه و زمین به دور ِ خورشید تعریف می‌شوند. نکته‌ها یی هم در مورد ِ کبیسه‌ها ی ِ سال‌ها ی ِ قمری، کبیسه‌ها ی ِ سال‌ها ی ِ خورشیدی ی ِ ایرانی و میلادی، و نحوه ی ِ تبدیل ِ تاریخ‌ها ی ِ هجری ی ِ قمری به شمسی یا میلادی گفته می‌شود.

1 مقدمه

برا ی ِ ما انسان‌ها که رو ی ِ زمین زنده‌گی می‌کنیم، زمان‌سنجی سه واحد ِ طبیعی دارد: شبانه‌روز، ماه ِ قمری، و سال ِ اعتدالی. شبانه‌روز زمان ی است که طول می‌کشد که دو بار ِ پیاپی خورشید در یک صفحه ی ِ نصف‌النهاری قرار گیرد. این زمان ثابت نیست، و متوسط ِ آن $24\,\mathrm{h}$ است. ماه ِ قمری تقریباً زمانی است که طول می‌کشد وضعیت ِ نسبی ی ِ زمین و ماه و خورشید تکرار شود، که تقریباً 29.5 روز است. سال ِ خورشیدی تعریف ِ پیچیده‌تر ی دارد، امّا تقریباً برابر است با یک دور گردش ِ زمین به دور ِ خورشید (یعنی تقریباً برابر است با دوره ی ِ حرکت ِ مداری ی ِ زمین). در این جا می‌خواهم برخ ی نکته‌ها ی ِ ظریف ی را که در تعریف ِ تقویم هست روشن کنم. این را هم باید اضافه کنم که من منجّم نیستم، و قطعاً نکات ِ ظریف‌تر ی هم هست که من نمی‌دانم. علّت ِ علاقه ی ِ من به این موضوع، این است که این نکات ِ ظریف فیزیک ِ نسبتاً ساده ای دارند. در این جا منظور ام از ساده این است که می‌توان آن‌ها را با معلومات ِ مکانیک ِ دوره ی ِ کارشناسی ی ِ فیزیک فهمید.

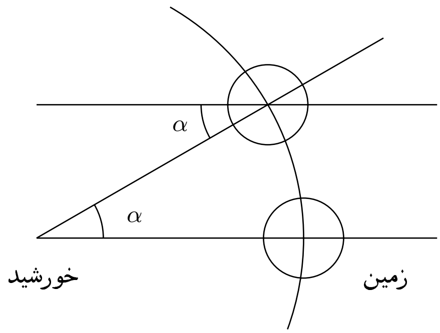
در این نوشته تقریباً همه جا منظور از روز «شبانه‌روز» است.

2 روز

زمین جسم ی است گرد، به شعاع ِ تقریباً 6400 km، که نه کاملاً صُلب است، نه کاملاً مایع، و نه کاملاً کره است. قاره‌ها ی ِ زمین، تقریباً صُلب اند، یعنی تقریباً نسبت به هم ثابت اند. بنا بر این می‌توان از چرخش ِ وضعی ی ِ زمین چنان سخن گفت که انگار یک کره ی ِ صُلب است. محور ِ چرخش ِ وضعی ی ِ زمین، محور ی است که قطب شمال ِ جغرافیایی (N)، و قطب ِ جنوب ِ جغرافیایی (S) را به هم وصل می‌کند. برا ی ِ هر نقطه ی ِ P که به زمین چسبیده باشد (خواه بر سطح ِ زمین باشد، خواه در درون ِ زمین باشد، و خواه بالاتر از سطح ِ زمین)، به جز نقاط ِ رو ی ِ محور ِ چرخش ِ زمین، نیم‌صفحه ی ِ نصف‌النهاری یعنی یگانه نیم‌صفحه ای که از آن نقطه و محور ِ چرخش ِ وضعی ی ِ زمین می‌گذرد. این نیم‌صفحه کره ی ِ زمین را در نصف ِ یک دایره ی ِ عظیمه قطع می‌کند. نصف‌النهار ِ گذرنده از P یعنی همین نیم‌دایره. از این به بعد، همه جا منظور از صفحه ی ِ نصف‌النهاری، همین نیم‌صفحه ی ِ نصف‌النهاری است.

ناظر ی که در نقطه ی ِ P است (که یعنی نسبت به زمین ساکن است)، می‌تواند صفحه ی ِ نصف‌النهاری ی ِ P را تشخیص دهد ــ این نخستین چیز ی است که هر منجم ی باید بیاموزد، تا بتواند تله‌سکپ ِ خود را رو ی ِ زمین مستقر کند. ناظر ی که در P است، اگر با یک ساعت ِ دقیق بسنجد، می‌بیند که 86164 s یعنی $23^{\rm h}\,56^{\rm min}\,4^{\rm sec}$ طول می‌کشد تا صفحه ی ِ نصف‌النهاری ی ِ P نسبت به ستاره‌ها ی ِ دوردست یک دور ِ کامل بچرخد. صفحه ی ِ نصف‌النهاری وقت ی یک دور ِ کامل چرخیده، که یک ستاره ی ِ مشخص دو بار ِ پیاپی در این صفحه ی ِ نصف‌النهاری باشد. آن چه امروز، پس از سنجش‌ها ی ِ دقیق می‌دانیم، این است که این زمان با آهنگ ی حدود ِ 10^{-11} دارد زیاد می‌شود، که یعنی سرعت ِ زاویه‌ای ی ِ وضعی ی ِ زمین دارد با این آهنگ کند می‌شود (این عدد تقریباً 1 ms/y است).

چرا سرعت ِ زاویه‌ای ی ِ وضعی ی ِ زمین تقریباً ثابت است؟ و چرا دقیقاً ثابت نیست؟ ثابت بودن ِ این سرعت ِ زاویه‌ای نمود ی است از ثابت بودن ِ تکانه ی ِ زاویه‌ای ی ِ وضعی ی ِ زمین، و این که زمین با تقریب ِ خوب ی کره است. اگر به زمین گشتاور ی وارد نشود، تکانه ی ِ زاویه‌ای اش ثابت است. در این حال، اگر زمین دقیقاً یک کره باشد، سرعت ِ زاویه‌ای اش هم ثابت است. پس سرعت ِ زاویه‌ای ی ِ زمین به دو دلیل می‌تواند تغییر کند (و تغییر می‌کند). اول این که به زمین گشتاور ی وارد شود، دوّم این که زمین کره نباشد. ماه، خورشید، و سیاره‌ها ی ِ منظومه ی ِ شمسی می‌توانند به زمین گشتاور وارد کنند (و وارد می‌کنند). از طرف ی، حتّا اگر گشتاور ی به زمین وارد نشود، چون زمین دقیقاً کروی نیست، حتّا وقت ی تکانه ی ِ زاویه‌ای اش ثابت است، سرعت ِ زاویه‌ای اش ثابت نیست.



شکل ۱: اگر طول ِ روز (یا بهتر است بگوییم، شبانه‌روز) ِ خورشیدی t باشد، و سرعت ِ زاویه‌ای ی ِ حرکت ِ زمین به دور ِ خورشید $\Omega_\oplus$ باشد، $\alpha = \Omega_\oplus\, t \sim 1^\circ$ زاویه ای است که بردار ِ حامل ِ زمین در یک روز ِ خورشیدی می‌پیماید.

ناظر ی که در نقطه ی ِ P است، می‌تواند فاصله ی ِ زمانی ی ِ دو بار ِ پیاپی قرار گرفتن ِ خورشید در صفحه ی ِ نصف‌النهاری را بسنجد. این فاصله ی ِ زمانی، که آن را روز (یا در واقع شبانه‌روز) ِ خورشیدی می‌گوییم، ثابت نیست. در طول ِ سال این زمان تغییر می‌کند. متوسط ِ روز ِ خورشیدی 24 ساعت، یعنی $86400\,\mathrm{s}$ است.

چرا روز ِ نجومی کوتاه‌تر از روز ِ خورشیدی است؟ و چرا روز ِ خورشیدی ثابت نیست، در حال ی که روز ِ نجومی تقریباً ثابت است؟

زمین تقریباً در هر 365 روز یک بار دور ِ خورشید می‌گردد، یعنی تقریباً روز ی 1° . بنا بر این، با توجه به شکل ۱، برا ی ِ آن که دو بار ِ پیاپی خورشید در صفحه ی ِ نصف‌النهاری ی ِ P قرار گیرد، زمین باید تقریباً 1° بیش‌تر بچرخد. بنا بر این روز ِ خورشیدی کم ی بلندتر از روز ِ نجومی است. دقیق‌تر محاسبه کنیم. فرض کنیم طول ِ روز ِ خورشیدی t باشد. در یک روز ِ خورشیدی زمین به اندازه ی ِ $\Omega_\oplus\, t$ در مدار اش حرکت کرده. در این جا $\Omega_\oplus$ سرعت ِ زاویه‌ای ی ِ حرکت ِ مداری ی ِ زمین است. صفحه ی ِ نصف‌النهاری ی ِ P، در یک روز ِ خورشیدی به اندازه ی ِ $\omega_\oplus\, t$ چرخیده، که باید برابر باشد با $2\,\pi + \Omega_\oplus\, t$، بنا بر این

$$\omega_\oplus\, t = 2\,\pi + \Omega_\oplus\, t \quad \Rightarrow \quad \frac{2\,\pi}{t} = \omega_\oplus - \Omega_\oplus. \tag{1}$$

داریم

$$\omega_{\oplus} = 7.292115 \times 10^{-5}\,\mathrm{Rad/s}, \qquad \Omega_{\oplus} = 1.991 \times 10^{-7}\,\mathrm{Rad/s} \qquad \Rightarrow \qquad t = 86400\,\mathrm{s}. \quad (2)$$

اگر مدار ـِ زمین به دور ـِ خورشید دقیقاً دایره بود، آن وقت بردار ـِ حامل ـِ زمین، یعنی بردار ی که مرکز ـِ خورشید را به مرکز ـِ زمین وصل می‌کند، در زمان‌ها یِ مساوی زاویه‌ها یِ مساوی می‌پیمود، و طول ـِ روز ـِ خورشیدی ثابت می‌بود. اما مدار ـِ زمین بیضی است، و بنا بر قانون ـِ دوم ـِ کپلر، بردار ـِ حامل ـِ زمین در زمان‌ها یِ مساوی مساحت‌ها یِ مساوی جارو می‌کند. وقت ی زمین به حضیض اش نزدیک‌تر است، سرعت ـِ زمین، و در نتیجه سرعت ـِ زاویه‌ای اش بیش‌تر است، بنا بر این طول ـِ روز ـِ خورشیدی بزرگ‌تر می‌شود (زیرا $\Omega_{\oplus}$ بزرگ‌تر می‌شود).

اگر خوب دقّت کنید، می‌بینید این استدلال وقت ی درست است که محور ـِ چرخش ـِ وضعی یِ زمین بر صفحه یِ مداری یِ زمین عمود باشد. امّا چنین نیست. این باعث می‌شود طول ـِ روز ـِ خورشیدی دقیقاً آن چه در بالا به دست آوریم نباشد. برا یِ آن که قانع شویم این زاویه تأثیر دارد، خوب است وضعیّت ـِ عجیب ـِ زیر را نگاه کنیم. اگر محور ـِ چرخش ـِ وضعی یِ زمین در صفحه یِ مداری یِ زمین بود چه می‌شد؟ باید دقّت کنیم که چون تکانه یِ زاویه‌ای یِ وضعی یِ زمین ثابت است، و چون زمین را کره فرض می‌کنیم، بردار ـِ سرعت ـِ زاویه‌ای یِ وضعی یِ زمین ثابت است، یعنی همواره به سمت ـِ یک ستاره یِ ثابت است. موضع ـِ این ستاره با گذشت ـِ زمان تغییر نمی‌کند. این برا یِ موقع ی که بردار ـِ سرعت ـِ زاویه‌ای یِ زمین در صفحه یِ مداری یِ زمین هم باشد درست است، و در این صورت، در یک لحظه یِ خاص از سال، قطب ـِ شمال درست بر خط ـِ واصل ـِ مرکز ـِ زمین به مرکز ـِ خورشید قرار می‌گیرد. در این صورت، با آن که زمین در این «روز» ـِ خاص از سال هم به دور ـِ محور ـِ قطبی اش می‌چرخد، خورشید در آسمان ـِ زمین ثابت می‌ماند. به این ترتیب، می‌بینیم که در این موقع ـِ خاص از سال، طول ـِ روز ـِ خورشیدی زیاد (و تا حدود ی هم ناخوش‌تعریف) می‌شود.

محور ـِ قطبی یِ زمین با صفحه یِ مداری یِ زمین زاویه ای دارد که تقریباً برابر است با 23.45° (یاد آوری می‌کنم که منظور از زاویه یِ بردار ـِ $\mathbf{a}$ با یک صفحه یِ Σ، زاویه یِ $\mathbf{a}$ است با بردار ـِ $\mathbf{n}$ که بر Σ عمود است). می‌توان این زاویه را در نظر گرفت، و طول ـِ روز ـِ خورشیدی را حساب کرد. نتیجه این می‌شود که مقدار ی که بالاتر به دست آوردیم، میان‌گین ـِ روز ـِ خورشیدی است.

3 ثانیه

تا کنون دو روز ـ مختلف تعریف کرده ایم: ۱) روز ـ نجومی که با تقریب ـ خوب ی برابر است با 86164 s، و ۲) روز ـ متوسط ـ خورشیدی که با تقریب ـ خوب ی برابر است با 86400 s . اکنون دقّت کنیم که اصلاً 1 s چه زمان ی است. تعریف ـ نخستین ـ ثانیه این بوده: 1/86400 ـ میان‌گین ـ روز ـ خورشیدی. این تعریف زمان ی مناسب بود که دقیق‌ترین ساعت ی که داشتیم خود ـ زمین بود. بعدها که مکانیک ـ سماوی و ابزارها ی ـ نجومی پیش‌رفت کردند، متوجّه شدیم که زمین در واقع می‌لنگد، یعنی سرعت ـ زاویه‌ای اش تغییر می‌کند، و بنا بر این طول ـ روز ـ میان‌گین ـ نجومی هم تغییر می‌کند. برا ی ـ مدّت ی ثانیه بر اساس ـ حرکت ـ مداری ی ـ زمین تعریف می‌شد. امّا، چند دهه است که توانسته ایم ساعت‌ها ی ـ بسیار دقیق ـ اتمی بسازیم، و تعریف ـ ثانیه را عوض کرده ایم. چند دهه است که ثانیه بر اساس ـ گذارها ی ـ اتمی تعریف می‌شود. اکنون می‌توانیم سرعت ـ زاویه‌ای ی ـ زمین را دائماً بسنجیم.

نه تنها توانسته ایم کرونومترها ی ـ اتمی بسازیم که بازه‌ها ی ـ زمانی را با دقّت بسنجند، بل که توانسته ایم مجموعه ای از ساعت‌ها ی ـ اتمی بسازیم که به طور ـ پیوسته زمان را نگه دارند. به این ترتیب، اکنون یک جور تقویم داریم به نام ـ زمان ـ اتمی ی ـ بین‌المللی، Temps Atomique International، با اختصار ـ TAI. یک تقویم ـ دیگر هم داریم به نام ـ زمان ـ بین‌المللی، Universal Time، با اختصار ـ UT. این در واقع زمان است به وقت ـ گرنیچ. TAI و UT بسیار به هم نزدیک اند، امّا خوب است توجه کنیم که با هم فرق دارند. برا ی ـ فهمیدن ـ فرق ـ این دو، فرض کنید بر اثر ـ عامل ی، مثلاً برخورد ـ یک جسم ـ آسمانی، طول ـ روز 1 s کم شود. چه باید بکنیم؟ تعریف ـ ثانیه را دوباره عوض کنیم، طور ی که طول ـ روز ـ میان‌گین ـ خورشیدی باز هم 86400 ثانیه (اما ثانیه ی ـ جدید) بشود؟ یا همان تعریف ـ اتمی ی ـ ثانیه را نگه داریم، و بگوییم که از این به بعد شبانه‌روز 86399 s است؟ زمان‌سنجی ی ـ دقیق اکنون چنان وارد ـ زنده‌گی ی ـ بشر شده است، که به هیچ وجه نمی‌توان تعریف ـ ثانیه را عوض کرد. بهتر است ساعت‌ها ی ـ رسمی مان را عوض کنیم. مثلاً به این نحو که بگوییم از این به بعد هر روز 86399 s است، به این نحو که ساعت ـ 23 برابر است با 3599 s . امّا این هم هنوز مشکل را حل نمی‌کند، زیرا ساعت ـ 23 برا ی ـ شهرها ی ـ مختلف فرق می‌کند: ساعت ـ 23 به افق ـ کجا؟ این را باید با قرارداد حل کرد، و قرارداد ـ پذیرفته شده ی ـ بین‌المللی، افق ـ گرنیچ است.

TAI زمان ی است که مجموعه ای از ساعت‌ها ی ـ اتمی نگه می‌دارند، و UT زمان ی است که حرکت ـ وضعی ی ـ زمین نگه می‌دارد. چون حرکت ـ وضعی ی ـ زمین کم ی تغییر می‌کند، هر از چند ی UT را دست می‌زنیم.

خوش‌بختانه اختلال‌ها یی که موجب ـ تغییر ـ دوره ی ـ وضعی ی ـ زمین می‌شوند بسیار کوچک اند.

امّا به هر حال، هر از چند ی مجبور می‌شویم ساعت‌ها ی ِ رسمی ی ِ خود را $1\,\mathrm{s}$ جلو یا عقب بکشیم. به این ثانیه‌ها، ثانیه‌ها ی ِ کبیسه می‌گویند. (ثانیه‌ها ی ِ کبیسه ی ِ منفی بسیار نادر اند). بنا به قرارداد، ثانیه‌ها ی ِ کبیسه را در وهله ی ِ اول به آخر ِ دسامبر، یا ژوئن می‌افزایند، و در وهله ی ِ دوم به آخر ِ مارس یا سپتامبر. نحوه ی ِ افزودن این است که پس از ساعت ِ $23^{\mathrm{h}}\,59^{\mathrm{min}}\,60^{\mathrm{sec}}$، که همان 24^{h} است، یک ثانیه صبر می‌کنند و بعد ساعت ِ 0 ِ روز ِ بعد را اعلام می‌کنند (یا برا ی ِ ثانیه‌ها ی ِ کبسیه ی ِ منفی، $1\,\mathrm{s}$ پس از $23^{\mathrm{h}}\,59^{\mathrm{min}}\,58^{\mathrm{sec}}$، ساعت ِ 0 ِ روز ِ بعد را اعلام می‌کنند).

پس سه روز ِ مختلف داریم: ۱) روز ِ نجومی، ۲) روز ِ میان‌گین ِ خورشیدی، و ۳) روز ِ یک‌نواخت که برابر است با $86400\,\mathrm{s}$ مطابق با تعریف ِ اتمی ی ِ ثانیه. در استفاده از جدول‌ها ی ِ نجومی باید به تمایز ِ این روزه‌ها دقّت کرد. در این نوشته، منظور از روز، که آن را با d نشان می‌دهیم، همین $86400\,\mathrm{s}$ است.

4 وضعیت ِ ماه

ماه به دور ِ زمین می‌چرخد. دوره ی ِ این حرکت، نسبت به ستاره‌ها ی ِ ثابت، با تقریب ِ خوب ی برابر است با $27^{\mathrm{d}}\,7^{\mathrm{h}}\,43^{\mathrm{min}}\,11^{\mathrm{sec}}$، که برابر است با $2\,360\,591\,\mathrm{s}$، و به این ترتیب

$$\omega_{\mathrm{moon}} = 2.66170 \times 10^{-6}\,\mathrm{Rad/s} = 13.18\,\mathrm{deg/d}. \tag{3}$$

در این فرمول، و در تمام ِ این مقاله، منظور از d زمان ِ $86400\,\mathrm{s}$ است.

اینک باز می‌توانیم بپرسیم، چه قدر طول می‌کشد تا وضعیت ِ نسبی ی ِ زمین ـ ماه ـ خورشید تکرار شود. باز، همانند ِ فرمول ِ طول ِ روز ِ خورشیدی، خواهیم داشت

$$\omega'_{\mathrm{moon}} := \frac{2\,\pi}{T'_{\mathrm{moon}}} = \omega_{\mathrm{moon}} - \Omega_{\oplus}, \tag{4}$$

و با محاسبه به دست می‌آید

$$T_{\mathrm{moon}} = 29.530584\,\mathrm{d}. \tag{5}$$

این را طول ِ ماه ِ قمری می‌گوییم. در این جا هم باید توجه کنیم که این فرمول با این فرض به دست می‌آید که صفحه ی ِ مداری ی ِ ماه (به دور ِ زمین)، همان صفحه ی ِ مداری ی ِ زمین به دور ِ خورشید است. این درست نیست، این دو صفحه با هم زاویه ای می‌سازند. پس، همانند ِ روز ِ خورشیدی، زمان ی که در این جا به دست آوردیم، متوسط ِ طول ِ ماه ِ قمری است.

آن چه وضعیّت ِ نسبی یِ زمین ـ ماه ـ خورشید را معیّن می‌کند، زاویه یِ خورشید ـ زمین ـ ماه است — این زاویه را θ می‌نامیم. وقت ی $\theta = 0$ شود، ماه جلو یِ خورشید قرار می‌گیرد و خورشیدگرفته‌گی داریم؛ و وقت ی $\theta = \pi$ شود، زمین بین ِ ماه و خورشید قرار می‌گیرد و ماه‌گرفته‌گی داریم. اگر صفحه یِ مداری یِ ماه به دور ِ زمین بر صفحه یِ مداری یِ زمین به دور ِ خورشید منطبق بود، این زاویه تغییر ی ساده می‌داشت، چیز ی شبیه به $\theta = \omega t$، و در این صورت هر ماه شاهد خورشیدگرفته‌گی و ماه‌گرفته‌گی می‌بودیم. امّا، صفحه یِ مداری یِ ماه به دور ِ زمین، با صفحه یِ مداری یِ زمین به دور ِ خورشید زاویه ای برابر با $i = 5.15^\circ$ می‌سازد، و این باعث می‌شود که تحول ِ زمانی یِ θ پیچیده باشد. برا یِ تجسم، کره ای به مرکز ِ زمین در نظر بگیرید، و فرض کنید محور ِ z در امتداد ِ خورشید باشد. موضع ِ ماه نقطه ای رو یِ این کره است. θ زاویه یِ بردار ِ حامل ِ این نقطه با محور ِ z است. امّا این زاویه به تنهایی موضع ِ ماه را مشخص نمی‌کند. یک زاویه یِ دیگر هم باید داد. مکان ِ ماه رو یِ این کره با دوره یِ تقریبی یِ 29.5 روز تغییر می‌کند، امّا این بدان معنا نیست که θ به صورت ِ خطی یِ ωt تغییر می‌کند.

می‌توان مرکز ِ ماه را بر صفحه یِ مداری یِ زمین به دور ِ خورشید تصویر کرد (تصویر ِ قائم، که یعنی به موازات ِ بردار ِ تکانه یِ زاویه‌ای یِ مداری یِ زمین). تصویر ماه در صفحه یِ مداری یِ زمین را M' می‌نامیم. زاویه یِ $\angle\mathrm{SEM}'$ را با ϕ نشان می‌دهیم و آن را فاز ِ ماه می‌نامیم. فاز ِ ماه، تقریباً به صورت ِ خطّی زیاد می‌شود، که یعنی $\phi = \omega'_{\rm moon}\, t$.

5 کبیسه‌ها یِ قمری

طول ِ ماه ی که در تقویم ثبت می‌شود، بر حسب ِ روز، باید عدد ی صحیح باشد. نزدیک بودن ِ $T_{\rm moon}$ به 29.5، می‌گوید که با تقریب ِ خوب ی می‌توان ماه‌ها یِ قمری را به توالی 30 و 29 روز گرفت، البته فقط به تقریب. در واقع، فرض کنید 34 تا ماه ِ متوالی یِ قمری داشته باشیم، که به توالی 30 و 29 روز باشند. این مدت می‌شود $34 \times 29.5 = 1003$ روز، که در این مدّت ماه $1003 \div 29.5306 = 33.96$ دور به دور ِ زمین چرخیده، یعنی 0.04 ِ دور کم‌تر. 0.04 ِ دور یعنی 14.4°، که ماه آن را در تقریباً یک روز می‌پیماید. پس، پس از 34 ماه ِ قمری یِ متوالی، اگر متوالیاً 30 و 29 روزه باشند، ماه ِ 34 ام هم، که می‌بایست 29 روزه باشد، در واقع 30 روزه است.[1] اکنون ممکن است ماه ِ 35 ام 29 روزه یا 30 روزه باشد. به این ترتیب، می‌بینیم که در هر سه سال ِ قمری، ممکن است

[1] یک روز بیش‌تر، نه کم‌تر! زیرا باید یک روز صبر کنیم تا وضعیّت ِ نسبی یِ زمین ـ ماه ـ خورشید به وضعیت ِ آغاز ِ ماه برسد.

یک بار دو یا سه ماه ـِ 30 روزه به توالی داشته باشیم. این که توالی دقیقاً چه‌گونه است، بسته‌گی دارد به نحوه ای که ماه تعیین می‌شود. در کشورها یِ اسلامی که تقویم ـِ قمری به کار می‌رود، معمولاً مبنا یِ تعیین ـِ ابتدا یِ ماه، روئیت ـِ هلال ـِ اول ـِ ماه است. چون این روئیت به طول و عرض ـِ جغرافیایی، و وضعیت ـِ جوی بسته‌گی دارد، در عمل ممکن است توالی یِ ماه‌ها یِ قمری به ترتیب ی که گفتیم نباشد. در هر حال، تقریباً هر 3 سال ـِ قمری یک بار، دو یا سه ماه ـِ 30 روزه به توالی ظاهر خواهند شد. این که در هر نقطه یِ خاص از سرزمین‌ها یِ اسلامی، کدام ماه‌ها، بنا بر فتوا یِ مفتیان ـِ آن جا، 30 روزه بوده اند، موضوع ی است که تنها با رجوع به تاریخ می‌توان به آن پاسخ داد. اگر چنین سوابق ـِ تاریخ ای در دست نباشد، آن وقت باید به طریق ی دیگر، تعیین کرد که کدام ماه‌ها 29 روزه بوده اند، و کدام‌ها 30 روزه. تاریخ‌پیشه‌ها، که به تطبیق ـِ تاریخ‌ها علاقه دارند برا یِ این کار جدول‌ها یی تنظیم کرده اند. یک ی از این جدول‌ها، جدول ـِ ووستِنفِلد ـ مالِر است [1]. روال ـِ این جدول این است: ماه‌ها یِ قمری را، از محرم تا ذی‌حجّه، به ترتیب یک در میان 30 و 29 روز می‌گیرند، و یک فهرست از سال‌ها یِ کبیسه ارائه می‌دهند که در آن‌ها ذی‌حجّه (آخرین ماه ـِ قمری) 30 روز است. طبق ـِ این جدول، از سال ـِ 1 تا سال ـِ 1500 هجری یِ قمری، 550 سال ـِ کبیسه هست. این یعنی تعداد ـِ روزها از اول ـِ محرم ـِ سال ـِ 1، تا اول ـِ محرم ـِ سال ـِ 1501، هست

$$1500 \times 354 + 550 = 531550 \tag{6}$$

که یعنی بنا بر این جدول طول ـِ ماه ـِ متوسط ـِ قمری هست

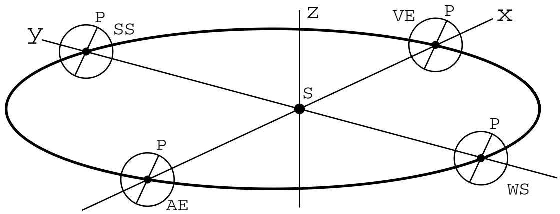
$$\frac{531550}{1500 \times 12} = 29.530556\,\mathrm{d}. \tag{7}$$

تفاوت ـِ این زمان، با طول ـِ ماه ـِ متوسط ـِ قمری، یعنی $29.530584\,\mathrm{d}$ هست $\sim 3 \times 10^{-5}\,\mathrm{d}$، که برابر است با 10^{-6} برابر ـِ طول ـِ ماه ـِ قمری. به بیان ـِ دیگر، این عدد با دقّت ـِ 10^{-6} درست است.

6 سال ـِ اعتدالی یِ خورشیدی

برا یِ ما انسان‌ها، روز چرخه یِ بسیار مهم ی است. بسیار ی از فعالیت‌ها یِ ما چرخه یِ روزانه دارند. بنا بر این طبیعی است که روز برا یِ ما یک واحد ـِ طبیعی یِ زمان باشد. امّا، یک چرخه یِ طولانی‌تر هم هست: آب و هوا یِ زمین که به آن توالی یِ فصل‌ها می‌گوییم. در مناطق ی از قارّه‌ها که نه به اِستوا زیاد نزدیک اند نه به قطب‌ها، می‌توان چهار فصل ـِ بهار، تابستان، پاییز، و زمستان را تشخیص داد.[2] در برخ ی مناطق ـِ اِستوایی تنها دو فصل ـِ پُرباران و کم‌باران (یا تر و خشک) دیده

[2] در میان ـِ اقیانوس‌ها، به علّت ـِ گرما یِ ویژه یِ زیاد ـِ آب، فصل‌ها به وضوح ـِ فصل‌ها یِ قارّه‌ای نیستند.



شکل ۲: محور ـ z عمود بر صفحه ی ـ مداری ی ـ زمین است. نقطه ی ـ P رو ی ـ محور ـ دوران ـ زمین است (تقریباً به سمت ـ ستاره ی ـ قطبی). S خورشید است. مرکز ـ زمین را، که در شکل با نقطه ی ـ سیاه رو ی ـ مدار کشیده شده، E می‌نامیم. زاویه ی ـ $\angle$SEP را α می‌نامیم. $\theta = 23.5°$ زاویه ی ـ بین ـ محور ـ دوران ـ زمین با صفحه ی ـ مداری ی ـ زمین است (یعنی با محور ـ z). در اعتدال ـ بهاری، VE، و اعتدال ـ پاییزی، AE، داریم $\alpha = 90°$؛ در انقلاب ـ زمستانی، WS، $\alpha = 90° + 23.5°$ است؛ و در انقلاب ـ تابستانی، SS، $\alpha = 90° - 23.5°$ است.

می‌شود. در قطب‌ها هم تقریباً تنها دو فصل ـ خیلی‌سرد و تاریک، و سرد و روشن دیده می‌شود. به هر حال، در تمام ـ زمین آب و هوا یک چرخه ی ـ تقریباً 365 روزه دارد.

علّت ـ به وجود آمدن ـ این توالی ی ـ فصل‌ها این است: محور ـ چرخش ـ وضعی ی ـ زمین با دقت ـ خوب ی در فضا، یعنی نسبت به ستاره‌ها ی ـ دوردست ثابت است، و به علاوه، این محور با صفحه ی ـ مداری ی ـ زمین زاویه ی ـ $23.45°$ می‌سازد. به این ترتیب، بردار ـ حامل ـ زمین، یعنی بردار ی که مرکز ـ خورشید را به مرکز ـ زمین وصل می‌کند، با بردار ـ سرعت ـ زاویه‌ای ی ـ زمین (که در جهت ـ $\overrightarrow{\mathrm{SN}}$ است)، زاویه ای می‌سازد، که ثابت نیست. این زاویه را α بنامیم. α بین ـ $\pi/2 - \theta$ و $\pi/2 + \theta$ تغییر می‌کند. در دو نقطه ی ـ خاص از مدار ـ زمین، این زاویه $\pi/2$ است. به یاد بیاوریم که اگر این زاویه $\pi/2$ باشد، آن وقت طول ـ شب و روز در تمام ـ زمین برابر است. این دو لحظه را لحظه‌ها ی ـ اعتدال می‌گوییم. لحظه ی ـ اعتدال ـ بهاری، Vernal Equinox، همان است که با عنوان ـ لحظه ی ـ تحویل ـ سال می‌شناسیم. لحظه ی ـ اعتدال ـ پاییزی، Automnal Equinox، تقریباً اول مهر است. کمینه و بیشینه ی ـ α متناظر است با نقاط ی از مدار ـ زمین که به آن‌ها انقلاب می‌گوییم. α در انقلاب ـ زمستانی، Winter Solstice، بیشینه است، و در انقلاب ـ تابستانی، Summer Solstice، کمینه است. پاره‌خط‌ها ی ـ VA و WS بر هم عمود اند. در سال ـ 2005، لحظه‌ها ی ـ این چهار روی‌داد، آن طور که در منزل‌گاه ـ رصدخانه ی ـ نیرو ی ـ دریایی ی ـ آمریکا آمده [2] مطابق ـ جدول ـ زیر است. در این جدول MJD یعنی «تاریخ ـ ژولیانی ی ـ تعدیل‌یافته» که بر حسب ـ روز است، و یک مبداء ـ مشخّص

1992	d hh P= Jan 3 15 48625.1	dd hh mm VE= Mar 20 08 48 48701.867	dd hh mm SS= Jun 21 03 14 48794.635	d hh A= Jul 3 12 48807.0	dd hh mm AE= Sep 22 18 43 48888.280	dd hh mm WS= Dec 21 14 43 48978.113
2005	P= Jan 2 01 53372.5	VE= Mar 20 12 33 53450.023	SS= Jun 21 06 46 53542.782	A= Jul 5 05 53556.7	AE= Sep 22 22 23 53636.433	WS= Dec 21 18 35 53726.274
2006	P= Jan 4 15 53740.1	VE= Mar 20 18 26 53815.268	SS= Jun 21 12 26 53908.018	A= Jul 3 23 53920.5	AE= Sep 23 04 03 54001.669	WS= Dec 22 00 22 54091.515
2007	P= Jan 3 20 54104.3	VE= Mar 21 00 07 54180.505	SS= Jun 21 18 06 54273.254	A= Jul 7 00 54288.5	AE= Sep 23 09 51 54366.910	WS= Dec 22 06 08 54456.756
2008	P= Jan 3 00 54468.5	VE= Mar 20 05 48 54454.742	SS= Jun 20 23 59 54638.499	A= Jul 4 08 54651.8	AE= Sep 22 15 44 54732.156	WS= Dec 21 12 04 54822.003
2009	P= Jan 4 15 54836.1	VE= Mar 20 11 44 54910.989	SS= Jun 21 05 45 54003.740	A= Jul 4 02 55016.6	AE= Sep 22 21 18 55097.388	WS= Dec 21 17 47 55187.241
2018	P= Jan 3 06 58121.8	VE= Mar 20 16 15 58198.177	SS= Jun 21 10 07 58290.922	A= Jul 6 17 58306.2	AE= Sep 23 01 54 58384.579	WS= Dec 21 22 22 58474.432
2019	P= Jan 3 05 58486.7	VE= Mar 20 21 58 58563.415	SS= Jun 21 15 54 58665.163	A= Jul 4 22 58669.4	AE= Sep 23 07 50 58749.826	WS= Dec 21 04 19 58839.680
2020	P= Jan 5 08 58853.8	VE= Mar 20 03 49 58928.659	SS= Jun 20 21 43 59022.405	A= Jul 4 12 59035.0	AE= Sep 22 13 30 59115.063	WS= Dec 21 10 02 59204.918

جدول ۱: در این جدول، برا ی ِ هر سال به ترتیب لحظه‌ها ی ِ حضیض (P)، اعتدال ِ بهاری (VE)، انقلاب ِ تابستانی (SS)، اوج (A)، اعتدال ِ پاییزی (AE)، و انقلاب زمستانی (WS) آمده است. اعداد ی که در سطرها ی ِ دوم ِ هر سال آمده اند، MJD ی ِ همین لحظه‌ها هستند (که محاسبه با آن‌ها ساده‌تر است). این جدول از جدول ی که در منزل‌گاه ِ رصدخانه ی ِ نیرو ی ِ دریایی ی ِ آمریکا، [2]، هست استخراج شده.

دارد (برا ی ِ تعریف ِ آن رجوع کنید به انتها ی ِ این نوشته).

$$V_{2005} = \mathrm{MJD}\, 53450.02 \quad \text{اعتدال بهاری (Vernal Equinox)} \tag{8}$$

$$S_{2005} = \mathrm{MJD}\, 53542.78 \quad \text{انقلاب تابستانی (Summer Solstice)} \tag{9}$$

$$A_{2005} = \mathrm{MJD}\, 53636.43 \quad \text{اعتدال پاییزی (Autumnal Equinox)} \tag{10}$$

$$W_{2005} = \mathrm{MJD}\, 53726.27 \quad \text{انقلاب زمستانی (Winter Solstice)} \tag{11}$$

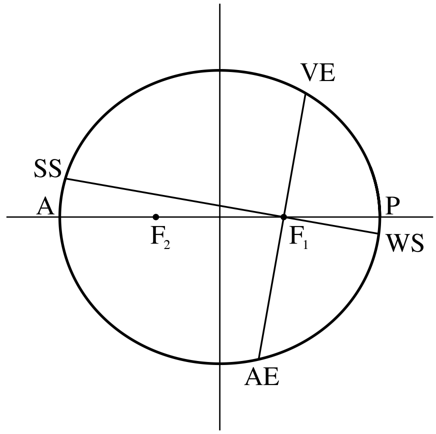
$$V_{2006} = \mathrm{MJD}\, 53815.27 \quad \text{اعتدال بهاری (Vernal Equinox)} \tag{12}$$

فاصله ی ِ زمانی ی ِ این پنج نقطه ی ِ متوالی تقریباً چنین است:

$$VS := S_{2005} - V_{2005} = 92.76\,\mathrm{d}, \tag{13}$$

$$SA := A_{2005} - S_{2005} = 93.65\,\mathrm{d}, \tag{14}$$

$$AW := W_{2005} - A_{2005} = 89.84\,\mathrm{d}, \tag{15}$$



شکل ۳: مدار ـِ زمین به دور ـِ خورشید بیضی است، البته نه به این کشیده‌گی (خروج‌ازمرکز ـِ این بیضی 0.4 است، امّا خروج‌ازمرکز ـِ مدار ـِ زمین 0.017 است). خورشید در F_1 است، P حضیض، و A اوج است. VE اعتدال ـِ بهاری، AE اعتدال ـِ پاییزی، SS انقلاب ـِ تابستانی، و WS انقلاب ـِ زمستانی است. در این شکل زمین در جهت ـِ مثبت ـِ مثلثاتی می‌گردد.

$$WV := V_{2006} - W_{2005} \;=\; 88.99\,\mathrm{d}. \tag{16}$$

علّت ـِ آن که این فاصله‌ها برابر نیستند این است که مدار ـِ زمین به دور ـِ خورشید بیضی است و بنا بر قانون ـِ دوم ـِ کپلر، سرعت ـِ زمین در نزدیکی‌ها یِ حضیض بیش‌تر است.

بگذارید نگاه ی به فاصله یِ اعتدال‌ها یِ بهاری یِ متوالی بیندازیم.

$$V_{2001} - V_{2000} \;=\; 365.2472\,\mathrm{d}, \tag{17}$$

$$V_{2002} - V_{2001} \;=\; 365.2396\,\mathrm{d}, \tag{18}$$

$$V_{2003} - V_{2002} \;=\; 365.2389\,\mathrm{d}, \tag{19}$$

$$V_{2004} - V_{2003} \;=\; 365.2423\,\mathrm{d}, \tag{20}$$

$$V_{2005} - V_{2004} \;=\; 365.2396\,\mathrm{d}, \tag{21}$$

$$V_{2006} - V_{2005} \;=\; 365.2445\,\mathrm{d}, \tag{22}$$

می‌بینیم که این فاصله‌ها، با دقت ـِ 0.01 d با هم برابر اند.

هر بار که زمین از نقطه یِ اعتدال ـِ بهاری می‌گذرد، می‌گوییم یک سال ـِ اعتدالی گذشت. طول ـِ

سال ِ اعتدالی، یعنی فاصله ی ِ زمانی ی ِ بین ِ اعتدال‌ها ی ِ بهاری ی ِ پیاپی ثابت نیست. متوسط ِ این فاصله‌ها سال ِ اعتدالی نام دارد.

$$\begin{aligned} \text{tropical year} &= \text{سال اعتدالی} \\ &= \text{بازه‌ی متوسط بین اعتدال‌ها ی بهاری} \\ &= 365.242\,\mathrm{d} = 1\,\mathrm{ty}. \end{aligned} \tag{23}$$

این تعریف ِ سال ِ اعتدالی، که برا ی ِ مقاصد ِ ما خوب است، در واقع آن چیز ی نیست که منجّمین سال ِ اعتدالی می‌نامند. برا ی ِ یک بحث ِ مفصل‌تر و دقیق رجوع کنید به مقاله ی ِ حیدری ملایری [6].

هم تقویم ِ شمسی ی ِ ما، و هم تقویم ِ میلادی، بر اساس ِ سال ِ اعتدالی اند. البته، اغلب گفته می‌شود که سال ِ خورشیدی برابر است با دوره ی ِ گردش ِ زمین به دور ِ خورشید. این درست نیست، دوره ی ِ گردش ِ زمین به دور ِ خورشید $365.2563\,\mathrm{d}$ است، در حال ی که سال ِ اعتدالی تقریباً 0.014 ِ روز، یعنی 20^{min} کم‌تر از دوره ی ِ گردش ِ زمین به دور ِ خورشید است. پیش از آن که راجع به علّت ِ این تفاوت صحبت کنیم، بهتر است ابتدا ببینیم دوره ی ِ حرکت ِ زمین به دور ِ خورشید دقیقاً چیست.

7 دوره ی ِ حرکت ِ مداری ی ِ زمین

از رو ی ِ زمین، می‌توان موضع ِ خورشید در آسمان را مشخص کرد. البته در روز که خورشید در آسمان است نمی‌توان ستاره‌ها ی ِ اطراف ِ خورشید را دید. برا ی ِ تعیین ِ جا ی ِ خورشید در آسمان، باید درست در نیمه‌شب، یعنی درست در زمانی که خورشید در نیمه ی ِ دیگر ِ صفحه ی ِ نصف‌النهاری ی ِ گذرنده از محل ِ رصد است، به جهت ِ خاص ی از آسمان (در صفحه ی ِ نصف‌النهاری) نگاه کرد. با تعیین ِ این نقطه، می‌توان فهمید که خورشید در این لحظه در کجا ی ِ آسمان است. فاصله ی ِ دو بار ِ پیاپی قرار گرفتن ِ خورشید در یک نقطه ی ِ خاص از آسمان همان دوره ی ِ حرکت ِ زمین به دور ِ خورشید است که سال ِ نجومی نام دارد.

$$\begin{aligned} \text{sidereal year} &= \text{سال نجومی} \\ &= \text{پریود حرکت مداری زمین} \\ &= 365.256\,\mathrm{d} = 1\,\mathrm{sy}. \end{aligned} \tag{24}$$

باید دقّت کرد که میان‌گین ـِ فاصله یِ زمانی یِ اعتدال‌ها یِ بهاری یِ پیاپی، حدود ـِ 20 دقیقه کم‌تر از دوره یِ حرکت ـِ مداری یِ زمین است. چرا؟

برا یِ فهمیدن ـِ علّت، بهتر است ابتدا ببینیم که چرا انتظار داریم این دو یک ی باشند. انتظار داریم این دو یک ی باشند، زیرا بردار ـِ سرعت ـِ زاویه‌ای یِ وضعی یِ زمین، در فضا، یعنی نسبت به ستاره‌ها یِ ثابت، ثابت است. اگر این بردارد، یعنی محور ـِ حرکت ـِ وضعی یِ زمین، با گذشت ـِ زمان تغییر کند، آن وقت نقاط ـِ اعتدال و انقلاب هم تغییر می‌کنند، زیرا زاویه یِ محور ـِ چرخش ـِ وضعی یِ زمین با بردار ـِ واصل ـِ مرکز ـِ خورشید به مرکز ـِ زمین است که این لحظه‌ها را تعیین می‌کند.

بردار ـِ سرعت ـِ زاویه‌ای یِ حرکت ـِ وضعی یِ زمین، درست مانند محور ـِ یک فرفره یِ متقارن ـِ چرخان، که رو یِ سطح ـِ میز قرار گرفته باشد، ثابت نیست: به آرامی پیش‌روی می‌کند. می‌گوییم به‌آرامی، که یعنی در مقایسه با خود ـِ $\omega_{\oplus}$، و می‌گوییم پیش‌روی، زیرا به این شکل است که انگار نُک ـِ بردار ـِ $\vec{\omega}$ رو یِ مخروط ی که محور ـِ آن بر صحفه یِ مداری یِ زمین عمود است، می‌گردد. دوره یِ این پیش‌روی تقریباً $26000\,\mathrm{y}$ است. به این ترتیب، در هر سال، این محور به اندازه یِ $2\pi/26000$ چرخیده. فرض کنید در لحظه یِ 0 محور ـِ زمین بر خط خورشید ـ زمین عمود باشد (لحظه یِ اعتدال ـِ بهاری)، لازم نیست زمین یک دور ـِ کامل به دور ـِ خورشید بگردد تا دوباره این دو خط بر هم عمود بشوند، زیرا در این مدّت محور ـِ زمین به اندازه یِ $2\pi/26000$ گشته. پس کافی است زمین به اندازه یِ $2\pi\,(1-1/26000)$ دور ـِ خورشید بگردد. زمین $365.25\times 86400 = 3.16\times 10^{7}\,\mathrm{s}$ طول می‌کشد تا یک دور دور ـِ خورشید بگردد، و $1/26000$ ـِ این زمان می‌شود تقریباً $1200\,\mathrm{s}$، یعنی $20\,\mathrm{min}$. بنا بر این، زمین تقریباً $20\,\mathrm{min}$ پیش از آن که یک دور ـِ کامل دور ـِ خورشید زده باشد، دوباره محور اش بر خط ـِ خورشید ـ زمین عمود می‌شود. به این ترتیب، فاصله یِ دو اعتدال ـِ بهاری یِ پیاپی تقریباً $20\,\mathrm{min}$ کم‌تر از دوره یِ گردش ـِ زمین به دور ـِ خورشید است.

8 فاصله یِ حضیض‌ها یِ متوالی

یک دوره یِ دیگر ـِ هم هست که با این دو فرق دارد: فاصله یِ بین ـِ دو بار قرار گرفتن ـِ مرکز ـِ جرم ـِ زمین و ماه در حضیض، یعنی در کم‌ترین فاصله از خورشید.

زمین و ماه در مجموع سیستم ی می‌سازند که مرکز ـِ جرم ـِ آن رو یِ بیضی ای، با خروج‌ازمرکز ـِ 0.017، به دور ـِ خورشید می‌گردد، و خورشید در کانون ـِ این بیضی است. این گزاره به شرط ی درست است که ۱) خورشید کاملاً کروی باشد؛ ۲) جز زمین و ماه جسم ـِ دیگر ی در منظومه یِ شمسی نباشد؛ ۳) گرانش ـِ نیوتنی مدل ـِ درست ی برا یِ گرانش باشد؛ ۴) کشند ـِ خورشید تأثیر ـِ چندان ی بر مدار ـِ

زمین نداشته باشد. این فرض‌ها، جز کروی بودن ِ خورشید، تقریباً همه غلط اند. مشتری، مریخ، و ناهید بر مدار ِ سیستم ِ زمین ـ ماه به دور ِ خورشید تأثیر می‌گذارند. گرانش ِ نیوتنی کاملاً درست نیست، تصحیح‌ها ی ِ نسبیّتِ‌عام ی تأثیر دارند. کشند ِ خورشید باعث ِ اتلاف ِ انرژی در درون ِ زمین می‌شود، و این باعث می‌شود فاصله ی ِ زمین تا خورشید به آهسته‌گی زیاد شود. البته، این اثرها همه‌گی بسیار کوچک اند. با چشم‌پوشی از این اثرها، می‌توان گفت که مرکز ِ جرم ِ زمین و ماه رو ی ِ یک بیضی دور ِ خورشید می‌گردد.

نقطه ای از این بیضی، مثلاً حضیض ِ آن را در نظر بگیریم. مرکز ِ جرم ِ زمین و ماه تقریباً هر $365.260\,\mathrm{d}$ یک بار از این حضیض می‌گذرد، ضمناً واضح است که فاصله ی ِ زمانی ی ِ بین ِ حضیض و اوج باید $182.630\,\mathrm{d}$ باشد. اگر مدار ِ زمین به دور ِ خورشید دقیقاً بیضی باشد، این پریود باید همان سال ِ نجومی باشد. امّا، به دلیل ِ اختلال‌ها یی که باعث می‌شود نیرو ی ِ وارد بر زمین فقط نیرو ی ِ گرانش ِ خورشید (متناسب با $1/r^2$) نباشد، مدار ِ زمین به دور ِ خورشید بیضی ای است که نیم‌قطر ِ بزرگ اش به آرامی در فضا می‌چرخد ـــ در همان جهت ی که زمین به دور ِ خورشید می‌گردد (شکل ِ ۵). این حرکت پیش‌روی ی ِ حضیض ِ سیّاره (در این مورد زمین) نام دارد. چندین عامل ِ مختلف باعث ِ این پیش‌روی می‌شوند: ۱) اثر ِ سایر ِ سیّاره‌ها، ۲) تصحیح ِ نسبیّتِ‌عامّی ی ِ قانون ِ گرانش، ۳) پخ بودن ِ ستاره (که در مورد ِ خورشید قابل ِ اغماض است).

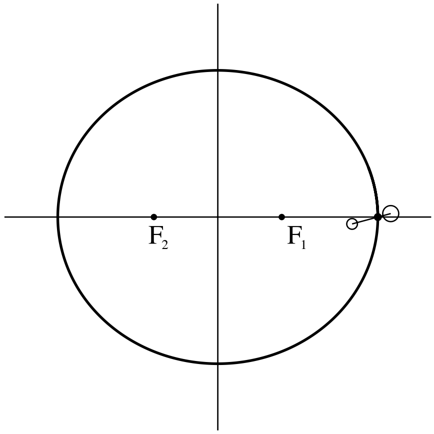
متوسط ِ فاصله ی ِ زمانی ی ِ بین ِ حضیض‌ها ی ِ پیاپی ی ِ دست‌گاه ِ زمین ـ ماه به دور ِ خورشید سال ِ نابه‌هنجار نام دارد.

$$\begin{aligned}\text{anomalistic year} &= \text{سال نابه‌هنجار}\\ &= \text{بازه‌ی بین حضیض‌ها ی متوالی ی مرکزجرم زمین و ماه}\\ &= 365.260\,\mathrm{d} = 1\,\mathrm{ay}. \end{aligned} \tag{25}$$

دقّت کنید که سال ِ نابه‌هنجار $0.004\,\mathrm{d} = 346\,\mathrm{s}$ بیش‌تر از دوره ی ِ حرکت ِ مداری ی ِ زمین (یعنی سال ِ نجومی) است. در این مدّت زمین

$$0.004 \times \frac{360}{365.256} \simeq 3.9 \times 10^{-3}\,\mathrm{deg} \tag{26}$$

بیش‌تر به دور ِ خورشید گشته است. در مدّت ِ 100 سال این زاویه می‌شود $0.4^\circ = 1400\,\mathrm{arc\,sec}$. پس قطر ِ بزرگ ِ بیضی ی ِ مدار ِ زمین به دور ِ خورشید، در هر قرن $1400\,\mathrm{arc\,sec}$ پیش‌روی می‌کند. (از این پیش‌روی، سهم ِ تصحیح ِ نسبیّت ِ عام تنها $4.2\,\mathrm{arc\,sec}$ است!)

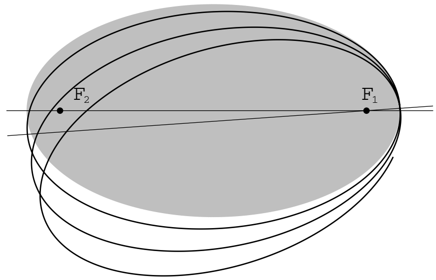


شکل ۴: مدار ـ زمین به دور ـ خورشید بیضی است. خورشید در F_1 است. نقطه ی ـ سیاه ـ رو ی ـ بیضی، مرکز ـ جرم ـ زمین و ماه است. زمین و ماه با دو دایره ی ـ خالی کشیده شده اند (زمین بزرگ‌تر است). این شکل نشان می‌دهد که اگر مرکز ـ جرم ـ زمین ـ ماه در حضیض باشد، ممکن است فاصله ی ـ زمین از خورشید کمینه نباشد. نسبت‌ها ی ـ این شکل هیچ تناسب ی با نسبت‌ها ی ـ واقعی ندارند.

اکنون باز به منزل‌گاه ـ رصدخانه ی ـ نیرو ی ـ دریایی ی ـ آمریکا نگاه کنیم. آن طور که در این منزل‌گاه آمده در سال ـ 2005، زمین در MJD 53372.54 (برابر با دوم ـ ژانویه ی ـ 2005، یعنی 13 ـ دی ـ 1383)، در حضیض ـ مدار اش بوده، و در MJD 53556.71 (برابر با 5 ـ ژوییه ی ـ 2005، یعنی 14 ـ تیر ـ 1384) در اوج ـ مدار اش بوده. فاصله ی ـ زمانی ی ـ این دو 184.17 d است، که دو برابر ـ آن می‌شود 368.34 روز! فاصله ی ـ زمانی ی ـ حضیض ـ 2006 (MJD 53740.13) و حضیض ـ سال ـ قبل اش 367.59 روز است! با رجوع به جدول، معلوم می‌شود که فاصله ی ـ زمانی ی ـ بین ـ حضیض‌ها ی ـ متوالی، اوّلاً ثابت نیست، ثانیاً افت‌وخیزها یی از مرتبه ی ـ روز دارد! چرا؟ برا ی ـ درک ـ علّت ـ این پدیده، بهتر است ابتدا از خود بپرسیم: آیا وقت ی مرکز ـ جرم ـ زمین و ماه در حضیض است، فاصله ی ـ زمین از خورشید کمینه است؟ و پاسخ این است: نه! (شکل ـ ۴ را ببینید). بسته‌گی دارد به وضعیّت ـ نسبی ی ـ زمین و ماه و خورشید، یعنی به فاز ـ ماه. حال باید توجه کنیم که فاز ـ ماه با دوره ی ـ 29.53 روز تغییر می‌کند، و داریم

$$365.25 \div 29.53 = 12.37 \tag{27}$$

یعنی پس از یک دور گردش ـ مرکز ـ جرم ـ زمین و ماه به دور ـ خورشید، فاز ـ ماه به اندازه ی ـ 0.37 ـ دور، یعنی $133.2°$ تغییر کرده است. بنا بر این نباید انتظار داشته باشیم که کمینه ی ـ فاصله ی ـ زمین از



شکل ۵: بیضی ای که تو یش خاکستری شده بیضی یِ کِپلِری است، که F_1 و F_2 دو کانون ِ آن هستند. خورشید در F_1 است. مدار ِ مرکز ِ جرم ِ زمین و ماه به دور ِ خورشید در واقع این بیضی یِ کپلری نیست، بیضی ای است که قطر ِ بزرگ ِ آن به آرامی، در همان جهت ی که زمین به دور ِ خورشید می گردد، پیش‌روی می کند. به این ترتیب، بازه یِ زمانی یِ بین ِ دو حضیض (یا دو اوج) ِ متوالی، که سال ِ نابه‌هنجار نام دارد، ay، برابر نیست با دوره یِ تناوب ِ حرکت ِ زمین به دور ِ خورشید، یعنی سال ِ نجومی، sy.

خورشید با دوره یِ 365.25 روز تکرار شود. امّا، می‌توانیم انتظار داشته باشیم که وضعیت ِ زمین و ماه و خورشید در حضیض، با دوره یِ 27 سال، با دقّت ِ خوب ی تکرار شود، زیرا

$$27 \times 365.25 = 9861.75 = 333.\mathbf{96} \times 29.53. \qquad (28)$$

اگر به جدول ِ نجومی رجوع کنیم، می‌بینیم

$$\text{Perihelion} \quad 1992.01.03 \quad 15:00 \qquad \text{MJD}\,48625.1 \qquad (29)$$

$$\text{Perihelion} \quad 2019.01.03 \quad 05:00 \qquad \text{MJD}\,58486.7 \qquad (30)$$

این فاصله 9861.6 روز است، که اگر آن را بر 27 تقسیم کنیم می‌شود 365.245 روز!

9 کبیسه‌ها یِ سال‌ها یِ اعتدالی یِ خورشیدی

تعداد ِ روزها یِ هر سال باید عدد ی صحیح باشد. چون فاصله یِ بین ِ دو اعتدال ِ بهاری تقریباً 365.24 روز است، تقریباً هر 4 سال یک بار باید یک سال را 366 روزه به حساب آورد، در غیر ِ این صورت، روز ی که اعتدال ِ بهاری در آن روی می‌دهد ثابت نمی‌ماند. چون فاصله یِ بین ِ دو

اعتدال ِ بهاری 365.25 روز نیست، این توالی نمی‌تواند به شکل ِ ساده ی ِ هر چهار سال یک بار باشد. باید الگوریتم ی داشته باشیم که تعیین کند کدام سال‌ها کبیسه اند. در دنیا دو الگوریتم به کار می‌رود؛ الگوریتم ِ تقویم ِ میلادی، و الگوریتم ِ تقویم ِ ایرانی.

الگوریتم ِ تقویم ِ ایرانی: در این الگوریتم، لحظه ی ِ اعتدال ِ بهاری تعیین می‌شود، و اگر این لحظه، به افق ِ تهران، پیش از ظهر بود، آن روز نوروز، یعنی اول فروردین است، اگر این لحظه، به افق ِ تهران، پس از ظهر بود، آن روز نوروز نیست، پس باید آخرین روز ِ اسفند باشد. به این ترتیب است که تقریباً هر چهار سال یک بار اسفند 30 روزه می‌شود. البته توالی دقیقاً هر چهار سال یک بار نخواهد بود. یک قاعده ی ِ ساده، که بین ِ سال‌ها ی ِ 1210 تا 1635 شمسی کار می‌کند [7] این است: اگر باقی‌مانده ی ِ تقسیم ِ سال بر 33 یک ی از عددها ی ِ 1، 5، 9، 13، 17، 22، 26، و 30 بود، آن سال کبیسه است. مثلاً، سال‌ها ی ِ زیر کبیسه اند:

1354	1358	1362	1366	1370	**1375**	1379	1383
1387	1391	1395	1399	1403	**1408**	1412	1416

دقّت کنید که بین ِ ستون ِ پنجم و ستون ِ ششم 4 سال فاصله است، در حال ی که بین ِ بقیه ی ِ ستون‌ها 3 سال فاصله است.

الگوریتم ِ تقویم ِ میلادی: در این الگوریتم، یک جدول ی داده شده که کدام سال‌ها را کبیسه حساب کنید. جدول این است: اگر عدد ِ سال بر 4 بخش‌پذیر باشد، آن سال کبیسه است، مگر آن که دو رقم ِ سمت ِ راست ِ آن 00 باشد، که در این صورت اگر عدد ِ سال بر 400 بخش‌پذیر باشد کبیسه است، و اگر بخش‌پذیر نباشد کبیسه نیست. به این ترتیب، سال ِ 2000 میلادی کبیسه بود، اما سال ِ 1900 کبیسه نبوده است. به ساده‌گی می‌توان دید که در یک دوره ی ِ 400 ساله، تعداد ِ سال‌ها ی ِ کبیسه $97 = 1 + 4 \times 24$ بوده، که یعنی تعداد ِ روزها $144097 = 97 + 365 \times 400$ بوده، و این یعنی طول ِ میان‌گین ِ سال ِ میلادی هست $365.2425 = 400 \div 144097$ که با تقریب ِ بسیار خوب ی همان طول ِ سال ِ اعتدالی است.

الگوریتم تقویم ِ ایرانی دو اشکال دارد. اوّل این که وابسته به افق ِ تهران است، و آن را نمی‌توان جهانی کرد، مگر آن که همه به افق ِ تهران رأی بدهند. در واقع، اگر مردم ِ تاجیکستان، یا افغانستان، بخواهند از تقویم ی شبیه به تقویم ِ ما استفاده کنند، ممکن است بگویند «چرا به افق ِ تهران حساب کنیم؟ چرا به افق ِ بلخ، یا سمرقند، یا نیشابور، یا هر جا ی ِ دیگر ی حساب نکنیم؟» اشکال ِ دوّم این است که برا ی ِ تعیین ِ سال‌ها ی ِ کبیسه باید لحظه‌ها ی ِ اعتدال ِ بهاری را دقیقاً تعیین کنیم. امّا الگوریتم ِ تقویم ِ میلادی بسیار ساده است. به راحت ی می‌توان تعیین کرد که آیا سال ِ 2124 کبیسه هست یا نه.

فرق داشتن ِ این دو الگوریتم منجر به این می‌شود که تطبیق ِ تقویم ِ ایرانی بر تقویم ِ میلادی

گاه ی تغییر کند. مثلاً، بنا بر الگوریتم ِ میلادی، سال ِ 2000 کبیسه نبود (زیرا بر 400 بخش‌پذیر است). به این ترتیب پس از سال ِ 1996، نخستین کبیسه ی ِ میلادی 8 سال بعد در سال ِ 2004 بود. امّا در این فاصله کبیسه‌ها ی ِ ایرانی عبارت بودند از 1375، 1379، و 1383 .

10 تبدیل ِ تاریخ‌ها

تبدیل ِ تاریخ‌ها ی ِ میلادی و هجری ی ِ شمسی، نسبتاً ساده است، زیرا نسبت به هم تقریباً بی‌تغییر اند. البته، به دو علّت، در بعض ی از مواقع ± 1 روز تغییر می‌کنند. علّت ِ اوّل این که روز ِ اضافی در سال ِ کبیسه ی ِ میلادی 29 ِ فوریه است، که در سال ِ 2004 برابر بود با 10 ِ اسفند ِ 1382 . امّا در تقویم ِ ایرانی، روز ِ اضافی روز ِ 30 ی ِ اسفند است. عامل ِ دوّم ِ به هم خوردن ِ تطابق ِ معمول، یکی نبودن ِ سال‌ها ی ِ کبیسه است. اگر بخواهیم تاریخ‌ها ی ِ میلادی و هجری ی ِ شمسی را به دقّت به هم تبدیل کنیم، باید به جدول ِ سال‌ها ی ِ کبیسه رجوع کنیم.

امّا تبدیل ِ تاریخ‌ها ی ِ هجری ی ِ قمری به شمسی (یا میلادی) موضوع ِ پیچیده‌تر ی است. فرمول‌ها و جدول‌ها ی ِ متعدد ی برا ی ِ این کار هست. امّا، تنها با دو عدد، و یک تقویم می‌توان با دقّت ِ ± 2 روز تاریخ‌ها را تبدیل کرد. دو عدد ی که لازم داریم این‌ها است: میان‌گین ِ طول ِ سال ِ اعتدالی، $365.242\,\mathrm{d}$، و میان‌گین ِ طول ِ ماه ِ قمری، که $29.053056\,\mathrm{d}$ است.

خوب است با یک مثال موضوع را روشن کنیم. دهم محرم ِ سال ِ 1427 ه.ق.، بنا بر آن چه در تقویم‌ها نوشته شده، برابر است با پنج‌شنبه 20 ِ بهمن ِ 1384 ه.ش (AD2006/02/09). از دهم ِ محرم ِ سال ِ 61 ه.ق. تا این تاریخ دقیقاً 1366 سال ِ قمری گذشته، یعنی $1366 \times 12 = 16392$ ماه ِ قمری، که برابر است با

$$16392 \times 29.5306 = 484065.6\,\mathrm{d}. \qquad (31)$$

اگر این عدد را بر 365.242 تقسیم کنیم، می‌بینیم که فاصله ی ِ زمانی ی ِ بین ِ این دو تاریخ برابر است با $1325.33\,\mathrm{ty}$. یعنی $0.33\,\mathrm{ty}$ بیش از 1325 سال ِ کامل ِ اعتدالی. امّا

$$0.33 \times 365.242 = 120.5\,\mathrm{d}. \qquad (32)$$

به این ترتیب، دهم ِ محرم ِ سال ِ 61 ه.ق.، با تقریب ِ خوب ی، 120 ± 2 روز پیش از 20 ِ بهمن ِ آن سال بوده، که می‌شود روز ی بین ِ 18 تا 22 ی ِ مهر. در این جا نایقینی در عدد ِ به دست آمده را ± 2 روز گرفته ایم، زیرا ممکن است در فاصله ی ِ زمانی ی ِ 1325 ساله، یک سال ِ کبیسه بیش‌تر یا کم‌تر از آن چه حساب می‌کنیم بوده باشد.

گاه ی می‌توان این نایقینی را با اطلاع ی دیگر کم کرد. مثلاً، در مورد ِ تاریخ ی که حساب کردیم، با یک تقسیم ِ ساده می‌بینیم

$$484065 = 1 \bmod 7 \tag{33}$$

که یعنی اگر اختلاف ِ این دو روز دقیقاً 484065 روز باشد، دهم ِ محرم ِ سال ِ 61 باید چهارشنبه بوده باشد (زیرا دهم ِ محرم ِ سال ِ 1427 پنج‌شنبه است). پس اگر چندشنبه بودن ِ یک روی‌داد ثبت شده باشد، می‌توان نایقینی را به صفر رساند.

بنا بر جدول ِ ووستِنفِلد و مالِر، دهم ِ محرم ِ سال ِ 61 ه.ق.، برابر بوده با چهارشنبه 10 ِ اکتبر ِ 680 م. دهم ِ اکتبر، امسال 18 ِ مهر بوده، امّا باید دقّت کرد که سال ِ میلادی دقیقاً همان سال ِ اعتدالی نیست (زیرا کبیسه‌ها با قانون ِ خاص ی شمرده می‌شوند)، و یک بار هم اصلاح شده.

11 تاریخ ِ ژولیانی، و تاریخ ِ ژولیانی ی ِ تعدیل‌یافته

از ساعت ِ 23 : 5 ی ِ روز ِ 1323/4/12 تا ساعت ِ 23 : 12 ی ِ روز ِ 1383/5/13 دقیقاً چند ساعت است؟ اگر بخواهید این زمان را حساب کنید، می‌بینید که باید دقیقاً بدانید که کدام سال‌ها کبیسه بوده اند. ضمناً، باید بدانید که در سال ِ 1323 ساعت‌ها را در تابستان عقب نمی‌کشیده اند، در حالی که در سال ِ 1384 ساعت‌ها در تابستان یک ساعت را به عقب کشیده بودند. ضمناً، واضح است که باید دید در این دو زمان ی که نوشته شده، ساعت را به وقت ِ تهران ثبت کرده اند، یا به وقت ِ مثلاً پاریس. منجم‌ها که با چنین محاسبه‌ها یی به کرات سر و کار دارند، راه ِ بخردانه ای یافته اند: به تاریخ‌ها ی ِ متداول کار ی نداشته باشیم، روزها را پیاپی بشماریم. به این ترتیب که مثلاً می‌گویند اعتدال ِ بهاری ی ِ سال ِ 2005 در لحظه ی ِ MJD 53450.0229 بوده، و لحظه ی ِ اعتدال ِ بهاری ی ِ سال ِ 2006 در لحظه ی ِ MJD 83815.2674 خواهد بود. واحد ِ این دو عدد «روز ِ متوسط ِ خورشیدی» یعنی 86400 s است. به این ترتیب، تفاضل ِ این دو می‌شود 365.2445 روز که یعنی 31 557 124 s . مبداء ِ این تاریخ، یعنی MJD 0، برابر است با 17 نوامبر ِ 1858، ساعت ِ 00 : 00 (یعنی نیمه‌شب) به وقت ِ گرنیچ.

MJD مخفف ِ Modified Julian Date است. یک Julian Date (با مخفف ِ JD) هم به کار می‌رود. بنا به تعریف

$$MJD = JD - 2\,400\,000.5 \tag{34}$$

نکته ای که باید به آن دقّت کرد این است که اگر MJD یک عدد ِ درست باشد، یعنی درست نیمه‌شب، به وقت ِ گرنیچ، در حال ی که اگر JD یک عدد ِ درست باشد، یعنی درست ساعت ِ $12:00$ ِ ظهر به وقت ِ گرنیچ.

12 مراجع

دینامیک ِ زمین، به عنوان ِ یک فرفره، در بسیار ی از کتاب‌ها ی ِ مکانیک هست، از جمله کتاب ِ گلدستین [3] و کتاب ِ سایمون [4]. در باره‌ی تعریف ِ زمان، یعنی تعریف ِ ثانیه، TAI، و UT، بهترین منبع ی که من می‌شناسم [5] است. مقاله ی ِ حیدری ملایری [6]، که به سه زبان در منزل‌گاه ِ ایشان موجود است، متن ِ بسیار دقیق ی است در باره ی ِ تقویم ِ خورشیدی، که آن را یک منجّم حرفه‌ای نوشته (و قرار است در مجلهٔ فیزیک چاپ شود). مقاله ی ِ بُرکُفسکی [7]، که رو ی ِ اینترنت هم هست، حاوی ی ِ اطلاعات ِ جالبی است، از جمله یک برنامه به زبان ِ فُرترن، برا ی ِ تعیین ِ سال‌ها ی ِ کبیسه ی ِ تقویم ِ ایرانی، و یک جدول از لحظه ی ِ اعتدال ِ بهاری، به افق ِ تهران، برا ی ِ سال‌ها ی ِ 1900 تا 2200 (میلادی). در این مقاله ادعا شده که الگوریتم ی که در متن گفتیم (تقسیم بر 33) بین ِ سال‌ها ی ِ 1799 تا 2256 ِ میلادی معتبر است).

[1] فردیناند ووستنفلد، ادوارد مالر: تقویم تطبیقی هزار و پانصد سالهٔ هجری قمری و میلادی، فرهنگسرای نیاوران، تهران، ۱۳۶۰

[2] US Naval Observatory's Homepage, Earth's Seasons—Equinoxes, Solstices, Perihelion, and Aphelion 1992-2020,
`http://aa.usno.navy.mil/data/docs/EarthSeasons.html`

[3] H. Goldstein: *Classical Mechanics*, 2$^{\mathrm{ed}}$ edition, Addison-Wesley, 1980

[4] K. R. Symon, , Addison-Wesley, 1974

[5] Claude Audoin, Bernard Guinot, *The Measurement of TIME, Time, Frequency and the Atomic Clock*, Cambridge, 2001.

[6] M. Heydari-Malayeri: *A concise review of the Iranian calendar*,
`http://wwwusr2.obspm.fr/~heydari/divers/ir-cal-eng.pdf`

[7] Kazimierz M. Borkowski: "The Persian calendar for 3000 years", *Earth, Moon and Planets*, vol. 74 (1996), no. 3, 223-230.
`http://www.astro.uni.torun.pl/~kb/Papers/EMP/PersianC-EMP.htm`

در §14.5.2 دیدیم که وقت ی کره خیل ی کوچک‌تر از طولِ‌موج باشد (پراکنده‌گی یِ ریلی)، فقط باید نخستین موج ِ پاره‌ای یِ الکتریکی را در نظر گرفت. در این صورت دامنه یِ موج ِ پراکنده با $1/\lambda^2$ متناسب است، پس کل ِ پراکنده‌گی با عکس ِ توان ِ چهارم ِ طولِ‌موج متناسب است. اگر جمله‌ها یِ بعدی را هم که به شعاع و ثابت‌ها یِ جنس ِ مادّه بسته‌گی دارند در نظر بگیریم، پراکنده‌گی یِ کل تابع ِ بسیار پیچیده ای از طولِ‌موج می‌شود که ویژه‌گی‌ها یِ انتخابی دارد.[†] مثلاً در مورد ِ طلا، حتّا یک کره یِ بسیار کوچک بیشینه ای نزدیک ِ $\lambda = 5500$ Å می‌دهد.

[†] یک مثال ِ جالب ِ پراکنده‌گی یِ انتخابی پدیده ای بود که در سپتامبر ِ 1950 در بخش ِ بزرگ ی از اروپا دیده شد: خورشید (و ماه) کاملاً آبی دیده شد. از سنجش‌ها یِ طیف‌نگاشتی یِ خورشید ِ «آبی» و خورشید عادّی منحنی یِ خاموشی یِ لایه ای که باعث ِ این پدیده شده بود مشخص شد، و معلوم شد که رنگ ِ آبی معلول ِ پراکنده‌گی یِ انتخابی از دود بوده است، دود ی که احتمالاً شامل ِ قطره‌ها یِ روغن ی بوده است که بسیار هم‌اندازه بوده اند. این دود را بادها یِ لایه‌ها یِ بالایی یِ جو از آتش‌سوزی یِ جنگل‌ها یِ آلبِرتا آورده بودند [نگاه کنید به R. Wilson, *Mon. Not. Roy. Astr. Soc*, **111** (1951), 478.]

M. Born, E. Wolf, *Principles of Optics*, 7^{th} ed, Cambridge, 1999, p. 785.