نشریه هنرهای زیبا - معماری و شهرسازی • شماره ٤٤ • زمستان ۱۳۸۹

شیب بهینهٔ گردآورهای خورشیدی و مقایسه با حالت نصب شده روی نمای جنوبی در تهران*

دکتر محمد جواد ثقفی[۱]، دکتر مرتضی اسدی خلجی[۲]، راضیه پوینده**[۳]
[۱] دانشیار دانشکدهٔ معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
[۲] دانشیار واحد علوم و تحقیقات، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران.
[۳] کارشناس ارشد انرژی معماری، دانشکدهٔ معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران، تهران، ایران.
(تاریخ دریافت مقاله: ۸۹/۷/۴، تاریخ پذیرش نهایی: ۸۹/۱۰/۱۸)

چکیده:

از مواردی که امروزه در محافل علمی جهان بیشتر مطرح می‌شود، بحران انرژی و نیز بحران محیط زیست است. یکی از راهکارهای مقابله با این بحران‌ها، به‌کارگیری انرژی‌های پاک و تجدیدپذیر و به خصوص انرژی خورشیدی است. گردآورهای خورشیدی از پرکاربردترین سامانه‌هایی هستند که در ساختمان‌ها برای بهره‌گیری مستقیم از انرژی تابشی خورشید و حرارت آن به‌کار گرفته می‌شوند. در سامانهٔ ترکیبی خورشیدی که از گرمای حاصل از انرژی خورشیدی برای تامین آب‌گرم مصرفی و گرمایش ساختمان بهره می‌گیرد نیز از این گردآورها استفاده می‌شود. یکی از مسائلی که برای استفادهٔ بهینه از این گردآورها بسیار مهم و حیاتی است، اتخاذ زاویهٔ شیب مناسب رو به جنوب است که حداکثر تابش دریافتی از خورشید را جذب نماید. آنچه این نوشتار در پی آن است، محاسبهٔ زاویهٔ شیب بهینهٔ گردآورهای خورشیدی برای شهر تهران با استفاده از یک الگوی ریاضی و بحث پیرامون آن است. بدین منظور تابش دریافتی ماهانه گردآور خورشیدی تخت، با زوایای گوناگون محاسبه شده و نتایج جهت انتخاب زاویهٔ شیب بهینه برای سامانهٔ ترکیبی خورشیدی مقایسه و بررسی می‌شوند. در پایان نتایج با حالتی که گردآور روی نمای جنوبی ساختمان نصب شود، مقایسه و مزایای آن ذکر شده است.

واژه‌های کلیدی:

انرژی خورشیدی، تابش، گردآور خورشیدی، زاویهٔ بهینهٔ شیب، سامانهٔ ترکیبی خورشیدی، نمای جنوبی.

* این مقاله برگرفته از پایان‌نامهٔ کارشناسی ارشد نگارنده سوم تحت عنوان: "طراحی سیستم ترکیبی خورشیدی و جزئیات اجرایی آن برای تامین آب‌گرم مصرفی و بخشی از گرمایش موردنیاز ساختمان در شهر تهران" در رشتهٔ انرژی معماری، دانشکدهٔ معماری، پردیس هنرهای زیبا، دانشگاه تهران می‌باشد که تحت حمایت شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت انجام گرفته است.

** نویسندهٔ مسئول: تلفن: ۸۸۳۳۷۳۴۸-۰۲۱، نمابر: ۸۸۳۳۷۳۴۷-۰۲۱ ، E-mail: razie_pooyandeh@yahoo.com.

مقدمه

جمعیت رو به رشد جهان و محدود بودن ذخایر انرژی شامل سوخت‌های فسیلی و دیگر سوخت‌های فناپذیر، و همچنین پرهزینه بودن و آلودگی‌های زیست‌محیطی ناشی از مصرف این سوخت‌ها، دانشمندان جهان امروز را بدان واداشته تا به دنبال منابع پایان‌ناپذیر و کم‌هزینه و پاک مانند انرژی‌های تجدیدپذیر باشند.

با توجه به اینکه منابع زیرزمینی انرژی با سرعت فوق العاده‌ای مصرف می‌شوند و در آینده‌ای نه چندان دور چیزی از آنها باقی نخواهد ماند، نسل فعلی وظیفه دارد به آن دسته از منابع انرژی که دارای عمر و توان زیاد است روی آورد و دانش خود را برای بهره‌برداری از آنها گسترش دهد (فرهمندفر، ۱۳۸۹، ۱). امروزه انسان‌ها پس از وقوع رویدادهایی چون بحران نفتی، حادثهٔ چرنوبیل و پدیدهٔ گلخانه‌ای، مجدداً جهت گرمایش منازل و محیط زندگی خود متوجه انرژی خورشیدی شده‌اند (نوربرت، ۱۳۸۸، ۹).

فن‌آوری‌های انرژی خورشیدی، یک منبع انرژی پاک، تجدیدپذیر و بومی را ارائه می‌دهند و اجزای ضروری توسعهٔ پایدار هستند (Gunerhan, 2007, 779). انرژی خورشیدی علاوه بر این‌که از انواع انرژی‌های پاک است، این مزیت را دارد که در تمام نقاط جهان بدون اتلاف در فرآیند انتقال به واحدهای مصرف‌کننده، در دسترس است(Fraisse, 2009, 232) .

در عصر حاضر از انرژی خورشیدی در موارد بسیاری استفاده و بهره‌گیری می‌شود که عبارتند از:

- سامانه‌های فتوبیولوژیک[1]: تغییراتی که در حیات و زیست گیاهان و جانداران به وسیله نور خورشید ایجاد می‌گردد؛ مانند فرآیند تجزیهٔ کود حیوانات و استفاده از گاز آن.
- سامانه‌های فتوشیمیایی[2]: تغییرات شیمیایی در اثر نور خورشید؛ مانند تاسیسات تهیه هیدروژن.
- سامانه‌های فتوولتائیک[3]: تبدیل انرژی خورشیدی به انرژی الکتریکی؛ مانند سلول‌های خورشیدی.
- سامانه‌های حرارتی و برودتی: آب‌گرمکن‌ها، تاسیسات گرمایشی و سرمایشی، آب‌شیرین‌کن‌ها، گلخانه‌ها، خشک‌کن‌ها و اجاق‌های خورشیدی (فرهمندفر، ۱۳۸۹، ۲).

ایران کشوری آفتابی است و از نظر مقدار دریافت انرژی تابشی خورشید از جملهٔ بهترین کشورها به شمار می‌آید. با عنایت به محدودیت منابع فسیلی و آلودگی‌های ناشی از آنها و همچنین افزایش تقاضای انرژی، به‌کارگیری تمهیداتی جهت بهره‌برداری بهینه از منبع سرشار انرژی خورشیدی در کشورمان امری ضروری به نظر می‌رسد (حق‌پرست کاشانی، ۱۳۸۸، ۱). ایران کشوری است با ۲۴۰ الی ۲۵۰ روز آفتابی در هر سال که تقریباً چهار پنجم از مساحت آن، دارای میانگین سالانهٔ تابش خورشیدی در حدود ۴/۵ تا ۵/۴ کیلو وات ساعت بر متر مربع می‌باشد؛ لذا مجال گسترده‌ای برای استفاده از انرژی خورشیدی را در اختیار دارد (Moghadam, 2011, 108).

کاربرد انرژی خورشیدی

در حال حاضر از انرژی خورشیدی در سامانه‌های مختلف و برای مقاصد متفاوت استفاده می‌شود که به طور کلی عبارتند از:

۱- استفاده از انرژی حرارتی خورشید برای مصارف خانگی، صنعتی و نیروگاهی (مستقیم)

۲- تبدیل پرتوهای خورشید به الکتریسیته به وسیلهٔ سلول فتوولتائیک (غیرمستقیم) (سانا، ۱۳۸۷، ۳).

در ساختمان‌ها نیز اصولاً ۲ روش دستیابی به گرمایش خورشیدی وجود دارد: فعال[4] و غیرفعال[5] (مازریا، ۱۳۸۵، ۴۳). یکی از عمده‌ترین روش‌های فعال استفاده از انرژی خورشیدی که در ساختمان‌ها به‌کار می‌رود، استفاده از گردآورهای خورشیدی[6] است. گردآور در سامانهٔ حرارتی خورشیدی، دریافت تابش خورشید و تبدیل آن به انرژی حرارتی را به عهده دارد. گردآورهای خورشیدی با جذب نور خورشید، حرارت را به یک سیال منتقل نموده و درجهٔ حرارت آن را تا حد دلخواه بالا می‌برند. سپس حرارت این سیال، برای تامین آب‌گرم مصرفی، گرمایش، سرمایش و غیره به‌کار می‌رود (رئوفی‌راد، ۱۳۸۵، ۲۳).

گردآور مسطح، متداول‌ترین گردآور مکانیکی خورشیدی است. این گردآور، شامل یک صفحهٔ جاذب است که انرژی خورشیدی را جذب و به انرژی حرارتی تبدیل نموده و گرم می‌شود. به وسیلهٔ لوله و یا کانال این حرارت توسط سیال واسط از صفحه به محل مصرف منتقل می‌شود. معمولاً یک یا چندین صفحهٔ شفاف (پلاستیک یا شیشه) روی صفحهٔ جاذب و یک صفحهٔ عایق در پشت گردآور قرار می‌گیرد تا از اتلاف حرارت جلوگیری شود. با این نوع گردآور می‌توان به درجه حرارتی تا ۱۲۵ درجهٔ سانتی‌گراد دست یافت (رئوفی‌راد، ۱۳۸۵، ۲۴).

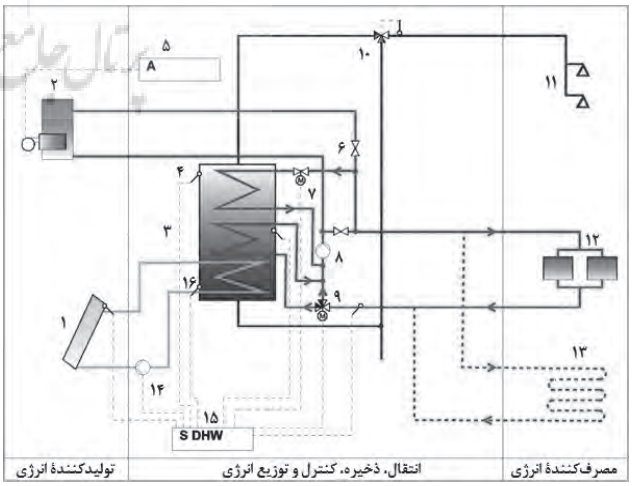
اهمیت گردآورهای مسطح از این جهت است که نه تنها تابش مستقیم، بلکه تابش پراکنده و تابش بازتاب شده را نیز جذب می‌نماید. آنها معمولاً با شیبی به سمت جنوب به طور ثابت نصب می‌شوند تا زاویهٔ بین شعاع تابش و صفحهٔ جاذب در وقت ظهر حداقل شود. این شیب موجب افزایش انرژی جذب شده در وقت ظهر و در کل روز می‌شود (رئوفی‌راد، ۱۳۸۵، ۲۴).

به طور کلی، آب‌گرم‌کن‌های خورشیدی خانگی، برای تامین انرژی مورد نیاز برای تولید آب‌گرم نصب می‌شوند و می‌توانند ۹۰ تا ۹۵ درصد از انرژی مورد نیاز در آب و هوای گرم و بسیار گرم را تامین نمایند(Shariah et al, 2002, 588). برای تهیهٔ آب‌گرم مصرفی خانگی یک خانوار معمولی به ۳ تا ۵ مترمربع گردآور نیاز است. مساحت گردآور برای سامانه‌های ترکیبی برای تهیهٔ آب گرم مصرفی خانگی و گرمایش فضا به طور قابل ملاحظه‌ای بزرگتر است(Henden, 2002, 299). سامانه‌های ترکیبی، سامانه‌های گرمایشی خورشیدی هستند که گرمای لازم را هم برای تامین آب گرم مصرفی و هم گرمایش فضاها فراهم می‌کنند(Bales, 2003, 193).

دریافت انرژی، تبدیل آن و تحویل به مصرف‌کننده در سامانهٔ ترکیبی خورشیدی[۷]

سامانهٔ ترکیبی خورشیدی را می‌توان به تاسیسات گرمایش محیط افزود. حرارت حاصله از گردآورهای خورشیدی به منبع آب‌گرم مصرفی، که به عنوان یک منبع کوچک کمکی برای گرمایش محیط عمل می‌کند، وارد می‌شود. نمونهٔ این سامانه در تصویر ۱ نمایش داده شده و اجزای آن عبارتند از:

۱- گردآور خورشیدی ۲- سامانهٔ حرارتی کمکی ۳- مخزن ذخیره ۴- حس‌گر حرارتی جداری ۵- سامانهٔ کنترل ۶- شیر دروازه‌ای ۷- شیر موتوری دوراهه ۸- پمپ مدار گرمایش محیط ۹- شیر موتوری سه‌راهه ۱۰- شیر برقی و ترموستات ۱۱ -سامانهٔ توزیع آب‌گرم مصرفی ۱۲ - سامانهٔ گرمایش رادیاتوری ۱۳- سامانهٔ گرمایش از کف ۱۴- پمپ مدار محلول ضدیخ ۱۵ - سامانهٔ کنترل مرکزی ۱۶ -حس‌گر حرارتی (Weiss, 2003, 57).



تصویر ۱- مدار شماتیک یک سامانهٔ ترکیبی خورشیدی برای تامین آب‌گرم و گرمایش محیط.
ماخذ: (Weiss, 2003, 57)

در مدار این سامانه، سیالِ واسط وارد گردآورها شده و حرارت را از خورشید جذب می‌کند، سپس وارد منبع ذخیره می‌گردد و آب ورودی را توسط یک مبدل حرارتی داخلی پیش‌گرم می‌کند. در مرحلهٔ بعد آب برگشتیِ حلقهٔ گرمایش محیط (در حالتی که دمای آن پایین باشد) وارد منبع شده و توسط کویل میانی تا حدی گرمای مورد نیاز را از حرارتی که توسط خورشید تأمین شده به دست می‌آورد، سپس وارد سامانهٔ کمکی شده و در خروج از آن با حرارت اضافی وارد منبع ذخیره می‌شود و آب‌گرم مصرفی را در مرحلهٔ دوم گرم می‌کند. بدین ترتیب آب‌گرم مصرفی مورد نیاز از بالاترین نقطهٔ منبع (که بیشترین دما را دارد) تأمین می‌گردد. آب در خروج از مبدل بالایی منبع وارد حلقهٔ گرمایش محیط می‌گردد. در این سامانه طبقه‌بندی حرارتی نسبتاً مناسبی درون منبع ایجاد می‌شود که این امر به بازدهی بیشتر آن می‌انجامد (Weiss, 2003, 57).

شیب گردآورهای خورشیدی

دستیابی به حداکثر کارایی در گردآورهای خورشیدی با جهت‌گیری، نصب، ساخت و طراحی مناسب امکان‌پذیر است. با این وجود، کارایی یک گردآور خورشیدی، به موقعیت آن (با توجه به خط استوا) و زاویهٔ شیب آن با سطح افق (با توجه به زمین) مرتبط است؛ زیرا هم جهت‌گیری و هم زاویهٔ شیب، مقدار تابش خورشیدی که به سطح گردآور می‌رسد را تغییر می‌دهند (Skeiker, 2009, 2439).

زاویهٔ پرتوهای خورشید با یک سطح تعیین کنندهٔ مقدار انرژی است که آن سطح دریافت می‌کند. از آنجایی که تشعشعات خورشیدی به شکل اشعه‌های موازی به زمین می‌رسند، سطحی که نسبت به امتدادِ آنها قائم باشد، بیشترین مقدار انرژی را دریافت خواهد کرد. سطحی که ۲۵ درجه نسبت به امتداد قائم انحراف داشته باشد، هنوز می‌تواند بیش از ۹۰ درصد تابش مستقیم را دریافت کند (مازریا، ۱۳۸۵، ۲۷).

عامل دیگری که در بازدهی و کارآیی گردآور موثر است، میزان تابش دریافتی در واحد سطح است. میزان تابش دریافتی از خورشید در واحد سطح افقی، در ماه های مختلف سال، توسط کارشناسان و با دستگاه‌های ویژه اندازه‌گیری شده؛ اما معمولاً گردآورهای خورشیدی به دلایل ذکر شده، نسبت به افق به صورت شیب‌دار نصب می‌شوند.

زاویهٔ شیب بهینه برای یک آب‌گرم‌کن خورشیدی، زاویه‌ای است که سهم خورشیدی سالیانه برای سامانه را بیشینه می‌کند (Shariah, 2002, 588). این زاویه برای طیف گسترده‌ای از سامانه‌ها به کار می‌رود، مانند گردآورهای تخت یا سهمی‌گون، سامانه‌های فتوولتائیک، خانه‌های خورشیدی و گلخانه‌های خورشیدی که در یک موقعیت ثابت قرار داده می‌شوند. علاوه بر موارد پیش گفته، این زاویه در تبیین طول عناصر سایه‌انداز که در بالای پنجره‌ها قرار داده می‌شوند، تعیین کننده است(Gunerhan, 2007, 779).

به طور کلی سامانه‌هایی که در نیم کرهٔ شمالی نصب می‌شوند، رو به جنوب قرار می‌گیرند. تحقیقات بسیاری برای معین کردن زاویهٔ شیب بهینه برای چنین سامانه‌هایی انجام شده است. برخی از زوایای توصیه شده عبارتند از: ϕ+20°، ϕ+(10→30°)، ϕ+10°، ϕ−10°؛ در حالی که بعضی از پژوهشگران دو مقدار را پیشنهاد داده‌اند، یکی برای تابستان و دیگری برای زمستان، مانند ϕ±20°، ϕ±8° و ϕ±5° که ϕ عرض جغرافیایی، مثبت برای زمستان و منفی برای تابستان است (Shariah, 2002, 588).

مطالعات بسیاری توسط پژوهشگران در رابطه با بهینه سازی زاویهٔ شیب در سراسر دنیا انجام شده است؛ در حالی که مطالعات مربوط به ایران بسیار معدودند. در ادامه، تابش دریافتی روی زوایای شیب مختلف برای شهر تهران مورد بررسی قرار می‌گیرد تا زاویهٔ شیب بهینه برای گردآورهای خورشیدی تعیین شود و سپس این مقادیر با تابش دریافتی روی سطح گردآوری که روی نمای ساختمان (یعنی با زاویهٔ ۹۰ درجه نسبت به سطح افق) نصب شده است، مقایسه می‌گردد.

روش محاسبهٔ میزان تابش دریافتی

برای محاسبهٔ میزان دریافت انرژی در واحد سطح از گردآوری که در روز nاُم از اول ژانویه و در عرض جغرافیایی ϕ با زاویهٔ β نسبت به افق و رو به جنوب قرار دارد، به صورت زیر عمل می‌شود (Duffie, 2003, 3-47):

ابتدا باید میزان تابش متوسط روزانه در ماه ($\bar{H}$) را معین نمود. این مقادیر برای شهرهای مختلف در تمام ماه‌های سال اندازه‌گیری و محاسبه شده است. در این نوشتار مقدار فوق از (صفایی، ۱۳۸۳) استخراج شده است. در گام اول شدت تابش خورشید در خارج از جو ($\bar{H}_o$) از فرمول زیر محاسبه می‌گردد:

$$\bar{H}_o = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \times \left(1 + 0.033 cos\frac{360n}{365}\right)\left(cos\phi.cos\delta.sin\omega_s + \frac{\pi}{180}\omega_s.sin\phi.sin\delta\right)$$

که در آن G_{sc} ثابت خورشیدی و مقدار آن برابر با ۱۳۷۲ وات بر مترمربع می‌باشد. δ زاویهٔ انحراف خورشید و ω_s زاویهٔ ساعت خورشید در طلوع و غروب است که به ترتیب از فرمول‌های زیر به دست می‌آیند:

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

$$\omega_s = \arccos\left(-tg\phi.tg\delta\right)$$

در گام دوم، پس از محاسبهٔ شدت تابش خورشید در خارج از جو، با استفاده از رابطهٔ $\bar{K}_t = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0}$ مقدار ضریب روشنایی برای هر ماه محاسبه می‌شود. با توجه به عدد محاسبه شده، باید نسبت شدت تابش پراکنده به شدت تابش کل ($\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}$) را از فرمول زیر به دست آورد:

$$\frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} = \begin{cases} 1.39 - 3.560Kt + 4.189Kt^2 - 2.13Kt^3 & \omega_s \le 81.4 \\ 1.311 - 3.022Kt + 3.427Kt^2 - 1.821Kt^3 & \omega_s > 81.4 \end{cases}$$

چون ممکن است گاهی با توجه به زاویهٔ شیب گردآور، پس از طلوع خورشید، تابش به سطح گردآور نرسد، لازم است مقدار ω'_s از فرمول زیر محاسبه شود:

$$\omega'_s = \min\begin{pmatrix} \arccos\left(-tg\phi.tg\delta\right) \\ \arccos\left(-tg(\phi-\beta).tg\delta\right) \end{pmatrix}$$

اکنون نسبت تابش مستقیم روی سطح شیبدار به سطح افق (R_b) از فرمول زیر قابل دستیابی است:

$$R_b = \frac{\cos(\phi-\beta).\cos\delta.\sin\omega'_s + \frac{\pi}{180}\omega'_s.\sin(\phi-\beta).\sin\delta}{\cos\phi.\cos\delta.\sin\omega_s + \frac{\pi}{180}\omega_s.\sin\phi.\sin\delta}$$

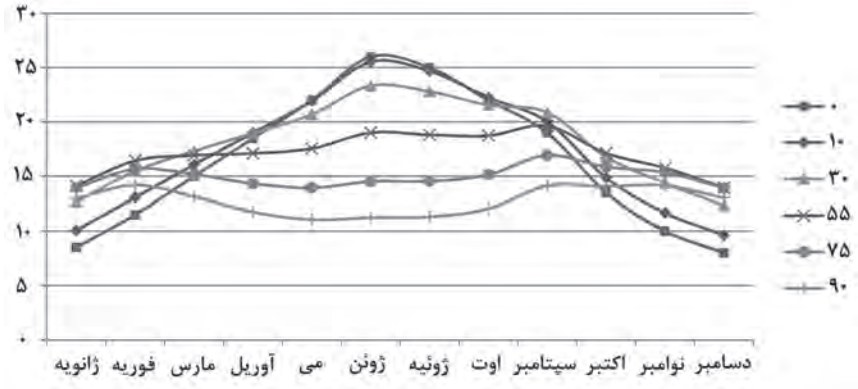
میزان انرژی خورشیدی دریافتی روی یک گردآور خورشیدی، مجموع تابش مستقیم، تابش پراکنده و بازتابی از سطح زمین است. روش محاسبه تابش مستقیم بر روی سطوح شیب‌دار در تمام روش‌ها یکسان است. تنها تفاوتی که وجود دارد، در تعیین مقدار تابش پراکنده است (Moghadam, 2011, 109). برای لحاظ نمودن تابش پراکنده و بازتابی، علاوه بر تابش مستقیم خورشید به سطح گردآور باید نسبتِ تابش کل روی سطح شیبدار به سطح افق (R) از فرمول زیر محاسبه گردد:

$$R = \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\right)R_b + \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}}\left(\frac{1+\cos\beta}{2}\right) + \rho\left(\frac{1-\cos\beta}{2}\right)$$

در آخرین مرحله، شدت تابش کل روی سطح شیبدار ($\bar{H}_t$) از رابطهٔ $\bar{H}_t = R \times \bar{H}$ به دست می‌آید.

محاسبهٔ میزان تابش دریافتی برای شیب‌های مختلف

با طی مراحل فوق، مقدار تابش دریافتی روی واحد سطح گردآور، برای تمام زوایای شیب ممکن به دست می‌آید. این مقدار برای زوایای مختلف محاسبه و در جدول ۱ ارائه شده است. به عنوان نمونه مقدار تابش دریافتی روی واحد سطح گردآوری با زاویه‌های شیب ۰، ۱۵، ۳۰، ۵۰، ۷۵ و ۹۰ بر حسب مگاژول در ماه‌های مختلف سال برای تهران محاسبه و در نمودار ۱ نشان داده شده است. این نمودار امکان بهتری را برای مقایسهٔ این مقادیر فراهم می‌آورد.



نمودار ۱- مقدار تابش دریافتی برای زوایای شیب ۰، ۱۰، ۳۰، ۵۵، ۷۵ و ۹۰ بر حسب مگاژول بر مترمربع در ماه‌های مختلف سال برای شهر تهران.

جدول ۱- مقدار تابش دریافتی روزانه برای زوایای شیب مختلف بر حسب مگاژول بر مترمربع در ماه‌های مختلف سال برای شهر تهران.

زاویهٔ شیب	ژانویه	فوریه	مارس	آوریل	مه	ژوئن	ژوئیه	اوت	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر	جمع سالانه	ماه های سرد	ماه های گرم	میانگین ماهانه
۰	۸/۵	۱۱/۵	۱۵	۱۸/۵	۲۲	۲۶	۲۵	۲۲	۱۹	۱۳/۵	۱۰	۸	۱۹۹	۶۶/۵	۱۳۲/۵	۱۶/۵۸
۵	۹/۳۱	۱۲/۳۱	۱۵/۵۷	۱۸/۷۹	۲۲/۰۱	۲۵/۸۱	۲۴/۸۹	۲۲/۱۸	۱۹/۵۶	۱۴/۲۲	۱۰/۸۶	۸/۸۳	۲۰۴/۳۵	۷۱/۱۱	۱۳۳/۲۴	۱۷/۰۳
۱۰	۱۰/۰۷	۱۳/۰۷	۱۶/۰۷	۱۹/۰۰	۲۱/۹۴	۲۵/۵۳	۲۴/۶۹	۲۲/۲۶	۲۰/۰۲	۱۴/۸۷	۱۱/۶۷	۹/۶۲	۲۰۸/۸۲	۷۵/۳۸	۱۳۳/۴۴	۱۷/۴۰
۱۵	۱۰/۷۸	۱۳/۷۶	۱۶/۵۰	۱۹/۱۳	۲۱/۷۸	۲۵/۱۶	۲۴/۳۹	۲۲/۲۴	۲۰/۳۸	۱۵/۴۵	۱۲/۴۳	۱۰/۳۶	۲۱۲/۳۶	۷۹/۲۸	۱۳۳/۰۸	۱۷/۷۰
۲۰	۱۱/۴۳	۱۴/۳۸	۱۶/۸۳	۱۹/۱۷	۲۱/۵۴	۲۴/۶۹	۲۳/۹۹	۲۲/۱۳	۲۰/۶۵	۱۵/۹۶	۱۳/۱۲	۱۱/۰۵	۲۱۴/۹۵	۸۲/۷۸	۱۳۲/۱۶	۱۷/۹۱
۲۵	۱۲/۰۴	۱۴/۹۲	۱۷/۱۱	۱۹/۱۲	۲۱/۲۰	۲۴/۱۲	۲۳/۵۰	۲۱/۹۲	۲۰/۸۱	۱۶/۳۸	۱۳/۷۳	۱۱/۶۸	۲۱۶/۵۴	۸۵/۸۶	۱۳۰/۶۸	۱۸/۰۵
۳۰	۱۲/۶۷	۱۵/۴۷	۱۷/۳۲	۱۸/۹۶	۲۰/۶۹	۲۳/۳۲	۲۲/۸۰	۲۱/۵۴	۲۰/۸۷	۱۶/۷۸	۱۴/۳۸	۱۲/۳۵	۲۱۷/۱۴	۸۸/۹۶	۱۲۸/۱۸	۱۸/۱۰
۳۵	۱۳/۰۵	۱۵/۷۶	۱۷/۴۲	۱۸/۸۰	۲۰/۲۵	۲۲/۵۳	۲۲/۱۰	۲۱/۱۳	۲۰/۷۴	۱۶/۹۹	۱۴/۷۴	۱۲/۷۵	۲۱۶/۲۸	۹۰/۷۲	۱۲۵/۵۶	۱۸/۰۲
۴۰	۱۳/۴۲	۱۶/۰۷	۱۷/۴۰	۱۸/۴۸	۱۹/۷۱	۲۱/۹۰	۲۱/۵۰	۲۰/۷۲	۲۰/۶۷	۱۷/۱۵	۱۵/۱۳	۱۳/۱۶	۲۱۵/۳۲	۹۲/۳۴	۱۲۲/۹۸	۱۷/۹۳
۴۵	۱۳/۷۴	۱۶/۲۸	۱۷/۳۳	۱۸/۱۰	۱۹/۰۶	۲۱/۰۰	۲۰/۶۸	۲۰/۱۴	۲۰/۴۲	۱۷/۲۳	۱۵/۴۳	۱۳/۵۱	۲۱۲/۹۱	۹۳/۵۲	۱۱۹/۳۹	۱۷/۷۴
۵۰	۱۳/۹۸	۱۶/۴۰	۱۷/۱۷	۱۷/۶۴	۱۸/۳۴	۲۰/۰۳	۱۹/۷۸	۱۹/۴۸	۲۰/۰۷	۱۷/۲۲	۱۵/۶۴	۱۳/۷۸	۲۰۹/۵۳	۹۴/۱۹	۱۱۵/۳۳	۱۷/۴۶
۵۵	۱۴/۱۳	۱۶/۴۴	۱۶/۹۳	۱۷/۱۱	۱۷/۵۵	۱۹/۰۰	۱۸/۸۱	۱۸/۷۴	۱۹/۶۳	۱۷/۱۲	۱۵/۷۶	۱۳/۹۷	۲۰۵/۲۰	۹۴/۳۶	۱۱۰/۸۴	۱۷/۱۰
۶۰	۱۴/۲۱	۱۶/۳۸	۱۶/۶۱	۱۶/۵۱	۱۶/۷۱	۱۷/۹۳	۱۷/۸۰	۱۷/۹۳	۱۹/۰۸	۱۶/۹۴	۱۵/۸۰	۱۴/۰۸	۱۹۹/۹۷	۹۴/۰۱	۱۰۵/۹۶	۱۶/۶۶
۶۵	۱۴/۲۱	۱۶/۲۳	۱۶/۲۱	۱۵/۸۴	۱۵/۸۳	۱۶/۸۱	۱۶/۷۴	۱۷/۰۶	۱۸/۴۵	۱۶/۶۶	۱۵/۷۴	۱۴/۱۱	۱۹۳/۸۸	۹۳/۱۵	۱۰۰/۷۳	۱۶/۱۶
۷۰	۱۴/۱۲	۱۵/۹۹	۱۵/۷۳	۱۵/۱۱	۱۴/۹۱	۱۵/۶۷	۱۵/۶۵	۱۶/۱۳	۱۷/۷۳	۱۶/۳۰	۱۵/۵۹	۱۴/۰۵	۱۸۷/۰۰	۹۱/۷۹	۹۵/۲۰	۱۵/۵۸
۷۵	۱۳/۹۵	۱۵/۶۷	۱۵/۱۸	۱۴/۳۳	۱۳/۹۵	۱۴/۵۲	۱۴/۵۵	۱۵/۱۵	۱۶/۹۳	۱۵/۸۶	۱۵/۳۶	۱۳/۹۲	۱۷۹/۳۷	۸۹/۹۴	۸۹/۴۳	۱۴/۹۵
۸۰	۱۳/۷۱	۱۵/۲۶	۱۴/۵۶	۱۳/۵۱	۱۲/۹۸	۱۳/۳۸	۱۳/۴۴	۱۴/۱۴	۱۶/۰۶	۱۵/۳۴	۱۵/۰۴	۱۳/۷۰	۱۷۱/۱۲	۸۷/۶۱	۸۳/۵۱	۱۴/۲۶
۸۵	۱۳/۳۸	۱۳/۷۷	۱۳/۸۸	۱۲/۶۴	۱۲/۰۱	۱۲/۲۸	۱۲/۳۵	۱۳/۱۰	۱۵/۱۳	۱۴/۷۵	۱۴/۶۳	۱۳/۴۰	۱۶۲/۳۲	۸۴/۸۱	۷۷/۵۱	۱۳/۵۳
۹۰	۱۲/۹۸	۱۴/۲۰	۱۳/۱۴	۱۱/۷۵	۱۱/۰۶	۱۱/۲۴	۱۱/۴۱	۱۲/۰۵	۱۴/۱۳	۱۴/۰۸	۱۴/۱۵	۱۳/۰۳	۱۵۳/۱۱	۸۱/۵۸	۷۱/۵۳	۱۲/۷۶

بررسی و تحلیل نتایج محاسبات

در جدول ۱ مقدار تابش دریافتی روزانه برای زوایای شیبِ صفر تا ۹۰ درجه (با فواصل پنج درجه‌ای) بر حسب مگاژول بر مترمربع در ماه‌های مختلف سال برای شهر تهران محاسبه شده است. به ترتیب ستون یک تا چهار از سمت چپ مقادیر میانگین تابش ماهانه، مجموع تابش در ماه‌های گرم سال (از آوریل تا سپتامبر)، مجموع تابش در ماه‌های سرد سال (از اکتبر تا مارس) و مجموع تابش سالانه روی سطح شیب‌دار با زوایای مختلف را نشان می‌دهند.

با توجه به نتایج ارائه شده در جدول ۱، زاویهٔ بهینه‌ای که سبب دریافت بیشترین تابش خورشیدی در کل طول سال می‌شود، حدود ۳۰ درجه است. اگر دریافت بیشترین تابش خورشیدی در ماه‌های سرد سال مورد نظر باشد (مثلاً برای گرمایش یک ساختمان در فصول سرد سال)، زاویهٔ بهینه حدود ۵۵ درجه و اگر بیشترین تابش در فصول گرم سال مطلوب باشد (مثلاً برای گرم کردن آب استخرهای روباز)، زاویهٔ بهینه حدود ۱۰ درجه خواهد بود. هم‌چنین کمترین تابش دریافتی در ماه‌های گرم سال توسط گردآوری با زاویهٔ ۹۰ درجه به‌دست می‌آید و کمترین و بیشترین نوسانات

حرارتی در طول سال به ترتیب با گردآوری با زاویهٔ ۷۵ درجه و صفر درجه حاصل می‌شود.

اگر سامانهٔ ترکیبی خورشیدی در ساختمان به‌کار رود و از تابش دریافت شده علاوه بر تولید آب‌گرم مصرفی، برای گرمایش ساختمان نیز استفاده شود، در تابستان که بیشترین تابش وجود دارد، نیازِ کمتری به گرما خواهد بود و بر عکس در زمستان که میزان تابشِ دریافتی کاهش می‌یابد، به جذبِ تابشِ بیشتری احتیاج است. در چنین حالتی بهتر است از زوایای شیبی برای نصب گردآور استفاده شود که ضمنِ جذب بیشترین تابش در فصول سرد، در ماه‌های گرم سال کمترین تابش خورشیدی را جذب نمایند. بدین منظور استفاده از زوایای بیش از ۵۵ درجه مناسب است.

توصیهٔ نگارنده در این خصوص، استفاده از زاویهٔ شیب ۹۰ درجه و در واقع نصب گردآورهای خورشیدی روی نمای ساختمان می‌باشد. در این حالت، کمترین تابش دریافتی در ماه‌های گرم سال در حالی حاصل می‌شود که تابش جذب شده در فصول سرد سال، حدود ۹۲ درصد از دریافتی گردآوری با زاویهٔ بهینه (۰۳ درجه نسبت به سطح افق) و ۸۷ درصد از دریافتی گردآوری با زاویهٔ ۵۵ درجه است.

دیگر مزایای نصب گردآور روی نمای ساختمان عبارتند از:

- در اختیار داشتن سطوح بزرگتر برای نصب گردآورها به ویژه در مجتمع‌های مسکونی چندین طبقه.
- عدم نیـاز به نماسازی زیـر گـردآورهای خورشیـدی و صرفه‌جویی در هزینهٔ آن.
- عدم نیاز به عایق‌کاری حرارتی در جبههٔ جنوبی ساختمان که گردآورها روی آن نصب شده‌اند، زیرا در سطح زیرینِ خودِ گردآورها لایهٔ مناسبی از عایق حرارتی قرار دارد.
- عدم نیاز به هزینه‌های اضافیِ نصب جهت مقابله با وزش باد.
- عدم نیاز به استفاده از تمهیدات ویژه برای دفع حرارتِ اضافیِ تولید شده در تابستان.
- عدم ایجاد خسارت و پایین آمدن عمر گردآورها به دلیل گرمای بیش از تحملشان در تابستان.

نتیجه

یکی از مهم‌ترین عواملی که بر کارایی گردآورهای خورشیدی و مقدار تابش دریافتی‌شان اثر می‌گذارد، زاویهٔ شیب آنها نسبت به سطح افق است. در نوشتار حاضر، مقدار تابش دریافتی روی سطوح شیب‌دار با زوایای مختلف در شهر تهران با مدلسازی ریاضی، محاسبه و پس از بررسی، نتایج زیر حاصل شده است:

۱ زاویهٔ شیب بهینه برای گردآورهای خورشیدی در شهر تهران حدود ۳۰ درجه است.

۲ اگر از گردآور خورشیدی تنها برای کاربردهای حرارتی در فصول سرد سال استفاده شود، بهتر است آن را با زاویهٔ ۵۵ درجه و در صورت استفاده در فصول گرم سال، با زاویهٔ ۱۰ درجه نسبت به سطح افق نصب نمود.

۳ اگر از گردآور خورشیدی برای تامین آب‌گرم مصرفی و گرمایش ساختمان استفاده شود، بهتر است گردآور با زاویهٔ ۹۰ درجه نسبت به سطح افق -روی نمای ساختمان- نصب شود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

فهرست علائم و نشانه‌ها

عرض جغرافیایی محل: ϕ

تعداد روزها از اول ژانویه: n

زاویهٔ شیب گردآور: β

تابش متوسط روزانه در ماه: $\overline{H}$

شدت تابش در خارج از جو: $\overline{H}_o$

ثابت خورشیدی: G_{sc}

زاویهٔ میل خورشید: δ

زاویهٔ ساعت طلوع خورشید: ω_s

ضریب روشنایی: $\overline{K}_t$

شدت تابش پراکنده: $\overline{H}_d$

زاویهٔ ساعت طلوع خورشید برای سطح شیب‌دار: ω'_s

نسبت تابش مستقیم روی سطح شیب‌دار به سطح افق: R_b

نسبت تابش کل روی سطح شیب‌دار به سطح افق: R

شدت تابش مستقیم روی سطح شیب‌دار به سطح افق: $\overline{H}_t$

پی نوشت ها:

1 Photobiological Systems.
2 Photochemical Systems.
3 Photovoltaic Systems.
4 Active.
5 Passive.
6 Sollar Collectors.
7 Solar Combisystems.

فهرست منابع:

حق‌پرست، کاشانی و آرش و پژمان صالح ایزدخواست و حمیدرضا لاری (۱۳۸۸)، تدوین اطلس جامع GIS انرژی خورشیدی ایران بر اساس مدل تابش‌سنجی NRI، مجموعه مقالات بیست و چهارمین کنفرانس بین المللی برق.
رئوفی‌راد، مجید (۱۳۸۵)، طراحی سیستم‌های خورشیدی ساختمان در ایران، چاپ اول، فدک ایساتیس، تهران.
سازمان انرژی‌های نو ایران (سانا) (۱۳۸۷)، گزارش اول: از انرژی‌های نو چه می‌دانید: انرژی خورشیدی، سازمان انرژی‌های نو ایران، تهران.
صفایی، ب و م خلجی اسدی و گ طالقانی (۱۳۸۳)، برآورد پتانسیل و شدت تابش خورشیدی در ایران و تهیه اطلس تابشی آن، علوم و فنون هسته‌ای سازمان انرژی اتمی ایران، شماره ۳۳.
فرهمندفر، زهرا (۱۳۸۹)، آیا ایران می‌تواند انرژی خورشیدی را جایگزین کند، مجموعه مقالات اولین همایش از سلسله همایشهای تخصصی چشم انداز.
مازریا، ادوارد (۱۳۸۵)، معماری خورشیدی غیرفعال، بیژن آقازاده، چاپ اول، پیک ادبیات، تهران.
نوربرت، شرایر و آندرآس واگنر و رالف آرتوس (۱۳۸۸)، انرژی خورشیدی در مصارف خانگی، بهزاد رضوان سنگسری، چاپ اول، اندیشیاران، تهران.

Bales, C and T Persson (2003), External DHW units for solar combisystems, *Solar Energy*, N.74, pp. 193-204.
Duffie, A.J and W.A Beckman (2003), *Solar Engineering of Thermal Processes*, 2nd Edition, Wiley Interscience, New York.
Fraisse, G and Y Bai and N Le Pierrès and T Letz (2009), Comparative study of various optimization criteria for SDHWS and a suggestion for a new global evaluation, *Solar Energy*, N.83, pp. 232-245.
Gunerhan, H and A Hepbasli (2007), Determination of the optimum tilt angle of solar collectors for building applications, *Building and Environment*, N.42, pp. 779–783.
Henden, L and J Rekstad and M Meir (2002), Thermal performance of combined solar systems with different collector efficiencies, *Solar Energy,* N.72, pp. 299-305.
Moghadam, H and F Farshchi Tabrizi and A Zolfaghari Sharak (2011), Optimization of solar flat collector inclination, *Desalination,* N.256, pp. 107-111.
Shariah, A and M.A Al-Akhras and I.A Al-Oman (2002), Optimizing the tilt angle of solar collectors, *Renewable Energy,* N.26, pp. 587–598.
Skeiker, K (2009), Optimization tilt angle and orientation for solar collectors in Syria, *Energy Conversion and Management*, N.50 , pp. 2439-2448.
Weiss, W (2003), *Solar Heating Systems for Houses: a Design Handbook for Solar Combisystems*, James & James, London.