



آشنایی با تاریخچه، طراحی و ساخت ساعت‌های آفتابی^۱

جی. ال. برگرن^۲، دانشگاه سیمون فریزر^۳ (کانادا)

ترجمهٔ مقداد قاری و مهدیه گل‌رنگی^۴

اگر بینی‌تان را به سوی خورشید بگیرید و دهانتان را خوب باز کنید، آنگاه زمان روز را به هر رهگذری نشان خواهید داد.

نقل از گلچین ادب یونان
[۲، ص ۳]

مقدمه

ساعت آفتابی یکی از کهن‌ترین ابزارهای بشر برای نشان دادن زمان در طول روز است. قدیمی‌ترین ساعت‌های موجود، در مصر ساخته شده‌اند. در آن‌جا ساعت‌هایی از قرن پانزدهم پیش از میلاد می‌یابیم که شامل قطعهٔ عمودی کوتاهی (به نام شاخص)^۵ از سنگ پرداخت شده در انتهای خط‌کش سنگی مدرجی برای ساعت‌های روز است [ص ۵۹]. وقتی این وسیله چنان قرار گیرد که شاخص آن رو به خورشید باشد و سایه‌اش روی خط‌کش بیفتد، انتهای سایه طبق یک طرح حسابی تقریبی ساعت روز را نشان می‌دهد.

نخستین کسانی که روش‌های دقیق استفاده از سایه برای تعیین زمان را یافتند، یونانیان باستان

^۱ این مقاله ترجمهٔ فصلی است با عنوان Sundials: An Introduction to Their History, Design and Construction از کتاب *Hands on History, A Resource for Teaching Mathematics* که از سوی انجمن ریاضی آمریکا منتشر شده است.

^۲ J. L. Berggren

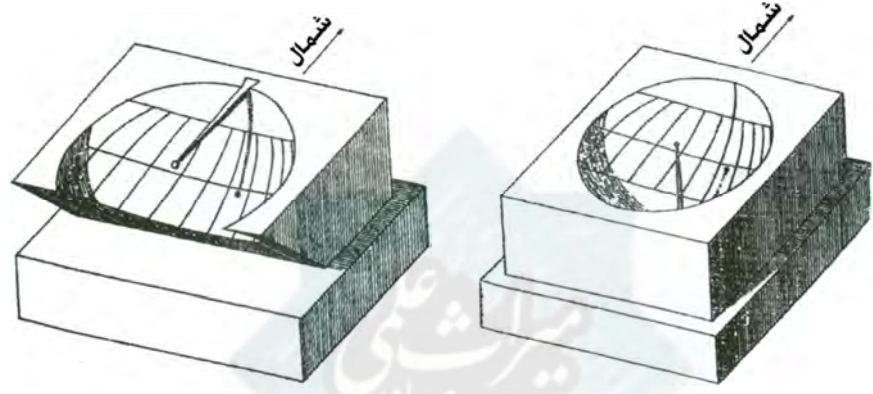
^۳ Simon Fraser University

^۴ خانهٔ ریاضیات اصفهان.

meghdadghari@gmail.com, mgolranghi@gmail.com

^۵ این‌جا شاخص (در یونانی gnomon) یک شیء عمودی، مانند قطعه یا میله‌ای است که به‌ویژه برای تعیین سایه نصب می‌شود.

بودند، که هندسه و الگویی هندسی از کیهان را برای ساخت ساعت‌های آفتابی به کار بردند.^۶ آریستارخوس ساموسی^۷ ساعتی آفتابی به نام «جام» یا «نیم‌کره» اختراع کرد، شامل بلوکی از سنگ که نیم‌کره‌ای از بالای آن درآورده شده است. از لبه بالایی نیم‌کره، میله‌ای باریک به سمت مرکز آن کشیده شده است. وقتی خورشید می‌تابد (که اغلب در یونان چنین است!) با گذر خورشید در نیم‌کره آسمان، نوک سایه میله از میان شبکه‌ای از خطوط روی نیم‌کره در پایین حرکت می‌کند و زمان را نشان می‌دهد. بروسوس کلدانی^۸ این ساعت را با بریدن بخشی از نیم‌کره که در جنوب مسیر نوک سایه در انقلاب تابستانی قرار دارد اصلاح کرد^۹ (شکل‌های ۱-الف و ۱-ب ساعت جامی اصلی و نمونه بریده شده بروسوس را نشان می‌دهند).



شکل ۱-ب

شکل ۱-الف

ساعت آفتابی نیم‌کره‌ای به روشنی نشان می‌دهد که طراحی ساعت آفتابی مبتنی بر تصویری ریاضی از سطح نیم‌کره مرئی [آسمان] بر سطحی دیگر است. در این حالات سطح تصویر نیم‌کره است، اما یونانی‌ها ساعت‌هایی هم طراحی کردند که در آن‌ها خطوط ساعت روی سطوح مخروطی، استوانه، کره و صفحه مسطح کشیده می‌شوند.^{۱۰}

^۶ برای اطلاعات بیشتر درباره ساعت‌های آفتابی یونانی و رومی [۲] را ببینید.

^۷ Aristarchus of Samos

ستاره‌شناسی یونانی که بیش‌تر به دلیل فرضیه کیهانی خورشید مرکزی‌اش مشهور است.

^۸ Berosus the Chaldean

^۹ بروسوس در حوالی ۲۷۰ پیش از میلاد در جزیره کوس در دریای اژه کار می‌کرد. این که او و آریستارخوس هم عصر بودند، مبتنی بر این دو گزارش از ساعت‌های آفتابی اولیه در یونان باستان است. این که ساعت بروسوس اصلاحی از ساعت آریستارخوس بود، نه یک اختراع مستقل، پنداشت من است. (مقاله نهم از کتاب معماری ویتروویوس (Vitruvius) منیع ما در این مورد است، او نام هر دو را به عنوان مخترع ساعت‌ها ذکر می‌کند).

^{۱۰} برای دیدن تصاویر برخی از صفحه‌های مدرج مخروطی، کروی و مسطح [۲، ۲۳۱ (مخروطی)؛ ۳۷۶-۳۷۸ (کروی)؛ ۳۳۰ (مسطح)] را ببینید. [۲، ۵۶] همچنین به پنج ساعت آفتابی استوانه‌ای با منشأ رومی اشاره می‌کند.

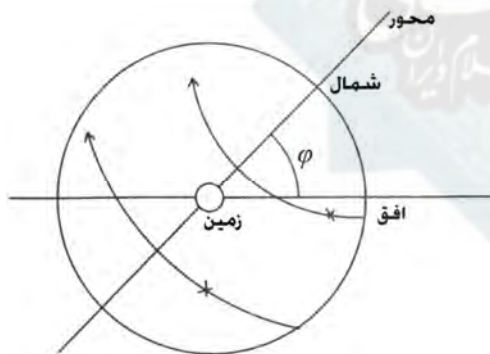
ساعت‌های آفتابی یونانی با نمونه‌های امروزی آن‌ها سه فرق دارند: (۱) زمان را با مفهومی به نام «ساعت زمانی» بیان می‌کنند، که مدت زمانی برابر با یک دوازدهم مدت روشنایی هر روز مفروض است.^{۱۱} (۲) برخلاف شاخص‌های امروزی که به سمت قطب شمال آسمان هستند، شاخص‌های آن‌ها افقی یا عمودی است. (۳) زمان را با موقعیت **نوک سایه** شاخص، نه **لبه سایه** آن، تعیین می‌کنند.

نظریه یونانی‌ها درباره کیهان

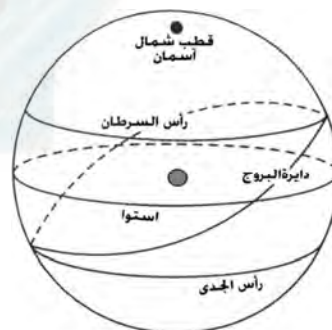
چون نظریه کیهانی یونانیان باستان حتی امروزه ابزار آموزشی مفیدی برای دانش‌آموزان است تا به کمک آن دریابند که ساعت آفتابی چگونه کار می‌کند، این نظریه را به اختصار در این‌جا می‌آوریم.^{۱۲} منجمان یونانی اعتقاد داشتند که جهان یا کیهان یک کره بسیار بزرگ اما متناهی است.^{۱۳} که هر روز یک بار حول محوری می‌چرخد که از قطب‌های شمال و جنوب آسمان می‌گذرد و زمین در مرکز آن ساکن است (به رنگ خاکستری در شکل ۲) و مرکزش منطبق بر مرکز کیهان است (سطح کره کیهان را به اختصار «کره آسمان» می‌نامیم).

زمین را نیز یک کره می‌دانستند، اما در مقایسه با کره کیهان آن‌قدر کوچک که به نسبت مانند نقطه‌ای در مقابل کره بزرگ‌تر بود.^{۱۴} نتیجه این نگرش را «قضیه اساسی ساعت‌های آفتابی» می‌نامیم:

در طراحی ساعت‌های آفتابی، هر نقطه از زمین را می‌توان مرکز کیهان در نظر گرفت.



شکل ۳



شکل ۲

عقیده بر این بود که کیهان هر روز به طور یکنواخت حول محوری که قطب‌های شمال و جنوب

^{۱۱} مدت یک ساعت زمانی نه تنها به عرض جغرافیایی محل بلکه به زمان (فصل سال) نیز وابسته است، و به همین جهت «زمانی» نامیده می‌شود.

^{۱۲} برای بحثی پیرامون کیهان شناسی وابسته به ساعت‌های آفتابی از نقطه نظر خورشیدمرکزی [۵، ص ۱۸-۳۱] را ببینید.

^{۱۳} تصور می‌کردند که ستارگان روی سطح این کره قرار دارند و با چرخش روزانه کیهان، به چرخش درمی‌آیند.

^{۱۴} برای مثال، مجسطی بطلمیوس را ببینید.



آسمان را به هم متصل می‌کند، به سوی غرب می‌چرخد^{۱۵} (از این پس آن را «محور قطبی» می‌نامیم). کیهان با گردش خود، خورشید، ماه و ستارگان را در اطراف زمین به حرکت درمی‌آورد. ضمناً خورشید چنان دور است که می‌توان فرض کرد تمام شعاع‌های نور آن در هر لحظه به طور موازی به زمین می‌رسند.

در این مدل، سه دایره عظیمه که همه آن‌ها روی کره آسمانی در نظر گرفته می‌شوند مهم هستند (یونانیان، دایره‌ها را سطوحی به شمار می‌آوردند و فصل مشترک این دایره‌ها را با زمین در مرکز کیهان، دایره‌هایی به همان نام روی زمین می‌خواندند).

یکی از این دایره‌ها، استواست (شکل ۲ را ببینید)، که دایره عظیمه‌ای روی کره آسمان است. این دایره که عمود بر محور قطبی است، نیمکره شمالی را از جنوبی جدا می‌کند.

افق هر محل روی زمین (بخشی از آن به صورت خط راست در شکل ۳ دیده می‌شود) فصل مشترک کره آسمان با صفحه مماس بر کره زمین در آن محل است. افق، بخشی از کیهان را که در آن محل قابل رؤیت است، از بخش رؤیت‌ناپذیر جدا می‌کند. طبق قضیه اساسی ساعت‌های آفتابی می‌توانیم فرض کنیم که صفحه افق از مرکز کیهان می‌گذرد و در نتیجه افق، دایره عظیمه‌ای بر کره آسمان است^{۱۶}.

این دایره صفحه ثابتی است که با استوا زاویه‌ای به اندازه متمم عرض جغرافیایی ناظر می‌سازد. پس چنان که در شکل ۳ می‌بینیم، زاویه بین محور قطبی [که بر صفحه استوا عمود است] و افق برابر با عرض جغرافیایی محل است (که با ϕ نشان داده می‌شود)، و این نکته مهمی برای سازندگان ساعت‌های آفتابی است.

سومین دایره عظیمه مرتبط با طراحی ساعت‌های آفتابی، نصف‌النهار محلی است، که از هر دو قطب و نقطه‌ای که مستقیماً بالای سر ناظر است و «سمت‌الرأس» نام دارد، می‌گذرد^{۱۷} (فصل مشترک نصف‌النهار با زمین امروزه در جغرافیا «نصف‌النهار محلی» خوانده می‌شود). دایره نصف‌النهار بر افق و استوا عمود است و برخوردگاه‌های آن با زمین در هر محل، شمال و جنوب (حقیقی) محلی را نشان می‌دهد. خورشید هر روز هنگام عبور از نصف‌النهار محلی به بیشترین ارتفاع خود می‌رسد^{۱۸} و برای ناظری که در شمال مدار رأس السرطان باشد، دقیقاً در سمت جنوب است.

علاوه بر این دایره‌های عظیمه، دایره‌های دیگری نیز اهمیت دارند. در طول سال، خورشید یک بار حول کره آسمان می‌چرخد و مسیر سالیانه‌اش بر روی آن «دایره البروج» نام دارد. این دایره در شکل ۲ به صورت دایره‌های کج نسبت به استوا کشیده شده است که به دو دایره موازی با استوا می‌رسد. یک دایره در

^{۱۵} امروزه ستاره قطبی نزدیک به انتهای شمالی این محور است. اما، مثلاً در زمان اقلیدس، هیچ ستاره قابل رؤیتی در این نقطه وجود نداشت.

^{۱۶} بنابراین می‌توانیم از نیمکره قابل رؤیت و غیرقابل رؤیت کیهان برای یک محل مفروض صحبت کنیم.

^{۱۷} دایره عظیمه روی زمین که زیر آن قرار دارد، نصف‌النهار طول جغرافیایی ناظر است.

^{۱۸} ارتفاع هر شیء آسمانی (نسبت به یک افق) کمان دایره بین شیء و افق روی عظیمه‌ای است که از سمت‌الرأس ناظر می‌گذرد.

شمال، «مدار رأس السرطان» و دیگری در جنوب، «مدار رأس الجدی» نام دارد. در هر روز دلخواه، خورشید در جایی درون یکی از دوازده برج دایرة البروج قرار دارد و در حین چرخش روزانه کیهان حول زمین، خورشید تقریباً دایره‌ای را می‌پیماید که مرکز آن روی محور قطبی قرار دارد و عمود بر آن است^{۱۹} و «دایرة روزانه خورشید» نام دارد. این دایره‌ها با استوا موازی‌اند و گاهی «مدار» نامیده می‌شوند. تنها یکی از آنها، یعنی دایرة استوا، دایرة عظیمه است. شکل ۳ کمان‌هایی از دایره‌های روزانه خورشید را در دو موضع مختلف نشان می‌دهد، که با علامت ضربدر (x) مشخص شده‌اند.

پس از آشنایی یونانیان با دانش ساخت ساعت‌های آفتابی، تمدن‌های اسلامی قرون وسطی و اروپای دوره نوزایی (رنسانس) هر دو، سهم مهمی در پیشرفت آن داشته‌اند. به‌ویژه، منجمان دوره اسلامی، ساعت‌های آفتابی‌ای ساختند که شاخص آن‌ها به سمت قطب شمال آسمان بود^{۲۰}. این موضوع، که طراحی ساعت‌های آفتابی را با حرکت ظاهری روزانه خورشید مربوط می‌سازد، نتایج مهمی در طراحی ساعت‌های آفتابی داشته است که اکنون به شرح آن می‌پردازیم.

ساعت آفتابی استوایی

با استفاده از هندسه کره آسمان می‌توان با محور، استوا و نصف‌النهارهایش به روش زیر، ساعتی آفتابی برای هر محل طراحی کرد. مطابق تعریف، خورشید در نیمه‌شب (زمان خورشیدی) در نیمه زیرین نصف‌النهار محل خواهد بود و در ظهر، نصف مسیر دایرة روزانه خود را طی کرده است، پس روی نیمه بالایی آن نصف‌النهار خواهد بود. در میانه این دو زمان یعنی در ساعت ۶ صبح، خورشید یک چهارم دایرة روزانه خود را طی کرده است و بنابراین در شرق محل خواهد بود. همچنین در ساعت ۶ عصر در غرب محل خواهد بود و سه چهارم از مسیر دایرة روزانه خود را طی کرده است. در نیمه شب، خورشید به مکانی که حرکتش را از آنجا شروع کرده است باز خواهد گشت.^{۲۱}

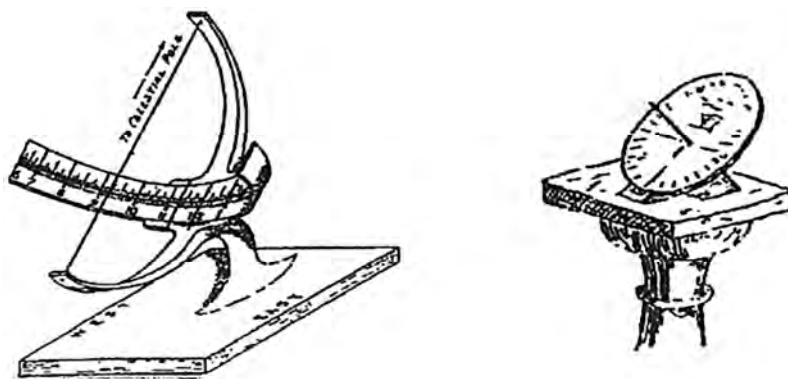
با توجه به این مطالب، اصول طراحی اولین ساعت آفتابی مان را که «ساعت آفتابی استوایی» نامیده می‌شود، به آسانی می‌توان دریافت. دو نمونه از این نوع ساعت‌ها در شکل ۴ [از ۳، ص ۲۲ و ۲۵] نشان

^{۱۹} این تنها با تقریب درست است زیرا چنان که قدام هم می‌دانستند، خورشید حرکتی آهسته به سمت مشرق در طول دایرة البروج دارد که در هر روز نزدیک به یک درجه است. چون دایرة البروج بر محور قطبی عمود نیست، حرکت خورشید روی دایرة البروج به این معناست که به نظر می‌رسد خورشید در طول یک سال در آسمان به سمت شمال و جنوب حرکت می‌کند، پس در واقع خورشید در طول یک روز قسمتی از یک مارپیچ کروی را طی می‌کند.

^{۲۰} محدودیت فضای مقاله اجازه نمی‌دهد که گزارش شایسته‌ای از کارهای زیادی که منجمان اسلامی در حوزه ساعت‌های آفتابی کرده‌اند، بیاوریم و خواننده علاقه‌مند به مطالبی پیرامون این موضوع باید مرجع [۱] (ترجمه فارسی آن توسط نگار نادری در مجله نجوم، سال ۱۲، شماره ۴، دی ۱۳۸۱، ص ۲۹-۳۱) را ببیند.

^{۲۱} در اینجا حرکت جزئی روزانه خورشید در شمال یا جنوب دایرة البروج، که در پانویس ۲۰ بحث شد، در نظر گرفته نشده است.

داده شده‌اند^{۳۲} (دقت کنید که جهت شمال آسمانی در ساعت آفتابی سمت چپ به سمت بالا و «درون» کاغذ، اما در ساعت آفتابی سمت راست به سمت بالا و «بیرون» کاغذ است).



شکل ۴

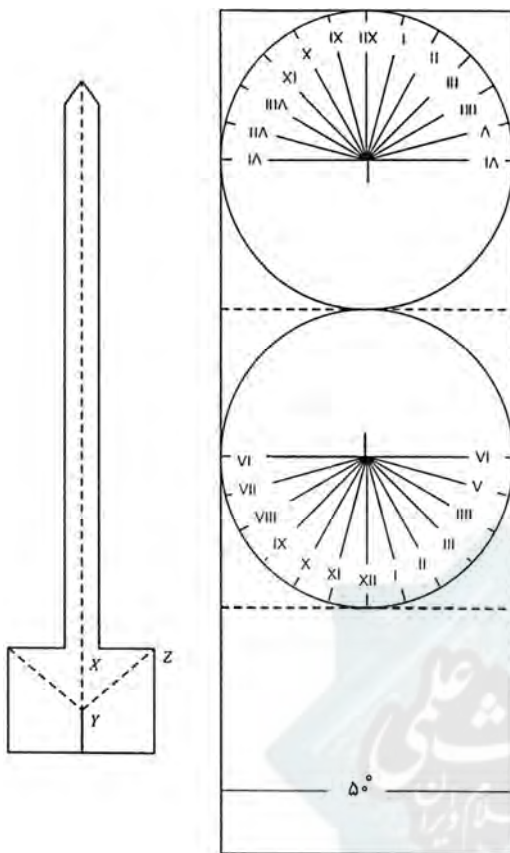
ساعت‌های آفتابی استوایی را به حق به عنوان مدلی از الگوی کیهان وابسته به محل کاربر توصیف کرده‌اند. ساعت سمت چپ شامل یک نیم‌دایره عمودی است، که نشان دهنده نیمه بالایی نصف‌النهار ناظر است. یک نیم‌دایره مدرج عمود بر آن نصب شده است، که صفحه استوا را نمایش می‌دهد. (هر دو نیم‌دایره، درون صفحات دایره‌هایی که نشانگر آن‌ها هستند فرض می‌شوند). حول نیم‌دایره استوایی درجه‌بندی ساعت، معمولاً از ساعت ۶ صبح روی لبه غربی تا ساعت ۶ عصر روی لبه شرقی، قرار دارد و این درجه‌ها را می‌توان به بازه‌های ۵ یا ۱۰ دقیقه‌ای تقسیم کرد. شاخصی قطب‌های شمالی و جنوبی دایره نصف‌النهار را به هم وصل می‌کند و نشانگر محور قطبی است. این شاخص با افق زاویه‌ای مساوی با عرض جغرافیایی می‌سازد، پس موازی با محور قطبی است (دوباره شکل ۳ را ببینید). پس، بنابر قضیه اساسی ساعت‌های آفتابی، فصل مشترک قطرهای این دو نیم‌دایره عمود بر هم در ساعت را می‌توان به عنوان مرکز کیهان در نظر گرفت، و شاخص را در راستای محور قطبی دانست.

با حرکت روزانه خورشید در آسمان از شرق به غرب، سایه شاخص به طور یکنواخت روی نیم‌دایره استوایی ساعت از غرب به شرق حرکت می‌کند^{۳۳}. در هر زمان در طول روز سایه شاخص هم قسمتی از نیم‌دایره استوایی را طی می‌کند که متناسب با حرکت خورشید در همان زمان روی دایره روزانه‌اش در آسمان، اما در جهت عکس است.

این ساعت برمبنای تصویری از کره آسمان ساخته شده است که مانند پرتقال، با ۱۲ دایره عظیمه گذرنده از قطب‌ها که نصف‌النهارهای هم فاصله را تشکیل می‌دهند، به ۲۴ قسمت مساوی تقسیم شده

^{۳۲} نمونه‌ای بزرگ از چنین ساعتی را می‌توانید در نشانی <http://web.fcnet.fr/frb/sundials/photos/chicago.jpg> ببینید.

^{۳۳} به همین دلیل ساعات صبح بر لبه غربی کمان استوایی ظاهر می‌شود.



شکل ۵

باشد. صفحه استوا بر محور قطبی (که فصل مشترک این دایره‌های عظیمه است) عمود است و صفحه افق با آن زاویه‌ای می‌سازد.

خودتان ساعت آفتابی بسازید

اگر بخواهید یک ساعت آفتابی برای خودتان بسازید که مانند ساعت سمت راست شکل ۴ در آن سایه روی صفحه گردی موازی با استوا می‌افتد، شکل ۵ را روی مقوا کپی کنید و قطعات را مطابق با شکل‌های ۶-الف و ۶-ب به هم بچسبانید.

خط‌های توپر را ببرید و روی خط‌چین‌ها تا بزنید.^{۲۴} دو طرف شاخص را تا کنید و به هم بچسبانید. در شکل‌های ۶-الف و ۶-ب انتهای تیز شاخص از میان شکافی در صفحه ساعت به سمت بالا عبور کرده، به طوری که شاخص عمود بر صفحه است. لبه پایینی شاخص از میان صفحه ساعت عبور می‌کند و تنها با خط واصل علامت‌های

ساعت ۶ صبح و ۶ عصر تماس دارد. پس لبه پایینی سایه است که زمان را نشان می‌دهد.

این ساعت برای عرض جغرافیایی 50° درجه شمالی طراحی شده است، اما به راحتی می‌تواند برای هر عرض جغرافیایی به کار رود. برای این منظور باید زاویه XYZ در شکل ۵ مساوی با عرض جغرافیایی آن محل باشد. این ساعت اعدادی روی هر دو وجه بالایی و پایینی دارد، زیرا وجه ساعت در صفحه استوا قرار دارند.^{۲۵} بنابراین هنگامی که خورشید در شمال استواست، در بهار و تابستان یعنی از اول فروردین تا آخر شهریور، سایه شاخص روی صفحه بالایی می‌افتد، اما در طول بقیه سال روی صفحه پایینی می‌افتد.

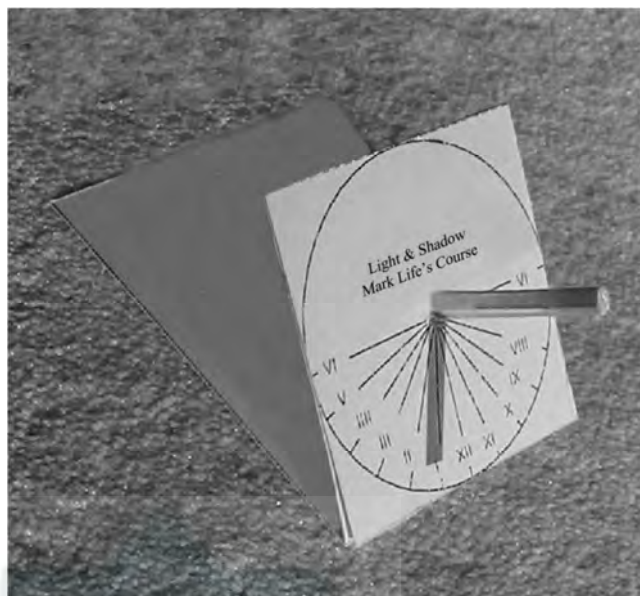
^{۲۴} با این حال، نباید محیط توپر دایره یا خطوط ساعت درون دایره را ببرید. خطوط توپر نزدیک 50° درجه موقعیت‌های لبه پایینی شاخص را برای آن عرض جغرافیایی نشان می‌دهد (ساعت نشان داده شده در عکس دارای اعدادی متنظر با موقعیت‌های مربوط به عرض‌های جغرافیایی دیگر است).

^{۲۵} این نتیجه‌ای از قضیه اساسی ساعت‌های آفتابی و این واقعیت است که شاخص با افق زاویه‌ای برابر با عرض جغرافیایی می‌سازد.

ساعت‌های آفتابی و زمان

رسمی

اما آیا چنین ابزار ساده‌ای حقیقتاً می‌تواند آنچه را که ساعت‌های ما انجام می‌دهند، یعنی بیان زمان دقیق را، انجام دهد؟ پاسخ به این پرسش به این بستگی دارد که منظور ما چه نوع زمانی است.^{۲۶} ساعت آفتابی استوایی ما زمان خورشیدی محلی حقیقی را نشان می‌دهد. مثلاً وقتی خورشید درست در جنوب است ظهر را نشان خواهد داد. اما بیش‌تر مردم متوجه می‌شوند که



شکل ۶- الف

وقتی ساعت‌های آنان ظهر را نشان می‌دهد، خورشید دقیقاً در سمت جنوب نیست.^{۲۷} این موضوع ربطی به یک ساعت جلو کشیدن ساعت برای صرفه‌جویی در مصرف برق ندارد، بلکه از تفاوت بین زمان خورشیدی و زمان استاندارد ناشی می‌شود.

تا اواخر سال‌های ۱۸۰۰م، زمان استاندارد مطرح نشده بود و زمان در هر محل بر پایهٔ موقعیت خورشید نسبت به نصف‌النهار محلی تعیین می‌شد. یک ساعت آفتابی خوب دقیق‌تر از یک ساعت دیواری خوب بود و تا ۱۹۰۰م در سامانهٔ راه‌آهن فرانسه ساعت‌های آفتابی دقیق را برای تنظیم ساعت به کار می‌بردند که تا حدی شبیه نمونهٔ سمت چپ در شکل ۴ بود و کروномتر خورشیدی نامیده می‌شد [۵، ص ۱۷]!

اما با احداث راه آهن، تلگراف و دیگر ابزارهای ارتباط سریع، زمان محلی دردسرزا شد. در اواخر دههٔ ۱۸۷۰م یک برنامه ریز راه آهن به نام سر سنفورد فلمینگ^{۲۸} اهل کانادا طرحی برای زمان استاندارد جهانی عرضه کرد.^{۲۹} بر اساس طرح فلمینگ، نمایندگان از ۲۷ ملت در سال ۱۸۸۴ در شهر واشنگتن در «کنفرانس نصف‌النهار» دیدار کردند و روی یک سامانهٔ زمان استاندارد، اساساً همان که امروزه به کار

^{۲۶} برای بحث دیگری از انواع متفاوت زمان [۷، صفحات ۶-۱۷] را ببینید.

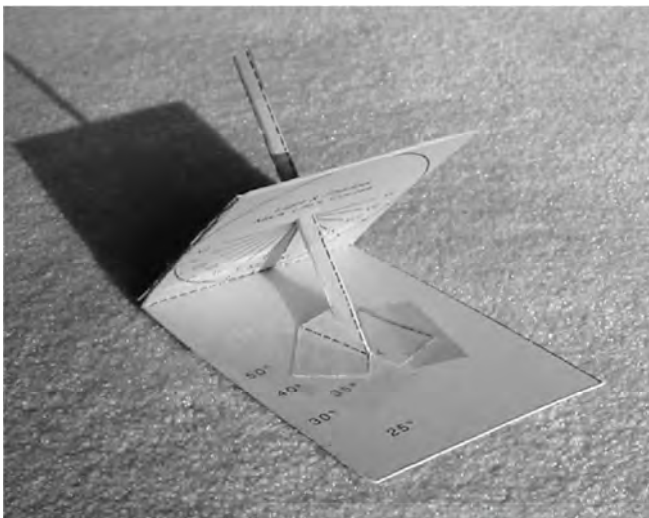
^{۲۷} به همین علت معمولاً اذان ظهر در ساعت ۱۲ (رسمی) نیست.

^{۲۸} Sir Sandford Fleming

^{۲۹} برای اطلاعات بیش‌تر دربارهٔ فلمینگ و زمان استاندارد، وبگاه زیر را ببینید:

<http://geography.about.com/library/weekly/aa030899.htm>





شکل ۶- ب

می‌رود، به توافق رسیدند. بیست و چهار نصف‌النهار طول جغرافیایی استاندارد، به فاصله ۱۵ درجه از هم، چارچوب زمان استاندارد را تشکیل می‌دهد. اولین نصف‌النهار (گذرنده از گرینویچ انگلستان، در طول جغرافیایی صفر درجه) نصف‌النهار مبدأ است. این نصف‌النهارها خطوط میانی ۲۴ ناحیه زمانی استاندارد هستند و هر کدام نصف‌النهار منطقه

خودش محسوب می‌شود. مثلاً ونکوور با طول جغرافیایی ۱۲۳ درجه در منطقه زمان استاندارد اقیانوس آرام قرار دارد که نصف‌النهار آن ۱۲۰ درجه غرب گرینویچ است.^{۳۰}

چون هر درجه طول جغرافیایی مطابق با ۴ دقیقه اختلاف زمان است (۶۰/۳۶۰ × ۲۴)، برای به دست آوردن زمان استاندارد از یک ساعت آفتابی استوایی می‌توان با اضافه کردن (کم کردن) ۴ دقیقه به ازای هر درجه طول جغرافیایی در غرب (شرق) نصف‌النهار منطقه ناظر به زمان خوانده شده در ساعت آفتابی، آن را تصحیح کرد. به جای این کار می‌توان درجه‌بندی ساعت روی نوار استوایی پیرامون شاخص را در خلاف جهت حرکت عقربه‌های ساعت (در جهت حرکت عقربه‌های ساعت) به تعداد مناسبی از درجات چرخاند و به این ترتیب اصلاح فوق را در ساخت خود ساعت آفتابی اعمال کرد.

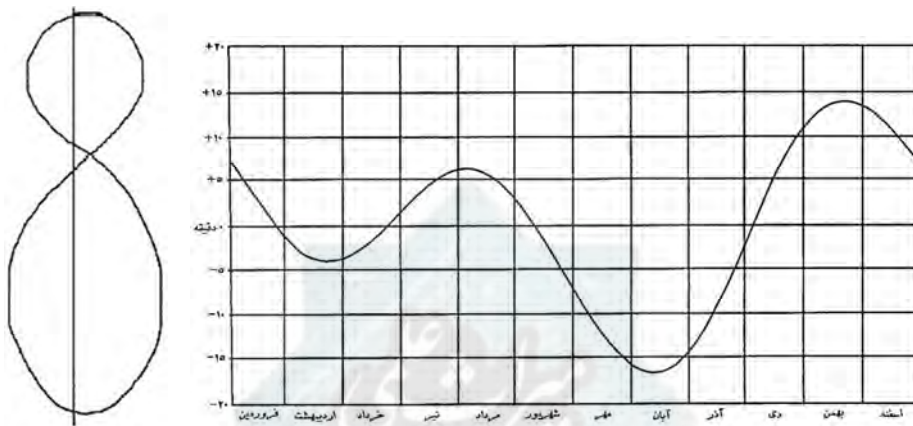
مدل ما تنها یک تقریب اولیه است زیرا حرکت خورشید به سوی مغرب در طول روز دقیقاً یکنواخت نیست. چنان که گفتیم، خورشید در طول سال حرکت آرامی هم به طرف شرق در طول دایره البروج^{۳۱} دارد (شکل ۲). این حرکت متغیر است اما میانگین آن اندکی کمتر از ۱ درجه در هر روز است. علاوه بر این، دایره البروج با استوا زاویه‌ای می‌سازد. این دو عامل باعث ایجاد اختلافی میان زمان ساعت آفتابی و ساعت رسمی می‌شوند، که در اوقات مختلف سال تغییر می‌کند و گاهی مقدارش به بیش از ۱۶ دقیقه هم می‌رسد. مثلاً در زمان جشن هالووین (آخرین شب ماه اکتبر = ۱۰ آبان)، ساعت آفتابی بیش از ۱۵

^{۳۰} عملاً خطوط فرضی مناطق در بسیاری موارد برای راحتی ساکنان تغییراتی یافته است. مثلاً سراسر چین که از شرق تا غرب روی ۴ منطقه زمانی فرضی گسترده شده است، زمان واحدی دارد. در اسپانیا که بیش‌تر آن در غرب نصف‌النهار گرینویچ است، زمان اروپای مرکزی به کار می‌رود که یک ساعت جلوتر از گرینویچ است [در ایران نصف‌النهار مبدأ ضرورتاً ۵۲/۵ درجه شرقی اختیار شده است که بین دو نصف‌النهار ۴۵ درجه و ۶۰ درجه شرقی است و از نزدیکی گرمسار می‌گذرد].

^{۳۱} این دایره‌های عظیمه است که از میانه کمر بند صور فلکی به نام دایره البروج می‌گذرد.

دقیقه از ساعت معمولی جلوتر می‌افتد. این اختلاف «تعدیل زمان» نامیده می‌شود و شکل ۷ تغییرات آن را در طول سال نشان می‌دهد.

مشابه با اصلاح مربوط به زمان استاندارد، تعدیل زمان را هم می‌توان در طراحی ساعت آفتابی با یک منحنی که پروانه (آنالما^{۳۳}) نامیده می‌شود وارد کرد که منحنی باریک نامتقارنی به شکل ۸ است که در شکل ۸ می‌بینید. این منحنی به ۱۲ بخش تقسیم می‌شود (در این جا نشان داده نشده است)، که نشانگر ۱۲ ماه سال هستند. این منحنی، یک محور عمودی با خروج از مرکز جزئی دارد و گذرنده از نقاطی است که نشانگر ۴ روز در طول سال هستند (شکل ۸ را ببینید) و در آن‌ها تعدیل زمان صفر است.



شکل ۸: منحنی پروانه

شکل ۷: نمودار تعدیل زمان (ترسیم رایانه‌ای از سیامک احسانی)

فاصله عمودی هر نقطه در هر بخش تا محور، متناظر با روز دلخواهی از یک ماه مفروض، مقدار تعدیل زمان را، بر حسب واحد مناسبی نشان می‌دهد^{۳۳}. تاریخ‌نگار فرانسوی نجوم ژ. ب. دالامبر^{۳۴}، یک متخصص فرانسوی ساعت‌های آفتابی به نام گرنژین دو فوشی^{۳۵} (۱۷۴۰م) را نخستین سازنده این منحنی می‌داند (این منحنی یا نمودار تعدیل زمان اغلب روی ساعت‌های آفتابی دیده می‌شود). ساعت آفتابی استوایی شکل ۹ را یک متخصص باهوش ساعت‌های آفتابی ساخته است. این ساعت نه تنها نموداری از تعدیل زمان روی قطعه عمودی سفید در پشت دارد، بلکه مشخصه «شکل ۸» منحنی پروانه درون شاخص آن بریده شده است، چنان که وقتی شاخص در برابر خورشید قرار می‌گیرد صفحه مدرج، خود به خود برای تعدیل زمان تصحیح می‌شود. این شاخص همچنین می‌تواند به اندازه ۹۰ درجه، مطابق شکل،

³² analemma

³³ استفاده از کلمه «تعدیل» در این جا ریشه تاریخی دارد و به یک کاربرد قدیمی از این واژه برمی‌گردد که برای نشان دادن تصحیح اضافه شده یا کسر شده از یک تقریب اولیه، برای به دست آوردن تقریب دقیق‌تر به کار می‌رود [واژه انگلیسی آن equation است که گاهی به غلط به «معادله» ترجمه می‌شود].

³⁴ J. B. Delambre

³⁵ Grandjean de Fouchy

بچرخد تا زمان خورشیدی را توسط مرکز پرتو آفتاب گذرنده از درون شکاف شاخص نشان دهد. درک نکردن تصحیحات برای زمان میانگین و تعدیل زمان باعث شد که خیلی‌ها نتیجه بگیرند که یک شعار خوب برای ساعت‌های آفتابی این است: «من ساعت آفتابی‌ام و کار ناشیانه مرا ساعت مچی خیلی بهتر انجام می‌دهد».

از ساعت دستی‌ات بجو وقت درست]

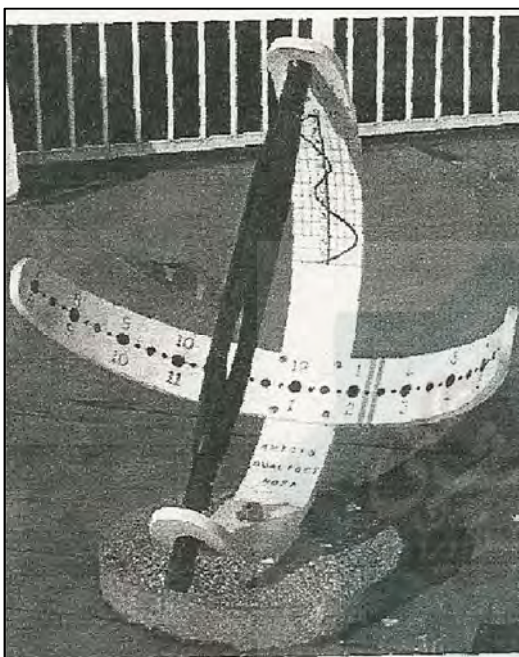
[من ساعت آفتابی‌ام ناشی و سست

اما ساعت آفتابی خوش ساخت، زمان خورشیدی محلی را بسیار دقیق بیان می‌کند و با تصحیحاتی که گفته شد، زمان خوانده شده از ساعت مچی را هم به خوبی نشان می‌دهد.

انواع دیگر ساعت‌های آفتابی

با شناختی از ساعت آفتابی استوایی، به سادگی می‌توان روش طراحی ساعت آفتابی افقی آشنا، نشان داده شده در شکل ۱۰ [۳، ص ۲۵] را دریافت. شاخص این ساعت، لبه بالایی قطعه‌ای معمولاً مثلثی شکل است که بر قاعده افقی ساعت عمود است.

یک لبه شاخص (لبه‌ای که به نقطه بالایی شکل ۱۰ می‌رسد) با قاعده زاویه φ می‌سازد و بنابراین به سوی قطب شمال آسمان است.



شکل ۹

روی صفحه مدرج، شماره ساعت‌ها نوشته شده است و لبه سایه با قرار گرفتن روی خطوط ساعت، زمان روز را نشان می‌دهد. برخلاف خطوط متوالی ساعت روی ساعت آفتابی استوایی، این خطوط روی ساعت آفتابی افقی زاویه‌های مساوی نمی‌سازند. بلکه، زوایای بین خطوط متوالی ساعت به عرض جغرافیایی محلی، یعنی زاویه‌ای که شاخص با قاعده می‌سازد وابسته‌اند. زیرا افق بر محور زمین عمود نیست بلکه نسبت به آن مایل است. یافتن این زوایا کار ریاضی اصلی در طراحی ساعت آفتابی افقی است.

در ساختن یک ساعت آفتابی افقی گاهی باید ضخامت شاخص را به حساب آورد. زیرا لبه غربی شاخص سایه‌های صبح و لبه شرقی آن سایه‌های بعدازظهر ایجاد می‌کند. پس، اگر شاخص ضخیم باشد، ساعت آفتابی باید دو خط ظهر متوازی و به فاصله ضخامت شاخص داشته باشد (در شکل ۱۰، لبه شیب دار شاخص که سایه می‌اندازد پخ خورده است تا یک خط ایجاد شود، بنابراین در تمام روز یک لبه سایه می‌اندازد و نیازی به دو خط ظهر نیست. اما اغلب ساعت‌های آفتابی افقی دو تکه‌اند و نیمه‌ای برای صبح و نیمه‌ای برای بعدازظهر دارند).

فرمول زوایای A که خطوط ساعت روی ساعت آفتابی افقی با خط ظهر می‌سازند، این است:

$$\tan A = \tan t \cdot \sin \varphi$$

که در آن t را اصطلاحاً «زاویه ساعتی» می‌خوانند (۱۵ درجه برای ۱۱ صبح یا ۱ بعدازظهر، ۳۰ درجه برای ۱۰ صبح یا ۲ بعدازظهر و ...) و φ عرض جغرافیایی محل است. به این ترتیب، برای ونکوور، در عرض جغرافیایی ۴۹ درجه شمالی، خط ساعت برای ۱۰ صبح باید با زاویه $۲۳/۵$ درجه نسبت به خط ظهر رسم شود.



شکل ۱۰

[این مقدار برای تهران با عرض جغرافیایی $۳۵/۵$ درجه چنین محاسبه می‌شود:

$$[\tan A = \tan(۲ \times ۱۵^\circ) \sin(۳۵/۵^\circ) \approx ۰/۳۳ \rightarrow A = ۱۸/۵^\circ]$$

دو ابزار مهم ریاضی در ساخت ساعت آفتابی، محاسبه و ترسیم هندسی است. معلمی که بخواهد روش محاسبه را در پیش بگیرد، می‌تواند به دانش آموزان کاربردهای جذاب و ملموسی از مثلثات عرضه کند و در این عصر الکترونیک، محاسبه رهیافت سریع‌تری است. اما، برخی ترسیم‌های هندسی، به ویژه وقتی به عنوان الگوی حسی ساعت آفتابی استوایی بیان شود، می‌تواند برای دانش آموز بیش‌تر روشنگر باشد و استنتاج آن‌ها می‌تواند درک فضایی دانش آموز را تقویت کند. تمرین‌های پایان این مقاله امکان هر دو رهیافت را پدید می‌آورند.

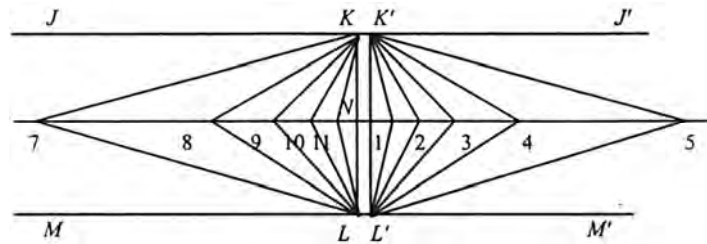
در [۳، ۱-۹۹] و [۴، ص ۴۵-۴۷] دستورهایی برای ترسیم خطوط ساعت در ساعت آفتابی افقی برای عرض جغرافیایی مفروض به کمک هندسه مسطحه، بدون هیچ محاسبه‌ای وجود دارد. خلاصه این روش ترسیمی براساس توضیح مرجع [۴]، چنین است:

ابتدا سه خط موازی JJ' ، NN' و MM' رسم کنید. در این ترسیم، فاصله LN میان دو خط موازی پایینی می‌تواند هر طول مناسبی برای قاعده شاخص انتخاب شود. سپس فاصله KN میان دو خط موازی بالایی را برابر با $LN \times \sin \varphi$ اختیار کنید. سرانجام، KL و $K'L'$ را عمود بر JJ' و به فاصله‌ای برابر با ضخامت شاخص ساعت آفتابی رسم کنید.

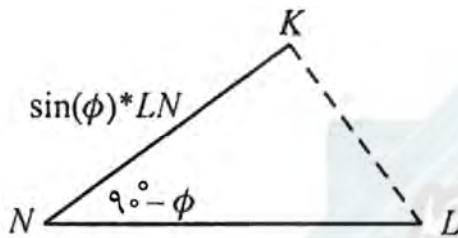
اکنون با ایجاد چارچوب اصلی طراحی ساعت آفتابی، خطوطی از K و K' رسم کنید چنان که دو زاویه قائمه در K و K' را به ۶ قسمت مساوی ۱۵ درجه‌ای تقسیم کنند. سپس نقاط تقاطع این خطوط با



خط NN' را مطابق شکل ۱۱ عددگذاری کنید.^{۳۶} در پایان، این نقاط تقاطع را مطابق شکل به نقاط L و L' ، متصل کنید. اکنون این خطوط، خطوط ساعت برای یک ساعت آفتابی افقی در عرض جغرافیایی φ هستند که شاخص آن، با ضخامت LL' ، به سوی قطب در جهت شمال قرار می‌گیرد.



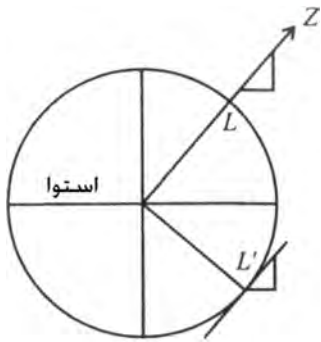
شکل ۱۱



شکل ۱۲

برای این که ببینید چرا چنین است، تصور کنید بخشی از شکل ۱۱ که بالای خط NN' قرار گرفته در طول این خط تا بخورد و به سوی خواننده خم شود تا این که دو نوار کاغذی در محل تا خوردن زاویه $90^\circ - \varphi$ ایجاد کنند. به عنوان تمرین نشان دهید اگر L و K مطابق شکل ۱۲ با یک خط به

هم وصل شوند، آنگاه زاویه L باید برابر φ و زاویه K باید قائمه باشد. بنابراین نوار KN ، که شامل خطوط ساعت یک ساعت آفتابی استوایی است که از نقطه K رسم شده‌اند، باید برای یک ساعت آفتابی استوایی با تکه KL (فرضی) به عنوان بخشی از شاخص آن بین صفحه مدرج و افق، کاملاً درست باشد (ساعت آفتابی سمت راست شکل ۴ را ببینید). خواننده خواستار



شکل ۱۳

چالش، اکنون می‌تواند بحث را با نشان دادن این که خطوط روی نوار پایینی شکل ۱۱ همان خطوط ساعت برای ساعت آفتابی افقی با عرض جغرافیایی φ و شاخص KL هستند تکمیل کند.

همان‌طور که می‌توانیم ساعت آفتابی افقی را بر پایه ساعت آفتابی استوایی طراحی کنیم، ساعت آفتابی عمودی را نیز می‌توانیم بر پایه ساعت آفتابی افقی طراحی کنیم (منظور از «ساعت آفتابی عمودی» ساعتی است که روی دیوار عمودی نصب شود، که در این جا رو به جنوب در نظر گرفته می‌شود. شاخص آن

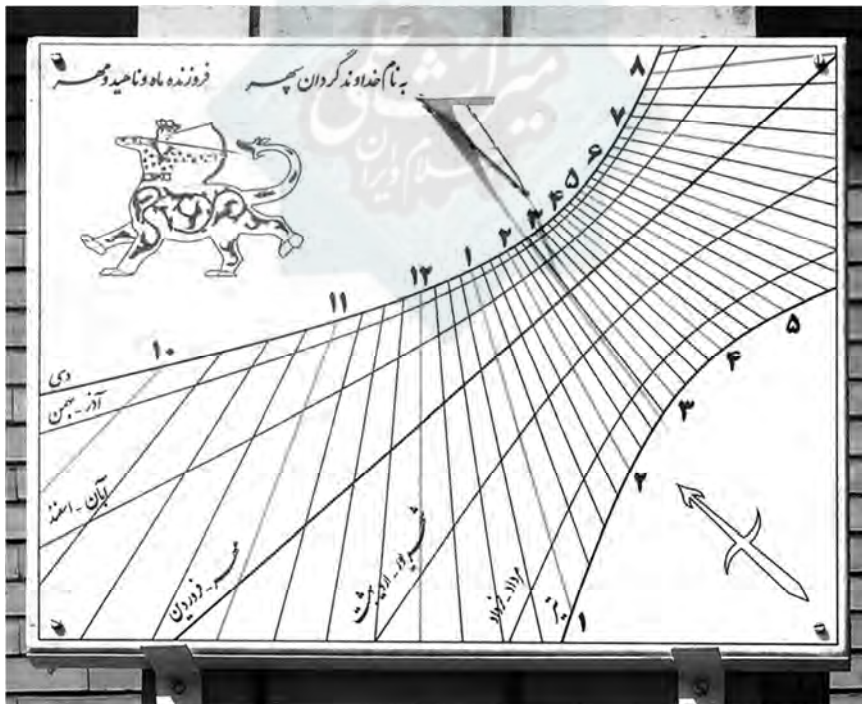
^{۳۶} توجه کنید که برای خطوط ظهر، یعنی دو خط متوازی گذرنده از L و L' به علت کمبود فضا در این جا شماره «۱۲» نخورده است.
^{۳۷} توجه کنید که ضخامت شاخص به این معنی است که این ساعت آفتابی استوایی دو پارچه است، یعنی مثلاً در ساعات صبح لبه غربی شاخص سایه می‌اندازد.

موازی با محور قطبی است). چون زمین به شکل کره است، ساعت آفتابی عمودی در عرض جغرافیایی φ شمالی، هرگاه موازی با خودش به سوی جنوب به اندازه یک کمان 90° درجه روی همان نصف‌النهار حرکت کند یک ساعت آفتابی افقی در عرض جغرافیایی $\varphi - 90^\circ$ خواهد بود (شکل ۱۳ را ببینید، که در آن سمت‌الرأس یک محل در نیمکره شمالی است).

طبق قضیه اساسی ساعت‌های آفتابی، این ساعت در هر دو جا یک زمان را نشان می‌دهد. چون ما ساعت را در امتداد نصف‌النهار حرکت دادیم، زمان در هر دو جا یکسان است. پس، برای طراحی ساعت آفتابی عمودی در عرض جغرافیایی φ شمالی، کافی است یک ساعت آفتابی افقی برای عرض جغرافیایی $\varphi - 90^\circ$ جنوبی طراحی کنیم (توجه کنید که شاخص چنین ساعتی به سوی قطب آسمانی جنوبی است).

ساعت‌های آفتابی تقویم هم هستند

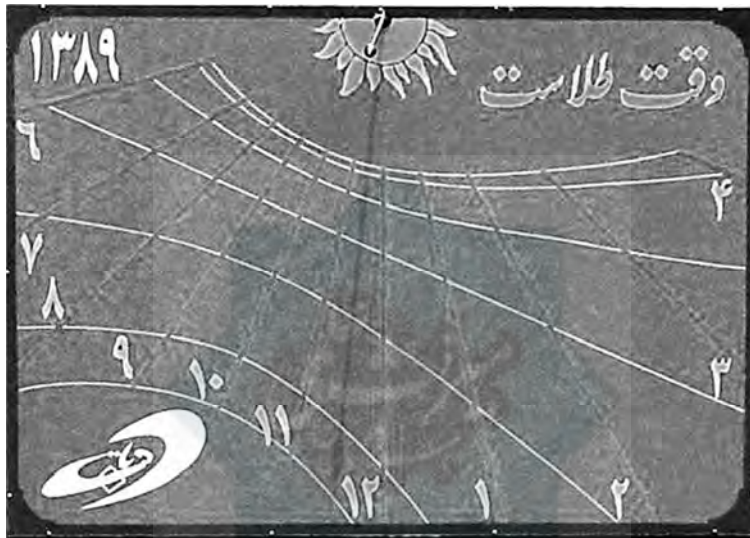
متخصصان ساعت‌های آفتابی در یونان باستان می‌دانستند که ساعت‌های آفتابی علاوه بر نشان دادن زمان روز می‌توانند معلوم کنند که خورشید در یک تاریخ مفروض در کدام برج واقع است. توجه کنید که



شکل ۱۴- الف: ساعت آفتابی در خانه ریاضیات اصفهان

در شکل ۱- الف سه کمان مدور خطوط ساعت را قطع می‌کنند، که نشان دهنده فصول سال هستند. شمالی‌ترین این سه کمان، مسیر نوک سایه شاخص در زمانی است که خورشید وارد برج جدی می‌شود

(یعنی انقلاب زمستانی). جنوبی‌ترین کمان مسیر نوک سایه شاخص در زمانی است که خورشید وارد برج سرطان می‌شود (یعنی انقلاب تابستانی). کمان میانی هم مسیری نوک سایه شاخص در زمانی است که خورشید وارد برج حمل یا میزان می‌شود (اعتدال بهاری و پاییزی). در واقع، هر چیزی را که تنها به میل خورشید بالا یا پایین استوا وابسته باشد، مثل ابتدای ماه‌ها یا تاریخ‌های خاص، مانند سالگردها یا تولدها، می‌توان روی ساعت آفتابی نشان داد. مثلاً در ساعت آفتابی عمودی شکل ۱۴- الف، خانه ریاضیات اصفهان^{۳۸}، و شکل ۱۴- ب، ساختمان شماره ۲ شهرداری رشت^{۳۹}، سایه نوک شاخص هنگام پیمودن هذلولی‌های مختلف ابتدای ماه‌ها را نشان می‌دهد.^{۴۰}



شکل ۱۴- ب: ساعت آفتابی در ساختمان شهرداری رشت

ساعت‌های آفتابی در کلاس

در سخنرانی‌های عرضه شده برای دانش‌آموزان و دانشجویان پیرامون موضوع ساعت‌های آفتابی، دریافته‌ام که دانش‌آموزان مجذوب این سؤال شده‌اند که چگونه پیش از اختراع ساعت، مردم زمان را بیان می‌کردند. بیش‌تر آنان اسم ساعت آفتابی را شنیده‌اند و می‌دانند که با نجوم ربط دارد، اما همه‌شان از دانستن این که طراحی ساعت‌های آفتابی خیلی وابسته به هندسه و مثلثات است، و بنابراین ساعت‌های

^{۳۸} محاسبه، طراحی و نظارت بر ساخت و نصب توسط دکتر احمد کیاست‌پور، استاد دانشگاه اصفهان. - م.

^{۳۹} محاسبه و طراحی اورلیو پانتانالی (Aurelio Pantanali) از ایتالیا. ساخت و نصب توسط ستاره قنبرزاده، ثریا دریادل، محمد باقری و سعید رضایی. - م.

^{۴۰} برخلاف خطوط مدور در شکل ۱، منحنی‌های نشانگر ماه‌ها در شکل ۱۴ هذلولی هستند. زیرا نوک شاخص در حال تصویر کردن بخشی از دایره روزانه خورشید روی یک صفحه مسطح است که با آن زاویه حاده می‌سازد. [این شکل‌ها که مربوط به ایران هستند، جایگزین شکل‌های اصلی مقاله شده‌اند.]



مؤلف مقاله (جان لئارت برگرن) در کنار ساعت آفتابی قطبی
واقع در بوستان ملت رشت (اسفند ۱۳۸۹)

آفتابی بخشی از تاریخ ریاضیات کاربردی‌اند شگفت‌زده می‌شوند. چون مجموعه‌ای از مسائل ریاضی - از آسان تا سخت - در طراحی و کاربرد ساعت‌های آفتابی مطرح می‌شود، این ساعت‌ها منبع خوبی برای مسائل مناسب در کلاس‌هایی با سطوح توانایی مختلف هستند. برای معرفی انواع مسائلی که معلم می‌تواند سر کلاس طرح کنند، در این جا چند تا از آن‌ها را بیان می‌کنیم:

مسئله ۱. خانواده‌ای ضمن مسافرت، به شهر کوچک دلیزیری می‌رسند که

میدان مرکزی آن یک حوض آب‌نمای بزرگ در مرکز و نیز یک ساعت آفتابی زیبا دارد. بچه‌ها می‌فهمند که این ساعت یک ساعت آفتابی استوایی است، اما تعجب می‌کنند از این‌که شاخص آن موازی با سطح میدان است. ناگهان خواهر بزرگ‌تر، برادر کوچکش را می‌گیرد و او را در آب‌نما می‌اندازد. چرا او این کار را کرد؟

مسئله ۲. در چه روزهایی از سال، ساعت آفتابی مدرسه‌تان، از نوعی که در شکل ۱۰ می‌بینید، همان زمانی را که از ساعت مچی دقیق می‌خوانید نشان خواهد داد؟ [راهنمایی: برای حل این مسئله دانش‌آموز باید منحنی پروانه شکل ۸ را به کار ببرد و طول جغرافیایی محل و نصف‌النهار منطقه زمانی خود را بداند].

مسئله ۳. در کدام روزهای سال و ساعت‌های روز، ساعت آفتابی عمودی روی نمای شمالی خانه برای تعیین زمان مناسب است؟ با رسم شکلی نشان دهید شکل چنین ساعتی با ساعتی که در نمای جنوبی همان خانه قرار گیرد چه فرقی دارد.

مسئله ۴. دانش‌آموزی یک ساعت آفتابی افقی می‌سازد که شاخص آن یک میلیه صاف فلزی یا تکه‌ای لوله باریک است که در زاویه مناسب به طور مایل قرار گرفته است. پس سایه‌ای که روی صفحه ساعت می‌افتد همواره دو لبه دارد. دانش‌آموز کدام لبه سایه را باید در ساعت ۸ صبح به کار ببرد؟ در ظهر چطور؟ در ساعت ۳ بعدازظهر چطور؟

مسئله ۵. با استفاده از مثلثات، خطوط ساعت یک ساعت افقی را برای مدرسه خود با شاخصی به ضخامت یک سانتی متر طراحی کنید. یک ساعت آفتابی عمودی رو به جنوب هم طرح کنید.



مسئله ۶. با استفاده از نظریه مقدماتی مقاطع مخروطی و شکلی تقریبی نشان دهید نوک سایه روی صفحه ساعت آفتابی افقی، در طول هر روز مفروض، عموماً یک هذلولی را می‌پیماید [راهنمایی: تجسم کنید چگونه دایره مداری که خورشید در طول آن روز طی می‌کند و نوک شاخص، مخروطی تشکیل می‌دهند که صفحه افق آن را قطع می‌کند]. در مورد استثناهای ممکن بحث کنید.

مسئله ۷. با استفاده از مراجع پایان مقاله و منابع اینترنتی گزارشی پیرامون ساعت‌های آنالماتیک بنویسید. در این گزارش واضح‌ترین تفاوت میان ساعت‌های آفتابی آنالماتیک و ساعت‌های ذکر شده در این مقاله را تشریح کنید و بگویید که آن‌ها احتمالاً کی و کجا اختراع شدند و چرا عددهای ساعت روی چنین ساعت‌هایی بر محیط یک بیضی قرار گرفته‌اند. اکنون با استفاده از نرم‌افزار ساعت آفتابی موجود در وب سایت‌های [۱۰] یا [۱۲] یک ساعت آفتابی آنالماتیک برای مدرسه‌تان طراحی کنید.

نتیجه‌گیری

امیدوارم این مقاله معلمان را ترغیب کند تا درباره مبانی هندسی ساعت‌های آفتابی ساده در کلاس‌های هندسه و مثلثات خود بحث کنند. در نظریه ساعت‌های آفتابی مطالب مهمی از هندسه و مثلثات در سطح دبیرستان به کار می‌رود، اما آن قدر پیشرفته نیست که خارج از فهم اغلب دانش‌آموزان باشد. همچنین این امکان را به معلم ریاضی می‌دهد که درباره هندسه سطح کره بحث کند، که مقدمه خوبی برای هندسه ناقلیدسی فراهم می‌کند (چیزی که طبق دریافت من، هم برای معلمان و هم دانش‌آموزان مفید است). چون این موضوع دارای تاریخچه‌ای غنی است به خوبی با مطالعات اجتماعی و هنر سازگار است، و ساختن یک ساعت آفتابی در حیات مدرسه یک طرح درسی عالی است که کلاس‌های ریاضی و هنر می‌توانند از طریق آن میراثی برای نسل‌های بعدی دانش‌آموزان به جا بگذارند.

مراجع

1. Berggren, J. L. "Sundials in Medieval Islamic Science & Civilization", *The Compendium*, vol. 8, No. 2, 2001.
2. Gibbs, Sharon L. *Greek and Roman Sundials*. New Haven, Conn.: Yale U. Press, 1976.
3. Mayall, R. Newton and Margaret L. *Sundials: How to Know, Use, and Make Them*. Boston: Hale, Cushman and Flint, 1938.
توسط انتشارات Dover با نام *Sundials: Their Construction and Use* دوباره چاپ شده است.
4. Milham, Willis I. *Time and Timekeepers*. New York: The Macmillan Company, 1947.
5. Rohr, Rene R. J. *Sundials: History, Theory, and Practice*. Dover, 1996.
6. Turner, Anthony J. (ed.), *Time*. Amsterdam, 1990.
7. Waugh, Albert E. *Sundials: Their Theory and Construction*. Dover, 1973.
8. www.sundials.co.uk/home3.htm

این وبگاه علاوه بر داشتن اطلاعات بسیار مفید، و اسامی فروشگاه‌های تجاری که می‌توانید از آن‌ها ساعت‌های آفتابی خریداری کنید یا حتی ساعتی سفارشی بخرید، همچنین مدخل مفیدی برای بسیاری از سایت‌های بین‌المللی به ویژه پیرامون ساعت‌های آفتابی است.

9. [www. Sundials.org](http://www.Sundials.org) این وبگاه رسمی «انجمن ساعت آفتابی آمریکای شمالی»⁴¹ است:

10. <http://home.iae.nl/users/ferdv/index-e.htm>

این وبگاه شاخص شناس هلندی Fer De Vries است که از آن می‌توانید نرم افزار تحت ویندوز رایگانی برای طراحی ساعت‌های آفتابی خودتان را دانلود کنید.

11. <http://members.aon.at/sundials/index-e.htm>

این وبگاه مجموعه‌ای زیبا از عکس‌های رنگی و توضیح‌هایی از ساعت‌های آفتابی نقاط مختلف، به همراه مواردی دیگر پیرامون ساعت‌ها، را به وسیله شاخص شناس اتریشی Karl Schwartzingger نشان می‌دهد.

12. <http://web.utamet.at/sondereh/sun.htm>

این وبگاه شاخص شناس اتریشی Helmut Sonderegger است که از آن می‌توانید نرم افزار تحت ویندوز رایگانی برای طراحی ساعت‌های آفتابی خودتان را دانلود کنید.

13. www.ta-dip.de/sonnenuhren/sonnenuhren-von-freunden/freunde-aus-aller-welt/i-r-a-n.html

این وبگاه آلمانی اطلاعات خوبی در باره ساعت‌های آفتابی و شاخص‌های ظهر در ایران عرضه می‌کند.

14. www.ilpaesedellemeridiane.com این وبگاه ایتالیایی در باره ساعت‌های آفتابی هم دیدنی است:

در زبان فارسی مقاله‌های مختلفی در نشریات نجومی و سه کتاب زیر درباره ساعت‌های آفتابی وجود دارد:

ماشاءالله احیایی، ساعت‌های آفتابی: اصول و راهنمای ساخت، امیرکبیر، تهران، ۱۳۶۴.

[چون سال‌هاست نسخه‌های این کتاب به فروش رفته و نایاب شده است جا دارد دوباره چاپ شود.]

شناخت و ساخت ساعت‌های آفتابی، ترجمه محمد باقری، شرکت انتشارات علمی و فرهنگی، تهران ۱۳۸۵.

ساووا، دنی، ساعت‌های آفتابی، ترجمه مریم موسوی، کانون پرورش فکری کودکان و نوجوانان، تهران ۱۳۷۸.



⁴¹ North American Sundial Society