

وَهُوَ الَّذِي أَرْسَلَ الرِّيحَ مُشِيرًا بَيْنَ يَدَيْ رَحْمَتِهِ وَأَنْزَلْنَا مِنَ السَّمَاءِ مَاءً طَهُورًا
سوره فرقان / آیه ۴۸



اصول طراحی همساز با اقلیم

اقلیم کاربردی برای معماران ۲

عنوان و نام پدیدآور: اصول طراحی همساز با اقلیم / تدوین و گردآوری سیدجواد هاشمی فشارکی... [و دیگران]
: [برای] مرکز تخصصی هنر و معماری جهاد دانشگاهی قزوین.
مشخصات نشر: قزوین: جهاد دانشگاهی، سازمان انتشارات، واحد قزوین، ۱۳۹۸.
مشخصات ظاهری: ۲۹۲ ص. مصور، جدول.
فروست: اقلیم کاربردی برای معماران؛ ۲.
شابک: ۹-۴۸-۶۶۴۷-۶۶۲۲-۹۷۸
وضعیت فهرست نویسی: فیبا
یادداشت: تدوین و گردآوری سیدجواد هاشمی فشارکی، زهرا متولی الموتی، علی دل‌زنده، سیدمصطفی زرآبادی.

یادداشت: کتابنامه: ص. ۲۷۹.

موضوع: معماری -- عوامل اقلیمی

موضوع: Architecture and climate

موضوع: معماری -- ایران -- عوامل اقلیمی

موضوع: Architecture and climate -- Iran

موضوع: ساختمان‌ها -- ایران -- طرح و ساختمان

موضوع: Buildings -- Iran -- Design and construction

شناسه افزوده: هاشمی فشارکی، سیدجواد، ۱۳۴۰ -

شناسه افزوده: جهاد دانشگاهی. سازمان انتشارات. واحد قزوین

شناسه افزوده: جهاد دانشگاهی. واحد قزوین. مرکز خدمات تخصصی هنر و معماری

رده بندی کنگره: NA۲۵۴۱

رده بندی دیویی: ۷۲۰/۴

شماره کتابشناسی ملی: ۵۸۹۵۴۶۴

اصول طراحی همساز با اقلیم

اقلیم کاربردی برای معماران ۲

تدوین و گردآوری:

سید جواد هاشمی فشارکی

زهرا متولی الموتی

علی دل‌زنده

سید مصطفی زرآبادی

گرافیک و صفحه آرایی: مرضیه حمیدی‌زاده

نوبت چاپ: اول - ۱۳۹۸

شمارگان: ۱۰۰۰ نسخه

بهاء: ۷۶۰۰۰۰ ریال

به سفارش مرکز تخصصی هنر و معماری

جهاد دانشگاهی قزوین

مصوبه شورای شعبه انتشارات جهاد دانشگاهی قزوین

انتشارات جهاد دانشگاهی واحد قزوین

کلیه حقوق محفوظ است

تدوین و گردآوری:

دکتر سید جواد هاشمی فشارکی

عضو هیات علمی دانشگاه امام حسین (ع)

زهره متولی الموتی

کارشناسی ارشد معماری و مدرس دانشگاه

علی دل زنده

پژوهشگر دکتری معماری دانشگاه آزاد اسلامی و عضو جهاد دانشگاهی قزوین

سید مصطفی زرآبادی

دانشجوی کارشناسی ارشد معماری اسلامی دانشگاه هنر اسلامی تبریز
و عضو جهاد دانشگاهی قزوین

اصول طراحی همساز با اقلیم

اقلیم کاربردی برای معماران ۲



انتشارات
جهاد دانشگاهی قزوین



مرکز تخصصی هنر و معماری
جهاد دانشگاهی قزوین

پیشگفتار

فصل اول؛ خورشید

۱	مقدمه
۱	تفاوت اقلیم‌شناسی با هواشناسی
۳	ساختار خورشید
۶	انرژی خورشیدی
۶	تشعشع خورشید و واکنش آن با جو زمین
۸	اتم‌سفر یا توده هوای اطراف زمین
۱۱	میزان تابش خورشید بر کره زمین
۱۳	اندازه‌گیری شدت تابش خورشید
۱۴	درجات گرمایی و سرمایی
۱۶	موقعیت کشور ایران در بهره‌گیری از انرژی خورشیدی
۱۷	هندسه خورشیدی
۱۷	زاویه انحراف
۱۹	زاویه تابش یا ارتفاع خورشید
۲۰	انقلاب زمستانی
۲۰	انقلاب تابستانی
۲۱	زاویه السموت یا سمت
۲۲	زاویه ساعت
۲۵	کاربرد ساعت به منظور جهت‌یابی
۲۵	زاویه ورود
۲۷	زاویه شیب صفحه
۲۷	زاویه عرض جغرافیایی
۲۸	طول روز: Td
۲۸	تابش خورشید بر زمین در فصول مختلف
۳۰	علل پیدایش فصول در کره زمین
۳۳	نمودارهای خورشیدی
۳۴	نمودارهای عمودی مسیر حرکت خورشید بر مبنای ایده گنبد در آسمان
۳۶	نمودارهای افقی مسیر حرکت خورشید در آسمان
۳۸	تعیین ساعت و روز در دسترس بودن خورشید در یک موقعیت خاص
۴۰	استخراج زاویه ارتفاع و سمت خورشید از جدول

۴۱	استخراج زاویه ارتفاع و سمت خورشید از نمودار
۴۴	استخراج مواقع طلوع و غروب از نمودار مسیر خورشید
۴۴	نمودار محاسب موقعیت خورشید
۴۷	ساعت آفتابی
۴۹	نقاله خورشیدی
۵۱	اصول اقلیمی اجرایی
	فصل دوم؛ باد
۷۳	مقدمه
۷۴	شکل‌گیری باد
۷۵	جهت و سرعت باد
۷۵	انواع باد
۸۲	تشخیص سرعت، جهت و فراوانی بادهای در یک موقعیت خاص از طریق گلباد
۸۸	روش ترسیم گلباد
۸۹	سنجش اطلاعات آب و هوایی یک مکان با یکی از شاخص‌های آسایش
۹۲	۱- تهیه تقویم نیاز آب و هوایی
۹۳	۲- تحلیل تقویم نیاز آب و هوایی
۹۵	۳- حالت‌های خاص
۹۵	نمودار محاسب دمای روزانه و روش استفاده از آن
۹۷	تهیه تقویم نیاز سایه و آفتاب با استفاده از نمودار محاسب دمای روزانه
۱۰۱	تهیه تقویم نیاز سایه و آفتاب با استفاده از نمودار محاسب دمای مؤثر
۱۰۱	نمودار محاسب دمای مؤثر
۱۰۶	سایه و آسایش گرمایی
۱۱۰	اصول طراحی پنجره و نورگیر
۱۱۲	روش‌های طراحی سایبان
۱۱۲	روش ترسیمی
۱۱۶	۱- الگوی طراحی پنجره و نورگیر
۱۲۵	۲- جمع‌بندی روش ترسیمی
۱۲۹	روش استفاده از نقاب سایه
۱۲۹	۱- ترسیم تقویم نیاز سایه و آفتاب بر روی نمودار مسیر خورشید
۱۳۱	۲- نقاب سایه
۱۳۶	۳- نقاله سایه‌یاب

۱۳۹	۴- نقاب سایه حقیقی
۱۴۱	۵- نقاب سایه اجسام نامنظم
۱۴۲	۶- الگوی طراحی پنجره و نورگیر
۱۴۲	۷- طرح نقاب سایه مناسب
۱۴۶	۸- تجزیه نقاب سایه
۱۴۷	۹- سایبان الگو
۱۴۸	۱۰- نحوه استفاده از سایبان الگو
۱۵۱	طراحی بازشوها در ساختمان های زیست محیطی
۱۵۲	طراحی بازشوها به منظور بهره‌گیری از نور طبیعی (خورشید)
۱۵۲	طراحی بازشوها به منظور بهره‌گیری از تهویه طبیعی
۱۵۴	اصول طراحی سایه‌بان در ساختمان های زیست محیطی
۱۵۶	محاسبه و طراحی سایه‌بان های افقی و عمودی
۱۶۶	بادگیر
۱۷۲	تعیین وقت طلوع و غروب با استفاده از نمودار
۱۷۳	جدول ارتفاع و سمت خورشید در عرض های شمالی
۱۷۴	روش های ترسیم نمودار مسیر خورشید
۱۷۶	نمودار مسیر خورشید برای ایران و مقاله سایه‌یاب
۱۷۹	عامل زمان در نمودار مسیر خورشید
۱۸۲	کارایی سایه‌بان
۱۸۳	نمودارهای مسیر خورشید و مقاله سایه‌یاب تهیه شده با روش تصویرنگاری استوانه‌ای
۱۸۶	نمونه‌هایی از دیاگرام مسیر خورشید به همراه ساعت آفتابی
۱۸۷	اصول اقلیمی اجرایی

فصل سوم؛ باران

۲۵۷	رطوبت هوا
۲۵۸	عوامل مؤثر در رطوبت هوا
۲۵۸	شاخص اولگی
۲۶۶	محدودیت و ضعف های شاخص زیست - اقلیمی اولگی
۲۶۸	توضیح نمودار زیست اقلیمی - ساختمانی گیونی
۲۷۴	نمودار سایکرومتریک
۲۷۷	شکل‌گیری باران
۲۷۹	منابع

پیشگفتار

واژه اقلیم که نخستین بار توسط یونانیان با کلمه "کلیما" از آن یاد شده به تحولاتی که روی کره زمین در اثر تابش خورشید در رابطه با زاویه انحراف زمین پدید می‌آید می‌پردازد و طراحی اقلیمی، در پی ایجاد هارمونی با طبیعت پیرامون است. بنابراین مرحله اول شناخت اقلیم و مرحله دوم چگونگی بهره برداری از آن است. از این رو، به منظور طراحی ساختمانی که موجبات آسایش ساکنین آن را فراهم نموده و از نظر صرفه جویی در مصرف انرژی کارآمد باشد، شناخت اقلیم و عوامل تأثیرگذار بر آن از جمله ضروریات به شمار می‌رود.

این کتاب از سه بخش تشکیل شده است: بخش اول، در ارتباط با خورشید و هندسه خورشیدی و محاسبات مرتبط با آن مطرح شده است. در بخش دوم، مفاهیم مرتبط با باد، بخش سوم، در زمینه باران است. هدف از گردآوری این مباحث، اهمیت این عوامل (خورشید، باد و باران) برای معماران و لزوم توجه به آن‌ها به منظور ارائه طرح‌های اقلیمی ساختمانی است.

در این کتاب سعی شده است به صورت جامع به موارد فوق پرداخته شود. هدف از نوشتار این کتاب جلوگیری از رجوع به منابع گوناگون بوده است.

فصل اول

خورشید

مقدمه

در تمام طول تاریخ معماری و ساختمان‌سازی، طراحان همواره درصدد پاسخگویی به شرایط آب و هوایی بوده‌اند. طراحی اقلیمی روشی است برای کاهش همه جانبه هزینه انرژی یک ساختمان طراحی ساختمان مقابل عوامل اقلیمی خارج بناست. ساختمان‌های ساخته شده بر اساس اقلیم نه تنها در مقابل عوامل نامساعد جوی عملکرد خوبی دارند، بلکه محیط زندگی انسانی سالم نیز فراهم می‌کنند (واتسون و لیز، ۱۳۹۴: ۳). معماری مبتنی بر شرایط اقلیمی، تلاشی است برای تطابق حجم، شکل، جهت‌گیری، نوع مصالح و بهره‌گیری از مواهب طبیعی از قبیل تابش خورشید، باد و باران برای تأمین شرایط آسایش در ساختمان بدون استفاده از تجهیزات مکانیکی و یا حداقل کاهش استفاده از این تجهیزات.

تفاوت اقلیم‌شناسی با هواشناسی

هواشناسی شناخت مطلق و عام اتمسفر و تغییرات آن است؛ ولی در اقلیم‌شناسی سعی می‌شود با شناخت آب و هوای هر منطقه، تأثیرهای آب و هوایی آن بر روی فعالیت‌ها انسانی مشخص شود. همچنین ابزار شناسایی و توجیه هواشناس، اصول و قوانین و مدل‌های فیزیکی و دینامیکی است، اما ابزار اقلیم‌شناس، علاوه بر اصول علم هواشناسی، اصول و مفاهیم جغرافیایی نیز هست (قیابکلو، ۱۳۹۶: ۳۲). نخستین کتاب در زمینه اقلیم‌شناسی

در حدود چهار قرن پیش از میلاد مسیح به نام هواها، آب‌ها، مکان‌ها توسط هیپوکرات^۱ نوشته شد (Lloyd, 1978). در قرن دوم بعد از میلاد بطلمیوس^۲ بر اساس تفاوت حرارت، سرزمین‌های شناخته شده را به هفت اقلیم تقسیم‌بندی کرد (Bagrow, 1964: 311). اما در طی دوره‌های مختلف، تقسیم‌بندی‌های متنوع دیگری نیز در راستای معرفی اقلیم در جهان مطرح شده است.

مطابق با نظریات جیونی^۳ (۱۹۷۶) و کنیا^۴ در سال (۱۹۸۰)، تنوع اقلیمی نتیجه پنج عامل زیر است؛ عامل اصلی این، پدیده همان عامل اول یعنی تابش نور خورشید است:

۱- تابش خورشید؛

۲- دما؛

۳- رطوبت هوا؛

۴- بارندگی؛

۵- باد (Konya, 1980; Givoni, 1976).

برای دریافتن وضعیت اقلیمی یک منطقه خاص، نخست لازم است اطلاعات مربوط به عوامل فوق جمع‌آوری و تحلیل شوند. همچنین عواملی نیز که در شرایط اقلیمی منطقه مورد طراحی مؤثرند، می‌بایست مورد توجه واقع شوند.

این عوامل مؤثر که بر اقلیم و شرایط آب و هوایی یک منطقه تأثیرگذارند عبارتند از: توپوگرافی، ارتفاع از سطح دریا، شیب، پوشش گیاهی زمین، آب و تراکم ساختمان‌ها (کاک نیلسن، ۱۳۸۹: ۲۹). جغرافی دانان زمین را به مناطق استوایی، معتدله و قطبی تقسیم‌بندی می‌نمایند (Harvey and et al, 2014: 25):

- منطقه‌های بین مدارهای رأس‌السرطان و رأس‌الجدی ($23^{\circ} / 45^{\circ}$ درجه) قرار دارد. پرتوهای نور خورشیدی در این منطقه به قائم نزدیک‌تر است و به دلیل آنکه میزان انرژی دریافتی از خورشید در این منطقه بیش از سایر مناطق است، به آن منطقه حاره (گرم) می‌گویند. اختلاف طول شب و روز در تمام طول سال برابر بوده و با دورتر شدن از استوا، اختلاف طول شب و روز زیادتر شده و حداکثر به ۹۰ دقیقه می‌رسد؛

- منطقه معتدله بین مدارات $23^{\circ} / 45^{\circ}$ تا $66^{\circ} / 55^{\circ}$ درجه قرار دارد. برحسب این که در نیم‌کره شمالی یا جنوبی باشد، معتدله شمالی یا جنوبی نامیده می‌شود؛

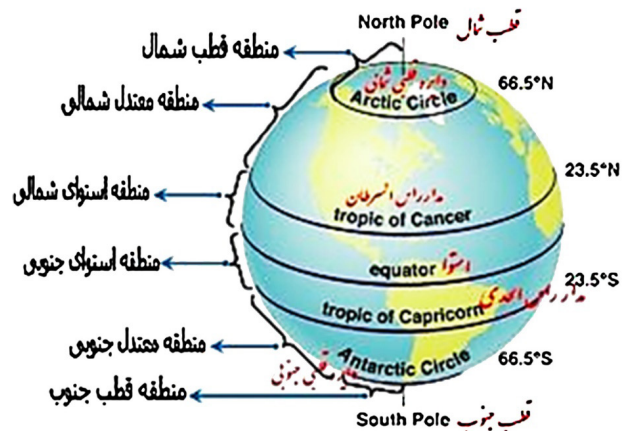
- منطقه قطبی بین عرض‌های $66^{\circ} / 55^{\circ}$ تا 90° درجه قرار دارد و به مناطق منجمد جنوبی و شمالی تقسیم می‌شود. اختلاف طول مدت شب و روز، از ۲۴ ساعت تا ۶ ماه تغییر می‌کند. به دلیل میل زیاد خورشید و ضخامت بیشتر جو، اثر پرتوهای خورشید در این منطقه بسیار اندک است، لذا تغییرات فصلی زیادی ایجاد نمی‌کند. از آن جایی که ارتفاع خورشید در بالای افق کم است، طولانی شدن روزها، گرمای زیادی تولید نمی‌کند؛

1- Hippocrates

2- Ptolemy

3- Givoni, book: (Man, Climate and Architecture)

4- Konya

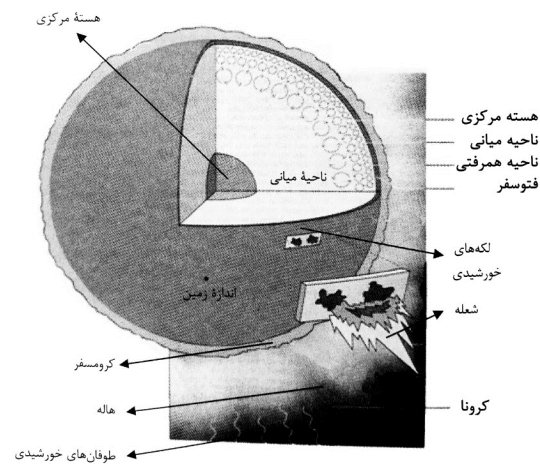


تصویر ۱: مناطق آب و هوایی کره زمین

منبع: star98t.ir

ساختار خورشید

خورشید به عنوان ستاره منظومه شمسی، تنها یکی از ۴۰۰ میلیارد ستاره در کهکشان راه شیری و ستاره‌ای کاملاً معمولی از دسته ستارگان رشته اصلی است. خورشید ما که ۵ میلیارد سال پیش از ابری از غبار - که بقایای انفجار یک ابرنواختر بود - به وجود آمد، هم‌اکنون در نیمه عمر خود به سر می‌برد. خورشید نیز مانند سایر ستارگان کهکشان راه شیری در حال چرخش به دور مرکز کهکشان است. سرعت این حرکت ۲۱۷ کیلومتر بر ثانیه و هر دور گردش خورشید به دور مرکز کهکشان، ۲۲۵ تا ۲۵۰ میلیون سال است. این ستاره ظاهری کروی داشته و عمدتاً از گازهای هیدروژن و هلیوم تشکیل شده است. در واقع خورشید یک راکتور همجوشی هسته‌ای است که با همجوشی اتم‌های هیدروژن کار می‌کند و به طور پیوسته مقدار بسیار زیادی انرژی را در منظومه شمسی منتشر می‌کند.



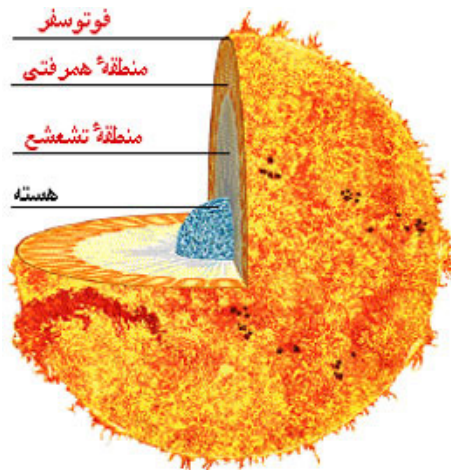
تصویر ۲: ساختار خورشید منبع: نمازیان، ۱۳۸۹: ۳

۱- **هسته مرکزی**^۱: انرژی خورشید، در هسته مرکزی آن تولید می‌شود، هیدروژن در بیست و هفت میلیون درجه فارنهایت ($15 \times 10^6 \text{ }^\circ\text{C}$) به گاز هلیوم تبدیل می‌شود. این قسمت، تنها ۳ درصد از حجم خورشید را تشکیل می‌دهد، ولی جرم آن معادل ۵۰ درصد جرم خورشید است.

۲- **ناحیه میانی**^۲: انرژی ساطع شده از مرکز به آهستگی از محدوده میانی خورشید می‌گذرد.

۳- **ناحیه همرفتی**^۳ (**جابه جایی**): جریان‌های دوار گازهای داغ در محدوده همرفتی، که یک سوم قسمت خارجی خورشید را تشکیل می‌دهد، انرژی را به سطح خورشید انتقال می‌دهد.

بالتر از سطح خورشید، اتمسفر آن قرار دارد که این ناحیه هم از ۳ بخش **فتوسفر**، **کروموسفر** و **کرونا** تشکیل شده:



تصویر ۳: موقعیت فتوسفر
منبع: mezh.blogfa.com

۴- **فتوسفر**^۴: درونی‌ترین بخش اتمسفر خورشید و تنها قسمتی که ما می‌توانیم ببینیم. در واقع فتوسفر، محدوده باریکی است که سیصد مایل ضخامت دارد و در آن اتمسفر خورشید از حالت کدر به حالت شفاف تغییر می‌کند و نور مرئی (سفید) ساطع می‌شود. میانگین دما در این قسمت ده هزار درجه فارنهایت ($5538 \text{ }^\circ\text{C}$) است.

۵- **کروموسفر**^۵: ناحیه بین فوتوسفر و کرونا که از فوتوسفر هم گرم‌تر می‌باشد. کروموسفر، تولیدکننده نوری است که در خورشیدگرفتگی کامل دیده می‌شود، دما در این قسمت هزار درجه فارنهایت ($4426,7 \text{ }^\circ\text{C}$) است. در واقع قسمت مشترک بین فوتوسفر و کروموسفر، سردترین قسمت توده خورشید است.

۶- **کرونا**^۶: ناحیه‌ی فوق‌العاده پرحرارت بیرونی که میلیون‌ها مایل بعد از کروموسفر را فرا گرفته است. در واقع کرونا قسمتی رقیق در خارج از اتمسفر خورشید است. دما در

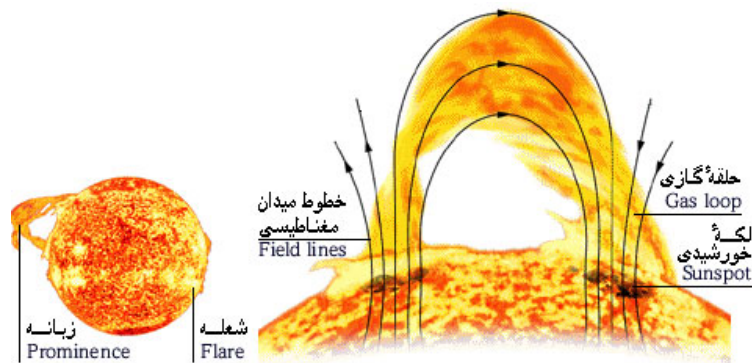
- 1 - core
- 2 - intermediate zone
- 3 - convective zone
- 4 - photosphere
- 5 - chromosphere
- 6 - corona

این قسمت به دو میلیون درجه فارنهایت ($1,093 \times 10^6$ °C) می‌رسد و منبع بزرگی برای اشعه‌های ایکس است.

۷- **لکه‌های خورشیدی**^۱: لکه‌ها، خطوط میدان‌های مغناطیسی چرخشی ایجاد می‌کنند. لکه‌های خورشیدی روی فتوسفر و معمولاً به صورت جفت تشکیل می‌شوند که در واقع میدان‌های مغناطیسی شدید هستند و راه خود را به سطح خورشید باز کرده‌اند. علت تشکیل میدان‌های مغناطیسی نیز حرکت گازها بیان شده و چرخه‌ای یازده ساله است. این لکه‌ها از چند روز تا چند ماه دوام می‌یابند و دمای آن‌ها تا 3600 درجه فارنهایت (2000 °C) (۱۹۸۲) پایین‌تر از محیط اطراف (فتوسفر) هم می‌رسد.

۸- **شعله‌های انفجاری**^۲: گاهی اوقات درون لکه‌های خورشیدی، انفجارهای مهیبی ایجاد می‌شود و سبب پرتاب گازها به سمت بالا می‌شود که چنین حالتی را شعله‌های خورشیدی گویند. گفته می‌شود که شعله‌های خورشیدی به علت تغییرات ناگهانی میدان مغناطیسی در برخی مناطق ایجاد می‌شوند. وقتی این اتفاق رخ می‌دهد، گازها، الکترون‌ها، نورهای مرئی، نور فرابنفش و اشعه اکس آزاد می‌شود. دما در این حالت به 36 میلیون درجه فارنهایت ($19,982 \times 10^6$ °C) می‌رسد.

زبانه حلقوی خطوط میدان مغناطیس، دو لکه خورشیدی را به هم متصل کرده است. اغلب فعالیت‌های شدید خورشید در نزدیکی لکه‌های خورشیدی رخ می‌دهند. شعله‌های خورشیدی، چرخه‌هایی از انرژی هستند که عمر چند ساعته دارند، این شعله‌ها هنگامی به وجود می‌آیند که مقدار زیادی انرژی مغناطیسی به طور ناگهانی آزاد شود. زبانه‌های خورشیدی، فوران‌هایی از گاز مشتعل هستند که ممکن است صدها هزار کیلومتر در فضا پیش بروند. میدان مغناطیسی خورشید می‌تواند زبانه‌های حلقوی را هفته‌ها در فضا پیش بروند معلق نگاه دارد.



تصویر ۴: زبانه‌ها و شعله‌های خورشیدی منبع: mezh.blogfa.com

۹- **طوفان‌های خورشیدی**^۳: این طوفان‌ها، دارای مقدار زیادی الکترون و پروتون هست که با سرعت 200 تا 500 مایل (800 کیلومتر) در ثانیه از خورشید دور می‌شوند و هاله‌هایی ایجاد می‌کنند (نمازیان، ۱۳۸۹).

- 1 - sunspots
- 2 - flares
- 3 - solar winds

انرژی خورشیدی

تقریباً تمام شکل‌های زمینی انرژی، از خورشید سرچشمه می‌گیرند. در اثر پیوستن یا هم‌جوشی اتم‌های هیدروژن که به یکدیگر در شرایط مساعدی که در ستاره خورشید وجود دارد، عناصر سنگین‌تر مثل هلیوم ساخته می‌شود. تفاوت جرم کم هلیوم نسبت به اتم‌های سازنده آن یعنی هیدروژن، انرژی ایجاد کرده که به صورت فوتون با طول موج‌های مختلف شامل امواج نوری فرابنفش و مادون قرمز به جو زمین می‌رسد. کل انرژی که به سطح زمین می‌رسد حدود 10^{18} ژول در سال است (IIASA-WEC, 1998). پتانسیل واقعی انرژی خورشیدی متأثر از عوامل متعددی نظیر زمان تابش خورشیدی در فصول مختلف سال و ساعت‌های متفاوت در روز، مناطق جغرافیایی و شرایط آب و هوایی است. پتانسیل انرژی خورشیدی در جهان تا حدی عظیم است که از تأمین احتیاجات فعلی و آتی کل تقاضای جهانی انرژی فراتر می‌رود (قیابکلو، ۱۳۹۶: ۱۱).

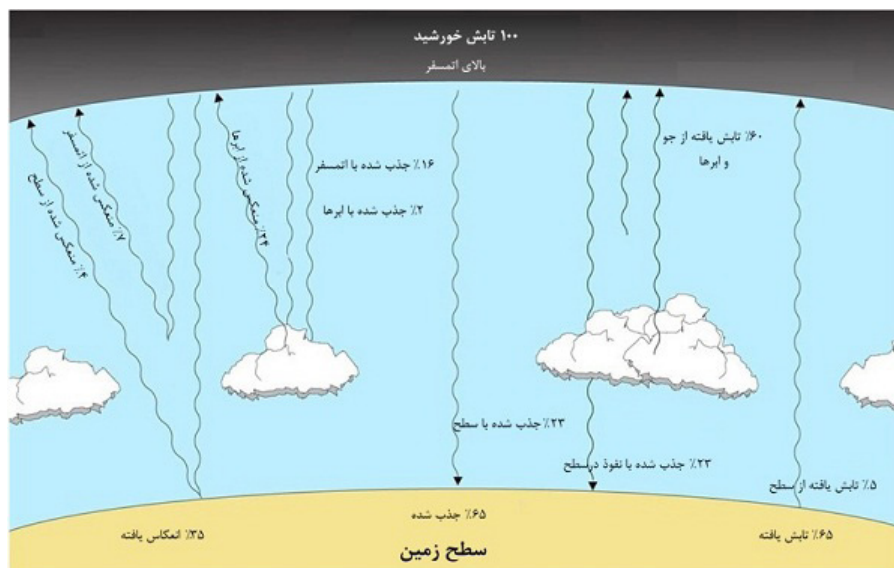
تشعشع خورشید و واکنش آن با جو زمین^۱

واکنش‌های هسته‌ای صورت گرفته در قسمت مرکزی خورشید باعث تولید اشعه گاما می‌شود. قسمت مرکزی خورشید، ۳ درصد حجم کل خورشید را تشکیل می‌دهد و قسمت خارجی آن، که ۵۰۰ هزار کیلومتر ضخامت دارد، پالایش‌کننده تشعشعی است که از بخش مرکزی خورشید ساطع می‌شود (اشعه گاما). بخش عمده‌ای از اشعه گامای ساطع شده از قسمت مرکزی توده خورشید، هنگام عبور از قسمت‌های مختلف آن، بر اثر برخورد با هسته اتم‌ها و الکترون‌ها، مقداری از انرژی خود را از دست می‌دهد. این امر موجب می‌شود که مقداری از فوتون‌های اشعه گاما بر اثر کم شدن مقدار انرژی، به اشعه ایکس و دیگر اشعه‌های با طول موج بزرگ‌تر تغییر یابند. این عمل همواره ادامه دارد. به بیان دیگر، انرژی فوتون‌ها مرتب کم شده و طول موجشان افزایش می‌یابد تا هنگامی که به سطح خارجی برسند. در واقع تشعشعی که از سطح خورشید ساطع و در جو منتشر می‌شود، شامل اشعه‌هایی با طول موج‌های متفاوت است. تحولات سطح خورشید اختلالات محسوسی در تشعشع آن به وجود می‌آورد که بیشتر در قسمت ماورای بنفش تابش خورشید صورت می‌گیرد.

در حدود ۸ دقیقه طول می‌کشد تا تشعشع خورشید با سرعت ۳۰۰ هزار کیلومتر (۱۸۰ هزار مایل) در ثانیه به محدوده کره زمین برسد. مسیر زمین به دور خورشید مسیری مدور به شعاع تقریبی ۹۳ میلیون مایل یا ۱۵۰ کیلومتر است. تابش خورشید به حدی زیاد است که پس از طی این مسافت، شدت تابش در سطح خارجی جو زمین برابر با ۱۳۶۷ وات بر مترمربع است. میزان دریافت کره زمین از تابش خورشیدی، در حدود یک دو میلیونیم آن است (نمازی، ۱۳۸۹: ۹). عوامل متعددی بر میزان انرژی رسیده از خورشید به سطح زمین اثرگذار هستند. این عوامل عبارتند از:

1 - solar radiation & the atmosphere

- بخار آب و سایر گازهای موجود در هوا می‌توانند نور خورشید را در بخش‌های مختلف از طیف آن جذب کنند. امواجی که در ناحیه فرورسرخ طیف خورشید قرار دارند توسط آب و دی‌اکسید کربن موجود در هوا جذب می‌شوند. در حالی‌که جذب امواج مربوط به ناحیه مرئی طیف خورشید، توسط اکسیژن و جذب امواج مربوط به ناحیه فرابنفش طیف خورشید توسط ترکیب ازون رخ می‌دهد.
- ذرات کوچک و همچنین قطرات موجود در هوا می‌توانند به صورت قابل توجهی نور خورشید را جذب کرده و یا باعث پراکنده شدن و برگشتن آن به فضا شوند.
- ابرها از تعداد بسیار زیادی قطرات کوچک آب یا یخ تشکیل شده‌اند و می‌توانند نور خورشید را جذب یا پراکنده کنند.
- چرخش زمین باعث می‌شود که نور خورشید مسیر طولانی‌تری نسبت به حالت تابش عمود را از میان اتمسفر طی کند. در واقع بسته به زاویه‌ای که نور وارد اتمسفر می‌شود، برای رسیدن به سطح زمین، باید مسیر متفاوتی را از درون اتمسفر عبور کند. این امر باعث می‌شود که این پرتوها مقادیر متفاوتی از عوامل جذب کننده یا پراکنده کننده نور را بر سر راه خود مشاهده کنند. این امر موجب می‌شود که مقدار نوری که به زمین می‌رسد، متفاوت باشد.



تصویر ۵: نحوه توزیع نور خورشید رسیده به بالای جو زمین
منبع: edu.nano.ir

میزان انرژی تابیده شده از خورشید به ازای هر طول موج، مقدار متفاوتی است. برای مثال این میزان برای طول موج‌های محدوده مرئی (تقریباً بین ۵۰۰ تا ۷۵۰ نانومتر) بسیار بیشتر از محدوده بین طول موج‌های ۱۵۰۰ تا ۱۷۵۰ نانومتر است. علاوه بر این، میزان انرژی تابیده

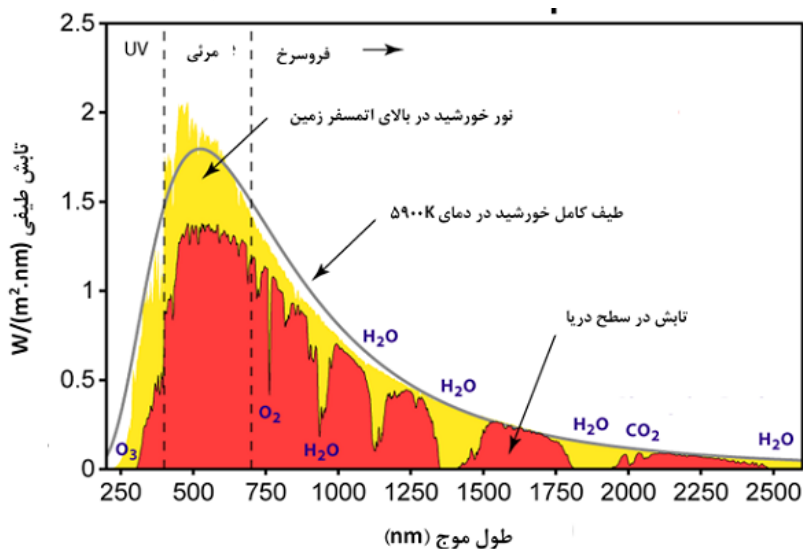
1 - Nano meter (nm)

خورشید

۷

شده از خورشید (در سطح خورشید) با میزان انرژی رسیده از خورشید به بالای اتمسفر زمین و همچنین با میزان انرژی رسیده از خورشید به سطح دریاها نیز متفاوت است. همان‌گونه که گفته شد، مولکول‌های موجود در اتمسفر زمین می‌توانند بخش‌هایی از نور خورشید را جذب نمایند. به منظور بررسی دقیق‌تر، تمام این تفاوت‌ها را می‌توان با استفاده از یک نمودار به نام «طیف توزیع انرژی خورشید» نشان داد. شکل زیر طیف توزیع انرژی خورشید را نشان می‌دهد.

محور عمودی این نمودار توان بر واحد سطح به ازای طول موج و محور افقی این نمودار نشان‌دهنده طول موج است. همان‌طور که می‌دانید انرژی هر موج را می‌توان برحسب طول موج آن بیان کرد. در این شکل، طول موج‌هایی که برخی ترکیبات موجود در اتمسفر باعث جذب نور خورشید و افت آن می‌شوند، نشان داده شده است. برای مثال، در طول موج حدود ۷۵۰ نانومتر، عامل افت شدت نور خورشید، ترکیب O_3 است. در شرایط جوی مختلف، نوع این ترکیبات و میزان هریک در اتمسفر متفاوت خواهد بود. همچنین وجود ابر و سایر پدیده‌های آب و هوایی نیز می‌تواند در تغییر طیف خورشید رسیده به زمین اثرگذار باشد. همچنین بسته به اینکه در چه ساعتی از شبانه‌روز هستیم، ممکن است بیشترین شدت طیف خورشید یا کمترین آن (یعنی صفر در شب!) را داشته باشیم.



تصویر ۶: طیف توزیع انرژی خورشید
منبع: edu.nano.ir

اتمسفر یا توده هوای اطراف زمین

فضای بین زمین و خورشید، اتمسفر نامیده می‌شود. از سوئی، سطح کره زمین، محدوده خارجی قسمت جو زمین است، اما از آنجا که وزن مخصوص هوا، در مقایسه با وزن مخصوص

1 - atmosphere

خاک و آب، ناچیز و محدوده خارجی جو بسیار وسیع است، معمول شده که سطح زمین و آب‌ها را سطح خارجی کره زمین بنامند. در واقع انسان‌ها در قسمت پایین و متراکم‌ترین بخش اقیانوس هوا قرار گرفته‌اند و این محدوده، بسیار متأثر از عوامل جوی و جغرافیایی می‌باشد (نمازی، ۱۳۸۹: ۱۰). اتمسفر یا جو زمین را می‌توان به چند قسمت تقریباً مشخص تقسیم کرد، این تقسیم‌بندی‌ها برحسب چگونگی روند دما با افزایش ارتفاع در جو زمین، اختلاف چگالی، تغییرات فشار، تداخل گازها و سرانجام ویژگی‌های الکتریکی به لایه‌های زیر تقسیم کرده‌اند:

۱- **تروپوسفر^۱**: پایین‌ترین لایه اتمسفر است که خود از لایه‌های کوچک‌تری تشکیل شده است. وجه تمایز این لایه با دیگر لایه‌های اتمسفر، تجمع تمامی بخار آب جو زمین در آن است؛ به همین دلیل بسیاری از پدیده‌های جوی که با رطوبت ارتباط دارند و عاملی تعیین‌کننده در وضعیت هوا به شمار می‌آیند (از قبیل ابر، باران، برف، مه و رعدوبرق) تنها در این لایه رخ می‌دهند. منبع حرارتی لایه تروپوسفر انرژی تابشی سطح زمین است. از این رو با افزایش ارتفاع با کاهش دما مواجه خواهیم بود. ضخامت تروپوسفر، از شرایط حرارتی متفاوتی که در عرض‌های جغرافیایی مختلف حاکم است تبعیت می‌کند. این ضخامت معمولاً از ۱۷ تا ۱۸ کیلومتر در استوا به ۱۰ تا ۱۱ کیلومتر در مناطق معتدل و ۷ تا ۸ کیلومتر در قطب‌ها تغییر می‌کند.

۲- **استراتوسفر^۲**: این لایه بر روی لایه تروپوسفر قرار دارد و ضخامت متوسط آن حدود ۲۳ کیلومتر است. در ۳ کیلومتر اول استراتوسفر، دمای هوا ثابت است اما در قسمت‌های بالاتر دمای هوا با ارتفاع افزایش می‌یابد. در استراتوسفر به ندرت ابر تشکیل می‌شود و تنها در شرایط ویژه‌ای ممکن است ابرهای کوهستانی به نام ابرهای مرواریدی در ارتفاع ۲۱ تا ۲۹ کیلومتری از سطح زمین ظاهر شوند که علت وجود آن‌ها حرکات موجی شکل هوا از سوی موانع می‌باشد. از دیگر ویژگی‌های مهم استراتوسفر وجود ازون در این لایه است که بخصوص در ارتفاع ۲۰ تا ۳۰ کیلومتری سطح زمین بر اثر واکنش‌های مختلف فتوشیمیایی به دست می‌آید. مقدار ازون در این لایه معمولاً روند فصلی دارد حداکثر آن در بهار و حداقل آن در پاییز مشاهده می‌شود.

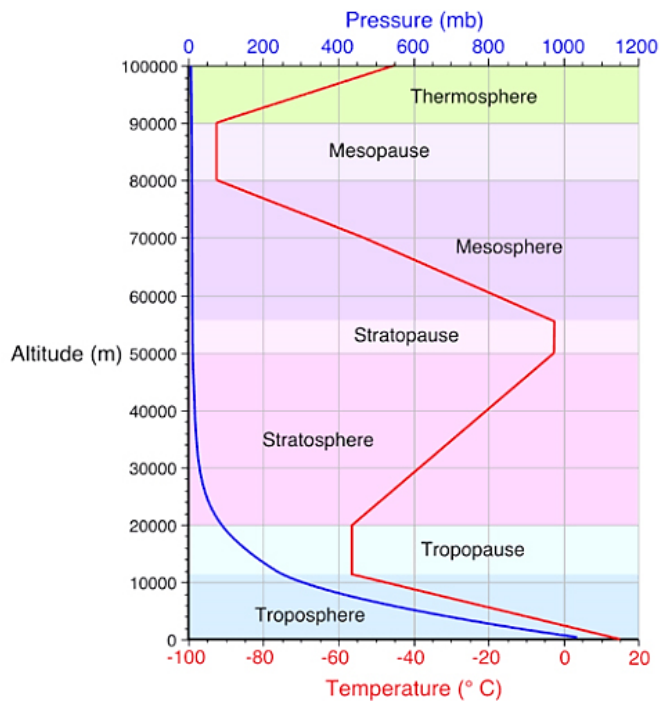
۳- **مزوسفر^۳**: در بالای لایه گرم ازون لایه مزوسفر قرار دارد که دما در آن متناسب با افزایش ارتفاع با آهنگ $۰/۳$ سانتی‌گراد به ازای هر ۱۰۰ متر کاهش می‌یابد به طوری که دما در مرز فوقانی آن در ارتفاع ۸۰ تا ۹۰ کیلومتری به -۸۰ درجه سانتی‌گراد می‌رسد. و نتیجه این دمای پایین انجماد بخار آب ناچیز موجود در این لایه است که باعث به وجود آمدن ابرهای شب‌تاب می‌شوند. این ابرها در تابستان و در عرض‌های بالا دیده می‌شوند. مزوسفر سردترین لایه اتمسفر تلقی می‌شود.

۴- **یونوسفر^۴**: از بخش فوقانی مزوسفر تا ارتفاع تقریبی ۱۰۰۰ کیلومتری اتمسفر زمین، بار الکتریکی شدیدی حاکم است که زائیده وجود یون‌ها و الکترون‌های آزاد است. در

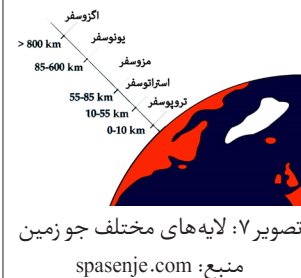
- 1 - Troposphere
- 2 - Stratosphere
- 3 - Mesosphere
- 4 - Ionosphere

حقیقت پرتوهای پرنرژی خورشید که از فضای خارج به طبقات بالایی اتمسفر وارد می‌شوند باعث گسستگی پیوند یا یونیزاسیون مولکول‌ها و اتم‌ها می‌شوند. بر اثر یونیزاسیون، الکترون آزاد می‌شود و باقی‌مانده اتم به صورت یون درمی‌آید؛ به همین علت این لایه از جو را یونوسفر نامیده‌اند. شدت یونیزاسیون در تمام ارتفاعات یونوسفر یکسان نیست؛ بنابراین لایه‌های متفاوت با تراکم الکترون و یون متفاوت با ارتفاعات مجاور خود در یونوسفر وجود دارد.

۵- **اگزوسفر:** شرایط موجود در یونوسفر در این لایه نیز حاکم است؛ بدین معنی که گازها در این لایه همچنان قابلیت هدایت الکتریکی خود را حفظ می‌کنند. سرعت ذرات در این لایه بسیار زیاد است و در مواردی به $11/2$ کیلومتر در ثانیه می‌رسد. اگزوسفر لایه گذار جو به فضای کیهانی به شمار می‌آید که بخش فوقانی آن را در ارتفاع بیش از سه هزار کیلومتری از سطح زمین برآورد کرده‌اند.



تصویر ۸: تغییرات دمای هوا در قسمت‌های مختلف جو زمین
منبع: pilotscollege.com



لازم به توضیح است که مقدار گاز ازون در جو، کمتر از مقداری است که مطرح می‌شود، اما همین میزان کم، تأثیر قابل توجهی بر کره زمین دارد. بیشترین گاز بر بالای جو زمین قرار دارد.

از سویی، دمای هوا به میزان سرما و گرمای سطح زمین که آن هم به میزان تابش نور خورشید در آن منطقه مربوط است بستگی دارد و برحسب درجه سانتی‌گراد سنجیده می‌شود. دمای

1 - Exosphere

یک محیط علاوه بر عرض جغرافیایی محل، به ارتفاع آن نقطه از سطح دریا نیز بستگی دارد. هرچه عرض جغرافیایی کمتر باشد یعنی به استوا نزدیک بوده و هوای منطقه گرم‌تر می‌شود. در یک عرض جغرافیایی ثابت، هرچه ارتفاع محل از سطح دریا بیشتر باشد، دمای هوای آن نقطه کمتر خواهد بود. در واقع دمای هوا را می‌توان به‌عنوان یک عامل مؤثر در تعیین قابلیت سکنی پذیری مناطق مختلف و نیز تعیین انرژی مورد نیاز برای گرمایش و سرمایش مورد استفاده قرار داد (قیابکلو، ۱۳۹۶: ۴۱).

میزان تابش خورشید بر کره زمین

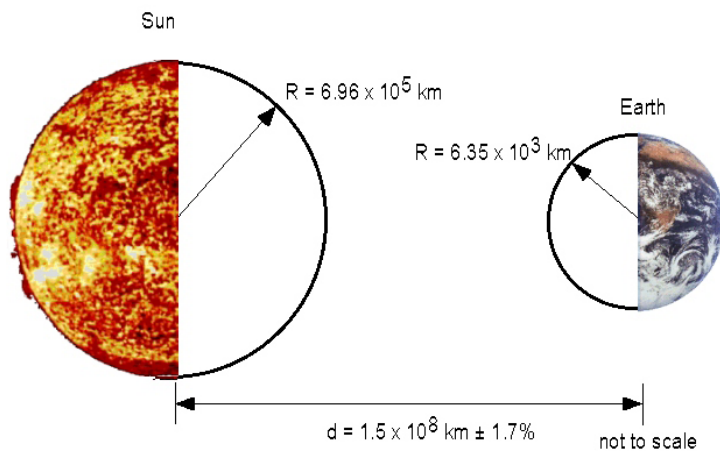
میزان انرژی تابشی خورشید که به سطح زمین می‌رسد در اثر تغییر شرایط جوی و موقعیت خورشید در طول روز و سال به مقدار زیادی تغییر می‌کند. این تغییرات به‌صورت فضایی (تغییر موقعیت جغرافیایی)، زمانی (ساعتی و روزانه) و طیفی (برای طول موج‌های مختلف) می‌باشد. هنگام عبور نور خورشید از اتمسفر مقداری از آن توسط مولکول‌های هوا، بخار آب، آبروسل، ابرها، و ذرات جوی دیگر جذب شده و مقداری نیز پراکنده می‌شود. بخشی از تابشی که به زمین می‌رسد به آسمان منعکس می‌گردد، که بستگی به جنس سطح زمین دارد. ابر مهم‌ترین پارامتر اثرگذار بر روی تابش خورشید می‌باشد. برای یک منطقه مشخص میزان تابش خورشید با افزایش پوشش ابر، کاهش می‌یابد (شهلا و دیگران، ۱۳۸۸: ۴). از سویی، مقدار تابش خورشیدی رسیده بر بالای جو زمین تابعی از عرض جغرافیایی است. پس از اینکه تابش‌های خورشیدی به جو زمین رسید و از آن عبور نمود، به دلیل پدیده‌های پخش و جذب اتمسفری، بخشی از تابش خورشیدی مستهلک می‌شود؛ به‌ویژه زمانی که ابرناکی آسمان و یا میزان ذرات هوا (تیرگی آسمان) بالا باشد. بنابراین مقدار تابش وارد شده به یک سطح افقی، در زمان‌های مختلف و به‌ویژه با تغییر شرایط اتمسفر تغییر می‌یابد (یزدان‌پناه و دیگران، ۱۳۸۸: ۹۷). در نتیجه تابش خورشیدی که به سطح زمین برخورد می‌کند، کمتر از مقدار آن در خارج از جو است. مقدار کاهش تابش خورشیدی به طول مسیر پیموده شده، شعاع تابشی و همچنین ترکیبات آن (ابرها، گردوغبار، رطوبت و مه) بستگی دارد. ابرها و ذرات موجود در جو نور خورشید را به جهات مختلف پراکنده می‌کنند (مرادی، ۱۳۸۴: ۱۰۴). مقدار تابش خورشید به هر سیاره در منظومه شمسی، با توان دوم فاصله آن سیاره از خورشید نسبت معکوس دارد. به‌طور مثال اگر سیاره‌ای صد میلیون کیلومتر از خورشید فاصله داشته باشد و سیاره دیگر، سیصد میلیون کیلومتر، مقدار تابش خورشید بر سیاره دوم برابر با یک‌نهم این مقدار بر سیاره نخست می‌باشد. فاصله نسبی یا متوسط بین کره زمین و خورشید برابر با یک‌صد و پنجاه میلیون کیلومتر (نود و سه مایل) است. مقدار تابش خورشید بر صفحه‌ای که عمود بر شعاع تابش خورشید قرار گرفته باشد برابر با دو کالری انرژی گرمایی خورشید بر سانتی‌متر مربع در دقیقه^۱ است. این مقدار برابر با ۱۳۶۷ وات بر مترمربع^۲ است و تابش ثابت خورشید^۳ نام دارد.

1 - Cal/cm²/min

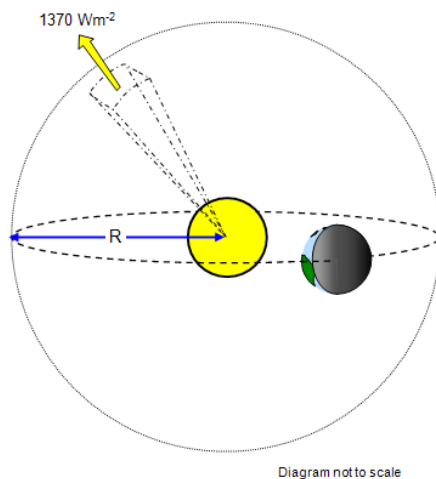
2 - w/m²

3 - Solar constant

از آن جا که فاصله کره زمین در فصل زمستان کمتر از تابستان است^۱، مقدار تابش خورشید در زمستان تا حدی از تابستان بیشتر است (نمازی، ۱۳۸۹: ۱۶-۱۷). اگر به فرض، صفحه‌ای که عمود بر شعاع تابش خورشید قرار می‌گیرد، دایره‌ای ثابت باشد و شعاع این صفحه فرضی برابر با شعاع کره زمین در نظر گرفته شود، مقدار تابش خورشید بر این صفحه فرضی برابر با مقدار تابشی است که بر کره زمین در حال دوران می‌تابد. اگرچه این مقدار به دلیل فاصله زیاد خورشید از زمین به شکل پرتوهای موازی است. از آن جا که سطح خارجی یک کره با شعاع معین R ، برابر سطح دایره‌ای با شعاع R ، میانگین مقدار تابش خورشید در سال در خارج از جو زمین (کره زمین دوار) برابر با نیم کالری بر سانتی متر مربع در دقیقه یا یک چهارم مقدار تابش ثابت خورشید خواهد بود.

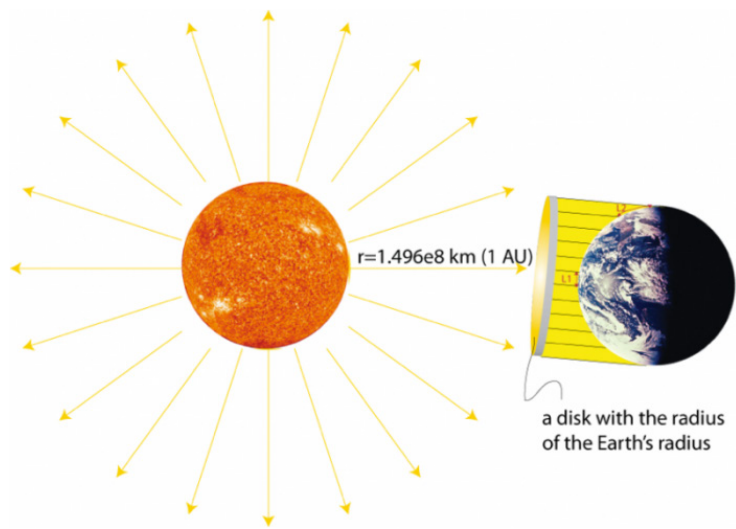


تصویر ۹: شعاع و فاصله خورشید نسبت به زمین
منبع: www.schoolphysics.co.uk



تصویر ۱۰: تابش خورشید بر کره زمین
منبع: www.schoolphysics.co.uk

۱- در دی ماه ۱۴۷,۵ میلیون کیلومتر
و در خرداد ماه ۱۵۲,۵ میلیون کیلومتر



تصویر ۱۱: تابش خورشید بر کره زمین به شکل پرتوهای موازی

منبع: www.e-education.psu.edu

اندازه‌گیری شدت تابش خورشید

شدت اشعه‌ی خورشیدی که به یک منطقه از زمین می‌رسد، در درجه نخست به محل قرار گرفتن خورشید و موقعیت آن نسبت به آن منطقه و در درجه بعد به حجم ذرات معلق موجود در جو بستگی دارد. وضعیت جغرافیایی منطقه و وضعیت آب و هوایی آن نیز در میزان تابش مؤثر می‌باشد. همچنین از عوامل مهم دیگری که در میزان تابش دریافتی یک منطقه مؤثر هستند، می‌توان به طول مدت روز، زاویه تابش خورشید به زمین، فاصله بین منطقه و خورشید، صاف یا ابری بودن هوا و کیفیت جوی که اشعه خورشید برای رسیدن به زمین باید از آن بگذرد، اشاره داشت (کاک نیلسن، ۱۳۸۹: ۲۳). به منظور اندازه‌گیری تعداد ساعت‌های آفتابی در طول یک روز، از وسیله‌ای به نام آفتاب‌سنج استفاده می‌کنند. وضعیت آسمان نیز به صورت صاف یا ابری بیان می‌شود. در صورت صاف بودن آسمان، آفتاب‌سنج تعداد ساعت‌های آفتابی را ثبت می‌کند و در صورت ابری بودن، میزان ابر در آسمان به صورت درصد بیان می‌شود. مثلاً برای بیان ابری بودن نیمی از آسمان، عنوان می‌شود که ۵۰ یا پنج‌دهم و یا چهارهشتم آسمان ابری است (قیابکلو، ۱۳۹۶: ۳۸-۳۷).

دانستن آمار مربوط به وضعیت آسمان در طراحی هم از جهت میزان انرژی دریافتی در ساعات آفتابی توسط نور خورشید و همچنین بهره‌گیری از نور طبیعی بسیار حائز اهمیت است. برای سنجش شدت تابش از وسایل مختلف و پیچیده‌ای استفاده می‌شود. واحد سنجش شدت انرژی، وات بر مترمربع (W/m^2) است که شدت لحظه‌ای است، از آنجایی که یک وات بر مترمربع برابر است با یک ژول بر ثانیه ($1W = 1J/s$)، بنابراین کل تابش دریافتی در یک روز به صورت ژول بر مترمربع (J/m^2) بیان می‌شود. برای برآورد کل تابش روزانه

تاییده شده بر صفحات افقی می‌توان از رابطه زیر که برحسب تعداد ساعات‌های آفتابی در روز می‌باشد، استفاده کرد:

$$\frac{Q}{Q_s} = 0.29 \cos L + 0.52 \frac{n}{N}$$

در رابطه فوق:

- Q: کل انرژی تاییده شده بر سطح افق برحسب مگاژول بر مترمربع در روز
- Q_s : رقم ثابت تابشی در روز ($36 \text{ J} / \text{m}^2 \text{ day}$)
- n: تعداد ساعات آفتابی در روز
- N: حداکثر ممکن تعداد ساعات آفتابی در روز (طول روز)
- L: عرض جغرافیایی محل

برای محاسبه میزان انرژی دریافت شده توسط یک صفحه مورد نظر (مایل، افقی یا عمودی)، می‌توان از قانون کسینوس استفاده نمود. طبق قانون فوق، مقدار اشعه تاییده شده بر روی یک سطح شیب‌دار برابر است با حاصل ضرب شدت اشعه تایید شده بر سطح عمود بر اشعه و کسینوس زاویه برخورد. بنابراین میزان انرژی دریافت شده برابر است با:

$$A_f = B \times \cos I$$

در رابطه فوق:

- A_f = شدت اشعه تاییده شده بر سطح شیب‌دار برحسب وات بر مترمربع
- B = شدت اشعه تاییده شده بر سطح عمود بر اشعه برحسب وات بر مترمربع
- I = زاویه ورود (برخورد)

درجات گرمایی و سرمایی

یکی از عوامل مهم اقلیمی در طراحی بناهای کارآمد از لحاظ صرفه‌جویی در مصرف انرژی، دانستن اختلاف درجه حرارت داخل و خارج در جهت تعیین بار حرارتی و برودتی^۱ بنا بوده و مفهوم درجات روزها^۲ بر همین اساس پایه‌گذاری شده است. روز درجه با درجه روز گرمایشی و درجه روز سرمایشی^۳ از عواملی هستند که بستگی به درجه حرارت متوسط هوا در طی یک روز داشته و نشان‌دهنده این هستند که چه میزان باید درجه حرارت متوسط هوا در طی یک روز افزایش یا کاهش یابد تا برای زندگی انسان مناسب شود و از طرف دیگر چه مقدار انرژی باید صرف گرم کردن یا خنک کردن هوا کرد.

به منظور ارزیابی اثر درجه حرارت هوا روی مصرف سوخت و انرژی و نیز آسایش و رفاه ساکنان یک منطقه، محققان درجه روز گرمایشی و درجه روز سرمایشی را تعریف کرده‌اند. یک درجه روز گرمایشی به این مفهوم است که در یک روز سرد باید یک درجه سانتی‌گراد به درجه حرارت



- 1 - heating and cooling Load
- 2 - Degree Days
- 3 - heating and cooling Degree

متوسط روزانه افزود تا درجه حرارت مناسب برای زندگی به دست آید. یک درجه روز سرمایشی به این معنا است که در یک روز گرم باید یک درجه سانتی‌گراد از درجه حرارت متوسط روزانه کاست تا درجه حرارت مناسب برای زندگی فراهم شود. در صورتی که تعداد درجه روزهای گرمایشی در طول سال محاسبه شده باشد، سوخت مورد نیاز برای گرمایش منطقه را می‌توان تخمین زد (قیابکلو، ۱۳۹۶: ۴۵-۴۴). دمای مبنای انتخاب شده برای روز درجات گرمایش مطابق با استانداردهای جهانی ۱۸ الی ۱۸ / ۳ درجه سانتی‌گراد است. فرض بر آن است که انرژی خورشیدی و گرمای حاصل از پخت‌وپز و سایر لوازم برقی ۳ الی ۴ درجه دمای فضای داخلی را نسبت به دمای مینا افزایش داده و آن را به حد مطلوب می‌رساند. به‌عنوان مثال، برای روزی که دمای هوا به‌طور متوسط در آن شبانه‌روز ۱۳ درجه سانتی‌گراد باشد، اختلاف آن با حداقل درجه دمای مینا برای زمستان که ۱۸ °C است، درجه گرمایی این روز خاص است که ۵ °C است و به همین ترتیب درجه برودت برای یک روز تابستانی که متوسط دمای هوا در آن شبانه‌روز ۲۸ °C باشد، با توجه به دمای مینا برای تابستان که ۲۱ °C است، ۷ °C است.

به‌منظور تأمین روز درجه گرمایی در یک دوره معین، مثلاً یک ماه یا یک سال، درجه گرمایی را برای تمام روزهای سال محاسبه کرده، آنگاه با یکدیگر جمع می‌کنند؛ یعنی مجموع کل دماهای زیر ۱۸ °C، به همین صورت به مجموع کل دماهای بالای ۲۱ °C، درجه برودت را برای منطقه مفروض در آن دوره مشخص نشان می‌دهد. یک روش دیگر، استفاده از متوسط دمای یک دوره معین (به‌عنوان مثال متوسط دمای میانه) در یک منطقه است. برای محاسبه روز درجه گرمایشی و سرمایشی در یک دوره معین (به‌عنوان مثال یک ماه) می‌توان از معادلات زیر استفاده نمود:

$$HDD = N (18 - T_m)$$

$$CDD = N (T_m - 21)$$

در معادلات فوق:

HDD = روز درجه گرمایی

HDD = روز درجه سرمایی

N = تعداد روزهای دوره

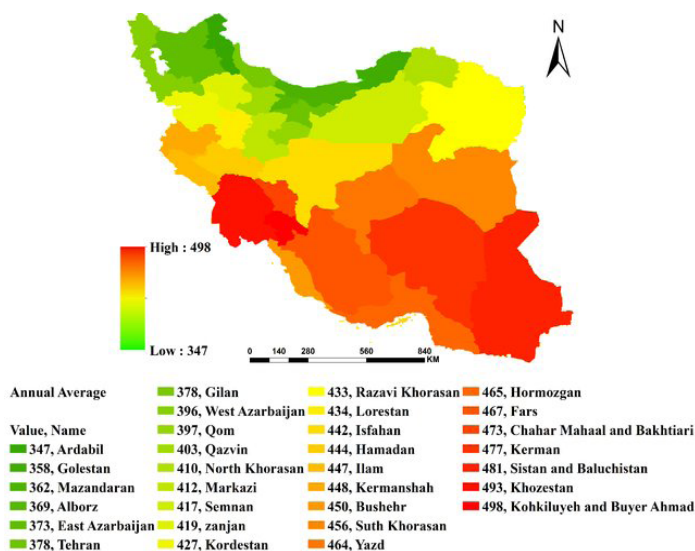
T_m = متوسط دمای دوره

برای محاسبه روز درجات سرمایی و گرمایی در طول یک سال می‌توان روز درجات گرمایی را در ماه‌های سرد (زمان‌هایی که متوسط دما از ۱۸ درجه کمتر است) و روز درجات سرمایی را برای تمام ماه‌های گرم (زمان‌هایی که متوسط دما از ۲۱ درجه بیشتر است) از طریق متوسط دمای ماهیانه محاسبه کرده و با یکدیگر جمع نمود. به‌عنوان مثال اگر متوسط دمای یکی از ماه‌های سرد در یک منطقه ۸/۵ درجه سانتی‌گراد باشد، روز درجه گرمایی برای آن ماه $HDD = 30 (18 - 5/8) = 285$ مشخص برابر است بود با:

به همین ترتیب روز درجه گرمایی و سرماییی برای کلیه ماه‌های سال محاسبه و با یکدیگر می‌کردند. درجات روزها با مقدار انرژی مصرفی در یک ساختمان رابطه مستقیم دارد. اگر درجات روزها در یک منطقه دو برابر شود، مقدار انرژی مصرفی در آن بنا به منظور تأمین حرارت و یا برودت نیز دو برابر خواهد شد (قیابکلو، ۱۳۹۶: ۴۵).

موقعیت کشور ایران در بهره‌گیری از انرژی خورشیدی

کشور ایران در بین مدارهای ۲۵ تا ۴۰ درجه عرض شمالی قرار گرفته است و در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد. میزان تابش خورشیدی در ایران بین ۱۰۰ تا ۲۲۰۰ کیلووات ساعت بر مترمربع (۶۱۲۰ الی ۷۹۲۰ مگاژول بر مترمربع) در سال تخمین زده شده است که البته بالاتر از میزان متوسط جهانی است. در ایران به طور متوسط سالیانه بیش از ۲۸۰ روز آفتابی گزارش شده است که بسیار قابل توجه است. به جز سواحل خزر که از کمترین میزان ساعات آفتابی برخوردار بوده و مقادیر سالانه آن از ۲۰۵۰ ساعت فراتر نمی‌رود، در سراسر کشور درصد روزهای آفتابی در سال بین ۶۳ تا ۹۸ درصد است. در شرق ایران کل ساعات آفتابی در طول سال ۳۳۰۰ ساعت است که ۷۵ درصد ساعات آفتابی ممکن را شامل می‌شود (قیابکلو، ۱۳۹۶: ۱۳). در حال حاضر فناوری‌های عمده خورشیدی عبارت از گردآورنده‌های خورشیدی^۱ و فتوولتائیک‌ها^۲ هستند.



تصویر ۱۲: میانگین سالانه تابش خورشید در شهرهای ایران (وات بر مترمربع)

منبع: Firozjaei and et al, 2017:11

1 - Solar collectors

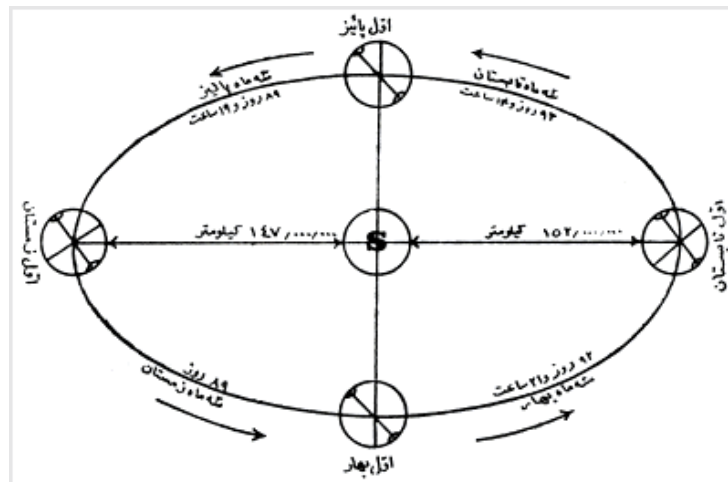
2 - photovoltaics

هندسه خورشیدی

علوم ریاضی مرتبط با موقعیت خورشید در آسمان و زوایای پرتو آن در رابطه با زمین و سطوح مختلف در آن را هندسه خورشید می‌نامند (قیابکلو، ۱۳۹۶: ۸۱). این مفاهیم به شرح زیر تعریف می‌شوند:

زاویه انحراف: δ

فاصله زمین تا خورشید در تابستان نیمکره شمالی حداکثر ۱۵۲,۰۰۰,۰۰۰ کیلومتر و حداقل این فاصله ۱۴,۷۰۰,۰۰۰ کیلومتر به هنگام زمستان نیمکره شمالی است. اگر از مرکز خورشید یک خط فرضی به سمت استوای زمین در نظر بگیریم، درمی‌یابیم که خورشید به زمین عمودی نمی‌تابد بلکه استوای زمین با خط تابش زاویه‌ای تشکیل می‌دهد که برابر با ۲۳ درجه و ۲۷ دقیقه محاسبه گردیده است یعنی زمین نسبت به تابش عمودی خورشید زاویه انحرافی دارد. وجود این زاویه انحراف باعث ایجاد فصول، کوتاه و بلند شدن طول شب و روز و پیدایش حیات در سطح کره زمین گردیده است، اگر این زاویه انحراف وجود نداشت و اشعه خورشید مستقیماً به زمین می‌رسید، به واسطه گره‌ای بیش از حد کره زمین قابل سکونت نبود، زیرا انتشار گرما در سطح زمین هیچ ارتباطی به دوری و نزدیکی به خورشید ندارد بلکه بستگی مستقیم به زاویه تابش و قلمرو تابش دارد. در فصل تابستان گرم (در نیمکره شمالی) فاصله زمین تا خورشید حدود ۵,۰۰۰,۰۰۰ کیلومتر دورتر از زمستان سرد است و به طوری که می‌دانیم با وجود نزدیکی زمین به خورشید در فصل زمستان سرما به مراتب بیشتر از فصل تابستان است که زمین دورتر می‌باشد.

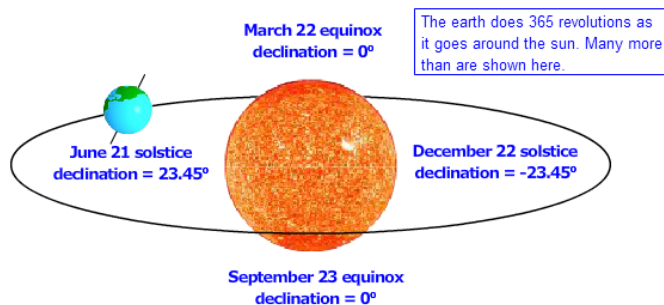


تصویر ۱۳: زاویه انحراف در فصول مختلف

منبع: www.aftabir.com

زاویه انحراف، زاویه بین شعاع تابش خورشید با صفحه استوا در ظهر خورشیدی است و مقدار آن $23,5^\circ -$ تا $23,5^\circ +$ درجه تغییر می‌کند. این زاویه در روز ۳۰ آذر یا اول دی ماه

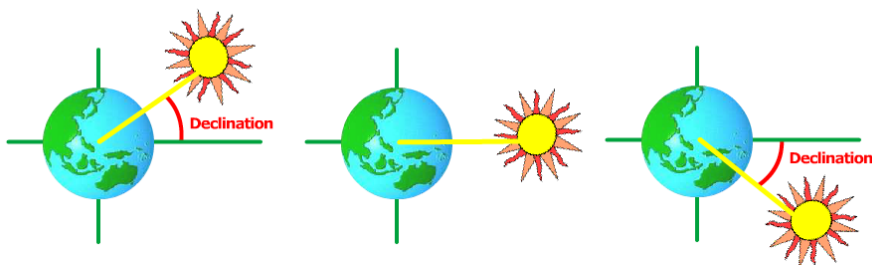
۲۳،۵- و در روز ۳۱ خرداد یا اول تیر ماه ۲۳،۵+ و در روز اول فروردین و ۳۱ شهریور و اول مهر ماه، صفر است.



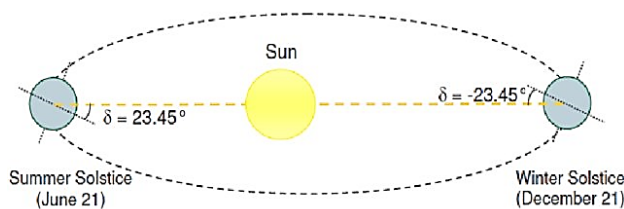
Summer solstice in the northern hemisphere. The declination angle (δ) is at its maximum and is 23.45° .

Spring equinox in the northern hemisphere and autumn equinox in the southern hemisphere. The declination angle (δ) is 0° .

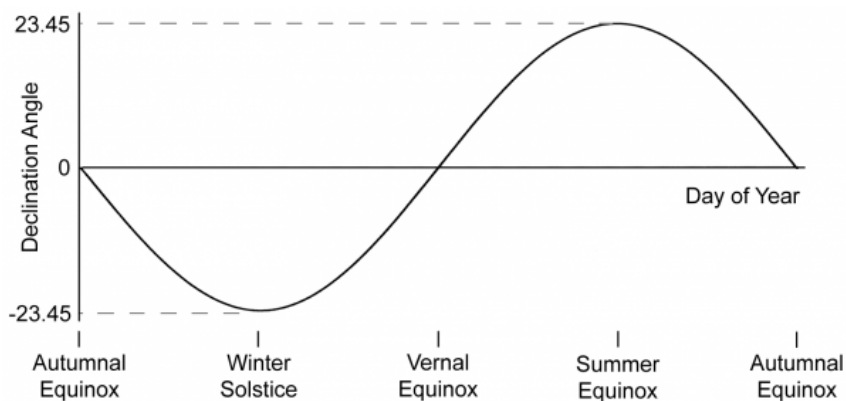
Winter solstice in the northern hemisphere and summer solstice in the southern hemisphere. The declination angle (δ) is -23.45° .



تصویر ۱۴: زاویه انحراف در فصول مختلف منبع: www.pveducation.org



تصویر ۱۵: مقایسه زاویه انحراف در تابستان و زمستان منبع: www.researchgate.net



تصویر ۱۶: نمودار زاویه انحراف منبع: www.itacanet.org

در پژوهش‌های صورت گرفته این نظریه مطرح می‌شود که این زاویه در هر چهل هزار سال بین ۲۱٫۸ و ۲۴٫۴ درجه در حال تغییر است. اندازه این زاویه مطابق با رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\delta = -23.45 \times \sin \left[360 \times \frac{n}{365} \right]$$

جمع روزهای سال از ابتدای فروردین تا روز مورد نظر: n:

مثال: محاسبه زاویه انحراف را در روز ۲۷ آبان:

$$n = 6(31) + 30 + 27 = 243$$

$$\delta = 23.45 \times \sin \left[360 \times \frac{243}{365} \right] = -20.24^\circ$$

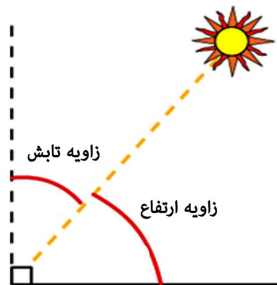
زاویه تابش یا ارتفاع خورشید: θ

زاویه شعاع تابش خورشید با تصویر آن روی صفحه افق می‌باشد و مقدار آن از صفر تا ۹۰ درجه تغییر می‌کند. مقدار زاویه تابش از رابطه زیر محاسبه می‌شود. از آنجا که زاویه ارتفاع و زاویه ورود برای صفحه افق متمم یکدیگرند، بنابراین (نمازیان، ۱۳۸۹: ۲۲):

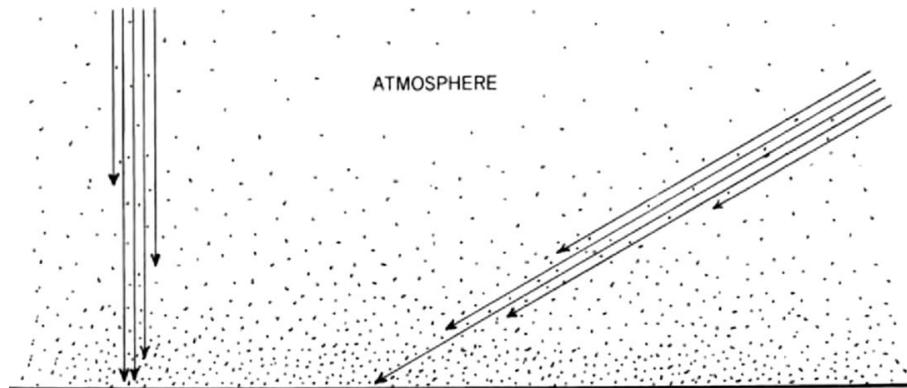
$$\theta + I_h = 90$$

$$\sin \theta = \cos I_h = (\sin \delta)(\sin L) + (\cos \delta)(\cos L)(\cos H)$$

زاویه ارتفاع تعیین می‌کند که چه مقدار از تابش خورشید توسط جو جذب می‌شود.



تصویر ۱۷: مقایسه زاویه ارتفاع (تابش) و ورود
منبع: نگارندگان



تصویر ۱۸: جذب تابش خورشید توسط اتمسفر
منبع: lechner, 2015: 143

مثال: محاسبه زاویه ارتفاع خورشید برای منطقه با عرض جغرافیایی ۳۵/۵، زاویه ساعت ۵/۲۰- و زاویه انحراف ۴۵/۲۰-:

$$\sin \theta = (\sin -20.45)(\sin 35.5) + (\cos -20.45)(\cos 35.5)(\cos -52.5)$$

$$\theta = 15^\circ$$

l - Altitude Angle

خورشید

زاویه ارتفاع ظهر خورشیدی برای عرض‌های جغرافیایی مختلف به صورت زیر می‌باشد (قیابکلو، ۱۳۹۶: ۸۵):

(عرض جغرافیایی | - ۲۳/۴۵) - ۹۰° = زاویه ارتفاع ظهر خورشید در انقلاب تابستانی

(عرض جغرافیایی | + ۲۳/۴۵) - ۹۰° = زاویه ارتفاع ظهر خورشید در انقلاب زمستانی

عرض جغرافیایی | - ۹۰° = زاویه ارتفاع ظهر خورشید در اعتدال بهاری / پاییزی

انقلاب زمستانی^۱

پس از انقلاب تابستانی، نیمکره جنوبی اندک‌اندک به سمت خورشید تمایل می‌یابد و نیمکره شمالی، از خورشید دور می‌شود تا اینکه پس از شش ماه، یعنی در ابتدای زمستان نیمکره شمالی، میزان کج شدگی نیمکره جنوبی به بیشترین مقدار خود می‌رسد. در این روز ساکنان عرض جغرافیایی ۲۳/۵ درجه جنوبی، خورشید را هنگام ظهر درست بالای سر خود مشاهده می‌کنند. این روز کوتاه‌ترین روز نیمکره شمالی و بلندترین روز نیمکره جنوبی است. به آغاز زمستان در اصطلاح انقلاب زمستانی گویند. انقلاب زمستانی کوتاه‌ترین روز سال در نیمکره شمالی است (اول دی ماه) و شروع رسمی زمستان محسوب می‌شود. خورشید در این زمان در پایین‌ترین ارتفاع در آسمان قرار دارد، زیرا در این زمان جهت محور قطب شمال سیاره ما که نسبت به سطح مداری خود دارای انحراف است، در جهت خورشید قرار ندارد. انقلاب زمستانی، در ستاره‌شناسی، نام لحظه‌ای است که خورشید از دید ناظر زمینی در بیش‌ترین فاصله زاویه‌ای با صفحه استوادر آنسوی نیم‌کره ناظر قرار دارد.

انقلاب تابستانی^۲

از هنگام انقلاب زمستانی به بعد روزها به تدریج بلندتر می‌شوند و در طول شش ماه زمین در طرف دیگر خورشید قرار می‌گیرد و ساکنان نیمکره شمالی انقلاب تابستانی را در بلندترین روز سال (اول تیرماه) تجربه خواهند کرد.

اعتدالین

از تقاطع مدار ظاهری خورشید با استوای سماوی دو نقطه پدید می‌آید. که در آن زمان طول شب و روز در تمام نقاط زمین با هم برابر می‌شوند. این تقاطع سالی دو مرتبه صورت می‌گیرد و به نقاط حاصل از این دو برخورد در اصطلاح، اعتدالین گفته می‌شود. خورشید هر سال حدود اول فروردین و اول مهر در این نقاط است.

اعتدال بهاری و پاییزی روزهایی هستند که روز و شب طول مساوی دارند. دو اعتدال سالانه موقعی رخ می‌دهد که خورشید استوا را به شکل صلیب قطع می‌کند. اعتدال بهاری با شروع بهار در نیمکره شمالی و شروع پاییز در نیمکره جنوبی رخ می‌دهد. اعتدال پاییزی با شروع پاییز در نیمکره شمالی و شروع بهار در نیمکره جنوبی شکل می‌گیرد.

1 - WINTER SOLSTICE
2 - SUMMER SOLSTICE