بررسی پتانسیل انرژی خورشیدی و برآورد بازده کلکتورهای تخت خورشیدی در شهر خرم‌آباد

موحد سپهوند[1*]، حسین مبلی[2]، مجید خانعلی[3] و محمد شریفی[3]

۱*. محقق، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی لرستان، خرم‌آباد، ایران
۲. استاد، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران
۳. دانشیار، گروه مهندسی ماشین‌های کشاورزی، دانشگاه تهران، کرج، ایران

چکیده

محدودیت منابع فسیلی و اثرات زیست‌محیطی ناشی از سوختن آن‌ها، اهمیت استفاده از منابع انرژی جایگزین به‌ویژه انرژی‌های تجدیدپذیر را افزایش داده است. هدف اصلی این تحقیق بررسی پتانسیل انرژی خورشیدی و برآورد بازده کلکتورهای تخت خورشیدی در شهر خرم‌آباد است. داده‌ها برای یک دوره ۵ ساله (۹۵-۱۳۹۱) از ساتبا و سازمان هواشناسی جمع‌آوری گردید. نتایج نشان داد، متوسط سالیانه تابش خورشیدی روزانه کل روی سطوح افقی و شیبدار (۳۳ درجه) در شهر خرم‌آباد به‌ترتیب ۵/۲۷ و ۵/۷۸ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز می‌باشد. بیشترین و کمترین متوسط ماهیانه تابش خورشیدی کل روی سطح شیبدار به ترتیب به ماه‌های تیر و دی با مقادیر ٦/٨٨ و ٤/٣٦ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز اختصاص داشت. همچنین متوسط سالیانه انرژی مفید جذب شده و بازده کلکتور خورشیدی در شهر خرم‌آباد به ترتیب ۳۸ درصد و ۲/۲٦ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز محاسبه شد.

کلمات کلیدی:
پتانسیل‌سنجی، انرژی خورشیدی، کلکتور تخت، بازده کلکتور، خرم‌آباد.

***نویسنده مسئول:** Sepahvandmovahed@gmail.com

بررسی پتانسیل انرژی خورشیدی و برآورد بازده کلکتورهای تخت خورشیدی در شهر خرم‌آباد

مقدمه

- ضرورت استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر در ایران

کشور ایران به لحاظ دارا بودن منابع مختلف انرژی، دومین کشور در خاورمیانه است. ایران، علاوه بر منابع فراوان انرژی مانند نفت و گاز طبیعی، دارای منابع بزرگ انرژی‌های تجدیدپذیر از جمله انرژی خورشیدی، بادی، زمین گرمایی و آبی است. مطالعات نشان می‌دهند که ایران می‌تولند نقش مهمی را در زنجیره تولید انرژی‌های تجدیدپذیر در سال ۲۰۵۰ ایفا نماید. ایران از اوایل ۱۹۹۰، شروع به استفاده از منابع تجدیدپذیر نمود و به منظور بهره‌برداری از این منابع، در برنامه چهارم توسعه، مجموعه‌ای از اهداف و سیاست‌ها را تعریف نمود. با این حال، روند توسعه ایران در این زمینه با روند جهانی قابل مقایسه نیست و به نظر می‌رسد ذخایر سوخت‌های فسیلی، رشد منابع انرژی تجدیدپذیر را تحت‌الشعاع خود قرار داده است. در حال حاضر ۹۰ درصد از برق تولیدی ایران از نیروگاه‌های حرارتی که از گاز طبیعی و نفت سنگین به عنوان سوخت اصلی استفاده می‌کنند، حاصل می‌شود و تنها ۱۰ درصد از کل برق تولیدی به انرژی‌های تجدیدپذیر تعلق دارد. بنابراین با در نظر گرفتن پتانسیل بالای کشور در زمینه انرژی‌های تجدیدپذیر و نیز از طرفی گام برداشتن به سوی تحقق قیمت حامل‌های انرژی و طراحی یک ساختار انعطاف‌پذیر و پویا و از بین بردن موانع موجود، لازم است تا به تجزیه و تحلیل زیرساخت‌ها، سیاست‌ها و ساختارهای اداری در این زمینه، برای سرعت بخشیدن به توسعه آن‌ها پرداخته شود. بنابراین کشورهایی همانند ایران با داشتن ذخایر فراوان نفت و گاز، نباید بر این منابع تکیه کند، بلکه بایستی یک سیاست انرژی ترکیبی جامعی را اتخاذ کرده و برای توسعه همه منابع جایگزین انرژی برنامه‌ریزی نماید [۱۰].

- جایگاه انرژی خورشیدی در ایران و جهان

ایران از نظر جغرافیایی بر روی کمربند زرد زمین که بیشترین میزان دریافت نور خورشید را در طول روز در ماه‌های مختلف سال دارد واقع شده و با میانگین ۳۰۰ روز در سال در زمره کشورهایی قرار دارد که بیشترین دریافت نور خورشید را دارد. بر اساس اطلس جامع GIS انرژی خورشیدی ایران میزان متوسط سالیانه انرژی تابش کل خورشید بر سطح افقی در ایران برابر با ۵/۲٤ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در روز برآورد شده است. مقدار متوسط سالانه ساعات آفتابی در ایران برابر ۳۱۵۳/۲ ساعت و مقدار بیشینه آن مربوط به شهر حاجی‌آباد در استان هرمزگان و به میزان ۳۵۹۱/۹ ساعت می‌باشد [٦].

در جهان کشور چین در مقایسه با کشورهای دیگر دارای بیشترین پتانسیل در انرژی خورشیدی است. میانگین تابش در چین حدود ۵/۸۵ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در روز و در بیشینه حالت ۹ کیلووات‌ساعت بر مترمربع در روز می‌باشد [۱۳].

- زمینه‌های استفاده از انرژی خورشیدی

عمدتاً انرژی خورشیدی به چهار صورت فتوبیولوژی، شیمیایی خورشیدی، فتوولتاییک و حرارتی (به عنوان اقتصادی‌ترین نوع سامانه‌های خورشیدی در موارد مختلفی همچون تولید آب گرم مصرفی، گرمایش و سرمایش، خشک کردن و پختن، شیرین کردن آب، پمپاژ آب، تولید الکتریسیته و مصارف گلخانه‌ای کاربرد دارد) مورد استفاده قرار می‌گیرد [۵].

- کلکتور خورشیدی

کلکتورها را به طور کلی می‌توان به سه گروه عمده تقسیم نمود: کلکتورهای تخت، متمرکزکننده و لوله‌ای خلا [۵].کلکتور تخت ساده‌ترین و متداول‌ترین وسیله برای تبدیل انرژی تابشی خورشید به گرمای مفید است [۸]. متمرکزکننده‌ها از نظر بازده در دماهای پایین، از کلکتورهای تخت ضعیف‌تر بوده ولی در دماهای بالا دارای بازده خوبی هستند. میزان دریافت تابش خورشیدی در متمرکزکننده‌ها حدود ۰/۸- ۰/۷ کلکتورهای تخت می‌باشد [۱].

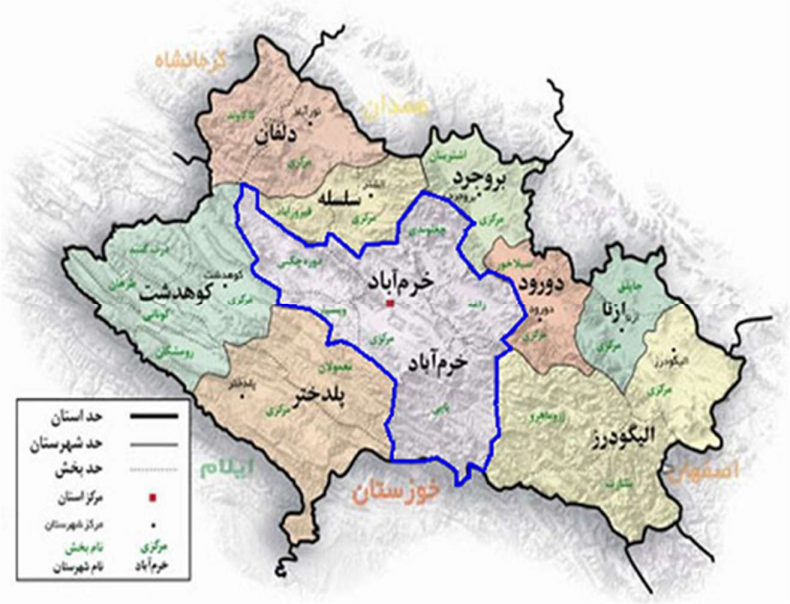
عملکرد کلکتورهای خورشیدی به میزان تابش، موقعیت جغرافیایی، شرایط آب و هوایی، پارامترهای عملیاتی و طول دوره استفاده از آن بستگی دارد [۷]. جنود [٤] اعلام داشت که عملکرد کلکتور باید طوری باشد که در طول روز بالاترین انرژی را دریافت کند یعنی انحراف آن نسبت به سطح افق تقریبا با زاویه انحرافی معادل عرض جغرافیایی محل نسبت به سطح افق قرار گیرد. برای تهران این مقدار ۳۵/۵ درجه نسبت به سطح افق است. در شهر ارومیه بازده کلکتورهای تخت در روزهای اول فروردین، ۱۵ خرداد و ۱۵ آبان به‌ترتیب ٤٦، ٥٤ و ٤٤ درصد محاسبه گردید [۱]. کارسلی [١٤]، بازده کلکتور تخت را در طول روز بین ٢٦ تا ٦٤ درصد و زمردیان و وود [١٦]، بیشترین بازده کلکتور را در طول روز ۸۲ درصد بیان کردند. همچنین در تحقیقی که توسط میرزایی قلعه و همکاران [۱۱] در شهر کرج صورت گرفت، میزان بازده کلکتورها بین ۳۲ تا ۷۹ درصد و میزان انرژی جذب شده خورشیدی بین ۰/۸۳ تا ١٦/٧ کیلووات ساعت در روز برآورد شد.

با توجه به اینکه تاکنون تحقیق جامعی روی انرژی خورشیدی در خرم‌آباد انجام نشده است، این مقاله به بررسی پتانسیل انرژی خورشیدی و برآورد بازده کلکتورهای تخت خورشیدی در شهر خرم‌آباد پرداخته است.

مواد و روش‌ها

- موقعیت منطقه

شهر خرم‌آباد به عنوان مرکز استان لرستان با وسعتی حدود ٤٩٠٠ کیلومترمربع و ارتفاع ١١٤٨ متر از سطح دریا بین ۳۲ درجه و ٥٦ دقیقه تا ۳۳ درجه و ٥١ دقیقه عرض شمالی و ٤٧ درجه و ٤١ دقیقه تا ٤٨ درجه و ٥٧ دقیقه طول شرقی واقع شده است. شهر خرم‌آباد از شمال به شهر سلسله، از شمال‌شرق به شهر بروجرد، از شرق به شهرهای دورود و الیگودرز، از جنوب به شهر اندیمشک و از غرب و جنوب‌غرب به شهرهای دوره و پلدختر محدود می‌شود (شکل ۱). خرم‌آباد دارای آب و هوای مدیترانه‌ای معتدل و نیمه مرطوب است. میزان بارندگی و تعداد روزهای بارانی در این شهر به‌ترتیب ٥١٢ میلی‌متر در سال و ٧٦ روز می‌باشد [۲].



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه

داده‌های تابش خورشیدی برای یک دوره ۵ ساله (۹۵-۱۳۹۱) از سازمان انرژی‌های تجدیدپذیر و بهره‌وری انرژی برق (ساتبا) اخذ گردید.

- تابش خورشیدی روزانه کل روی سطح شیبدار

میزان تابش خورشیدی روزانه کل روی سطح شیبدار که مجموع تابش مستقیم خورشیدی، تابش پخشی خورشیدی و انرژی حاصل از بازتابش زمین می‌باشد، از رابطه (۱) محاسبه گردید [۱۲].

$$I_T = I_b R_b + I_d\left(\frac{1+\cos(\beta)}{2}\right) + (I_d + I_b)\rho\left(\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right) \quad (۱)$$

که در آن I_T، تابش خورشیدی روزانه کل، دریافتی روی سطح شیبدار ($\frac{kWh}{m^2.day}$)؛ I_b، تابش مستقیم روزانه، دریافتی روی سطح افقی ($\frac{kWh}{m^2.day}$)؛ I_d، تابش پخشی روزانه، دریافتی روی سطح افقی ($\frac{kWh}{m^2.day}$)؛ R_b، نسبت تابش دریافتی مستقیم روی سطح شیبدار به تابش دریافتی مستقیم روی سطح افقی در زمان مشابه؛ ρ، ضریب انعکاسی زمین که ۰/۳۵ در نظر گرفته شده است [۹] و β، زاویه شیب سطح (صفحه) شیبدار می‌باشد. مقدار R_b از رابطه (۲) به‌دست آمد [۱۲].

$$R_b = \frac{\cos(\emptyset-\beta)\cos(\delta)\cos(\omega)+\sin(\emptyset-\beta)\sin(\delta)}{\cos(\emptyset)\cos(\delta)\cos(\omega)+\sin(\emptyset)\sin(\delta)} \quad (۲)$$

که در آن پارامترهای δ، ϕ و ω_s به‌ترتیب زاویه میل خورشید، عرض جغرافیایی و زاویه ساعتی از طلوع تا غروب خورشید بر حسب درجه و N، روز شمار از اول ژانویه است.

$$\delta = 23.45 sin\left[\frac{360}{365}(284+N)\right] \quad (۳)$$

$$\omega_s = \cos^{-1}(-tan\phi tan\delta) \quad (٤)$$

به علت تنوع در ساخت و ابعاد کلکتورهای خورشیدی تخت در ایران، از مشخصات کلکتورهای ساخت شرکت سولار پلار اصفهان [۳] با جنس آلومینیوم اکسترود شده با مساحت صفحه جاذب (۱ m^2)، استفاده گردید (جدول ۱).

جدول ۱. مشخصات کلکتور تخت خورشیدی

نوع سیال	ضریب عبور پوشش	ضریب جذب صفحه	ضریب تلفات حرارتی	ضریب انتقال حرارت
پروپیلن گلیکول	۸٤٪	۹٦٪	۸ $\frac{W}{m^{2}\text{°C}}$	۷۸٪

- بازده کلکتور خورشیدی

مقدار انرژی مفید جذب شده توسط کلکتور تخت از رابطه (۵) به‌دست آمد [۱].

$$Q_U = F_r[I_{t\theta} \times (\tau.\alpha)_\theta - U_L \times (t_p - t_{at})] \quad (۵)$$

که در آن Q_U، انرژی مفید کسب شده توسط کلکتور ($\frac{kWh}{m^2.day}$)؛ F_r، ضریب انتقال حرارت کلکتور؛ $I_{t\theta}$، مقدار کل تابش خورشید روی کلکتور($\frac{kWh}{m^2.day}$)؛ $(\tau.\alpha)_\theta$، ضریب عبور پوشش، ضریب جذب صفحه در زاویه برخورد θ؛ U_L، ضریب تلفات حرارتی($\frac{W}{m^{2}\text{°C}}$)؛ t_p، درجه حرارت محیط (°C) و t_{at}، درجه حرارت صفحه جاذب (°C) می‌باشد.

بازده کلکتور خورشیدی از رابطه (٦) محاسبه شد [۱۵].

$$\eta = F_r[(\tau.\alpha)_\theta - (U_L.(t_p - t_{at})/I_{t\theta})] \quad (٦)$$

نتایج و بحث

- متغیرهای اقلیمی

بر اساس آمار سازمان هواشناسی استان لرستان (۹۵-۱۳۹۱)، متوسط ماهیانه متغیرهای اقلیمی برای شهر خرم‌آباد محاسبه شد. مطابق جدول (۲) متوسط دمای سالیانه ۱۷/۳ درجه سلسیوس می‌باشد. بیشترین و کمترین متوسط دمای ماهیانه به ترتیب به ماه‌های مرداد و دی با مقادیر ۳۰ و ۵/۷ درجه سلسیوس اختصاص داشت. متوسط سالیانه تعداد ساعات آفتابی ۳۰۹۷/٤ ساعت محاسبه، همچنین بیشترین و کمترین متوسط ماهیانه تعداد ساعات آفتابی به ترتیب در ماه‌های تیر و آذر با مقادیر ۳۵۵/٤ و ۱٦۸/۲ ساعت حاصل شد. متوسط سالیانه متغیر رطوبت نسبی ٤۱/٦ درصد و بیشترین و کمترین متوسط رطوبت نسبی ماهیانه به ترتیب ٦۳/٦ (دی‌ماه) و ۱۷/۵ (مردادماه) درصد می‌باشد.

جدول ۲. متوسط ماهیانه متغیرهای اقلیمی در شهر خرم‌آباد

ماه	فروردین	اردیبهشت	خرداد	تیر	مرداد	شهریور	مهر	آبان	آذر	دی	بهمن	اسفند	سالانه
دما (درجه سلسیوس)	۱۳/۳	۱۹/۲	۲۵	۲۹/۵	۳۰	۲٦/۲	۲۰/۳	۱۳/۵	۷/۷	۵/۷	٦/۸	۱۰/۳	۱۷/۳
ساعات آفتابی	۲٤۸/۱	۲۸۳/۷	۳۳۳/۸	۳۵/٤ ۵	۳٤۹	۳۲٤/۷	۲۷/۲ ٦	۱۹/۵ ۱	۱٦/۲ ۸	۱۷۸	۱۸۲	۲۰/۸ ٦	۲۵/۱ ۸
رطوبت نسبی (٪)	۵٤/۷	٤٦	۲۸/۲	۲۰/۳	۱۷/۵	۲۳/۱	۳۱/۱	٤۵/۱	۵۲/۳	٦/٦ ۳	۵۹/۹	۵۷/٦	٤۱/٦

- تابش خورشیدی روزانه روی سطح افقی (زمین)

متوسط سالیانه تابش خورشیدی روزانه کل، مستقیم و پخشی، دریافت شده روی سطح زمین در شهر خرم‌آباد به ترتیب ۵/۲۷، ۳/۸۵ و ۱/۴۲ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز محاسبه شد. جدول (۳) متوسط ماهیانه تابش خورشیدی روزانه روی سطح افقی (زمین) را نشان می‌دهد. بیشترین متوسط ماهیانه تابش خورشیدی کل و مستقیم به ترتیب با ۷/۹۰ و ۶/۳۱ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز به تیرماه و کمترین مقادیر به ترتیب با ۲/۸۶ و ۱/۶۷ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز به دی‌ماه اختصاص داشت. بیشترین و کمترین متوسط ماهیانه تابش خورشیدی پخشی به ترتیب در ماه‌های فروردین و آبان با مقادیر ۱/۸۵ و ۱/۰۶ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز می‌باشد. همچنین بیشترین و کمترین متوسط فصلی تابش خورشیدی کل روی سطح افقی (زمین) به‌ترتیب به فصل‌های تابستان و زمستان با مقادیر ۷/۲۳ و ۳/۵۶ کیلووات ساعت بر مترمربع اختصاص داشت (جدول ۵).

- تابش خورشیدی روزانه روی سطح شیبدار

متوسط سالیانه تابش خورشیدی کل، مستقیم و پخشی، دریافت شده روی سطح شیبدار (۳۳ درجه) در شهر خرم‌آباد به ترتیب ۵/۷۸، ۴/۳۱ و ۱/۳۱ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز محاسبه و متوسط سالیانه انرژی جذب شده حاصل از بازتابش سطح زمین ۰/۱۶ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز برآورد گردید. در محاسبه مقدار فوق‌الذکر ضریب انعکاسی زمین ۰/۳۵ در نظر گرفته شده است [۹]. جدول (۴) متوسط ماهیانه تابش خورشیدی روزانه روی سطح شیبدار را نشان می‌دهد. بیشترین و کمترین متوسط ماهیانه تابش خورشیدی کل به ترتیب به ماه‌های تیر و دی با مقادیر ۶/۸۸ و ۴/۳۶ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز اختصاص داشت. بیشترین و کمترین متوسط ماهیانه تابش خورشیدی مستقیم به ترتیب مربوط به ماه‌های شهریور و دی با مقادیر ۵/۳۵ و ۳/۱۷ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز و بیشترین و کمترین متوسط ماهیانه تابش خورشیدی پخشی به ترتیب مربوط به ماه‌های فروردین و آبان با مقادیر ۱/۷۰ و ۰/۹۸ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز می‌باشد. همچنین بیشترین و کمترین متوسط فصلی تابش خورشیدی کل روی سطح شیبدار به ترتیب به فصل‌های تابستان و زمستان با مقادیر ۶/۸۱ و ۴/۸۸ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز اختصاص داشت (جدول ۵).

جدول ۳. متوسط ماهیانه تابش خورشیدی روزانه روی سطح افقی

ماه	تابش مستقیم ($kWh/m^2.day$)	تابش پخشی ($kWh/m^2.day$)	تابش کل($kWh/m^2.day$)
فروردین	۳/۵۱	۱/۸۵	۵/۳۶
اردیبهشت	۴/۴۲	۱/۸۲	۶/۲۴
خرداد	۵/۹۷	۱/۶۸	۷/۶۵
تیر	۶/۳۱	۱/۵۹	۷/۹۰
مرداد	۵/۸۳	۱/۴۸	۷/۳۱
شهریور	۵/۱۴	۱/۳۳	۶/۴۷
مهر	۳/۸۴	۱/۱	۴/۹۴
آبان	۲/۶۶	۱/۰۶	۳/۷۲
آذر	۱/۷۶	۱/۱۵	۲/۹۱
دی	۱/۶۷	۱/۱۹	۲/۸۶
بهمن	۲/۲۱	۱/۲۶	۳/۴۷
اسفند	۲/۸۴	۱/۵۱	۴/۳۵

سالیانه	**۳/۸۵**	**۱/٤۲**	**۵/۲۷**

جدول ٤. متوسط ماهیانه تابش خورشیدی روزانه روی سطح شیبدار

ماه	تابش مستقیم (kWh/m².day)	تابش پخشی (kWh/m².day)	انرژی بازتابش از سطح زمین (kWh/m².day)	تابش کل(kWh/m².day)
فروردین	۳/۷۲	۱/۷۰	۰/۱۷	۵/۵۹
اردیبهشت	۳/۹۸	۱/۶۷	۰/۲	۵/۸۵
خرداد	۴/۹۰	۱/۵۵	۰/۲۴	۶/۶۹
تیر	۵/۱۷	۱/۴۶	۰/۲۵	۶/۸۸
مرداد	۵/۱۹	۱/۳۶	۰/۲۳	۶/۷۸
شهریور	۵/۳۵	۱/۲۲	۰/۱۹	۶/۷۶
مهر	۵/۱۱	۱/۰۱	۰/۱۷	۶/۲۹
آبان	۴/۲۶	۰/۹۸	۰/۱۳	۵/۳۷
آذر	۳/۳۴	۱/۰۶	۰/۱	۴/۵۰
دی	۳/۱۷	۱/۰۹	۰/۱	۴/۳۶
بهمن	۳/۶۲	۱/۱۶	۰/۱۲	۴/۹۰
اسفند	۳/۸۶	۱/۳۹	۰/۱۴	۵/۳۹
سالیانه	**۴/۳۱**	**۱/۳۱**	**۰/۱۶**	**۵/۷۸**

جدول ۵. متوسط فصلی تابش کل خورشیدی روزانه بر سطوح افقی و شیبدار

فصل	تابش کل بر سطح افقی (kWh/m².day)	تابش کل بر سطح شیبدار (kWh/m².day)
بهار	**٦/٤۲**	**٦/۰٤**
تابستان	**۷/۲۳**	**٦/۸۱**
پاییز	**۳/۸٦**	**۵/۳۹**
زمستان	**۳/۵٦**	**٤/۸۸**

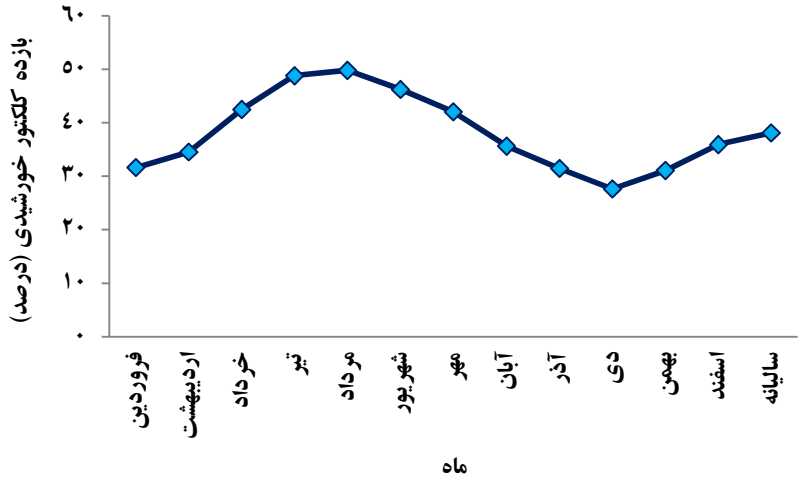
- انرژی مفید جذب شده توسط کلکتور خورشیدی

در نمودار (۱) انرژی مفید جذب شده توسط کلکتور خورشیدی نشان داده شده است. متوسط سالیانه انرژی مفید جذب شده توسط کلکتور خورشیدی ۲/۲٦ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز محاسبه شد. همچنین بیشترین و کمترین انرژی مفید جذب شده توسط کلکتور خورشیدی به ترتیب به ماه‌های مرداد و دی با مقادیر ۳/۳۸ و ۱/۲ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز اختصاص داشت.

نمودار ۱. انرژی مفید جذب شده توسط کلکتور خورشیدی

- بازده کلکتور خورشیدی

نمودار ۲ بازده کلکتور خورشیدی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. متوسط سالیانه بازده کلکتور خورشیدی در شهر خرم‌آباد ۳۸ درصد محاسبه شد. بیشترین و کمترین بازده به‌ترتیب به ماه‌های مرداد و دی با مقادیر ٤٩ و ۲۷ درصد اختصاص داشت.



نمودار ۲. بازده کلکتور خورشیدی

نتیجه‌گیری

نتایج این تحقیق نشان داد، متوسط سالیانه تابش خورشیدی روزانه کل روی سطوح افقی و شیبدار (۳۳ درجه) در شهر خرم‌آباد به‌ترتیب ۵/۲۷ و ۵/۷۸ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز می‌باشد. بیشترین و کمترین متوسط ماهیانه تابش خورشیدی کل روی سطح شیبدار به ترتیب به ماه‌های تیر و دی با مقادیر ٦/٨٨ و ٤/٣٦ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز اختصاص داشت. همچنین متوسط سالیانه انرژی مفید جذب شده و بازده کلکتور خورشیدی در شهر خرم‌آباد به ترتیب ۳۸ درصد و ۲/۲٦ کیلووات ساعت بر مترمربع در روز محاسبه شد.

مراجع

۱. آذریون، ی.، حسن زاده، س. و پسته، م. ۱۳۸٤. بهینه‌سازی مصرف انرژی در ساختمان با استفاده از آبگرمکن‌های خورشیدی و سیستم گرمایش کفی. مجموعه مقالات چهارمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان. شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
۲. بی‌نام. ۱۳۹۵. سالنامه آماری استان لرستان. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان لرستان.
۳. بی‌نام. ۱۳۸۹. معرفی آبگرمکن‌های خورشیدی. شرکت آبگرمکن خورشیدی سولارپلار اصفهان.
٤. جنود، س. ۱۳۸۰. بررسی اقتصادی و زیست‌محیطی استفاده از انرژی خورشیدی در آبگرمکن‌های خانگی. مجموعه مقالات اولین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان. شرکت بهینه‌سازی مصرف سوخت کشور.
۵. حاج سقطی، ا. ۱۳۸۷. اصول و کاربرد انرژی خورشیدی. انتشارات دانشگاه علم و صنعت ایران.
٦. حق‌پرست کاشانی، آ.، صالح ایزدخواست، پ. و لاری، ح. ر. ۱۳۸۸. تدوین اطلس جامع GIS انرژی خورشیدی ایران بر اساس مدل تابش‌سنجی. بیست و چهارمین کنفرانس بین‌اللملی برق.
۷. رضوان سنگسری، ب. ۱۳۸۸. انرژی خورشیدی در مصارف خانگی. انتشارات اندیشیاران.
۸. ریاحی، ع. و طاهریان، ح. ۱۳۸٤. انواع سیستم‌های آبگرمکن خورشیدی به کار گرفته شده در ایران. مجموعه مقالات چهارمین همایش بهینه‌سازی مصرف سوخت در ساختمان. شرکت بهینه سازی مصرف سوخت کشور.

۹. علوی‌فر، م. ۱۳۹٤. پتانسیل‌سنجی انرژی تشعشی خورشید بر روی سطح شیب‌دار و بررسی زوایای بهینه برای نصب پانل فتوولتاییک در استان کرمان. سومین کنفرانس ملی‌ایده‌های نو در مهندسی برق.

۱۰. قائمی‌راد، م. و شاهین، آ. ۱۳۹۵. تحلیل چشم‌انداز توسعه تکنولوژی‌های انرژی خورشیدی در ایران به روش تلفیقی از SWOT **و** DEMATEL **.فصلنامه پژوهش‌های سیاستگذاری و برنامه‌ریزی انرژی، ۲(۵)، ۱۳۰-۹۷.**

۱۱. میرزایی قلعه، ا.، امید، م.، کیهانی، ع. ر. و بهزاد ی‌پور، س. ۱۳۹۳. استفاده از انرژی خورشیدی در گرمایش سالن مرغداری مدل. پنجمین کنفرانس بین‌المللی گرمایش، سرمایش و تهویه مطبوع.

12. Duffie, J. A. and Beekman, W. A. 1991. Solar engineering of thermal processes. John Wiley & Sons, New York.
13. Han, J., Mol, P. J. and Lu, Y. 2010. Solar water heaters in China: A new day dawning. Energy Policy, 38, 383-391.
14. Karsli, S. 2007. Performance analysis of new-design solar air collectors for drying applications. Renewable Energy, 32, 1645–1660.
15. Koffi, P. M. E., Andoh, H. Y., Gbaha, P., Toure, S. and Ado, G. 2008. Theoretical and experimental study of solar water heater with internal exchanger using thermosyphon system. Energy Conversion and Management, 49, 2279-2290.
16. Zomorodian, A. A. & Woods, J. L. 2003. Modeling and testing a new once-through air solar energy collector. Journal of Agricultural Science and Technology, 5, 11-19.

Investigation of solar energy potential and estimation of efficiency of solar flat collectors in Khorramabad city

Movahed Sepahvand[1*], Hossein Mobli[2], Majid Khanali[3] and Mohammad Sharifi[3]

1. Researcher, Lorestan Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Khorramabad, Iran
2. Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran
3. Associate Professor, Department of Agricultural Machinery Engineering, University of Tehran, Karaj, Iran

Abstract

The limitation of fossil fuels resources and environmental impacts caused by burning of fossil fuels, have increased the importance of utilizing alternative energy sources. The main aim this research is investigate the potential of solar energy and estimate the efficiency of solar flat collectors in Khorramabad city. Data were collected for a period of 5 years (2011-2015) from SATBA and the Meteorological Organization. The results showed, that the average annual total daily solar radiation on horizontal and sloping surfaces (33 degrees) in Khorramabad city is 5.27 and 5.78 kWh/m^2/day, respectively. The highest and lowest average monthly total solar radiation on the sloping surface was allocated to July and January with values of 6.88 and 4.36 kWh/m^2/day, respectively. Also, the average annual useful energy absorbed and the efficiency of the solar collector in Khorramabad city were calculated as 38% and 2.26 kWh/m^2/day, respectively.

Key words: Potential, Solar energy, Flat collector, Collector efficiency, Khorramabad.

*Corresponding author
E-mail: Sepahvandmovahed@gmail.com