

علوم و تکنولوژی محیط زیست، دوره بیست و دوم، شماره یک، فروردین ماه ۹۹

محاسبه شیب بهینه گردآورهای خورشیدی تخت و مقایسه کاربرد

آن‌ها با یکدیگر در فصول مختلف سال در کرمان

احمد جامعی^{۱*}

ahmadjameei@ut.ac.ir

حسن ذوالفقارزاده^۲

پوریا اکبرزاده^۳

تاریخ پذیرش: ۹۶/۰۳/۳۱

تاریخ دریافت: ۹۵/۱۰/۱۲

چکیده

زمینه و هدف: امروزه بحران انرژی و افزایش مصرف منابع تجدیدناپذیر همراه با آلودگی‌های ناشی از آن‌ها، یکی از مشکلات عمده بسیاری از کشورها از جمله ایران بوده و یکی مهم‌ترین عوامل تخریب زمین و تغییرات اقلیمی به شمار می‌رود. بنابراین بسیاری از کشورها به توسعه کاربرد منابع انرژی تجدیدپذیر پرداخته و در این بین انرژی خورشیدی یکی از مهم‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر در جهان و دومین منبع انرژی تجدیدپذیر در ایران پس از انرژی باد به شمار می‌رود. این انرژی به روش‌های مختلفی قابل بهره‌برداری بوده و در این زمینه گردآورهای تخت یکی از ساده‌ترین سامانه‌هایی هستند که به سهولت می‌توان از آن‌ها در ساختمان و نیروگاه‌هایی نظیر برج باد خورشیدی استفاده کرد. با توجه به تغییرات روزانه و فصلی تابش خورشید، برآورد شیب بهینه گردآورها به جهت داشتن بازده حداکثری بسیار با اهمیت خواهد بود.

روش بررسی: در این نوشتار بر اساس یک الگوی ریاضی و استفاده از داده‌های اقلیمی، شیب بهینه گردآورهای تخت در شهر کرمان مورد بررسی قرار گرفته و نتایج بر اساس نحوه استفاده از گردآور با یکدیگر مقایسه و در نهایت شیب بهینه به صورت ماهانه، فصلی و سالیانه ارزیابی می‌گردد. علاوه بر این‌ها برای درک بهتر موضوع، درصد انرژی دریافتی سالیانه گردآورها با زوایای مختلف نسبت به زاویه بهینه در یک جدول ارائه شده است.

یافته‌ها: در بخش نتیجه‌گیری، زاویه بهینه شیب گردآور در طول سال و فصل‌های مختلف بهار، تابستان، پاییز و زمستان همراه با زاویه بهینه سامانه‌های گرمایش استخرهای روباز و سامانه‌های گرمایش ساختمان ارائه گردیده و در پایان به مقایسه بازده گردآورهای عمودی و افقی نسبت به بازده حداکثری شیب بهینه در طول سال پرداخته شده است.

۱- دانشجوی دکتری گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران* (مسئول مکاتبات)

۲- دانشیار گروه معماری، دانشکده معماری و شهرسازی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران

۳- دانشیار گروه مکانیک سیالات، دانشکده مهندسی مکانیک، دانشگاه صنعتی شاهرود، شاهرود، ایران

بحث و نتیجه‌گیری: نتایج نشان داد که زاویه شیب بهینه گردآورهای تخت در شهر کرمان در طول سال ۳۲ درجه می‌باشد. این زاویه برای شش‌ماهه اول سال ۷ درجه و برای شش‌ماهه دوم سال ۵۳ درجه خواهد بود. همچنین تابش سالانه گردآورهای افقی حدود ۹۰٪ حداکثر تابش مجموع سالانه بوده و گردآورهای قائم نیز کم‌ترین تابش دریافتی را در طول سال به خود اختصاص می‌دهند.

واژه‌های کلیدی: انرژی تجدید پذیر، انرژی خورشیدی، تابش خورشید، گردآورهای تخت، زاویه بهینه گردآور.

The Calculation of Optimized Slop of Flat Solar Collectors and Comparing of Their Application at Each Month of the Year in Kerman

A. Jameei¹

ahmadjameei@ut.ac.ir

H. Zolfagharzadeh²

P. Akbarzadeh³

Accepted: 2017.06.21

Received: 2017.01.01

Abstract

Background and Objective: Today energy crisis and inherent environmental pollution caused by increasing consumption of non-renewable resources are one of the most major concerns of many countries including Iran and using of them is one of the most important factors to Earth demolition and climatic changes. Thus, numerous developed and enlarged countries try to extend the application and use of renewable energy resources. In this regard, the solar energy is one of the most important renewable and sustainable energy sources in the world and it mainly can be enumerated as the second largest energy sources in Iran after wind energy. This energy can be exploited in several methods such as flat collectors as one of the simplest and most usable systems that can be used in the buildings and solar chimney power plant. Due to daily and seasonal variations of the sun radiation, the optimal tilt estimation of collectors with maximum efficiency is very important.

Method: This paper is based on a mathematical pattern and climatic data and the optimized tilt of flat collectors in city of Kerman is investigated. Then, by comparing and analyzing results of charts and tables, optimized tilt of flat collector at each month, season and annual are extracted and contrasted. Additionally, the percent of received radiation of each angle of plates in comparison to the optimized Angle are discussed.

Findings: In the conclusion section, the optimal angle tilt of collector over the year including spring, summer, autumn and winter seasons besides the optimal angle building heating systems and outdoor swimming pools heating systems are also presented. Finally, efficiency of vertical and horizontal collectors has been investigated with respect to maximizing the efficiency of optimal tilt of collector over the year.

Keywords: Renewable Energy, Solar Energy, Solar Radiation, Flat Collectors, Optimal Collector Angle

1- Ph.D Student, Department of Architecture, Imam Khomeini International University, Qazvin Iran.*(Corresponding Author)

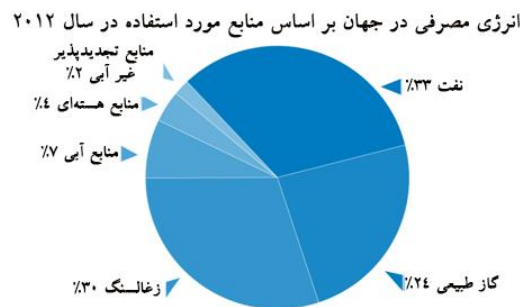
2- Department of Architecture, Faculty of Architecture and Urban Development, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran.

3- Department of Mechatronics Engineering, Faculty of Mechanical and Mechatronics Engineering, Shahrood University of Technology, Shahrood, Iran.

مقدمه

امروزه دستیابی به منابع انرژی پایدار و تجدیدپذیر از مهم‌ترین اهداف کشورهای پیشرفته و در حال توسعه به شمار می‌رود. چرا که رشد بالای مصرف انرژی منجر به افزایش فزاینده‌ای در حجم استخراج سوخت‌های فسیلی گردیده که به عنوان مثال در سال ۲۰۱۲ بالغ بر ۸۵٪ مقدار انرژی مصرفی

دنیا را شامل می‌شده است (شکل (۱)) (۱). وابستگی به انرژی‌های فسیلی در کشور ایران که یکی از بزرگ‌ترین تولیدکنندگان نفت و گاز جهان به شمار می‌رود، بسیار حادثر می‌باشد چراکه عمده درآمد سالانه کشور، حاصل از فروش فرآورده‌های نفتی بوده و سرانه مصرف انرژی در ایران نیز فراتر از میانگین‌های جهانی است.



شکل ۱- نمودار منابع انرژی مصرفی در سال ۲۰۱۲ (۱)

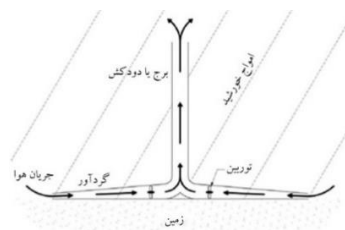
Figure 1- World energy consumption of sources, 2012 (1)

در این زمینه نکته با اهمیت آن است که کلیه منابع انرژی فسیلی تا پایان قرن ۲۱ به پایان خواهد رسید (۳). علاوه بر این‌ها مسأله مهم دیگر، بحث آلودگی هوا و پدیده گرمایش زمین بر اثر کاربرد سوخت‌های فسیلی و تولید گازهای گل‌خانه‌ای مانند دی‌اکسید کربن می‌باشد بطوری‌که میانگین دمای هوای زمین تا سال ۲۰۱۰ به رقم ۱۴/۶ درجه سانتی‌گراد نزدیک شده (۴) و مقدار دی‌اکسید کربن موجود در هوا تا تابستان سال ۲۰۱۵ به ۴۰۲/۸۰ واحد در میلیون (PPM) رسیده است (۵). لذا توسعه و کاربرد منابع انرژی غیر فسیلی نظیر انرژی خورشیدی امری بسیار مهم بوده و علی‌رغم همه مشکلاتی که در استفاده از آن وجود دارد، دومین منبع مناسب انرژی تجدیدپذیر در ایران به شمار می‌رود (۶). در حال حاضر طیف گسترده‌ای از سامانه‌های تبدیل انرژی خورشیدی وجود دارد که اصولاً در تمامی آن‌ها از دو روش برای تبدیل انرژی استفاده می‌گردد. دسته اول سامانه‌هایی هستند که پرتوها را به صورت مستقیم به انرژی الکتریسیته تبدیل می‌نمایند و شامل سلول‌های فتوولتائیک بوده و سامانه‌های تبدیل مستقیم نامیده

می‌شوند (۲). دسته دوم این سامانه‌ها برای رسیدن به فرم مناسبی از انرژی، بیش‌تر از یک تبدیل در انرژی خورشید پدید می‌آورند که به آن‌ها سامانه‌های "غیر مستقیم" می‌گویند (۷) بطوری‌که انرژی خورشید ابتدا به انرژی حرارتی تبدیل گردیده و سپس برای گرمایش، آب گرم مصرفی خانگی و تولید الکتریسیته مورد استفاده قرار می‌گیرند (۲). در این میان، گردآورهای تخت یکی از زیرمجموعه‌های سامانه‌های غیر مستقیم بوده که بیش‌ترین کاربرد را در صنعت ساختمان دارا هستند. این گردآورها با ساختاری نسبتاً ساده جهت گرم کردن آب یا هوا در دمایی بین ۴۰-۱۵۰ درجه سانتی‌گراد مورد استفاده قرار می‌گیرند. از موارد کاربرد آن‌ها می‌توان به گرمایش مستقیم ساختمان، تامین آب گرم مصرفی و آب استخر به صورت فعال و غیرفعال و یا ترکیبی اشاره کرد (۸). علاوه بر این‌ها کاربرد دیگر گردآورهای تخت، استفاده از آن‌ها در نیروگاه برج باد خورشیدی است که شماتیک آن در شکل (۲) نشان داده شده است. این نیروگاه متشکل از سه بخش گردآور افقی (گل‌خانه)، برج و توربین بادی بوده و اساساً نحوه

اقلیمی، شیب بهینه گردآورهای تخت در شهر کرمان مورد بررسی قرار گرفته و نتایج هر فصل بر اساس نحوه استفاده از گردآور به جهت گرمایش آب مصرفی، ساختمان و آب استخر با یکدیگر مقایسه شده و در نهایت شیب بهینه به صورت ماهانه، فصلی و سالیانه ارزیابی می‌گردد. علاوه بر این‌ها برای درک بهتر نتایج، درصد انرژی دریافتی سالیانه گردآورها با زوایای مختلف به ویژه زاویه افقی و قائم نسبت به زاویه بهینه در یک جدول با یکدیگر مقایسه شده است.

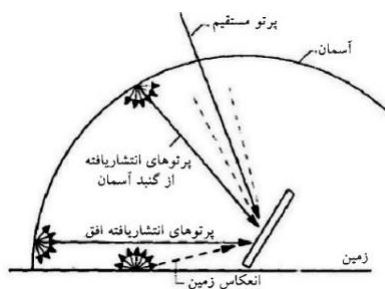
گردآوری امواج خورشید و محاسبات آن همانند گردآورهای تخت می‌باشد. نکته قابل توجه در تمامی این سامانه‌های خورشیدی انتخاب شیب بهینه گردآور جهت بهره‌برداری حداکثری از تابش خورشید در طول فصل‌های مختلف سال می‌باشد. چراکه با توجه به نحوه استفاده از سامانه، زاویای تابش متفاوتی باید در نظر گرفته شود و یا با تغییر فصل‌های مختلف، زاویه گردآور جهت افزایش بهره‌وری تغییر یابد. لذا در این نوشتار بر اساس یک الگوی ریاضی و استفاده از داده‌های



شکل ۲- شماتیک ساده یک نیروگاه برج باد خورشیدی (۷)

Figure 2- A schematic structure of solar chimney power plant (7)

آسمان^۱ مورد استفاده قرار می‌گیرد (۲) که روابط حاکم بر آن‌ها در بخش بعدی به تفصیل توضیح داده خواهد شد.



شکل ۳- پرتوهای تابشی مستقیم، پراکنده و انعکاسی

زمین بر روی یک صفحه تخت شبیدار (۹)

Figure 3- Beam, diffuse, and ground-reflected radiation on a tilted surface (9)

چشم‌انداز کلی از پرتوهای در دسترس

جهت طراحی تاسیسات مورد نیاز تبدیل انرژی خورشید، لازم است پرتوهای تابشی بر روی سطوح گردآورها تابیده شوند. در این بین، کارکرد خورشید منوط به امواج گوناگونی است که کیفیت و مقدار آن‌ها به کمیت‌هایی نظیر فصل، عرض جغرافیایی، ارتفاع از سطح دریا، درجه ابری بودن آسمان، بخار آب و گرد و غبار هوا وابسته می‌باشد. با این حال طراحی یک سامانه خورشیدی و پیش‌بینی مقدار انرژی تولید شده آن با تکیه بر محاسبات اصولی ترکیبات امواج تابشی خورشید امکان پذیر می‌باشد. در اغلب موارد، این محاسبات براساس یک دستورالعمل مشخص برای پرتوهای مستقیم، پراکنده و انعکاسی در یک دوره یک ساعته، یک روزه یا یک ماهه انجام می‌پذیرد (شکل (۳)). در این دستورالعمل، اطلاعات روزانه و ماهانه پرتوهای خورشید به همراه مدل‌های مشابهی از گنبد

$$\bar{K}_T = \frac{\bar{H}}{\bar{H}_0} \quad (۴)$$

مقدار انرژی دریافت شده توسط گردآور به واسطه استفاده از میانگین ماهانه تابش حداکثر روزانه بر روی یک سطح افقی تعیین می‌گردد که این عدد از راه حل ارایه شده توسط دافی^۱ و بکمن^۲ در سال ۱۹۹۱ بدست می‌آید (۹). بدین ترتیب میانگین ماهانه تابش خورشید در بالای جو (\bar{H}_0 (Mj/m² day) برابر است با (۹-۱۲):

$$\bar{H}_d = \begin{cases} \bar{H} (1.311 - 3.022\bar{K}_T + 3.427\bar{K}_T^2 - 1.82\bar{K}_T^3) & \text{if } \omega_s > 81.4^\circ \text{ and } .03 < \bar{K}_T < 0.8 \\ \bar{H} (1.391 - 3.560\bar{K}_T + 4.189\bar{K}_T^2 - 2.137\bar{K}_T^3) & \text{if } \omega_s \leq 81.4^\circ \text{ and } 0.3 < \bar{K}_T < 0.8 \end{cases} \quad (۵)$$

$$\bar{R}_b = \frac{\cos(\phi - \beta) \cos \delta \sin \omega'_s + (\pi f / 180) \omega'_s \sin(\phi - \beta) \sin \delta}{\cos \phi \cos \delta \sin \omega'_s + (\pi f / 180) \omega_s \sin \phi \sin \delta} \quad (۶)$$

که ω'_s (deg) زاویه ساعت غروب خورشید به سمت صفحه شیبدار بوده و از رابطه (۷) بدست می‌آید (۲):

$$\omega'_s = \min \left\{ \omega_s; \cos^{-1} \left(-\tan(\phi - \beta) \tan \delta \right) \right\} \quad (۷)$$

بنابراین میانگین ماهانه امواج تابشی مستقیم خورشید \bar{H}_b (Mj/m²) برابر است با:

$$\bar{H}_b = \bar{H} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \quad (۸)$$

برای محاسبه میزان پرتوهای پراکنده وارد بر یک سطح شیبدار، برآورد ضریب تبدیل امواج پراکنده \bar{R}_d لازم و ضروری است که این ضریب بر اساس مدل لیو و جردن در حالت ایزوتروپیک^۵ برابر است با (۱۳):

$$\bar{R}_d = \frac{(1 + \cos \beta)}{2} \quad (۹)$$

روش بررسی و محاسبه میزان تابش دریافتی توسط یک سطح شیبدار

مقدار انرژی دریافت شده توسط گردآور به واسطه استفاده از میانگین ماهانه تابش حداکثر روزانه بر روی یک سطح افقی تعیین می‌گردد که این عدد از راه حل ارایه شده توسط دافی^۱ و بکمن^۲ در سال ۱۹۹۱ بدست می‌آید (۹). بدین ترتیب میانگین ماهانه تابش خورشید در بالای جو (\bar{H}_0 (Mj/m² day) برابر است با (۹-۱۲):

$$\bar{H}_0 = \frac{24 \times 3600 G_{sc}}{\pi} \left(\frac{1 + 0.033 \cos \frac{360n}{365} \times \left(\cos \phi \cos \delta \sin \omega_s + \frac{\pi \omega_s}{180} \sin \phi \sin \delta \right)}{\right)} \quad (۱)$$

که در آن $G_{sc} = 1367$ (w/m²) ثابت تشعشعی خارج از جو، n شماره ژولیوسی، که تعداد روزهای سال بوده و از اول ژانویه محاسبه می‌گردد، ϕ (deg) عرض جغرافیایی محل مورد نظر و δ (deg) زاویه بین جهت خورشید و خط استوا (زاویه میل) بوده و از رابطه (۲) بدست می‌آید:

$$\delta = 23.45 \sin \left(360 \frac{284 + n}{365} \right) \quad (۲)$$

در این رابطه اگر محاسبات بر اساس متغیرهای میانگین ماهانه باشد، پیشنهاد می‌شود برای محاسبه n از ارقام میانگین روزها برای هر ماه استفاده شود (۲). همچنین ω_s (deg) زاویه ساعتی خورشید در هنگام غروب به سمت صفحه افقی بوده و از رابطه (۳) بدست می‌آید:

$$\omega_s = \cos^{-1} \left(-\tan \phi \tan \delta \right) \quad (۳)$$

مرحله دوم برآورد و محاسبه \bar{K}_T (-) میانگین ماهانه شاخص شفافیت^۳ است که از رابطه (۴) بدست می‌آید (۱۱):

-
- 1 - Duffie
 - 2 - Beckman
 - 3- Monthly Average Daily Solar Clearness Index

- 4- Beam Radiation Conversion Factor
- 5- Isotropic

و نتایج آن‌ها در جداول و نمودارها ارائه گردید. لازم به توضیح است که مطابق مرجع (۲) در این محاسبات، ضریب انعکاس سطح زمین ρ برابر با ۰/۴ در نظر گرفته شده است.

بدین ترتیب در جدول (۱) مولفه‌های تابش خورشید، نظیر تشعشع خارج از جو زمین، تشعشع پراکنده، تشعشع مستقیم، تشعشع روی سطح افقی و زاویه بهینه ماهانه در شهر کرمان ارائه گردیده است. در جدول (۲) مقدار تابش دریافتی روزانه، برای زوایای شیب مختلف به همراه مجموع تابش فصلی و سالیانه آن‌ها ارائه شده است. همچنین در نمودار (۱)، مقدار تشعشع کل ماهانه روی سطوح شیب‌دار، در نمودار (۲)، تابش دریافتی برای زوایای مختلف، در نمودار (۳)، تشعشع کل روی سطوح شیب‌دار به صورت فصلی و نمودار (۴)، جمع سالانه تشعشعات تابیده شده به سطوح شیب‌دار ارائه گردید. در جدول (۳) نیز به جهت درک آسان و مقایسه حداکثر تابش سالانه بر روی شیب‌های مختلف، درصد جذب مجموع سالانه زوایای ۰ تا ۹۰ درجه نسبت به زاویه بهینه ارائه شد. در ادامه بررسی و تحلیل نتایج در بخش بعدی به تفصیل بیان شده است.

بررسی و تحلیل نتایج محاسبات

با توجه به جدول (۱) که در آن فاکتورهایی نظیر مقدار تشعشع خارج از جو زمین، تشعشع مستقیم، تشعشع پراکنده و تشعشع بر روی سطح افق برای هر ماه و همچنین زاویه ایتیمم ماهانه برای شهر کرمان ارائه شده است، زاویه بهینه سطح شیب‌دار برای دریافت حداکثر انرژی تابشی خورشید برای هر ماه محاسبه و جهت مقایسه با تشعشع ماکزیمم روی سطح افقی همان ماه ارائه گردید. در این جداول به عنوان مثال حداکثر تشعشع دریافتی در ماه جولای بر روی زاویه بهینه صفر درجه $(29/21 \text{ Mj/m}^2)$ می‌باشد.

پرتوهای انعکاسی نیز بخش دیگری از پرتوهای رسیده به سطح شیب‌دار به شمار می‌آیند که با استفاده از مدل لیو و جردن برای محاسبه مقدار عددی آن‌ها، می‌بایست ضریب انعکاس سطح زمین ρ را مشخص کرده و ضریب تبدیل امواج بازتابش شده \bar{R}_r را مطابق رابطه (۱۰) محاسبه کرد (۱، ۱۳):

$$\bar{R}_r = \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \quad (10)$$

نتیجتاً میانگین ماهانه تابش مجموع \bar{H}_t (Mj/m²) پرتوهای روزانه خورشید بر روی یک سطح شیب‌دار (گردآور) رو به جنوب در نیمکره شمالی و در حالت ایزوتروپیک برابر است با مجموع میانگین ماهانه پرتوهای روزانه مستقیم، پراکنده و انعکاسی بر روی سطح گردآور است و از رابطه (۱۱) بدست می‌آید (۱، ۱۰ و ۱۳):

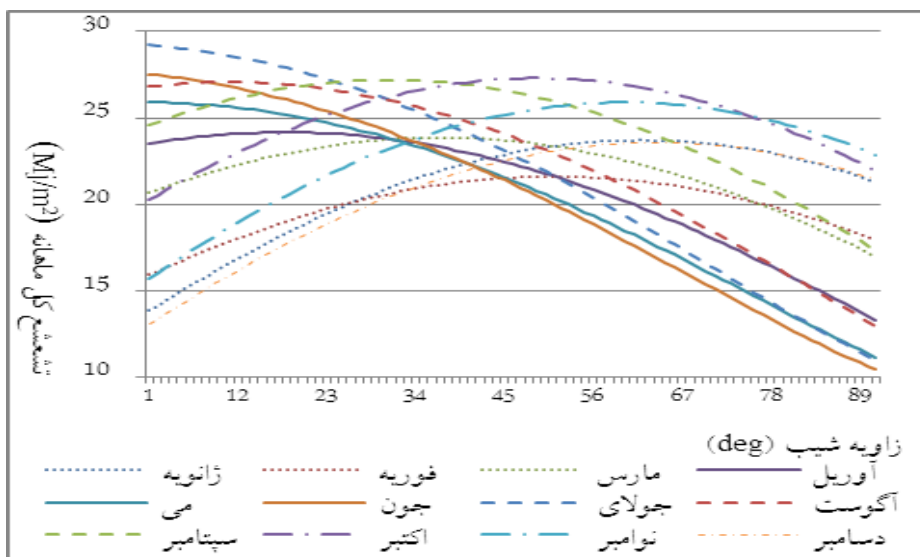
$$\bar{H}_t = \bar{H}_b \bar{R}_b + \bar{H}_d \bar{R}_d + \bar{H} \rho \bar{R}_r \quad (11)$$

با قراردادن روابط (۸)، (۹)، (۱۰) در رابطه (۱۱) خواهیم داشت:

$$\bar{H}_t = \bar{H} \left(1 - \frac{\bar{H}_d}{\bar{H}} \right) \bar{R}_b + \bar{H}_d \frac{(1 + \cos \beta)}{2} + \bar{H} \frac{(1 - \cos \beta)}{2} \rho \quad (12)$$

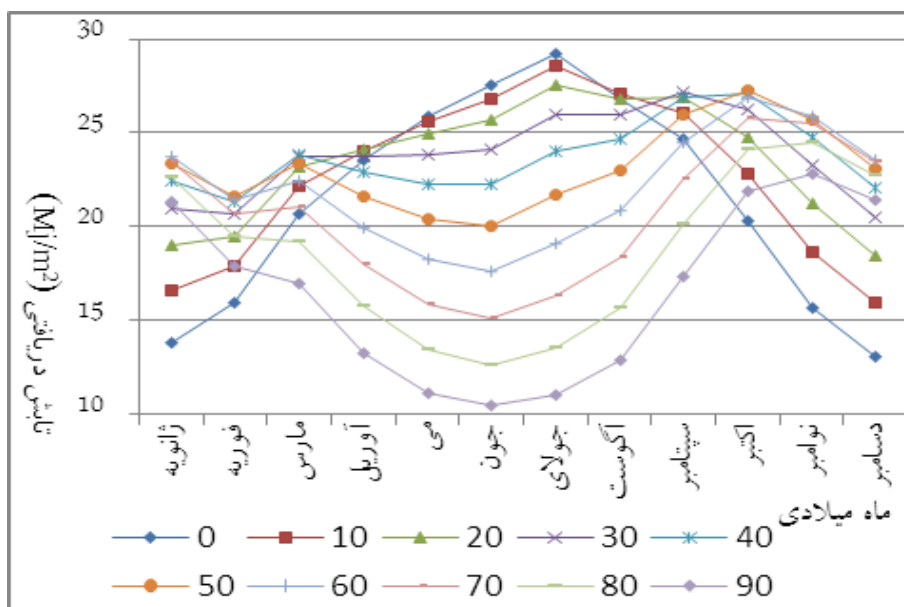
محاسبه میزان تابش دریافتی برای شیب‌های مختلف

با بهره‌گیری از داده‌های سازمان هواشناسی کشور شامل انرژی تشعشعی کل بر روی سطح افقی بیست ساله و با استفاده از نرم‌افزار (SPSS) زوایای مختلف گردآور از زاویه صفر درجه برای گردآورهای افقی تا زاویه ۹۰ درجه برای گردآورهای عمودی به صورت ماهانه، فصلی و سالانه برای شهر کرمان با طول جغرافیایی ۵۷/۰۵ و عرض جغرافیایی ۳۰/۱۵ مورد ارزیابی قرار گرفت، زاویه بهینه گردآور β_{opt} (deg) محاسبه



نمودار ۱- مقدار تشعشع کل روی سطوح شیب‌دار به صورت ماهانه

Chart 1- The total radiation on tilted surfaces of each month



نمودار ۲- مقدار تابش دریافتی برای زوایای شیب ۰ الی ۹۰ درجه برحسب مگاژول بر متر مربع برای

شهر کرمان در ماه‌های سال

Chart 2- Received radiation (Mj/m^2) on tilted angles of 0 to 90 of each month in Kerman

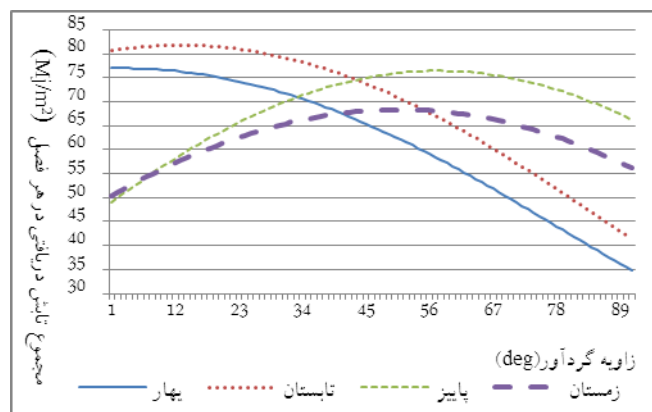
جدول ۱- مولفه های تشعشع به ازای هرماه و زاویه بهینه به صورت ماهانه برای شهر کرمان.

Table 1- Monthly radiation of components and optimal angle of each month in Kerman

β_{opt} deg	\bar{H}_t Mj/m ²	\bar{H} Mj/m ²	\bar{H}_b Mj/m ²	\bar{H}_d Mj/m ²	\bar{H}_0 Mj/m ²	ماه
۶۱	۲۳/۷۳	۱۳/۸۶	۱۰/۳۴	۳/۵۲	۲۱/۰۹	ژانویه
۴۹	۲۱/۶۲	۱۵/۹۲	۱۰/۷۶	۵/۱۶	۲۵/۸۲	فوریه
۳۶	۲۳/۸۸	۲۰/۶۷	۱۴/۷	۵/۹۷	۳۱/۴۷	مارچ
۱۶	۲۴/۱۸	۲۳/۵۲	۱۶/۳۸	۷/۱۴	۳۶/۷۶	آوریل
۰	۲۵/۹۱	۲۵/۹۱	۱۸/۲۲	۷/۶۹	۴۰/۰۱	می
۰	۲۷/۵۳	۲۷/۵۳	۱۹/۸۷	۷/۶۶	۴۱/۱۶	جون
۰	۲۹/۲۱	۲۹/۲۱	۲۲/۴۷	۶/۷۴	۴۰/۴۸	جولای
۸	۲۷/۰۷	۲۶/۸۳	۲۰/۳	۶/۵۳	۳۷/۹	آگوست
۳۰	۲۷/۲۱	۲۴/۶۳	۱۹/۳۵	۵/۲۸	۳۳/۳	سپتامبر
۴۸	۲۷/۳۱	۲۰/۲۹	۱۵/۹۶	۴/۳۳	۲۷/۴۱	اکتبر
۵۸	۲۵/۹۰	۱۵/۷۲	۱۲/۴	۳/۳۲	۲۲/۱۶	نوامبر
۶۲	۲۳/۵۸	۱۳/۰۷	۹/۸۱	۳/۲۶	۱۹/۷۲	دسامبر

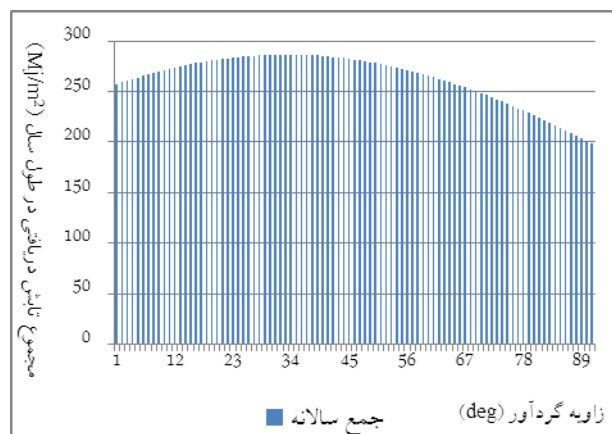
بهار و تابستان به ترتیب ۲ و ۱۲ درجه خواهد بود. این زاویه برای فصل‌های پاییز و زمستان به ترتیب ۵۰ و ۵۷ درجه است. همچنین اگر دریافت بیش‌ترین تابش خورشید در ماه‌های سرد سال مورد نظر باشد (به عنوان مثال گرمایش یک ساختمان در فصل‌های پاییز و زمستان) زاویه بهینه ۵۳ درجه و اگر بیش‌ترین تابش در فصل‌های گرم سال مورد نظر باشد (به عنوان مثال گرمایش آب استخرهای روباز) زاویه بهینه ۷ درجه مناسب خواهد بود. در این میان سطوح قائم با زاویه ۹۰ درجه کم‌ترین تابش دریافتی را در فصل‌های گرم و نیز در طول سال به خود اختصاص می‌دهند. این نکته قابل ذکر است در سامانه‌هایی که در آن‌ها از گردآورهای افقی با زاویه صفر درجه استفاده می‌شود (مانند گردآورهای نیروگاه‌های برج باد خورشیدی)، تابش مجموع سالانه آن‌ها نسبتاً مناسب بوده و حدوداً ۹۰٪ حداکثر تابش دریافتی سالانه خواهد بود.

نتیجتاً زاویه بهینه گردآورهای تخت برای هر یک از ماه‌های ژانویه ۶۱ درجه، فوریه ۴۹ درجه، مارس ۳۶ درجه، آوریل ۱۶ درجه، می، جون و جولای صفر درجه، آگوست ۸ درجه، سپتامبر ۳۰ درجه، اکتبر ۴۸ درجه، نوامبر ۵۸ درجه و دسامبر ۶۲ درجه است. با توجه به نتایج جدول (۲) و نمودار (۴) که در آن جمع سالانه تشعشع کل برای هر زاویه مورد ارزیابی قرار گرفته شده، زاویه بهینه‌ای که سبب دریافت بیش‌ترین تابش خورشید در طول سال می‌شود، ۳۲ درجه بوده که مجموع تابش سالانه آن $(286/5 \text{ Mj/m}^2)$ می‌باشد. این مقدار برای گردآور افقی $(257/16 \text{ Mj/m}^2)$ و برای گردآور قائم $(198/64 \text{ Mj/m}^2)$ خواهد بود. بنابراین برای سامانه‌هایی که در تمامی طول سال مورد استفاده قرار می‌گیرند، زاویه ۳۲ درجه مناسب‌ترین خواهد بود. این نکته قابل ذکر است که زوایای ۰ تا ۶۸ درجه در طول سال بیش‌تر از (250 Mj/m^2) انرژی دریافت می‌کنند. علاوه بر زوایای فوق زاویه بهینه گردآور در فصل‌های



نمودار ۳- تشعشع کل روی سطح شیب‌دار بر حسب زاویه به صورت فصلی برای شهر کرمان

Chart 3- Total seasonal radiation (Mj/m²) on tilted collectors in Kerman



نمودار ۴- جمع سالانه تشعشع کل بر روی سطوح شیب‌دار بر حسب زاویه برای شهر کرمان

Chart 4- Annual sum of total radiation (Mj/m²) on tilted surface in Kerman

نتیجه‌گیری

در نوشتار حاضر، مقدار تابش دریافتی روی سطوح شیب‌دار با زوایای مختلف در شهر کرمان با استفاده از مدل‌سازی ریاضی محاسبه و پس از بررسی، نتایج زیر حاصل شده است:

- زاویه شیب بهینه برای گردآورهای تخت در شهر کرمان ۳۲ درجه می‌باشد.
- زاویه شیب بهینه گردآورهای تخت در فصل بهار ۲ درجه، فصل تابستان ۱۲ درجه، فصل پاییز ۵۰ درجه و فصل زمستان ۵۷ درجه می‌باشد.

به طور کلی در تمامی انواع گردآورهای خورشیدی، زاویه شیب گردآور یکی از مهم‌ترین و تاثیرگذارترین عوامل در کسب حداکثر تابش خورشیدی در طول سال به شمار می‌آید. با این حال عوامل بسیار زیادی نظیر درجه ابری بودن آسمان در مقدار انرژی جذب شده توسط یک گردآور موثر هستند که کنترل هر یک از آنها از دسترس انسان خارج است. در گردآورهای تخت علاوه بر زاویه بهینه، جنس مصالح شفاف نور گذر و نیز نحوه محافظت از حرارت بدست‌آمده در افزایش بازده سامانه بسیار موثر خواهد بود.

(شیب بهینه) در سراسر سال می‌باشد.

- در سامانه‌هایی که در آن‌ها از گردآورهای افقی با زاویه صفر درجه استفاده می‌شود مانند گردآورهای نیروگاه‌های برج باد خورشیدی، تابش مجموع سالانه آن‌ها حدوداً ۹۰٪ حداکثر تابش مجموع سالانه می‌باشد.

تشکر و قدردانی

نویسندگان این مقاله از دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره)، دانشگاه صنعتی شاهرود و هیات تحریریه فصلنامه علوم و تکنولوژی محیط زیست کمال سپاسگزاری را دارند.

- اگر دریافت بیش‌ترین تابش در فصل‌های گرم سال مورد نظر باشد (به عنوان مثال گرمایش آب استخرهای روباز) زاویه بهینه ۷ درجه مناسب خواهد بود.
- اگر دریافت بیش‌ترین تابش خورشید در ماه‌های سرد سال مورد نظر باشد (به عنوان مثال گرمایش یک ساختمان در فصل‌های پاییز و زمستان) زاویه بهینه ۵۳ درجه مناسب خواهد بود.
- بازده سالانه گردآورهای عمودی در کرمان حداقل بوده و نزدیک به ۶۹٪ حداکثر بازده انرژی دریافت شده توسط گردآوری با زاویه شیب ۳۲ درجه

جدول ۲- تابش دریافتی روزانه برای زوایای شیب مختلف بر حسب مگازول بر متر مربع در ماه‌های مختلف سال شهر کرمان

Table 2- Daily received radiation (Mj/m²) on tilted surface of each month in Kerman

ماه	زاویه شیب									
	۰	۱۰	۲۰	۳۰	۴۰	۵۰	۶۰	۷۰	۸۰	۹۰
ژانویه	۱۳/۸۶	۱۶/۶۳	۱۹/۰۳	۲۱	۲۲/۴۶	۲۳/۳۸	۲۳/۷۲	۲۳/۴۹	۲۲/۶۷	۲۱/۳۱
فوریه	۱۵/۹۲	۱۷/۸۸	۱۹/۴۷	۲۰/۶۵	۲۱/۳۷	۲۱/۶۲	۲۱/۳۹	۲۰/۶۸	۱۹/۵۲	۱۷/۹۴
مارس	۲۰/۶۷	۲۲/۱۸	۲۳/۲۲	۲۳/۷۸	۲۳/۸۴	۲۳/۳۸	۲۲/۴۳	۲۱/۰۲	۱۹/۱۸	۱۶/۹۸
آوریل	۲۳/۵۲	۲۴/۰۷	۲۴/۱۵	۲۳/۷۷	۲۲/۹۳	۲۱/۶۶	۱۹/۹۹	۱۷/۹۹	۱۵/۷۳	۱۳/۲۹
می	۲۵/۹۱	۲۵/۶۴	۲۴/۹۳	۲۳/۸	۲۲/۲۷	۲۰/۴	۱۸/۲۵	۱۵/۹	۱۳/۴۸	۱۱/۱۶
جون	۲۷/۵۳	۲۶/۸۲	۲۵/۶۸	۲۴/۱۵	۲۲/۲۵	۲۰/۰۶	۱۷/۶۴	۱۵/۱۲	۱۲/۶۴	۱۰/۴۶
جولای	۲۹/۲۱	۲۸/۶۱	۲۷/۵۳	۲۵/۹۸	۲۴	۲۱/۶۷	۱۹/۰۷	۱۶/۳	۱۳/۵۳	۱۱
آگوست	۲۶/۸۳	۲۷/۰۷	۲۶/۸	۲۶/۰۱	۲۴/۷۲	۲۲/۹۸	۲۰/۸۴	۱۸/۳۸	۱۵/۷	۱۲/۹۴
سپتامبر	۲۴/۶۳	۲۶/۰۶	۲۶/۹۳	۲۷/۲۱	۲۶/۸۹	۲۵/۹۹	۲۴/۵۳	۲۲/۵۵	۲۰/۱۳	۱۷/۳۲
اکتبر	۲۰/۲۹	۲۲/۸	۲۴/۸۱	۲۶/۲۶	۲۷/۰۹	۲۷/۲۹	۲۶/۸۶	۲۵/۷۹	۲۴/۱۳	۲۱/۹۳
نوامبر	۱۵/۷۲	۱۸/۶۹	۲۱/۲۴	۲۳/۲۸	۲۴/۷۷	۲۵/۶۵	۲۵/۹	۲۵/۵	۲۴/۴۸	۲۲/۸۶
دسامبر	۱۳/۰۷	۱۵/۹۲	۱۸/۴۲	۲۰/۴۹	۲۲/۰۷	۲۳/۱	۲۳/۵۶	۲۳/۴۳	۲۲/۷۲	۲۱/۴۵
بهار	۷۶/۹	۷۶/۵۳	۷۴/۷۶	۷۱/۷۲	۶۷/۴۵	۶۲/۱۲	۵۵/۸۸	۴۹/۰۱	۴۱/۸۵	۳۴/۹۱
تابستان	۸۰/۶۷	۸۱/۷۴	۸۱/۲۶	۷۹/۲۰	۷۵/۶۱	۷۰/۶۴	۶۴/۴۴	۵۷/۲۳	۴۹/۳۶	۴۱/۲۶
پاییز	۴۹/۰۸	۵۷/۴۱	۶۴/۴۷	۷۰/۰۳	۷۳/۹۳	۷۶/۰۴	۷۶/۳۲	۷۴/۷۲	۷۱/۳۳	۶۶/۲۴
زمستان	۵۰/۴۵	۵۶/۶۹	۶۱/۷۲	۶۵/۴۳	۶۷/۶۷	۶۸/۳۸	۶۷/۵۴	۶۵/۱۹	۶۱/۳۷	۵۶/۲۳
فصول گرم	۱۵۷/۶۳	۱۵۸/۲۷	۱۵۶/۰۲	۱۵۰/۹۲	۱۴۳/۰۶	۱۳۲/۷۶	۱۲۰/۳۲	۱۰۶/۲۴	۹۱/۲۱	۷۶/۱۷
فصول سرد	۹۹/۵۳	۱۱۴/۱۰	۱۲۶/۱۹	۱۳۵/۴۶	۱۴۱/۶۰	۱۴۴/۴۲	۱۴۳/۸۶	۱۳۹/۹۱	۱۳۲/۷۰	۱۲۲/۴۷
جمع سالانه	۲۵۷/۱۶	۲۷۲/۳۷	۲۸۲/۲۱	۲۸۶/۳۸	۲۸۴/۶۶	۲۷۷/۱۸	۲۶۴/۱۸	۲۴۶/۱۵	۲۲۳/۹۱	۱۹۸/۶۴

جدول ۳- مقایسه درصد جذب مجموع سالانه زوایای مختلف گردآور نسبت به زاویه بهینه ۳۲ درجه

Table3- Comparison of total annual percent of absorption of different angles of collector to the optimal angle of 32 degrees.

درصد تابش دریافتی نسبت به زاویه بهینه	زاویه	درصد تابش دریافتی نسبت به زاویه بهینه	زاویه	درصد تابش دریافتی نسبت به زاویه بهینه	زاویه	درصد تابش دریافتی نسبت به زاویه بهینه	زاویه	درصد تابش دریافتی نسبت به زاویه بهینه	زاویه	درصد تابش دریافتی نسبت به زاویه بهینه	زاویه
۸۲/۲۰	۷۵	۹۲/۲۱	۶۰	۹۸/۲۹	۴۵	۹۹/۹۶	۳۰	۹۷/۰۳	۱۵	۸۹/۷۶	۰
۸۱/۴۱	۷۶	۹۱/۶۶	۶۱	۹۸/۰۲	۴۶	۹۹/۹۹	۳۱	۹۷/۳۶	۱۶	۹۰/۳۷	۱
۸۰/۶۲	۷۷	۹۱/۰۸	۶۲	۹۷/۷۳	۴۷	۱۰۰/۰۰	۳۲	۹۷/۶۹	۱۷	۹۰/۹۷	۲
۷۹/۸۰	۷۸	۹۰/۴۹	۶۳	۹۷/۴۲	۴۸	۹۹/۹۹	۳۳	۹۷/۹۸	۱۸	۹۱/۵۴	۳
۷۸/۹۸	۷۹	۸۹/۸۹	۶۴	۹۷/۰۹	۴۹	۹۹/۹۶	۳۴	۹۸/۲۵	۱۹	۹۲/۰۹	۴
۷۸/۱۵	۸۰	۸۹/۲۷	۶۵	۹۶/۷۵	۵۰	۹۹/۹۱	۳۵	۹۸/۵۰	۲۰	۹۲/۶۴	۵
۷۷/۳۱	۸۱	۸۸/۶۳	۶۶	۹۶/۳۷	۵۱	۹۹/۸۴	۳۶	۹۸/۷۴	۲۱	۹۳/۱۶	۶
۷۶/۴۵	۸۲	۸۷/۹۸	۶۷	۹۵/۹۹	۵۲	۹۹/۷۶	۳۷	۹۸/۹۶	۲۲	۹۳/۶۷	۷
۷۵/۵۹	۸۳	۸۷/۳۱	۶۸	۹۵/۵۸	۵۳	۹۹/۶۴	۳۸	۹۹/۱۵	۲۳	۹۴/۱۶	۸
۷۴/۷۱	۸۴	۸۶/۶۲	۶۹	۹۵/۱۶	۵۴	۹۹/۵۱	۳۹	۹۹/۳۳	۲۴	۹۴/۶۲	۹
۷۳/۸۴	۸۵	۸۵/۹۲	۷۰	۹۴/۷۰	۵۵	۹۹/۳۶	۴۰	۹۹/۴۹	۲۵	۹۵/۰۷	۱۰
۷۲/۹۵	۸۶	۸۵/۲۰	۷۱	۹۴/۲۵	۵۶	۹۹/۱۹	۴۱	۹۹/۶۲	۲۶	۹۵/۵۰	۱۱
۷۲/۰۵	۸۷	۸۴/۴۷	۷۲	۹۳/۷۶	۵۷	۹۹/۰۰	۴۲	۹۹/۷۳	۲۷	۹۵/۹۱	۱۲
۷۱/۱۴	۸۸	۸۳/۷۳	۷۳	۹۳/۲۶	۵۸	۹۸/۷۸	۴۳	۹۹/۸۳	۲۸	۹۶/۳۰	۱۳
۷۰/۲۴	۸۹	۸۲/۹۷	۷۴	۹۲/۷۵	۵۹	۹۸/۵۵	۴۴	۹۹/۹۰	۲۹	۹۶/۶۷	۱۴
۶۹/۳۳	۹۰										

منابع

1. Fitzsimmons, A., Ramesh, K., 2013. Statistical Review of World Energy 2013: Viva La Shale Revolución. see information in: <https://www.instituteforenergyresearch.org/fossil-fuels/coal/statistical-review-of-world-energy-2013-viva-la-shale-revolucion/>
2. Bostan, I., Gheorghe, A., Dulgheru, V., Sobor, I., Bostan, V., Sochirean, A., 2013. Resilient Energy Systems Renewables: Wind, Solar, Hydro. London: Springer; 1-64.
3. Anonymous, 2014. The End of Fossil Fuels. see information in: <https://www.ecotricity.co.uk/our-green-energy/energy-independence/the-end-of-fossil-fuels/>
4. Larsen, J., 2014. Global Temperature: 2013. Marked the Thirty-seventh Consecutive Year of Above-Average Temperature. see information in: http://www.earth-policy.org/indicators/C51/temperature_2014
5. Anonymous, 2015. Earth's CO2 Home Page. see information in: <https://www.co2.earth/earths-co2-main-page>
6. Mohajeri, M., Khaksar Astaneh, S., Prioritize renewable energy Resources in Iran with respect to sustainable

11. Asante, D., 2014. The Design of Solar Chimney Power Plant for Sustainable Power Generation. Master of Science in Renewable Energy Technologies, Kwame Nkrumah University of Science and Technology, 28-36.
12. Yazdanpanah, H., Mirmojarabian, R., Barghi, H., 2010. Estimating total incoming solar radiation on the earth surface of Isfahan. *Geography and Environmental Planning*, 21(1), 95-104. (In Persian).
13. El-Sebaili, A.A., Al-Hazmi, F.S., Al-Ghamdi, A.A., Yaghmour, S.J., 2010. Global, direct and diffuse solar radiation on horizontal and tilted surfaces in Jeddah, Saudi Arabia. *Applied Energy*, 87, 568-576.
- development, using fuzzy AHP, The 3th Conference on Environmental Planning and Management, 2013, Tehran: Iran. (In Persian).
7. Bernardes, M. A. dos S., Voß, A., Weinrebe, G., 2003. Thermal and technical analyses of solar chimneys. *Solar Energy*, 75(6), 511-524.
8. Raoufi Rad, M., 2007. Designing of Building Solar Systems in Iran. Tehran: Fadak Isatis; 67-68. (In Persian).
9. Duffie, J.A., Beckman, W.A., 2013. *Solar Engineering of Thermal Process*. 4th ed. New York: John Wiley; 223-239.
10. Moini, S., Javadi, SH., Kokabi, M., Dehghan Monshadi, M., 2010. Estimating solar radiation for IRAN by using an optimum Model. *Iranian Journal of Energy*, 13 (2), 1-10. (In Persian).