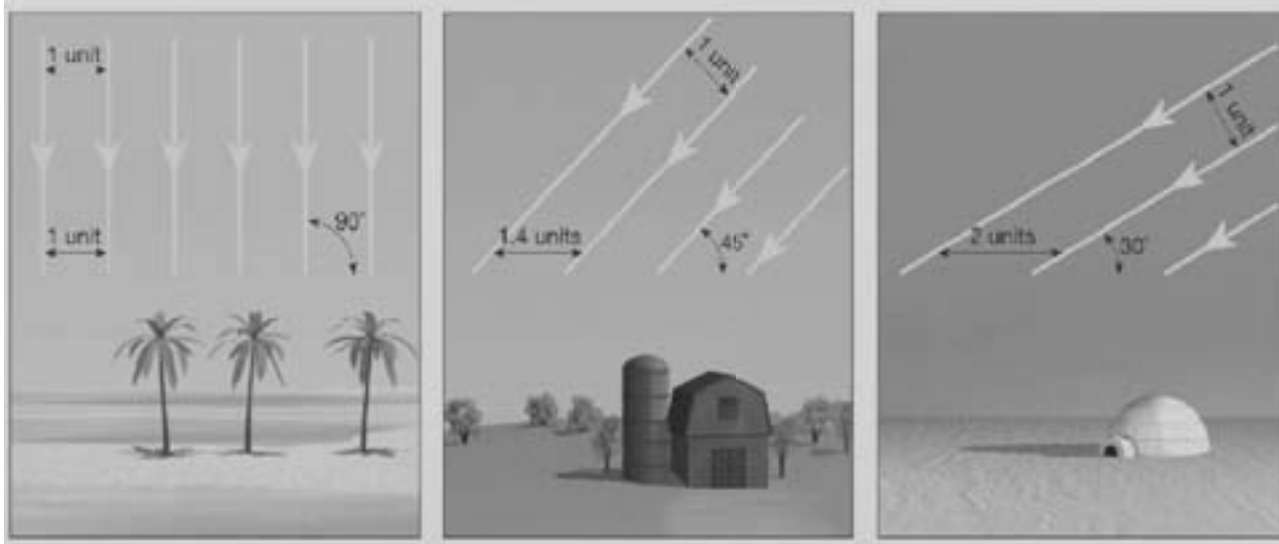


# فرآیند محاسبات اقلیمی بر اساس هندبوک اشری

نویسنده: مهندس وحید وکیل الرعایا

## مقدمه

در این فصل روشی که نرم افزار HAP برای انجام محاسباتش استفاده می کند تشریح شده است. روش های مختلفی برای انجام محاسبات بار حرارتی و برودتی ساختمان وجود دارد که مهمترین و معروفترین آنها دو روش CLTD و RTS می باشد. روش CLTD که مخفف عبارت Cooling Load Temperature Difference است براساس اختلاف درجه حرارت معادل به انجام محاسبات می پردازد که در بیشتر مراجع فارسی این روش توضیح داده شده است. در مقابل روش RTS که مخفف عبارت Radiant Time Series می باشد براساس سری های زمانی تشعشعی خورشید به انجام محاسبات می پردازد. ASHRAE تا سال ۱۹۹۷ روش CLTD را برای انجام محاسبات پیشنهاد می کرد. ولی در هندبوک اشری سال ۲۰۰۱ فقط روش RTS بیان شده است. به بیان ساده با روش CLTD می توان برای ساعاتی که تصور می شود شرایط بار بحرانی است و بار ساختمان ماکزیمم است به محاسبه بار پرداخت ولی با روش RTS بار ساختمان برای تمام ۸۷۶۰ ساعت یکسال بار محاسبه می شود و از بین آنها عددی که بیشتر باشد بیانگر بار ماکزیمم ساختمان است. از طرف دیگر چون روش CLTD از یک سری جدول و نمودار برای محاسبه بار استفاده می کند ولی در مقابل در روش RTS از فرمول های ریاضی برای انجام این محاسبات استفاده می شود، بنابراین نوشتن نرم افزارها با روش RTS ساده تر و دقیق تر است که نرم افزار Carrier نیز از همین روش در انجام محاسباتش استفاده می کند. در هر صورت از آنجا که این روش در مراجع فارسی کمتر مورد توجه قرار گرفته است در این فصل این روش و نحوه استفاده از آن بیان شده است. در ارایه این روش از روابط و مفاهیم هندبوک اشری جلد Fundamentals ۲۰۰۱ استفاده شده است.



## استفاده از حرارت خورشید

خورشید تنها منبع مهم انرژی طبیعی جهت گرم کردن ساختمان است. به طور کلی شدت تابش خورشید بر روی جداره‌های ساختمان به عواملی از قبیل؛ عرض جغرافیایی، جهت ساختمان، فصل، ساعت، صافی و آلودگی‌های هوای محل، رنگ و نوع جداره‌های ساختمان، وضع ساختمان مجاور، وزش باد و عوامل دیگری بستگی دارد.

حرارت خورشید در خارج از اتمسفر زمین در حدود  $445 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2}$  در ۲۱ دسامبر، هنگامی که خورشید در نزدیک‌ترین فاصله نسبت به زمین است و در حدود  $415 \frac{\text{Btu}}{\text{hr.ft}^2}$  در ۲۱ ژوئن، وقتی که خورشید بیشترین فاصله را از زمین دارد، می‌باشد. در طی سال حرارت خورشید در خارج از جو زمین بین این دو حد تغییر می‌کند. حرارت خورشید که به سطح زمین می‌رسد به مقدار قابل ملاحظه‌ای کمتر از مقادیر فوق است. علت این امر آن است که بخش عمده‌ای از این حرارت پراکنده شده و به فضای بیرونی منعکس می‌شود و توسط جو زمین جذب می‌گردد. این تشعشع پخش شده را تشعشع پراکنده می‌نامند که در نهایت توسط ذرات و گازهای موجود در جو سطح زمین توزیع می‌گردد. آن قسمت از حرارت خورشید که به طور مستقیم از اتمسفر عبور می‌کند، تشعشع مستقیم نامیده می‌شود. رابطه بین تشعشع کل، تشعشع مستقیم و تشعشع پراکنده در هر نقطه زمین به عوامل زیر بستگی دارد:

- فاصله‌ای که اشعه خورشید برای رسیدن به نقطه موردنظر روی زمین؛ درون جو طی کرده است.
  - مقدار گرد و غبار و آلودگی‌های موجود در هوا.
- هنگامی که فاصله طی شده یا مقدار گرد و غبار افزایش می‌یابد مولفه تشعشع پراکنده افزایش و مولفه تشعشع مستقیم کاهش می‌یابد.

## وقت خورشیدی (Apparent solar Time)

در بحث شرایط آب و هوایی و محاسبات بار، زمان ظاهری خورشید یا AST یک مفهوم مهم است. AST به تغییر مکان خورشید در آسمان وابسته است و مطابق آن ظهر هنگامی است که خورشید به نقطه اوجش در آسمان می‌رسد. به منظور محاسبه شدت تابش خورشید و حرارت به دست آمده از آن برای یک ساختمان موقعیت خورشید در آسمان باید به کمک AST تخمین زده شود. به عبارت دیگر هنگام محاسبه بار تابش برای یک ساعت مشخص بر حسب زمان محلی (Local Time)، باید زمان خورشیدی (AST) متناظر با زمان محلی (LT) تخمین زده شود زیرا AST با LT برابر نیست. برای آن که علت این اختلاف مشخص شود، از یک مثال کمک می‌گیریم. شهرهای تهران و مشهد را در نظر بگیرید. طول جغرافیایی تهران ۵۱ درجه و طول جغرافیایی مشهد ۵۹ درجه می‌باشد و بنابراین؛ این دو شهر در طول جغرافیایی ۸ درجه با هم اختلاف دارند. هنگامی که ساعت در تهران ۱۲ ظهر است در

مشهد نیز ساعت همان است و بنابراین زمان محلی (LT) همواره برای این دو شهر یکسان است ولی هنگامی که خورشید در تهران در نقطه اوج قرار گرفته است، در مشهد در نقطه اوجش نیست. زیرا کره زمین به  $36^\circ$  قسمت نصف‌النهاری (طول جغرافیایی) تقسیم شده است و لذا خورشید در طی ۲۴ ساعت با سرعت  $36^\circ$  درجه نصف‌النهاری از روی کره زمین عبور می‌کند. با تقسیم  $36^\circ$  درجه بر ۲۴ ساعت، عدد ۱۵ به دست می‌آید و این یعنی وقت استاندارد محلی برای هر ساعت معادل  $15^\circ$  درجه نصف‌النهاری است و با تبدیل این سرعت به دقیقه می‌توان گفت؛ سرعت حرکت خورشید برای هر درجه نصف‌النهاری برابر ۴ دقیقه است. بنابراین با توجه به اختلاف  $8^\circ$  درجه‌ای در طول جغرافیایی این دو شهر؛ زمانی که خورشید در تهران به منطقه اوجش می‌رسد  $32^\circ$  دقیقه با زمانی که خورشید در مشهد به نقطه اوجش می‌رسد تفاوت خواهد داشت. بنابراین هرچند ممکن است چندین شهر دارای زمان محلی یکسان باشند ولی به علت اختلاف طول‌های جغرافیایی‌شان، در یک زمان محلی خاص، موقیعت خورشید نسبت به هر شهر متفاوت خواهد بود و لذا میزان دریافت تشعشع خورشید در این شهرها برابر نخواهد بود.

علاوه بر اختلاف طول‌های جغرافیایی؛ این مساله که زمین در مسیر بیضوی دوران می‌کند نیز باعث اختلاف بین زمان‌های خورشیدی AST و محلی LT می‌شود. رابطه بین این دو زمان توسط فرمول زیر داده شده است:

$$AST = LT + \frac{4(L_{std} - U_{oc}) + E}{60} - D$$

$$E = 9.87 \sin(2B) - 7.53 \cos(B) - 1.5 \sin(B)$$

$$B = \frac{360(N-81)}{364}$$

در روابط فوق داریم:

AST = زمان ظاهری خورشید.

LT = زمان استاندارد محلی.

$L_{std} =$  طول جغرافیایی مرکز منطقه موردنظر برحسب درجه، که از ضرب کردن عدد  $15 \text{ deg/hour}$

در تعداد ساعات اختلاف بین زمان محلی و زمان گرینویچ به دست می‌آید. به عنوان مثال اختلاف زمان محلی برای شهرهای آمریکای شمالی  $+5$  ساعت است، بنابراین  $L_{std}$  این شهرها برابر  $75$  خواهد بود.

(برای شهرهای ایران این عدد در فرمول فوق  $52.5-$  می‌باشد.)

$U_{oc} =$  طول جغرافیایی شهر موردنظر برحسب درجه

$E =$  ضریبی است که نمایانگر اختلاف بین LT و AST به علت اثرات حرکت مداری زمین بوده و

برحسب ساعت است.

$D =$  فاکتور تغییر ساعت ماه‌های سال می‌باشد. اگر در کشور موردنظر ساعت‌ها جلو برده شوند

$D = 1$  و در غیر این صورت  $D = 0$  است.

$N =$  روز مورد نظر در سال است (Day of year). برای ایران این عدد از جدولی که خواهد آمد به دست می آید.

## محاسبه پروفیل شدت تابش خورشید

معمولاً جریان حرارت مستقیم و پراکنده خورشیدی به طور جداگانه مطرح می شود ولی غالباً منظور از تابش خورشید جمع این هاست. برای محاسبه شدت تابش خورشید، فرض می کنیم آسمان صاف باشد به طوری که ماکزیمم تاثیرات و دریافت را از حرارت تابشی خورشید داشته باشیم. قبل از بیان روابط مورد نیاز برای محاسبات؛ به چند تعریف می پردازیم:

### Solar flux (شدت تابش خورشید)

شدت تابش خورشید؛ عبارت است از نرخ انرژی خورشیدی که بر روی سطح خارجی یک ساختمان عمل می کند. جهت و شدت این تابش بر روی بارهای تابشی دیواره ها، سقف و پنجره ها موثر است.

### Solar Heat gain (بهره حرارتی بدست آمده از خورشید)

این بهره حرارتی عبارت است از نرخ انرژی خورشیدی که پس از عبور پنجره ها به داخل ساختمان می رسد و در محاسبه بارهای تابشی پنجره ها مورد استفاده قرار می گیرد. البته مقدار بهره حرارتی خورشید با توجه به قاب شیشه پنجره ها و سایبان آن ها با مقدار شدت تابش خورشید متفاوت است. به عبارت دیگر؛ جام، قاب و سایبان داخلی پنجره ها، سبب می شوند که تمام شار حرارتی خورشید از طریق پنجره به داخل ساختمان منتقل نشود و لذا فقط مقداری از تابش مستقیم خورشید به بهره حرارتی تبدیل می شود.

### Extraterrestrial solar flux (جریان حرارتی خورشید در بیرون از اتمسفر زمین)

برای محاسبه میزان شدت تابش خورشید در سطح زمین، باید مشخصات و خصوصیات تابش و شار خورشید در خارج از اتمسفر زمین را بدانیم. از آنجا که فاصله بین زمین و خورشید در طول سال تغییر می کند، شدت تابش خورشید در خارج از اتمسفر زمین نیز متغیر است. در محاسبه مربوط به شار خورشیدی؛ مقدار این تابش معمولاً روی سطح عمود بر تشعشع خورشید در نظر گرفته می شود. همچنین یک مقدار متوسط برای این شار بر اساس متوسط فاصله زمین تا خورشید در نظر گرفته شده است که مطابق استاندارد انجمن اشری (ASHRAE) مقدار آن  $433.34 \text{ Btu} / \text{hr. ft}^2$  معادل  $1367 \text{ w} / \text{m}^2$

در نظر گرفته می شود.

### Beam solar flux (جریان حرارت مستقیم خورشید)

این جریان حرارت عبارت است از بخشی از تابش خورشید در خارج از اتمسفر زمین که هم جهت با جهت شار خارج از اتمسفر زمین؛ از جو زمین عبور می کند. بنابراین جهت این تابش هنگامی که به زمین می رسد به موقعیت خورشید در آسمان بستگی دارد.

### Diffuse solar flux (جریان حرارت پراکنده خورشید)

این جریان حرارت؛ بخشی از میزان تابش خورشید در خارج از اتمسفر زمین است که توسط مولکول های هوا، بخار آب و سایر گازها و گرد و غبار اتمسفر به سطح زمین می رسد. البته نسبت پرتو پراکنش یافته به پرتو مستقیم خورشید به وضعیت ابری بودن هوا بستگی دارد. نتایج بررسی مقدار انرژی حرارتی حاصل از تابش آفتاب در دو وضعیت هوای ابری و هوای کاملاً صاف نشان داده شده است که در روزهای آفتابی فصل زمستان، یک دیوار جنوبی حدود ۷۵ درصد کل انرژی حرارتی خورشید را دریافت می کند، ولی این مقدار در روزهای ابری ۷ درصد و در روزهای نیمه ابری ۱۸ درصد گزارش شده است. این بررسی ها نشان می دهد که بیشترین قسمت انرژی حرارتی خورشید، در روزهایی که هوا صاف است به زمین می رسد. در جدول زیر مقدار تشعشعات پراکنده خورشیدی که توسط سطوح افقی دریافت می شود بیان شده است:

وضعیت آسمان	نسبت تابش مستقیم به حداکثر تابش مستقیم	نسبت تابش پراکنده به حداکثر تابش مستقیم
صاف	۱	۰.۱۲
صاف تا کمی ابری	۰.۸	۰.۲۵
مه و غبار آلوده	۰.۶	۰.۳۵
کاملاً ابری	۰.۴	۰.۵۵

### Reflected solar flux (جریان حرارت منعکس شده خورشید)

این جریان حرارت، مقدار انرژی خورشیدی است که پس از آن که توسط محیط اطراف ساختمان منعکس می شود به ساختمان می رسد. این مقدار حرارت توسط سطوح عمودی و متمایل ساختمان جذب می شوند. در روزهای گرم تابستان، مقدار انرژی خورشیدی تابیده شده به سطوح افقی؛ تقریباً دو برابر انرژی خورشیدی تابیده شده به سطوح عمودی است. بنابراین سطوح افقی اطراف یک ساختمان ممکن است مقدار زیادی از انرژی خورشیدی را به ساختمان منعکس کنند که مقدار این انعکاس به جنس و مصالح سطح منعکس کننده بستگی دارد.



## هندسه خورشیدی

به منظور محاسبه کمیات مربوط به شدت تابش خورشید باید هندسه خورشید و جهت تشعشعات آن تعریف شوند. این تعاریف در ادامه آمده‌اند.

### Declination ( $\delta$ ) (زاویه میل یا شیب)

محوری که زمین حول آن حرکت وضعی خود را انجام می‌دهد، نسبت به صفحه افقی که از مرکز زمین و خورشید می‌گذرد دارای زاویه می‌باشد. زاویه‌ای که اشعه خورشید با صفحه استوا می‌سازد در ظهر خورشیدی زاویه میل نامیده می‌شود و مقدار آن از  $-23.45$  درجه در اول زمستان تا صفر درجه در اول بهار و پاییز و  $+23.45$  درجه در اول زمستان برای نیمکره شمالی تغییر می‌کند. در سایر زمان‌ها؛ این زاویه را می‌توان از رابطه زیر یافت:

$$\delta = 23.45 \sin\left(\frac{360(284+N)}{365}\right)$$

در رابطه فوق  $N$  عبارت است از روز سال نسبت به اول ماه ژانویه.

### Hour Angle (H) (زاویه ساعت)

این زاویه؛ زاویه‌ای است که زمین باید برای انطباق نصف‌النهار آن نقطه روی اشعه‌های خورشید بچرخد. مبدا اندازه‌گیری این زاویه ظهر خورشیدی بوده و علامت جبری آن به طرف صبح مثبت و به طرف بعدازظهر منفی بوده و مقدار آن  $-180$  درجه تا  $+180$  درجه متغیر است. این زاویه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$H = 15 (12 - \text{AST})$$

### Solar Altitude Angle ( $\beta$ ) (زاویه ارتفاع خورشید)

این زاویه عبارت است از زاویه اشعه خورشید نسبت به صفحه افق و برحسب درجه می‌باشد. مقدار این زاویه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\sin(\beta) = \cos(L) \cdot \cos(\delta) \cdot \cos(H) + \sin(L) \cdot \sin(\delta)$$

در رابطه فوق  $L$  عرض جغرافیایی منطقه موردنظر برحسب درجه می‌باشد.  $\beta$  را زاویه تابش نیز می‌نامند.

### Solar Azimuth Angle ( $\theta$ ) (زاویه جهت تابش خورشید یا آزیموت)

آزیموت زاویه‌ای افقی بین تصویر خط دید به خورشید بر سطح زمین و محور شمال به جنوب است. به عبارت دیگر این زاویه از یک طرف به تصویر اشعه خورشید روی سطح افق و از طرف دیگر به راستای شمال- جنوب محدود است. مقدار این زاویه از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$\cos \emptyset = \frac{\sin(\beta) \cdot \sin(L) - \sin(\delta)}{\cos(\beta) \cdot \cos(L)}$$

زاویه آزیموت را زاویه سمت نیز می‌نامند.

### Surface Azimuth Angle ( $\Psi$ ) (زاویه جهت سطح)

زاویه جهت سطح؛ زاویه‌ای است افقی که توسط خط عمود بر دیوار و محور شمال- جنوب ایجاد می‌شود. مقدار این زاویه برای جهات مهم باتوجه به مبدا اندازه‌گیری آن از جدول زیر به دست می‌آید:

orientation	N	NE	E	SE	S	SW	W	NW
$\Psi$ (deg)	۱۸۰	-۱۳۵	-۹۰	-۴۵	۰	۴۵	۹۰	۱۳۵

### Surface – solar Azimuth Angle ( $\gamma$ ) (زاویه جهت خورشیدی به سطح)

این زاویه؛ زاویه‌ای افقی است که میان خط عمودی بر دیوار و تصویر خط دید به خورشید بر روی سطح زمین ایجاد می‌شود. به عبارتی دیگر  $\gamma$  زاویه بین، زاویه جهت سطح و زاویه جهت تابش خورشید می‌باشد. برای سطوحی که رو به جنوب شرقی می‌باشند؛ در صبح‌ها  $\gamma = \emptyset - \Psi$  و در بعدازظهرها  $\gamma = \emptyset + \Psi$  بوده و برای سطوحی که رو به جنوب غربی باشند؛ صبح‌ها  $\gamma = \emptyset + \Psi$  و بعدازظهرها  $\gamma = \emptyset - \Psi$  خواهد بود. برای سطوح رو به جنوب  $\Psi = 0$  بوده و لذا برای تمام شرایط  $\gamma = \emptyset$  می‌گردد.

### Angle of incidence ( $\theta$ ) (زاویه برخورد)

این زاویه؛ زاویه تلاقی میان یک پرتو خورشیدی و خط عمود بر یک سطح عمودی (نظیر دیوار) می‌باشد که توسط معادله کسینوس کروی زیر محاسبه می‌شود:

$$\cos \theta = \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma) \cdot \sin(\Sigma) + \sin(\beta) \cos(\Sigma)$$

در رابطه فوق؛  $\Sigma$  زاویه انحراف از سطح ساختمان بوده و بر مبنای افق اندازه‌گیری می‌شود و بنابراین مقدار آن برای سطوح افقی صفر و برای سطوح عمودی  $90^\circ$  در نتیجه برای سطوح عمودی معادله فوق به صورت زیر ساده می‌شود:

$$\cos \theta = \cos(\beta) \cdot \cos(\gamma)$$

و برای سطوح افقی؛ معادله به صورت زیر است:

$$\cos \theta = \sin(\beta)$$

بنابراین شدت تابش خورشیدی بر روی یک سطح وقتی که پرتو خورشیدی بر آن عمود است ( $\theta = 0$ ) ماکزیمم بوده و زمانی که زاویه ( $\theta$ ) افزایش می‌یابد؛ مقدار حرارت خورشید بر روی سطح کاهش یافته و در لحظه‌ای که ( $\theta$ ) از  $90^\circ$  بیشتر شود؛ دیوار در سایه قرار می‌گیرد.





اکنون بعد از تعریف اصطلاحات و هندسه خورشیدی روابط لازم برای محاسبه شده تابش خورشید بیان می شود.

### ۱- مقدار شدت تابش ناشی از تشعشعات مستقیم خورشید (Beam solar flux)

مقدار این تابش بر روی یک سطح عمود بر جهت شار، I، از رابطه زیر به دست می آید:

$$I_{bn} = (CAN) \times \frac{A}{\exp\left(\frac{B}{\sin(\beta)}\right)}$$

در رابطه فوق A مقدار پرتوافکنی خورشید (تابش ظاهری خورشید) برحسب  $\text{Btu} / \text{hr. ft}^2$  یا  $\text{w} / \text{m}^2$  و B ضریب اطفاء اتمسفر (Atmospheric Extinction coefficient) به صورت بی بعد بوده و هر دو تابع روز سال می باشند. این ضرایب در جدول زیر داده شده اند:

Table 1 Clear Sky Solar Flux Parameters, Northern Hemisphere

Month & Day	Day Number	Ion (BTU/h-sqft)	$\delta$ (degrees)	A (BTU/h-sqft)	B	C
Jan 21	21	118.8	-23.0	290	0.142	0.058
Feb 21	22	111.2	-10.8	280	0.144	0.060
Mar 21	20	127.7	0.0	276	0.156	0.071
Apr 21	111	129.9	11.6	270	0.180	0.097
May 21	141	123.6	20.0	250	0.196	0.121
Jun 21	172	120.2	23.40	245	0.205	0.134
Jul 21	202	120.2	20.6	244	0.207	0.136
Aug 21	233	124.1	12.3	251	0.201	0.122
Sep 21	264	130.7	0.0	260	0.177	0.092
Oct 21	294	127.2	-10.5	278	0.160	0.072
Nov 21	325	110.2	-19.8	287	0.149	0.062
Dec 21	355	119.1	-22.80	291	0.142	0.057

Data from Table A, pg 19.14, 1997 ASHRAE Handbook of Fundamentals [1]

Sunlight Zenith, Solar Zenith, and Relative Azimuth

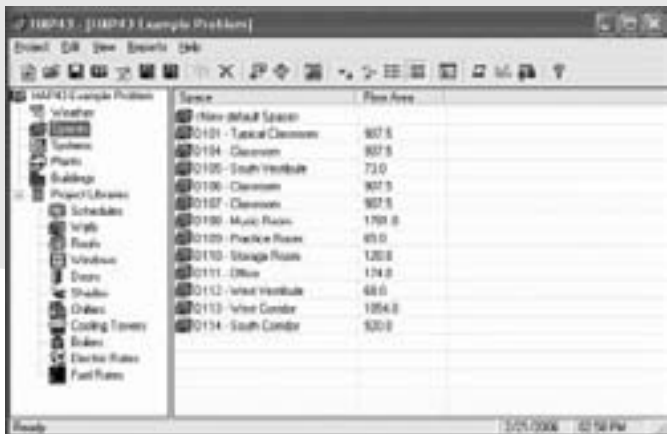
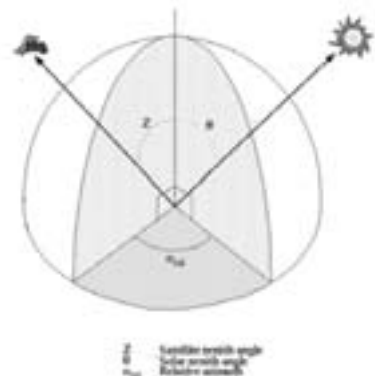


Table ۲ Clear Sky Solar fFlux Parameters, Northern Hemisphere

Month & Day	Day Number	lon (BTU/h-sqft)	δ (degrees)	A (BTU/h-sqft)	B	C
Jan ۲۱	۲۱	۴۱۸,۸	-۲۰,۰	۳۹۰	۰,۲۰۷	۰,۱۳۶
Feb ۲۱	۵۲	۴۴۴,۲	-۱۰,۸	۳۸۵	۰,۲۰۱	۰,۱۲۲
Mar ۲۱	۸۰	۴۳۷,۷	۰,۰	۳۷۶	۰,۱۷۷	۰,۰۹۲
Apr ۲۱	۱۱۱	۴۲۹,۹	۱۱,۶	۳۶۰	۰,۱۶۰	۰,۰۷۳
May ۲۱	۱۴۱	۴۲۳,۶	۲۰,۰	۳۵۰	۰,۱۴۹	۰,۰۶۳
Jun ۲۱	۱۷۲	۴۲۰,۲	۲۳,۴۵	۳۴۵	۰,۱۴۲	۰,۰۵۷
Jul ۲۱	۲۰۲	۴۲۰,۳	۲۰,۶	۳۴۴	۰,۱۴۲	۰,۰۵۸
Aug ۲۱	۲۳۳	۴۲۴,۱	۱۲,۳	۳۵۱	۰,۱۴۴	۰,۰۶۰
Sep ۲۱	۲۶۴	۴۳۰,۷	۰,۰	۳۶۵	۰,۱۵۶	۰,۰۷۱
Oct ۲۱	۲۹۴	۴۳۷,۳	-۱۰,۵	۳۷۸	۰,۱۸۰	۰,۰۹۷
Nov ۲۱	۳۲۵	۴۴۵,۳	-۱۹,۸	۳۸۷	۰,۱۹۶	۰,۱۲۱
Dec ۲۱	۳۵۵	۴۴۹,۱	-۲۳,۴۵	۳۹۱	۰,۲۰۵	۰,۱۳۴

Data from Table A-۲, pg ۲۴, reference [۲].

CAN نیز عدد پاکیزگی اتمسفر (Atmospheric clearness Number) بوده و برای تصحیح پروفیل تابش خورشید برای شرایط هوای مه‌آلود و غبار آلود به کار می‌رود. به بیان دیگر؛ چون مقدار رطوبت هوا و همچنین میزان ارتفاع از سطح دریا در مناطق مختلف با عرض جغرافیایی یکسان متفاوت است، به این علت برای هر منطقه ضریبی به نام عدد وضوح (پاکیزگی) تعیین شده است که نسبت شدت تابش مستقیم حقیقی در یک روز آفتابی و یک مکان مشخص به شدت تابش محاسبه شده در اتمسفر استاندارد در همان زمان و مکان را نشان می‌دهد. طبق استاندارد انجمن اشری؛ این عدد به صورت تجربی برای شرایط هوای صاف و تمیز ۱، برای شرایط هوای خیلی تمیز ۱.۱۵ و برای شرایط هوای مه‌آلود و یا غبارآلود ۰.۸۵ می‌باشد.

## ۲- مقدار شدت تابش ناشی از تشعشعات پراکنده خورشید (Diffuse solar flux)

قبل از محاسبه مقدار این تابش در یک جهت مشخص؛ باید فاکتور  $Y$  محاسبه شود. این فاکتور نسبت جریان حرارتی منتشر شده خورشید روی یک سطح عمودی به همین جریان روی یک سطح افقی است. علت محاسبه فاکتور  $Y$  این است که شدت جریان حرارتی منتشر شده خورشید برای شرایط هوای صاف و تمیز (شرایط طراحی) در سرتاسر آسمان یکنواخت نیست به طوری که در نواحی نزدیک به خورشید، شدت آن بیشتر است و هرچه از خورشید فاصله می‌گیریم، میزان آن کمتر می‌شود. فاکتور  $Y$  از معادلات زیر محاسبه می‌شود:

اگر  $\cos \theta > ۰.۲$  آنگاه:

$$Y = ۰.۵۵ + ۰.۴۳۷ \cos \theta + ۰.۳۱۳ \cos^2 \theta$$

اگر  $\cos \theta \leq -۰.۲$  آنگاه:



$$Y = 0.45$$

پس از محاسبه  $y$ ، مقدار تابش پراکنده خورشید به دست می‌آید. برای یک سطح غیرافقی این مقدار برابر است با:

$$I_d = C.Y.I$$

و برای یک سطح افقی مقدار این تابش برابر است با:

$$I_{dh} = C.I$$

در روابط فوق  $C$  ضریب پخش (انتشار) می‌باشد که در جدول قسمت قبل مقدار آن داده شده است.

### ۳ - مقدار شدت ناشی از تشعشعات انعکاس یافته خورشید (Reflected solar flux)

مقدار این شدت تابش برای سطوح افقی صفر است و برای سطوح عمودی برابر است با:

$$I_{rv} = (pg).I \cdot \frac{C + \sin \beta}{2}$$

و برای سطوح متمایل مقدار این شدت تابش برابر است با:

در روابط فوق  $pg$  قابلیت بازتاب زمین است که به نوع و جنس زمین اطراف ساختمان بستگی دارد. آسفالت کلاً کمتر از ۱۰ درصد از کل تابش خورشید را منعکس می‌کند. سقف‌های آسفالتی با شن ۱۲ تا ۱۵ درصد و بتن با توجه به عمر آن ۲۱ الی ۳۳ درصد را منعکس می‌کنند. علف‌های سبز براق کیفیت طیفی مشخصی از خود نشان می‌دهند و در زاویه  $\theta = 30^\circ$  درجه معادل ۲۰ درصد و در زاویه  $\theta = 65^\circ$  درجه معادل ۳۰ درصد از اشعه‌های خورشید را منعکس می‌کنند.

در جدول زیر مقدار  $pg$  با توجه به نوع جنس و زاویه برخورد داده شده است:

نوع و جنس سطح بازتابنده	زاویه برخورد ( $\theta$ )					
	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰
بتن تازه	۰.۳۱	۰.۳۱	۰.۳۲	۰.۳۲	۰.۳۳	۰.۳۴
بتن قدیمی	۰.۲۲	۰.۲۲	۰.۲۲	۰.۲۳	۰.۲۳	۰.۲۵
چمن و علف سبز	۰.۲۱	۰.۲۲	۰.۲۳	۰.۲۵	۰.۲۸	۰.۳۱
تخته سنگ	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰	۰.۲۰
سقف آسفالتی با شن	۰.۱۴	۰.۱۴	۰.۱۴	۰.۱۴	۰.۱۴	۰.۱۴

مقدار قابلیت بازتاب زمین را برای آجر ۰.۳۵، برای آسفالت ۰.۱۵ و برای محوطه‌های شهری ۰.۱ در نظر بگیرید.

اکنون مقدار کل شار حرارتی به دست آمده از تابش خورشید از حاصل جمع مقادیر تابش مستقیم،



تابش پراکنده و تابش منعکس شده به دست می آید.

## ۴ - محاسبه پروفیل بهره حرارتی به دست آمده از خورشید

تابش آفتاب بر پنجره‌های ساختمان، تاثیر زیادی در تغییر دمای هوای داخل آن دارد. به ویژه زمانی که آفتاب به صورت مستقیم به داخل بتابد، تاثیر حرارتی پنجره بسیار بیشتر از دیواره‌هاست و فضای داخلی بلافاصله پس از دریافت پرتو مستقیم آفتاب گرم می‌شود. اگر ساختمان از مصالح ساختمانی سبک ساخته شده باشد، این افزایش گرما بیشتر محسوس خواهد بود.

یکی از ویژگی‌های معماری مدرن، استفاده زیاد از سطوح شیشه‌ای در ساختمان است که این مساله باعث شده تغییر عمده‌ای در وضعیت حرارتی هوای داخل ساختمان و هوای محیط اطراف آن به وجود آید و در فصل تابستان باعث گرم شدن بیش از حد فضای داخلی ساختمان‌ها حتی در مناطق معتدل و سرد شود.

وقتی آفتاب به سطوح شفاف می‌تابد؛ پرتو آن به سه قسمت تقسیم می‌شود. بخشی از آن منعکس می‌شود که این پرتوها هیچ تاثیر حرارتی در جسم شفاف ندارند. بخش دیگر توسط شیشه جذب می‌شود و سپس به صورت انرژی حرارتی به فضای اطراف انتقال می‌یابد و بخش سوم به صورت مستقیم از داخل شیشه یا جسم شفاف عبور می‌کند و فضای پشت آن را تحت تاثیر قرار می‌دهد. نسبت به این بخش از پرتو خورشید به نوع جسم شفاف و زاویه برخورد پرتو به سطح جسم (زاویه بین خط عمود بر سطح شیشه و پرتو خورشید) بستگی دارد. مقدار پرتوی که به طور مستقیم از شیشه عبور می‌کند به زاویه برخورد پرتو به سطح شیشه بستگی دارد. هرچه این زاویه از ۴۵ درجه بیشتر شود، مقدار پرتو کمتری از شیشه عبور می‌کند. وقتی زاویه برخورد از ۶۰ درجه بیشتر شود، مقدار پرتو عبور یافته از شیشه به شدت کاهش یافته و مقدار پرتو منعکس شده از سطح شیشه افزایش می‌یابد. مقدار انرژی جذب شده در شیشه به زاویه برخورد پرتو به شیشه ارتباطی ندارد.

بهره حرارتی به دست آمده از خورشید (solar heat gai) برای روزهای طرح تابستانی، براساس روابطی که تاکنون بیان شد؛ به صورت زیر محاسبه می‌شود:

مقدار تشعشع خورشید که از پنجره عبور کرده و وارد ساختمان می‌شود.

مقدار تشعشع خورشید که توسط شیشه پنجره جذب می‌شود.

مقدار جریان حرارتی منتشر شده توسط خورشید و منعکس شده توسط زمین اطراف ساختمان که از پنجره عبور کرده و وارد ساختمان می‌شود.

مقدار جریان حرارتی منتشر شده توسط خورشید و منعکس شده توسط زمین اطراف ساختمان که توسط شیشه پنجره جذب می‌شود.

در روابط فوق  $t_j$  ضریب انتقال و  $a_j$  ضریب جذب بوده و از جدول زیر به دست می‌آیند:

J	$a_j$	$t_j$
۰	۰.۰۱۱۵۴	-۰.۰۰۸۸۵
۱	۰.۷۷۶۷۴	۰.۷۱۲۳۵
۲	-۳.۹۴۶۵۷	-۰.۶۲۰۶۲
۳	۰.۵۷۸۸۱	-۷.۰۷۳۲۹
۴	-۸.۰۳۸۱۳۵	۹.۷۵۹۹۵
۵	۰.۰۱۱۸۸	-۳.۸۹۹۲۲

در این فصل معرفی گزینه‌ها و امکانات مختلف نرم‌افزار برای وارد کردن اطلاعات مربوط به شرایط آب و هوایی اشاره شده است.

با انتخاب گزینه Weather از پنجره اصلی برنامه، فرم موردنیاز برای وارد کردن اطلاعات اقلیمی که در شکل زیر نشان داده شده است؛ ظاهر می‌شود:

همانطور که از شکل فوق مشاهده می‌شود؛ این فرم شامل سه قسمت است:  
Design parameter, Design temperatures, Design solar

## الف) Design parameter (پارامترهای طراحی)

در این قسمت برخی از مشخصه‌های ساختمان از قبیل جهت ساختمان، شرایط محلی، سطوح منعکس کننده اطراف ساختمان و... تعریف می‌شود که به تشریح هر یک از آنها می‌پردازیم:

### Region / location / city

از گزینه‌های فوق برای انتخاب اطلاعات مربوط به شرایط آب و هوایی منطقه موردنظر از بانک اطلاعاتی برنامه استفاده می‌شود. با انتخاب یک شهر؛ پارامترهای طراحی مربوط به شرایط اقلیمی آن شهر نمایش داده می‌شوند. برای انتخاب شهر موردنظر ابتدا ناحیه (Region) و سپس نام کشوری که شهر موردنظر در آن واقع شده است (location) را انتخاب کنید. چنانچه شهر موردنظر در کتابخانه برنامه HAP وجود نداشته باشد، کاربر می‌تواند پارامترهای طراحی را مستقیماً وارد برنامه نماید. این اطلاعات در کتاب‌های هندبوک یافت می‌شوند. در جدول موجود در پیوست یک، شرایط اقلیمی مراکز استان و شهرهای بزرگ ایران بیان شده است.

### Latitude (عرض جغرافیایی)

مقدار عرض جغرافیایی در محاسبات مربوط به تشعشع خورشید به کار می‌رود و تاثیر مهمی بر روی جهت و تابش خورشید در هر ساعت از روز دارد. مقدار مثبت عرض جغرافیایی برای شهرهای واقع در نیمکره شمالی و مقادیر منفی آن برای شهرهای واقع در نیمکره جنوبی به کار می‌روند.

### Longitude (طول جغرافیایی)

مقدار طول جغرافیایی نیز در محاسبات مربوط به تابش خورشید نقش دارد. جهت و شدت تابش خورشید به موقعیت آن در آسمان بستگی دارد. تمام محاسبات برنامه مطابق زمان محلی منطقه موردنظر (local Time) انجام می‌گیرد. شهرهای واقع در نیمکره غربی، دارای طول جغرافیایی مثبت و شهرهای واقع در نیمکره شرقی دارای طول جغرافیایی منفی هستند.

### Elevation (ارتفاع از سطح دریا)

از آنجاکه مشخصه‌های هوا با تغییر ارتفاع، تغییر می‌کند؛ مقدار ارتفاع از سطح دریا برای منطقه



موردنظر در تعیین مشخصات هوا و محاسبات سایکرومتریکی موردنیاز است. مقادیر مثبت این ارتفاع مربوط به شهرهای بالای سطح دریا و مقادیر منفی آن مربوط به شهرهای پایین تر از سطح دریا می باشد.

### **Summer Design DB (دمای خشک در تابستان برای شرایط طرح خارج)**

دمای خشک طرح تابستان، گرمترین درجه حرارت خشک هوای خارج را تعریف می کند. به عبارتی این دما، دمای پیک گرمترین ماه سال است.

### **Summer coincident WB (دمای مربوط در تابستان برای شرایط طرح خارج)**

این گزینه متوسط درجه حرارت مرطوب منطبق بر درجه حرارت خشک طرح خارج برای تابستان است.

### **Summer Daily range (اختلاف دمای روزانه در تابستان)**

این گزینه اختلاف بین درجه حرارت خشک حداکثر و حداقل یک روز در طی گرمترین ماه سال را بیان می کند.

### **Winter Design DB (دمای خشک در زمستان برای شرایط طرح خارج)**

دمای خشک طرح زمستان، سردترین درجه حرارت خشک هوای خارج را تعریف می کند.

### **Winter Coincident WB (دمای مرطوب در زمستان برای شرایط طرح خارج)**

این گزینه متوسط درجه حرارت مرطوب منطبق بر درجه حرارت خشک طرح خارج برای تابستان است. از این دما برای انجام محاسبات مربوط به رطوبت هوا استفاده می شود.

### **Atmospheric Clearness number (ضریب پاکیزگی هوای اتمسفر)**

این عدد ضریبی است که برای تصحیح پروفیل تابش خورشید برای شرایط هوای مه آلود یا غبارآلود به کار می رود. برنامه HAP این عدد را برای شرایط هوای تمیز؛ یک فرض می کند ولی هنگامی که شرایط محلی منطقه موردنظر از این فرض منحرف می شود، این عدد باید تصحیح شود. مقدار این عدد برای شرایط هوای خیلی تمیز ۱.۱۵ و برای هوای معمولی یک و برای هوای مه آلود یا غبارآلود ۰.۸۵ است.

## Average ground Reflectance (متوسط قابلیت بازتاب زمین)

این عدد مقدار انعکاس تابش خورشید، توسط زمین اطراف ساختمان را بیان می‌کند و برای هر جهتی از ساختمان و در تمامی ماه‌های سال استفاده می‌شود، بنابراین؛ این عدد فقط به نوع زمین اطراف ساختمان بستگی دارد. مقدار پیش فرض برنامه HAP برای همه شهرها ۰.۲۰ می‌باشد. در جدول زیر سایر مقادیر نشان داده شده‌اند:

Surface type	Reflectance
بتن تازه	۰.۳۱ to ۰.۳۴
بتن قدیمی	۰.۲۲ to ۰.۲۵
چمن	۰.۲۱ to ۰.۳۱
تخته سنگ	۰.۲۰
آسفالت	۰.۱۴

## Soil conductivity (ضریب هدایت خاک محل ساختمان)

این گزینه به ضریب هدایت گرمایی خاک اطراف ساختمان اشاره می‌کند. مقدار ضریب هدایت حرارتی در محاسبه انتقال حرارت از طریق دیوارهای زیرزمین و کف زیرزمین مورد استفاده قرار می‌گیرد. مقدار این ضریب به ترکیب بندی و ساختار خاک محل ساختمان و مقدار رطوبت آن بستگی دارد. مقدار پیش فرض برنامه HAP برای این ضریب  $0.8 \frac{Btu}{hr.ft.^{\circ}F}$  یا  $(1.38 \frac{w}{m.k})$  است که استفاده کننده می‌تواند مقدار آن را تغییر بدهد. ضرایب هدایت حرارتی نمونه برای انواع مختلف خاک در جدول زیر داده شده است:

Classification	Normal Range	Low	High
شن و ماسه	۰.۳۵ to ۱.۴۵	۰.۴۵	۱.۳
گل و لای	۰.۵ to ۱.۴۵	۰.۹۵	۱.۳
خاک رس	۰.۵ to ۰.۹۵	۰.۶۵	۰.۹
مخلوط گل و ماسه	۰.۵ to ۱.۴۵	۰.۵۵	۱.۳

## Design calculation months (ماه‌های مربوط به محاسبات طراحی)

این گزینه دامنه ماه‌هایی را که در محاسبات مربوط به طراحی بار برودتی برای سیستم‌ها و دستگاه‌ها مطرح می‌شوند، تعریف می‌کند. در واقع این گزینه محدوده ماه‌هایی را که ممکن است ماکزیم بارهای فضاها، زون‌ها، سیستم‌ها و دستگاه‌ها در آن اتفاق بیفتد را تعریف می‌کند. بهتر است محاسبات برای تمام ایام سال که پیش فرض خود برنامه است انجام شود و یا می‌توان ماه‌های گرما از may تا October را انتخاب نمود.



## Time Zone (اختلاف زمانی با مدار مبدأ)

این گزینه اختلاف زمانی بین زمان محلی منطقه موردنظر و مدار مبدأ (گرینویچ) را برحسب ساعت بیان می‌کند. مقدار این عدد به همراه طول جغرافیایی، زمان AST (زمانی که مشخص کننده موقعیت خورشید در آسمان است) را به زمان LT (زمانی محلی) تبدیل می‌کند. جهت و شدت تابش خورشید به موقعیت خورشید که تابعی از AST است بستگی دارد. از طرفی عملکرد ساختمان تحت بررسی برحسب زمان محلی است، بنابراین یک تبدیل مابین دو سیستم اندازه‌گیری زمانی لازم است. مناطقی که در سمت مغرب مدار مبدأ واقع شده‌اند، دارای اختلاف زمانی مثبت و مناطق سمت شرق مدار مبدأ دارای اختلاف زمانی منفی‌اند.

## Daylight Saving Time (تغییر ساعت ماه‌های سال)

اگر در کشوری ساعت ماه‌های سال به عقب یا جلو برده شود، در این قسمت گزینه yes را انتخاب می‌کنیم و در غیر این صورت گزینه No را برمی‌گزینیم. لازم به ذکر است که چون برای کشور ایران ساعت‌ها تغییر می‌کنند، گزینه yes را انتخاب خواهیم کرد. در این صورت گزینه DST Begins بیانگر اولین ماه تغییر ساعت و گزینه DST Ends بیانگر آخرین ماه تغییر است. اولین ماه تغییر ساعت در ایران یکم فروردین ماه (۲۱ mar) و آخرین ماه تغییر ساعت یکم مهر ماه (۲۱ sep) می‌باشد.

## ب) Design temperatures

براساس پارامترهای طراحی برای شهر موردنظر که در قسمت قبل دارد برنامه شد؛ پروفیل‌های درجه حرارت و رطوبت برای هر بیست و چهار ساعت از دوازده ماه توسط برنامه ایجاد خواهد شد. این پروفیل‌ها اساس محاسبات بار حرارتی و برودتی هستند. در بحث مربوط به استانداردهای آسایش چگونگی ایجاد پروفیل‌های حرارت خشک به صورت ساعت به ساعت برای یک دوره زمانی بیست و چهار ساعته در هر ماه بحث شدند. برنامه HAP برای ایجاد این محاسبات از روش بیان شده در هندبوک ASHRAE استفاده می‌کند.

## ج) Design solar

براساس پارامترهای طراحی برای شهر موردنظر برنامه HAP پروفیل حرارت به دست آمده از تابش خورشید را برای هر بیست و چهار ساعت از دوازده ماه ایجاد می‌کند. نحوه محاسبه این پروفیل در فصل اول همین بخش تشریح شد. این پروفیل‌ها در محاسبات مربوط به بار دیوار، سقف و پنجره‌ها به کار می‌روند. با انتخاب این گزینه فرم زیر ظاهر می‌شود:

Weather Properties - [Tehran]

Design Parameters | Design Temperatures | Design Solar | Simulation

Design Day Maximum Solar Heat Gains BTU/hr/ft²

Month	Multiplier	N	NNE	NE	ENE	E	ESE	SE	SSE
Jan	1.00	21.7	21.7	21.7	96.7	161.8	220.3	244.0	252.0
Feb	1.00	25.8	25.8	52.6	140.0	200.2	236.9	249.8	239.0
Mar	1.00	30.3	30.8	108.5	171.3	223.1	240.6	231.6	206.0
Apr	1.00	34.6	69.5	146.7	198.3	220.2	222.6	192.1	154.0
May	1.00	37.6	104.2	167.7	208.9	218.8	202.9	163.0	113.0
Jun	1.00	48.3	113.9	174.8	209.9	213.6	193.3	148.5	96.0
Jul	1.00	38.6	103.0	166.7	204.2	212.0	199.1	157.7	110.0
Aug	1.00	36.3	71.0	142.9	190.0	214.6	214.8	186.4	149.0
Sept	1.00	31.3	31.3	102.5	163.3	209.5	230.7	221.2	198.0
Oct	1.00	26.6	26.6	60.4	126.3	193.0	230.3	240.8	232.0
Nov	1.00	22.0	22.0	22.0	92.8	164.2	211.6	244.1	250.0
Dec	1.00	19.8	19.8	19.8	79.2	143.9	207.9	238.8	253.0

OK Cancel Help

ضریب Multiplier برای تغییر دادن مقادیر پروفیل فوق به کار می‌رود. به عنوان مثال ضریب ۱.۱۰ مقدار ده درصد به حرارت‌های ناشی از تابش خورشید خواهد افزود و ضریب ۰.۹، ده درصد از این مقدار خواهد کاست.

همانطور که از جدول مشاهده می‌گردد، کمترین مقادیر تابش برای جهت شمال و بیشترین آن برای جهات شرق، غرب و جنوب غربی است. از این اعداد نتیجه می‌شود که دیوارهای شرق و غرب ساختمان در صورت در معرض تابش خورشید بودن بهتر است عایق داشته باشند و یا پنجره‌هایی که در این جهات واقع شده‌اند بهتر است دو جداره باشند. همچنین بار ناشی از جهت شمال ناچیز بوده و می‌توان از آن صرف‌نظر نمود. دیوار جنوبی نیز بیشترین تابش را در ماه‌های پاییز دریافت می‌کند، بنابراین بار برودتی یک ساختمان که یک دیوار و پنجره‌های زیادی در جهت جنوب دارد معمولاً در ماه مهر اتفاق می‌افتد ولی مقدار این بار برای ساختمان‌های شرقی - غربی بیشتر در مردادماه رخ می‌دهد.