



پتانسیل سنجی اقلیم‌های آب و هوایی به منظور استفاده بهینه از کلکتورهای سهموی خورشیدی: مطالعه موردی کشور ایران

داریوش برزوئی^۱، سید فرحان موسویان^۱، ابوالفضل احمدی^{۲*}

۱- کارشناسی ارشد، گروه سیستم‌های انرژی، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

۲- استادیار، گروه سیستم‌های انرژی، دانشکده فناوری‌های نوین، دانشگاه علم و صنعت، تهران، ایران

* تهران، ۱۳۱۱۴-۱۶۸۴۶، a_ahmadi@iust.ac.ir

چکیده

افزایش تقاضا در مصرف سوخت‌های فسیلی منجر به تغییرات اقلیمی، گرمایش زمین و کاهش ذخایر منابع انرژی گردیده است. در این میان استفاده از انرژی‌های تجدیدپذیر، نظیر انرژی خورشیدی، رهیافتی مناسب برای تولید انرژی الکتریکی و گرمایی شناخته می‌شود. یکی از سیستم‌های مرسوم در زمینه استفاده از انرژی خورشیدی کلکتورهای سهموی هستند که با تبدیل تابش ورودی به انرژی گرمایی، امکان استفاده از این انرژی پاک را فراهم می‌کنند. در مقاله حاضر با هدف پتانسیل سنجی اقلیم‌های آب و هوایی به منظور استفاده بهینه از کلکتورهای سهموی خورشیدی، نسبت به توسعه یک مدل عددی در نرم افزار متلب اقدام گردیده و سپس ضمن اعتبار سنجی مدل مذکور با نتایج تجربی موجود، اثر تغییرات اقلیمی در حوزه‌های انرژی، آگزرژی، اقتصادی و زیست محیطی مطالعه گردیده است. بدین منظور پنج شهر: رشت، شیراز، تهران، آبادان و سنندج به عنوان نمایندگان اقلیم‌های کشور ایران انتخاب شده و راندمان انرژی و آگزرژی، هزینه واحد انرژی و مقدار کربن دی اکسید تولیدی در طول چرخه حیات سیستم، بدست آمده است. نتایج بدست آمده حاکی از آن است که شهر شیراز با اقلیم سرد نیمه خشک و راندمان حرارتی ۷۲ درصد و هزینه واحد انرژی ۰/۰۳۵ دلار بر کیلووات ساعت، به عنوان اقلیم بهینه در حوزه‌های انرژی و اقتصادی و شهر سنندج با اقلیم قاره‌ای مرطوب و راندمان آگزرژی ۱۷/۷ درصد به عنوان اقلیم بهینه در حوزه آگزرژی می‌باشند. در حوزه زیست محیطی نیز، شهر رشت با اقلیم معتدل مرطوب به عنوان اقلیم بهینه معرفی گردیده است.

کلیدواژه‌ها: کلکتور سهموی خورشیدی، آنالیز اقتصادی، ارزیابی چرخه حیات، شرایط اقلیمی

Climatic potential evaluation for optimal use of parabolic solar collectors: A case study of Iran

Daryoosh Borzuei¹, Seyed Farhan Moosavian¹, Abolfazl Ahmadi^{1*}

1- Department of Energy Systems Engineering, School of New Technologies, Iran University of Science & Technology, Tehran, Iran

* P. O. B. 16846-13114, Tehran, Iran, a_ahmadi@iust.ac.ir

Received: 5 August 2021 Accepted: 11 May 2022

Abstract

Increased demand for fossil fuels has led to climate change, global warming, and declining energy reserves. The use of renewable energy, such as solar energy, is a suitable approach to generating electricity and heat. One of the common systems in using solar energy is parabolic collectors, which enable this clean energy by converting the incoming radiation into thermal energy. In the present paper, to assess the potential of climates to make optimal use of solar parabolic collectors, a numerical model was developed in MATLAB software. Then, while validating the model with existing experimental results, the effect of climate change has been studied in four areas: energy, exergy, economy, and environment. For this purpose, five cities: Rasht, Shiraz, Tehran, Abadan, and Sanandaj, have been selected as representatives of Iran's climate and energy efficiency and exergy, the unit cost of energy, and the amount of carbon dioxide produced during the life cycle of the system has been obtained. The results show that Shiraz, with a Semi-Arid Cool climate and thermal efficiency of 72% and a unit cost of 0.035 \$/kWh, is the optimal climate in the fields of energy and economy, and Sanandaj with a Humid Continental climate and exergy efficiency of 17.7% is the optimal climate in the field of exergy. In the environment, Rasht, with a Humid Subtropical Climate, was introduced as the optimal climate.

Keywords: Parabolic Solar Collector, Economic Analysis, Life Cycle Assessment, Climates Condition



۱- مقدمه

در پژوهشی دیگر، سوخت‌های زیست توده، خورشیدی و الکتریکی را برای گرمایش ساختمان از منظر انرژی، انرژی و زیست محیطی در هشت دمای مرجع بررسی و مقایسه نمود. نتایج او سیستم خورشیدی را با آزاد کردن ۰/۱۵۹۹ کیلوگرم گاز کربن دی اکسید در روز (در شرایط دمایی ۴ درجه) به عنوان بهینه‌ترین و پایدارترین گزینه معرفی نمود. از طرفی پیرامون بهینه‌سازی کلکتورهای خورشیدی باتوجه به پارامترهای انرژی و انرژی، احیائی و همکاری [۱۸] بر روی بهینه‌سازی کلکتورهای سهموی خطی با استفاده از روش بهینه‌سازی چندهدفه مطالعه کرده و پارامترهای انرژی، انرژی و اقتصادی آن را بررسی و تحلیل نمودند. ایشان ضمن اعتبار سنجی نتایج خود با داده‌های تجربی موجود، مقدار نهایی بهینه مربوط به مقادیر راندمان انرژی، انرژی و هزینه را به ترتیب ۲۹/۲۲٪، ۳۵/۵۵٪ و ۰/۱۴۲ دلار بر کیلووات ساعت گزارش نمودند. پیرامون مطالعه اثر تغییر سیال کاری بر آنالیز انرژی و انرژی، بلوس و تریوانیدیس [۱۹] به تحلیل انرژی یک کلکتور خورشیدی LS-2 در نرم افزار EES پرداختند. آنان برای دو سیال هوا و روغن Therminol VP1 در شرایط مختلف دبی و دمای ورودی، شبیه‌سازی‌های خود را تکرار نموده و عملکرد بهتر روغن در مقایسه با هوا را گزارش کردند.

باتوجه به پژوهش‌های تجربی و عددی انجام گرفته بر روی کلکتورهای سهموی در موضوعات: شبیه‌سازی عددی، بهینه‌سازی آزمایشات تجربی، آنالیز انرژی، انرژی، اقتصادی و زیست محیطی و مطالعات اقلیمی، در این پژوهش، پتانسیل اقلیم‌های اصلی کشور ایران جهت استفاده از کلکتورهای سهموی خورشیدی در چارچوب حوزه‌های انرژی، انرژی، اقتصادی و زیست محیطی بررسی گردیده و نتایج بدست آمده جهت تعیین بهترین اقلیم برای استفاده از پتانسیل خورشیدی در هر حوزه، مشخص گردیده است. در این راستا ضمن انتخاب ۵ اقلیم آب و هوایی در کشور ایران، عملکرد سامانه کلکتور خورشیدی در هر اقلیم با بررسی فاکتورهای راندمان انرژی و انرژی، هزینه تمام شده واحد انرژی و مقدار کربن دی اکسید تولیدی (با در نظر گرفتن چرخه عمر سیستم)، محاسبه و نهایتاً با آنالیز داده‌های بدست آمده، رتبه‌بندی اقلیم‌های آب و هوایی برای استفاده از پتانسیل انرژی خورشیدی توسط سیستم کلکتورهای سهموی خطی، ارائه گردیده است.

۲- پتانسیل انرژی خورشیدی در ایران

کشور ایران، دارای چهار اقلیم آب و هوایی: معتدل مرطوب (ساحل جنوبی دریای خزر)، معتدل و نیمه خشک (کوهستانی)، گرم و خشک (کویر لوت)، گرم و مرطوب (سواحل جنوبی) است [۷]. این کشور در بین مدارهای ۲۹ تا ۴۱ درجه‌ی عرض شمالی قرار داشته و در منطقه‌ای واقع شده که به لحاظ دریافت انرژی خورشیدی در بین نقاط جهان در بالاترین رده‌ها قرار دارد [۲۰]. با هدف بررسی اثر اقلیم بر کارکرد سیستم خورشیدی، ۵ شهر به عنوان نماینده‌ای از ۵ اقلیم متفاوت، انتخاب گردیده‌اند. در جدول ۱ مشخصات اقلیمی هر شهر به همراه مختصات جغرافیایی آن ارائه گردیده است.

جدول ۱ نوع اقلیم شهرهای مورد مطالعه بر اساس طبقه‌بندی کوپن [۲۱]

شهر	نوع اقلیم آب و هوایی	کلاس طبقه‌بندی کوپن
رشت	معتدل مرطوب	Cfa
شیراز	سرد نیمه خشک	Bsk
تهران	معتدل نیمه خشک	BSh
آبادان	گرم و خشک	BWh
سنندج	قاره‌ای مرطوب	Dsa

۳- تشریح سیستم

با توجه به اینکه وضعیت آب و هوای جهانی، پدیده گرمایش زمین و ذخایر سوخت‌های فسیلی در سراسر جهان به یک تهدید جدی تبدیل شده‌اند، ضرورت استفاده از سوخت‌ها و انرژی‌های پاک اهمیت زیادی پیدا کرده است [۱، ۲]. در میان انواع گوناگون انرژی‌های تجدیدپذیر نظیر انرژی باد، زمین گرمایی، جزر و مد و... انرژی خورشیدی باتوجه به پایان ناپذیری، پایداری و دسترسی آسان مورد توجه بسیاری از کشورها قرار گرفته است [۳، ۴]. در این میان سیستم‌هایی مانند پنل‌های فتوولتائیک، انرژی خورشیدی را مستقیماً به انرژی الکتریکی تبدیل کرده و سیستم‌هایی مانند کلکتورهای سهموی، خطی، کلکتورهای فرنل و برج‌های خورشیدی، انرژی تابشی وارده را به انرژی گرمایی تبدیل می‌نمایند [۵]. در سنوات اخیر استفاده از کلکتورهای خورشیدی، با توجه به ابعاد منطقی و راندمان حرارتی مناسب در مقیاس خانگی و صنعتی مورد توجه بسیاری قرار گرفته است [۶]. کلکتورهای خورشیدی به دو دسته کلی متمرکز و غیر متمرکز تقسیم می‌شوند [۷]. در مواردی که به دمای بالا نیاز است، از کلکتورهای متمرکز مانند دیش‌های خورشیدی و کلکتورهای سهموی خطی، استفاده می‌گردد [۸]. توان تولیدی کلکتورهای خورشیدی با شدت تابش دریافتی آنان رابطه‌ی مستقیم دارد، از اینرو تعیین موقعیت جغرافیایی محل قرار گیری آنان، امری ضروری به نظر می‌رسد [۵]. از طرفی هر منطقه جغرافیایی نیز دارای اقلیم آب و هوایی مشخصی است و این اقلیم با تعیین شرایط جوی نظیر ساعات آفتابی، سرعت باد و میزان رطوبت بر روی کارایی کلکتور موثر است. بطور کلی اقلیم‌های موجود در سطح دنیا به پنج دسته‌ی اصلی: اقلیم‌های استوایی/گرمسیری، اقلیم‌های خشک، اقلیم‌های معتدل، اقلیم‌های قاره‌ای و اقلیم‌های قطبی تقسیم می‌گردند [۹]. عملکرد کلکتورهای خورشیدی را می‌توان با استفاده از مفهوم انرژی که حداکثر کار نظری است، از تعامل میان سیستم و محیط در حالت تعادل تعیین نمود [۱۰]. همچنین عملکرد اقتصادی با بررسی هزینه تراز شده انرژی به ازای هر کیلووات ساعت از موارد مهم دیگر در تحلیل این سیستم‌های انرژی است [۱۱]. در ادامه برخی از پژوهش‌های انجام شده در این زمینه مرور می‌گردد. در راستای مدل‌سازی عددی و بهینه‌سازی کلکتورهای خورشیدی، والنسیا و همکاری [۱۲] ضمن ارائه‌ی مراحل کلی طراحی، مدل‌سازی و ارزیابی یک کلکتور سهموی با طول ۰/۹۵ و عرض ۰/۵ متر، بیشینه مقدار دمای خروجی را در تابش ۷۸۳ وات بر مترمربع و دبی ۰/۲ لیتر بر دقیقه مقدار ۴۷۳ درجه کلوین گزارش نمودند. در ادامه اولیوریا و همکاری [۱۳] ضمن توسعه و پیاده‌سازی یک مدل ریاضی جهت محاسبه پارامترهای جریان و انتقال حرارت کلکتورهای سهموی خورشیدی مقادیر بازده حرارتی، بازده اپتیکی و حرارت تلف شده را محاسبه نمودند. در خصوص آنالیز انرژی، انرژی، زیست محیطی و اقتصادی سیستم‌های خورشیدی، باتیستی و کورادو [۱۴] با هدف بهینه‌سازی یک کلکتور خورشیدی همراه با سیستم ذخیره آب، به تجزیه و تحلیل اثرات زیست محیطی و اقتصادی پرداختند. آنان در طراحی بهینه خود کاهش ۴۰ درصدی اثرات زیست محیطی را گزارش کردند. جامولی [۱۵] با استفاده از نرم افزار MATLAB به بهینه‌سازی پارامترهای طراحی یک کلکتور خورشیدی با هدف بیشینه کردن راندمان انرژی پرداخته و مقادیر دمای ورود و خروج و سرعت سیال و مساحت صفحه جاذب را گزارش نمود. در ادامه کالیسکان [۱۶] با محاسبه تحلیل‌های زیست محیطی در سیستم‌های تجدیدپذیر در توان ۲۰ کیلووات، سیستم‌های مبتنی بر گاز طبیعی و توربین باد را به ترتیب به عنوان بهینه‌ترین سیستم از نظر آنالیز انرژی و انرژی معرفی نمود. در راستای تحلیل‌های اقتصادی و زیست محیطی سیستم‌های خورشیدی، کالیسکان [۱۷]



فصلنامه علمی انرژی‌های تجدیدپذیر و نو-سال پنجم، شماره دوم، پاییز و زمستان ۱۴۰۱

انرژی اتلافی سیستم است. مقدار توان خورشیدی رسیده به سطح کلکتور از رابطه ۲ بدست می آید [۱۹].

$$\dot{Q}_s = G \times A_a \quad (2)$$

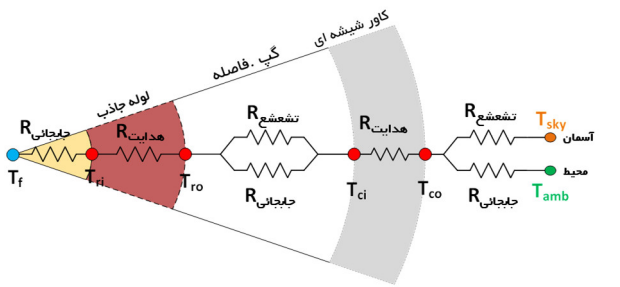
که در آن G شدت تابش عمودی رسیده به واحد سطح و A_a مساحت تصویر عمودی کلکتور است. بدلیل وجود اتلافات اپتیکی، بخشی از توان خورشیدی رسیده به سطح کلکتور، توسط آئینه های آن به لوله مرکزی منتقل گردیده که از رابطه ۳ قابل محاسبه است [۲۳].

$$\dot{Q}_{abs} = \eta_{opt} \times \dot{Q}_s \quad (3)$$

در رابطه ۳، پارامتر η_{opt} بیانگر نسبت تابش جذب شده به تابش کل بوده و مقدار آن از رابطه ۴ قابل محاسبه است [۲۳].

$$\eta_{opt} = \rho_{ref} \times \tau \times \alpha \times \gamma \quad (4)$$

که در آن ρ_{ref} ضریب بازتاب، τ ضریب گذردهی کاور، α ضریب جذب رسیور و γ ضریب عبور است و مقادیر آن در جدول ۳ موجود است. برای استخراج معادلات حرارتی حاکمه، لازم است که اقسام انتقال حرارت در سیستم کلکتور سهموی معین گردد. بدین منظور در شکل ۲ شماتیکی از اقسام انتقال حرارت به همراه مقاومت های حرارتی مربوط به آن ارائه گردیده است.



شکل ۲ شماتیک مقاومت های حرارتی یک قطعه از کلکتور خورشیدی

نرخ انرژی خالص انتقالی به سیال برابر تفاضل نرخ انرژی سیال خروجی و ورودی به حجم کنترل است و از رابطه ۵ قابل محاسبه است [۲۴].

$$\dot{Q}_u = \dot{Q}_{f,out} - \dot{Q}_{f,in} = M_f C_p (T_{out} - T_{in}) \quad (5)$$

از آنجا که مقدار دمای خروجی سیال در رابطه ۵ مجهول است، لذا از رابطه ۶ برای محاسبه نرخ انرژی مفید استفاده می گردد [۲۳].

$$\dot{Q}_u = F_R [(G \times \eta_{opt} \times A_a) - (A_r U_L (T_{in} - T_{amb}))] \quad (6)$$

در رابطه ۶، A_r مساحت سطح جانبی لوله جاذب، U_L ضریب اتلاف کلکتور و T_{amb} دمای محیط و F_R ضریب حذف حرارتی است. مقادیر U_L و F_R نیز باتوجه به ساختار کلکتور و جنس اجزای آن محاسبه می گردد. پس از محاسبه گرما مفید مطابق رابطه ۶، مقدار گرمای اتلافی از رابطه ۷ بدست می آید.

$$\dot{Q}_l = \dot{Q}_s - \dot{Q}_u \quad (7)$$

در پایان، راندمان حرارتی سیستم از رابطه ۸ محاسبه می شود [۲۵].

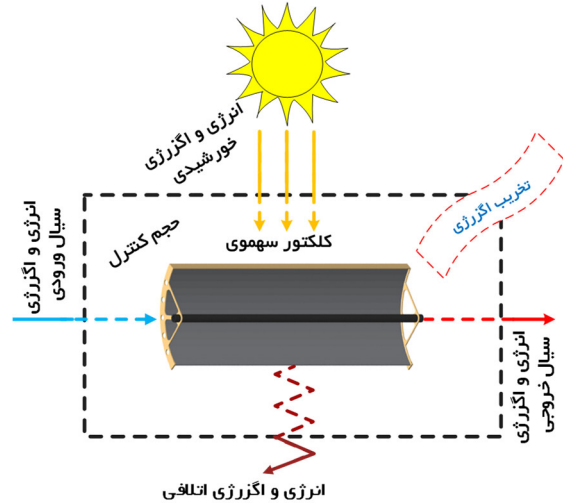
$$\eta_{thermal} = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{Q}_s} \times 100 \quad (8)$$

برای مطالعه اثر تغییر اقلیم آب و هوایی بر مقادیر راندمان انرژی و انرژی و همچنین مطالعات زیست محیطی و اقتصادی، لازم است کلکتوری سهموی با ابعاد معین، به عنوان مرجع مدل سازی عددی انتخاب گردد. بدین منظور از کلکتور مورد استفاده در آزمایشگاه بین المللی ساندیا [۲۲] به عنوان مرجع مدل سازی عددی استفاده و خواص کلی کلکتور مرجع در جدول ۲ ارائه شده است.

جدول ۲ مشخصات کلکتور خورشیدی مرجع مدل سازی

واحد	مقدار	پارامتر	نماد
متر	۵	عرض کلکتور	W
متر	۷/۸	طول کلکتور	L
متر	۰/۰۶۶	قطر داخلی جاذب	$D_{r,i}$
متر	۰/۰۷۰	قطر خارجی جاذب	$D_{r,o}$
متر	۰/۱۰۹	قطر داخلی کاور	$D_{c,i}$
متر	۰/۱۱۵	قطر خارجی کاور	$D_{c,o}$
-	۰/۸۳	ضریب بازتاب	ρ_{ref}
-	۰/۹۹	ضریب عبور	γ
-	۰/۹۶	ضریب جذب	α
مترمکعب بر ثانیه	۵۰	دبی حجمی	V
کلوین	۳۷۳/۱۵	دمای ورودی	T_{in}
-	Syltherm 800 HTF	نوع سیال انتقال حرارت	-

سیستم مورد بررسی مطابق شکل ۱ شامل حجم کنترلی است که انرژی سیال ورودی و تابش خورشیدی از مرزهای آن وارد و سیال خروجی به همراه حرارت اتلافی، از آن خارج می گردند.



شکل ۱ شماتیک حجم کنترل یک سیستم خورشیدی

۴- مدل سازی ریاضی

۴-۱- تحلیل انرژی

با در نظر گرفتن حجم کنترل شکل ۱ و نوشتن بالانس انرژی پیرامون آن، معادله ۱ بدست می آید.

$$\dot{Q}_{f,in} + \dot{Q}_s = \dot{Q}_{f,out} + \dot{Q}_l \quad (1)$$

که در آن \dot{Q}_s برابر نرخ انرژی خورشیدی رسیده به سطح کلکتور، $\dot{Q}_{f,in}$ برابر نرخ انرژی سیال ورودی، $\dot{Q}_{f,out}$ برابر نرخ انرژی سیال خروجی و \dot{Q}_l برابر نرخ



۲-۴- تحلیل انرژی

با توجه به شماتیک شکل ۱، آنالیز انرژی پیرامون حجم کنترل به صورت رابطه ۹ است.

$$\dot{E}x_{f,in} + \dot{E}x_s = \dot{E}x_{f,out} + \dot{E}x_l + \dot{E}x_{des} \quad (9)$$

پارامترهای $\dot{E}x_{f,in}$ برابر نرخ انرژی سیال ورودی، $\dot{E}x_s$ نرخ انرژی تابش خورشیدی، $\dot{E}x_{f,out}$ نرخ انرژی سیال خروجی، $\dot{E}x_l$ نرخ انرژی اتلافی و $\dot{E}x_{des}$ نرخ انرژی ناپدید شده می‌باشند. مقدار $\dot{E}x_s$ نرخ انرژی تابش خورشیدی از رابطه ۱۰ محاسبه می‌گردد [۱۹].

$$\dot{E}x_s = \dot{Q}_s \left(1 - \frac{4}{3} \times \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right) + \frac{1}{3} \times \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}} \right)^4 \right) \quad (10)$$

که در آن T_{sun} برابر دمای سطح خورشید بوده و با ۵۷۸۰ کلوین تخمین زده می‌شود [۱۹]. پارامتر نرخ انرژی مفید به صورت تفاضل نرخ انرژی سیال خروجی و ورودی به کلکتور تعریف شده و از رابطه ۱۱ محاسبه می‌شود [۱۹].

$$\dot{E}x_u = \dot{E}x_{f,out} - \dot{E}x_{f,in} = \dot{Q}_u - M_f \times C_p \times T_{amb} \times \ln \left(\frac{T_{out}}{T_{in}} \right) - M_f \times T_{amb} \times \frac{\Delta P}{\rho_f \times T_f} \quad (11)$$

که در آن ΔP مقدار افت فشار در طول لوله جاذب است. مقدار انرژی اتلافی نیز از رابطه ۱۲ بدست می‌آید [۶].

$$\dot{E}x_l = \dot{E}x_{l,opt} + \dot{E}x_{l,thermal} \quad (12)$$

که در آن $\dot{E}x_{l,opt}$ برابر نرخ انرژی اتلافی اپتیکی و $\dot{E}x_{l,thermal}$ نرخ انرژی اتلافی حرارتی است و به ترتیب از روابط ۱۳ و ۱۴ بدست می‌آیند [۱۰].

$$\dot{E}x_{l,opt} = (1 - \eta_{opt}) \times \dot{E}x_s \quad (13)$$

$$\dot{E}x_{l,thermal} = \dot{Q}_l \times \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_r} \right) \quad (14)$$

انرژی تخریب شده بیانگر برگشت ناپذیری‌هایی است که در ترم انتقال حرارت وجود دارند. به طور خاص، این پارامتر بیانگر کاری است که هنگام انتقال انرژی حرارتی از یک منبع گرم به منبع سرد از بین می‌رود. مقدار انرژی تخریب شده از رابطه ۱۵ تبعیت می‌کند [۲۳].

$$\dot{E}x_{des} = \dot{E}x_{des,s \rightarrow r} + \dot{E}x_{des,r \rightarrow f} \quad (15)$$

در کلکتورهای خورشیدی نرخ انرژی تخریب شده شامل دو ترم اصلی است که یکی میان خورشید و لوله جاذب بوده و دیگری میان لوله جاذب و سیال انتقال حرارت است. در روابط ۱۶ و ۱۷ به ترتیب، ترم‌های فوق ارائه گردیده است [۱۹].

$$\dot{E}x_{des,s \rightarrow r} = \eta_{opt} \times \dot{E}x_s - Q_{abs} \times \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_r} \right) \quad (16)$$

$$\dot{E}x_{des,r \rightarrow f} = \dot{Q}_u \times \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_r} \right) - \dot{E}x_u \quad (17)$$

پس از محاسبه موارد، راندمان انرژی از رابطه ۱۸ قابل محاسبه است [۲۳].

$$\eta_{exergy} = \frac{\dot{E}x_u}{\dot{E}x_s} \times 100 \quad (18)$$

۳-۴- تحلیل اقتصادی

در آنالیز اقتصادی کلکتورهای خورشیدی هدف اصلی محاسبه هزینه هر کیلووات ساعت انرژی تولید شده است. که این هزینه از معادله ۱۹ محاسبه می‌گردد [۲۶].

$$C_E = C_I + C_O + C_{Ins} \quad (19)$$

در رابطه بالا، C_I هزینه اولیه تجهیزات، C_O هزینه تعمیر و نگهداری و C_{Ins} هزینه بیمه، بر حسب دلار بر کیلووات ساعت می‌باشند. برای محاسبه هزینه اولیه تجهیزات از معادله ۲۰ استفاده می‌گردد [۲۶].

$$C_I = \frac{C \times I}{8760 \times \dot{Q}_u} \quad (20)$$

در این رابطه C هزینه اولیه نصب تجهیزات بر حسب دلار می‌باشد. برای محاسبه C از معادله ۲۱ استفاده می‌شود [۲۷].

$$C = C_{Storage} + C_{HTF} + C_{PTC} + C_{pump} \quad (21)$$

در این رابطه هزینه‌های تانک ذخیره، سیال انتقال حرارت و کلکتور خورشیدی بر حسب واحد سطح می‌باشند که در جدول ۳ ارائه شده است. با توجه به عدم امکان تامین برخی از قطعات و تجهیزات مورد نیاز کلکتور در داخل کشور، ارقام موجود در جدول ۳، بر مبنای قیمت ارائه شده در فروشگاه‌های آنلاین بین المللی بوده و از هزینه‌های ارسال و گمرک و... صرف نظر گردیده است. همچنین C_{pump} قیمت پمپ مورد استفاده است که از رابطه ۲۲ بدست می‌آید.

$$C_{pump} = 3540 * (P_{pump}^{0.71}) \quad (22)$$

در رابطه ۲۲ قیمت پمپ تابعی از فشار مورد نیاز می‌باشد که از رابطه ۲۳ بدست می‌آید [۲۸].

$$P_{pump} = \frac{\dot{V} \times 60 \times P}{600} \quad (23)$$

مقادیر مربوط به عمر کلکتور خورشیدی و نرخ بهره و هزینه اجزای مختلف در جدول ۳ ارائه شده است. لازم به ذکر است همچنین با توجه به مرجع‌های موجود مجموع هزینه نگهداری و تعمیرات و هزینه بیمه برابر با ۶٪ هزینه راه اندازی در نظر گرفته می‌شود.

جدول ۳ مشخصات مورد نیاز برای تحلیل اقتصادی [۲۸، ۲۹]

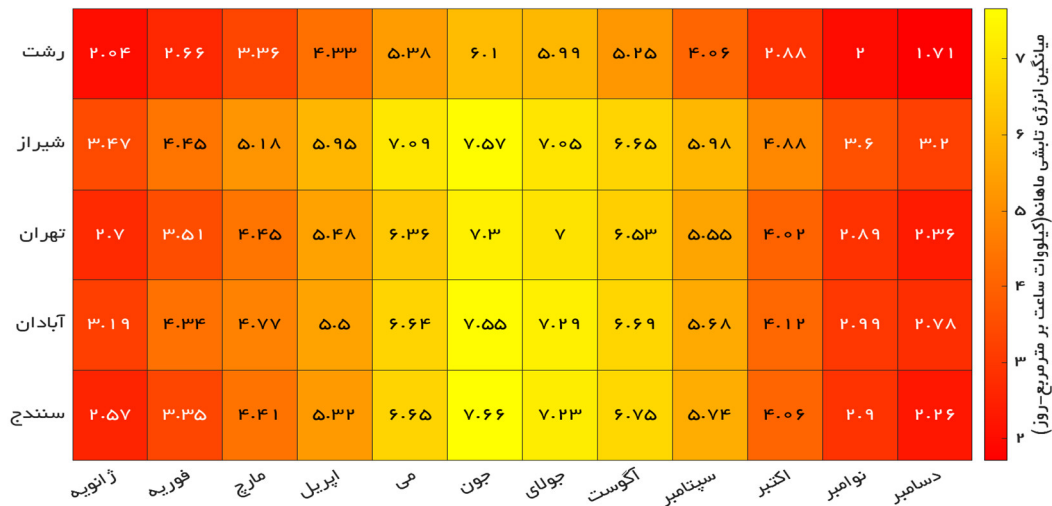
پارامتر	نماد	مقدار	واحد
قیمت کلکتور خورشیدی	$C_{collector}$	۱۴۸	دلار بر متر مربع
قیمت سیال انتقال حرارت	C_{HTF}	۵۵	دلار بر متر مربع
منبع ذخیره	$C_{storage}$	۲۷	دلار بر متر مربع
طول عمر	L	۲۰	سال
نرخ تنزیل	n	۲	%

مقدار I در رابطه ۲۰ نیز با داشتن طول عمر تجهیز (L) و نرخ تنزیل آن (i) از رابطه ۲۴ محاسبه می‌گردد [۲۶].

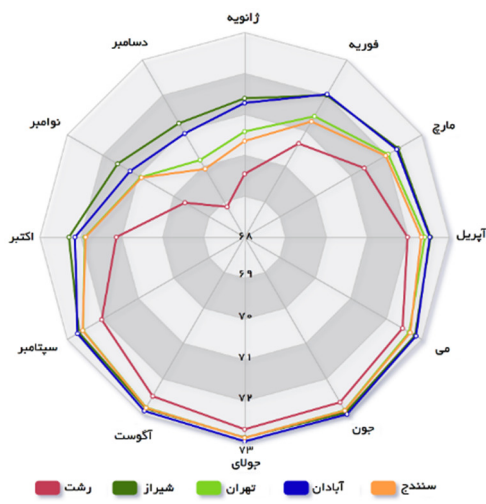
$$I = \frac{i(i+1)^n}{(i+1)^L - 1} \quad (24)$$

۴-۴- تحلیل زیست محیطی





شکل ۶ میانگین انرژی تابیده شده

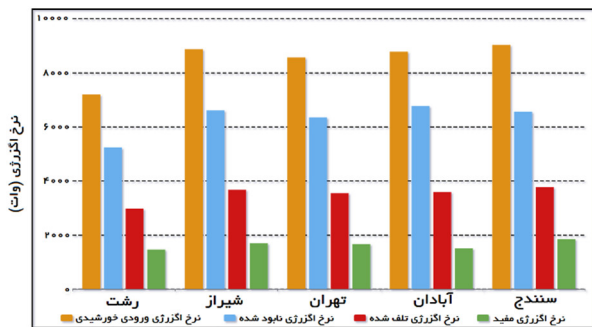


شکل ۸ راندمان ماهانه انرژی در شهرهای مختلف (%)

مطابق شکل ۸، بیشینه مقدار راندمان حرارتی برای تمامی اقلیم‌ها (۵ شهر معرفی شده) در ماه جون فصل تابستان ملاحظه گردیده و علت آنرا می‌توان در مقدار بیشینه تابش خورشیدی مربوط به این ماه دانست. همچنین کمینه مقدار راندمان حرارتی در ماه دسامبر فصل زمستان برای تمامی شهرها مشهود است.

۲-۷- تحلیل انرژی سیستم

برای تحلیل انرژی سیستم نیز روندی مشابه تحلیل انرژی اتخاذ گردیده و بیان انرژی سیستم در ماه جون در شکل ۹ ارائه گردیده است.

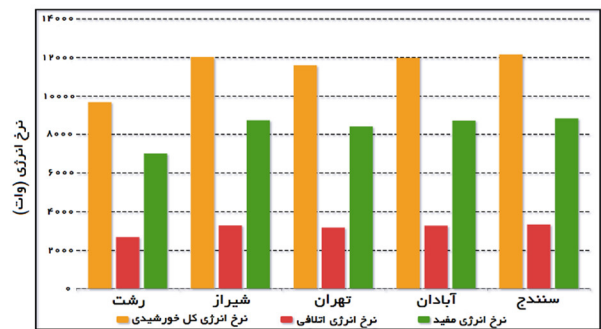


شکل ۹ اقسام مختلف نرخ انرژی (بر حسب وات)

روند داده‌های ارائه شده در شکل ۶ به گونه‌ای است که کمترین پراکندگی تابشی در شهر شیراز و بیشترین آن در شهر سنندج و بیشترین مقادیر تابشی در ماه جولای و کمترین آن در ماه دسامبر مشاهده می‌گردد.

۱-۷- تحلیل انرژی سیستم

در راستای تحلیل سیستم در حوزه انرژی، لازم است نحوه توزیع انرژی در سیستم مشخص گردد. همانگونه که پیشتر نیز اشاره گردید، نحوه توزیع انرژی در سیستم به گونه‌ای است که انرژی خورشیدی به عنوان ورودی به مرزهای سیستم وارد شده و بخشی از آن در اثر پدیده‌های انتقال حرارت تلف گردیده و نهایتاً مقدار باقی مانده به عنوان انرژی مفید در گرمایش سیال ایفای نقش می‌کند. در شکل ۷ بیان انرژی سیستم در بیشینه ماه تابشی (ماه جون)، برای پنج شهر رشت، شیراز، تهران، آبادان و سنندج ارائه گردیده است.

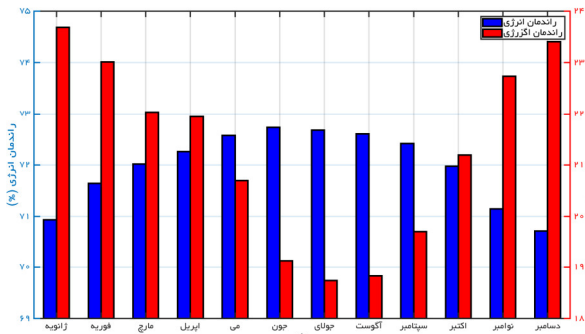


شکل ۷ اقسام مختلف نرخ انرژی (بر حسب وات)

مطابق شکل ۷ بیشینه مقدار توان ورودی خورشیدی و به تبع آن نرخ انرژی مفید در شهرهای شیراز و سنندج تحقق می‌یابد که به ترتیب دارای مقادیر $۸۸۳۷/۷۶$ و $۸۷۴۰/۴۶$ وات است و کمینه مقدار آن در شهر رشت برابر $۷۰۱۱/۶۷$ وات است. در راستای بررسی تاثیر تغییرات اقلیمی در ماه‌های مختلف، استفاده از بیان انرژی و تحلیل پارامترهای آن امری زمانبر و دشوار است. در این خصوص استفاده از مفهوم راندمان حرارتی که اساسی‌ترین پارامتر برای توصیف رفتار انرژی سیستم است، مفید به نظر می‌رسد. در شکل ۸ راندمان حرارتی سیستم کلکتور خورشیدی در ۵ شهر رشت، شیراز، تهران، آبادان و سنندج طی ماه‌های مختلف سال ارائه شده است.



روند داده‌های ارائه شده در جدول ۴ حاکی از وجود رفتاری معکوس در پروفیل نمودار راندمان انرژی نسبت به راندمان انرژی است. به منظور تشریح بهتر موضوع، در شکل ۱۱ نمودار راندمان انرژی و انرژی شهر شیراز در ماه‌های مختلف سال بطور توأمان در یک دستگاه ترسیم گردیده است.

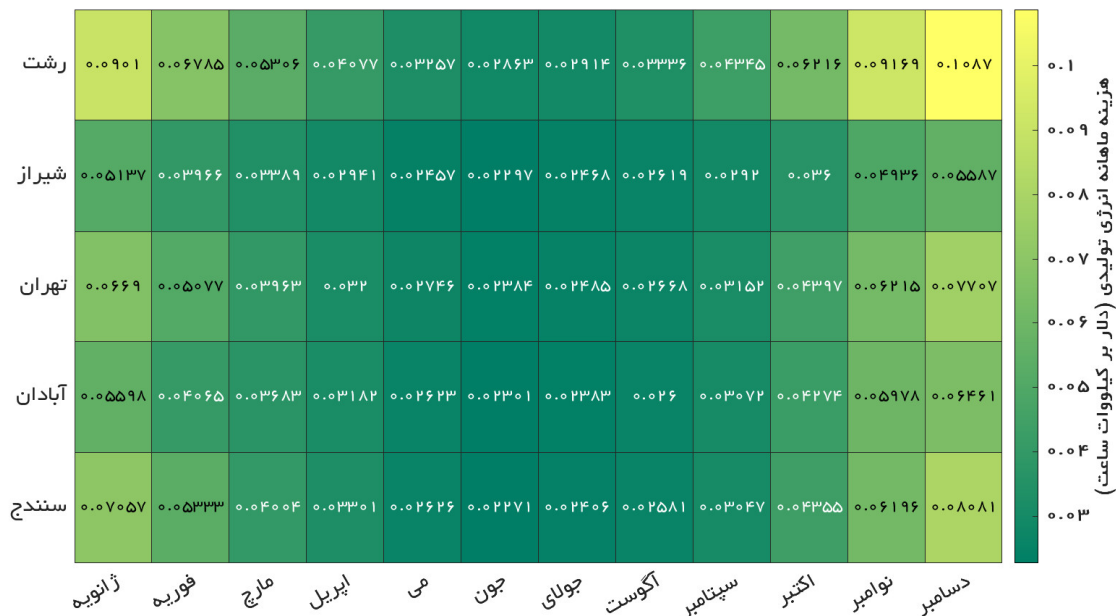


شکل ۱۱ روند راندمان ماهانه انرژی و انرژی شهر شیراز (%)

روندی معکوس میان پروفیل راندمان انرژی و انرژی به طور محسوس در شکل ۱۱ ملاحظه می‌گردد. روند مذکور به گونه‌ای است که در ماه‌های جون و جولای که راندمان انرژی بیشینه مقدار خود را تجربه می‌کند، راندمان انرژی در کمینه مقدار خود است و در ماه‌های ژانویه و دسامبر که راندمان انرژی کمینه است، راندمان انرژی در بیشینه مقدار خود قرار دارد.

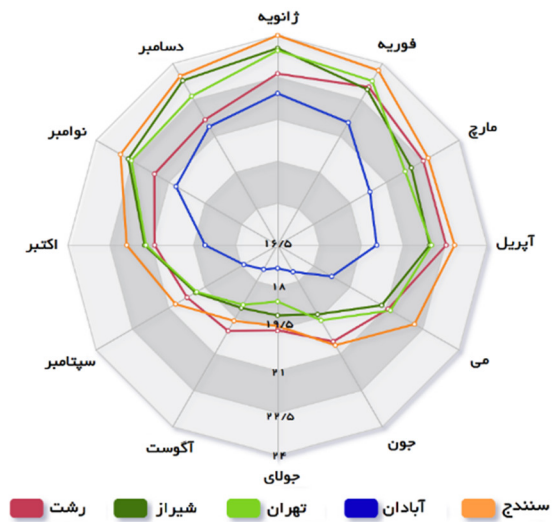
۳-۷- تحلیل اقتصادی سیستم

به منظور تحلیل اقتصادی کلکتورهای خورشیدی پیرامون هزینه تولید واحد انرژی بحث می‌گردد. در این خصوص با توجه به طول عمر و نرخ بهره که در جدول ۴ بیان گردید و سایر شرایط جانبی از جمله هزینه تجهیزات، تعمیرات و نگهداری و همچنین بیمه تجهیزات و کارکنان، با سرشکن کردن هزینه کل بر انرژی کل تولیدی توسط کلکتور خورشیدی، هزینه تولید یک واحد انرژی به ازای هر کیلووات ساعت محاسبه می‌گردد. در شکل ۱۲ هزینه تراز شده انرژی به صورت ماهانه برای هر شهر ارائه شده است. از شکل ۱۲، استنباط می‌شود که با در نظر گرفتن هزینه کل یکسان در تمام شهرها، آن شهری که توان بیشتری تولید میکند، هزینه واحد انرژی کمتری خواهد داشت.



شکل ۱۲ میانگین ماهانه هزینه واحد انرژی

مطابق شکل ۹ بیشترین مقدار نرخ انرژی مفید مربوط به شهر سندج با مقدار ۱۸۵۱/۵۱ و کمترین مقدار آن مربوط به شهر رشت با مقدار ۱۴۶۱/۹۷ است. برای تبیین بهتر موضوع، در شکل ۱۰ راندمان انرژی کلکتور خورشیدی در ۵ شهر رشت، شیراز، تهران، آبادان و سندج طی ماه‌های مختلف سال ارائه شده است.



شکل ۱۰ راندمان ماهانه انرژی در شهرهای مختلف (%)

مطابق شکل ۱۰، بیشینه مقدار راندمان انرژی برای تمامی شهرها در ماه ژانویه و کمترین مقدار آن در ماه جولای ملاحظه می‌گردد. از آنجایی که راندمان انرژی متناسب با اختلاف دمای سیال انتقال حرارت با دمای محیط است، و دمای محیط در ماه ژانویه کمترین مقدار خود را تجربه می‌کند، لذا بیشینه مقدار راندمان در در ماه ژانویه تحقق می‌یابد. بررسی موردی شهرها نیز بیشینه مقدار راندمان انرژی را برای شهر سندج با مقدار ۱۹/۵۸ وات و کمینه آن را برای شهر آبادان با مقدار ۱۳/۳۲ نشان می‌دهند. داده‌های حاصل از تحلیل راندمان انرژی و انرژی سیستم نیز به تفکیک ماه و شهر در جدول ۴ ارائه شده است.



جدول ۴ راندمان انرژی و انرژی به صورت میانگین ماهانه (%)

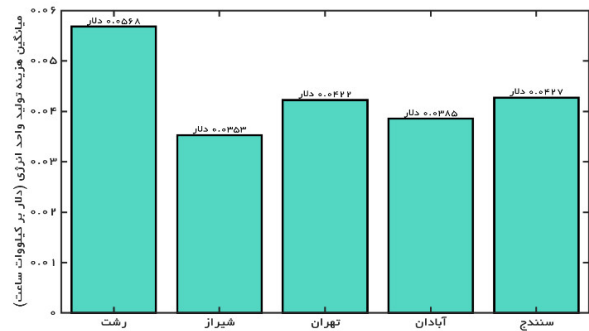
ماه	ژانویه	فوریه	مارچ	آوریل	می	جون
شهرها	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی
رشت	۶۸/۷۹	۷۰/۰۶	۲۲/۱۱	۲۲/۵۷	۷۱/۶۱	۲۲/۳۹
شیراز	۷۰/۹۳	۷۱/۶۴	۲۳/۰۱	۲۲/۰۳	۷۲/۲۵	۷۲/۷۲
تهران	۶۹/۹۹	۷۰/۹۵	۲۳/۳۹	۲۱/۷۵	۷۲/۰۹	۷۲/۳۸
آبادان	۷۰/۷۹	۷۱/۶۷	۲۱/۵۲	۲۰/۱۶	۷۲/۲۴	۷۲/۷۹
سنندج	۶۹/۷۲	۷۰/۷۸	۲۳/۸۷	۲۲/۷۹	۷۲/۰۱	۷۲/۶۷
ماه	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شهرها	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی
رشت	۷۲/۴۴	۱۹/۳۲	۱۹/۸۶	۷۱/۶۷	۲۰/۰۷	۲۱/۶۴
شیراز	۷۲/۶۷	۱۸/۷۳	۱۸/۸۲	۷۲/۴۱	۱۹/۷۰	۲۳/۴۰
تهران	۷۲/۶۸	۱۸/۱۹	۱۸/۶۸	۷۲/۲۸	۱۹/۶۴	۲۲/۷۱
آبادان	۷۲/۷۸	۱۶/۸۹	۱۷/۰۸	۷۲/۴۶	۱۷/۵۲	۲۱/۳۴
سنندج	۷۲/۶۸	۱۹/۱۴	۱۹/۴۱	۷۲/۲۸	۲۰/۶۰	۲۳/۶۰

خشک و هزینه تراز شده انرژی ۰/۰۳۵۳ دلار بر کیلووات ساعت به عنوان گزینه برتر معرفی می‌گردد.

۴-۷- تحلیل زیست محیطی سیستم

در راستای تحلیل زیست محیطی سیستم کلکتور خورشیدی، می‌توان مقدار کربن دی اکسید تولیدی را به عنوان یک پارامتر اساسی مطرح نمود. همانطور که قبلاً بیان گردید، مقدار کربن دی اکسید تولیدی بر اساس سرانه انرژی و انرژی مفید قابل محاسبه است، لذا تحلیل پارامتر فوق منجر به ظهور حوزه‌های انرژی-زیست محیطی و انرژی-زیست محیطی می‌گردد. در جدول ۵ تحلیل‌های انرژی و انرژی-زیست محیطی مربوط به ۵ شهر رشت، شیراز، تهران، آبادان و سنندج به تفکیک ماه‌های مختلف سال، ارائه گردیده است. با توجه به جدول ۵، استنباط می‌شود که با در نظر گرفتن شرایط یکسان در تمام شهرها، آن شهری که توان بیشتری تولید می‌کند، میزان کربن دی اکسید بیشتری نیز تولید می‌کند. بنابراین، از آنجا که بالاترین مقدار توان مفید مربوط به شهر شیراز است لذا میزان انتشار نیز در این شهر بیشترین مقدار را دارد.

بنابراین از آنجا که بالاترین مقدار توان مفید مربوط به شهر شیراز است لذا هزینه واحد انرژی در این شهر کمترین مقدار را دارد. برای مقایسه بهتر شهرها و اقلیم‌های مربوطه در شکل ۱۳ میانگین سالانه هزینه واحد انرژی برای هر شهر ارائه می‌گردد.



شکل ۱۳ میانگین سالانه هزینه واحد انرژی

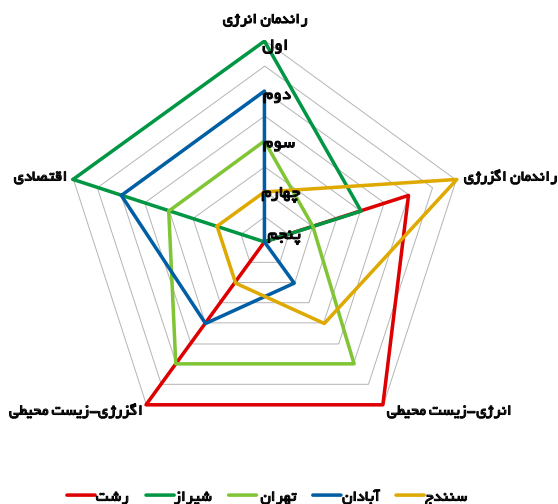
چنان چه در شکل ۱۳ مشاهده می‌شود شهر رشت با آب و هوای معتدل مرطوب بالاترین هزینه واحد انرژی و شیراز با اقلیم سرد نیمه خشک کمترین مقدار را دارند. بنابراین از دید حوزه اقتصادی شهر شیراز با اقلیم سرد نیمه

جدول ۵ تحلیل‌های انرژی و انرژی-زیست محیطی به صورت میانگین ماهانه (کیلوگرم کربن دی اکسید بر روز)

ماه	ژانویه	فوریه	مارچ	آوریل	می	جون
شهرها	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی
رشت	۰/۰۴۶۱	۰/۰۱۱۵	۰/۰۵۹۹	۰/۰۱۴۹	۰/۰۷۷۶	۰/۰۱۸۶
شیراز	۰/۱۸۱۲	۰/۰۴۵۷	۰/۲۸۰۶	۰/۰۶۷۸	۰/۲۸۷۴	۰/۰۶۵۸
تهران	۰/۰۹۳۷	۰/۰۲۳۹	۰/۱۵۰۶	۰/۰۳۷۵	۰/۲۱۶۳	۰/۰۴۹۱
آبادان	۰/۱۵۳۸	۰/۰۳۵۷	۰/۱۸۷۲	۰/۰۴۲۰	۰/۲۲۹۹	۰/۰۴۷۸
سنندج	۰/۰۷۶۷	۰/۰۲۰۲	۰/۱۲۸۳	۰/۰۳۲۷	۰/۱۹۷۹	۰/۰۴۷۳
ماه	ژولای	اگوست	سپتامبر	اکتبر	نوامبر	دسامبر
شهرها	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی	انرژی
رشت	۰/۳۱۶۴	۰/۰۶۲۴	۰/۲۲۶۲	۰/۰۴۶۱	۰/۲۲۶۲	۰/۰۳۵۸
شیراز	۰/۵۹۹۴	۰/۱۱۳۹	۰/۵۷۵۸	۰/۱۱۰۱	۰/۴۸۴۹	۰/۰۹۷۷
تهران	۰/۵۰۶۴	۰/۰۹۳۳	۰/۵۲۱۳	۰/۰۹۸۹	۰/۳۴۵۳	۰/۰۶۹۵
آبادان	۰/۵۸۹۱	۰/۱۰۰۱	۰/۴۶۲۰	۰/۰۷۹۵	۰/۴۳۳۴	۰/۰۷۶۹
سنندج	۰/۶۲۶۶	۰/۱۲۱۹	۰/۵۵۲۰	۰/۱۰۹۱	۰/۴۲۸۸	۰/۰۹۰۸



سنندج و در حوزه زیست محیطی شهر رشت در مرتبه اول قرار گرفته است. جهت مقایسه بهتر اثر اقلیم ها بر حوزه های انرژی، انرژی، زیست محیطی و اقتصادی، در شکل ۱۵ نمودار تار عنکبوتی شهرهای مختلف (بعنوان نمایندگان اقلیم های آب هوایی) بر حسب رتبه آنان در هر یک از حوزه های اصلی، ترسیم شده است.



شکل ۱۵ نمودار تار عنکبوتی اثر اقلیم های مختلف در حوزه های چهار گانه در نهایت با توجه به نمودار شکل ۱۵ و جدول ۶ نتایج زیر ملاحظه می گردد:

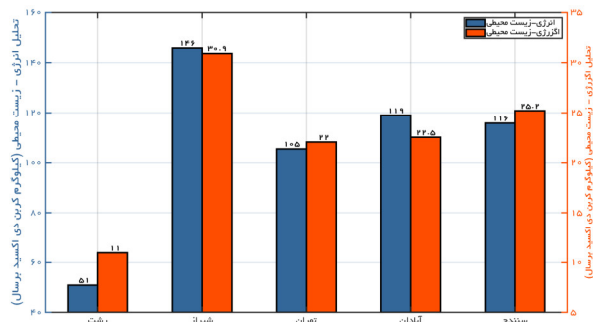
- ✓ در حوزه انرژی، شهر شیراز با اقلیم سرد نیمه خشک به عنوان اقلیم بهینه کلکتور سهموی خورشیدی در حوزه انرژی با راندمان حرارتی ۷۲ درصد معرفی می گردد.
- ✓ در حوزه انرژی، شهر سنندج با اقلیم قاره ای مرطوب به عنوان اقلیم بهینه با راندمان قانون دوم ۱۷/۷ درصد معرفی می گردد.
- ✓ در حوزه زیست محیطی، شهر رشت با اقلیم معتدل مرطوب در هریک از دو معیار انرژی - زیست محیطی و انرژی - زیست محیطی به عنوان اقلیم بهینه معرفی می گردد.
- ✓ در حوزه اقتصادی، شهر شیراز با اقلیم سرد نیمه خشک به عنوان اقلیم بهینه با هزینه انرژی ۰/۰۳۵ دلار بر کیلووات ساعت معرفی می گردد.

با در نظر گرفتن نتایج بدست آمده، شهر شیراز با اقلیم سرد نیمه خشک ضمن داشتن رتبه اول در حوزه انرژی و اقتصادی به عنوان شهر و اقلیم نهایی جهت احداث سیستم کلکتور سهموی خورشیدی پیشنهاد می شود.

جدول ۶ میانگین سالانه شاخص های انرژی، انرژی، اقتصادی و زیست محیطی

شاخص	راندمان انرژی (درصد)		انرژی - زیست محیطی (کیلوگرم CO2 بر سال)		راندمان انرژی (درصد)		انرژی - زیست محیطی (کیلوگرم CO2 بر سال)	
	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار	رتبه	مقدار
رشت	پنجم	۷۰/۸۲	اول	۱۰/۹۵	دوم	۱۷/۰۷	اول	۵۰/۹۵
شیراز	اول	۷۱/۹۷	پنجم	۳۰/۹۲	سوم	۱۷/۰۱	پنجم	۱۴۵/۸۵
تهران	سوم	۷۱/۵۶	دوم	۲۲/۰۳	چهارم	۱۶/۹۶	دوم	۱۰۵/۳۷
آبادان	دوم	۷۱/۹۱	سوم	۲۲/۵۲	پنجم	۱۵/۳۴	چهارم	۱۱۸/۹۷
سنندج	چهارم	۷۱/۴۹	چهارم	۲۵/۱۹	سوم	۱۷/۶۷	اول	۱۱۵/۷۹

همچنین داده های بدست آمده بیانگر آن است که آنالیز انرژی-زیست محیطی مقادیر بیشتری را نسبت به آنالیز انرژی-زیست محیطی پیش بینی کرده و معیار محتاط تری جهت تحلیل زیست محیطی سیستم است. در نهایت برای مقایسه بهتر شهرها و اقلیم های مربوطه در شکل ۱۴ میزان انتشار سالانه کربن دی اکسید بر اساس هر دو تحلیل مبتنی بر انرژی و انرژی، ارائه می گردد.



شکل ۱۴ میزان سالانه کربن دی اکسید تولید شده

۸- نتیجه گیری و بحث

پژوهشی به منظور مطالعه اثر اقلیم های آب و هوایی بر استفاده از پتانسیل انرژی خورشیدی توسط کلکتورهای خورشیدی در چارچوب حوزه های اصلی انرژی، انرژی، اقتصادی و زیست محیطی تعریف شده و ضمن توسعه یک مدل عددی و اعتبار سنجی آن با نتایج تجربی موجود [۲۲]، یک ارزیابی کلی از عملکرد کلکتور خورشیدی در اقلیم های آب و هوایی مختلف ارائه گردید. بدین منظور ۵ شهر رشت، شیراز، تهران، آبادان و سنندج به عنوان نمایندگان اقلیم های آب و هوایی مختلف کشور (مطابق جدول ۱) در نظر گرفته شده و با داشتن داده های محیطی هر شهر، اثر تغییر نوع اقلیم آب و هوایی بر بازدهی انرژی، انرژی و همچنین اثرات اقتصادی و زیست محیطی مورد بررسی قرار گرفت. رفتار سیستم در حوزه های انرژی و انرژی به ترتیب با راندمان حرارتی و راندمان قانون دوم و رفتار آن در حوزه های زیست محیطی و اقتصادی به ترتیب با مقدار دی اکسید کربن تولیدی در طول چرخه حیات سیستم (از دو دیدگاه انرژی و انرژی) و هزینه هم تراز شده یک کیلووات ساعت انرژی تولیدی، مطالعه شد. در نهایت با توجه به شاخص های معرفی شده و نمودارهای ارائه شده، در جدول ۶ نسبت به طبقه بندی شهرهای مورد بررسی بر مبنای شاخص های چهارگانه انرژی، انرژی، اقتصادی و زیست محیطی اقدام گردید. مطابق جدول ۶، در حوزه انرژی و اقتصادی شهر شیراز، در حوزه انرژی شهر



- [20] P. Alamdari, O. Nematollahi, and A. A. Alemrajabi, Solar energy potentials in Iran: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 21, pp. 778-788, 2013.
- [21] T. Raziqi, Koppen-Geiger Climate Classification of Iran and Investigation of Its Changes during 20th Century, 2017.
- [22] V. E. Dudley *et al.*, Test results: SEGS LS-2 solar collector, *Nasa Sti/recon Technical Report N*, Vol. 96, 1994.
- [23] S. A. Kalogirou, "Solar thermal collectors and applications, *Progress in energy and combustion science*, Vol. 30, No. 3, pp. 231-295, 2004.
- [24] O. Behar, A. Khellaf, and K. Mohammadi, A novel parabolic trough solar collector model-Validation with experimental data and comparison to Engineering Equation Solver (EES), *Energy Conversion and Management*, Vol. 106, pp. 268-281, 2015.
- [25] L. Valenzuela, R. López-Martín, and E. Zarza, Optical and thermal performance of large-size parabolic-trough solar collectors from outdoor experiments: A test method and a case study, *Energy*, Vol. 70, pp. 456-464, 2014.
- [26] M. Ehyaei, A. Ahmadi, and M. A. Rosen, Energy, exergy, economic and advanced and extended exergy analyses of a wind turbine, *Energy conversion management*, Vol. 183, pp. 369-381, 2019.
- [27] A. Saiffodin, S. F. Moosavian, and A. Hajinezhad, Impact of Climate Change on Economic and Environmental Performance of Wind Turbine Based on Life Cycle Assessment Method, *mdrsirms*, Vol. 21, No. 12, pp. 835-848, 2021.
- [28] M. Ehyaei, A. Ahmadi, M. E. H. Assad, A. Hachicha, and Z. Said, Energy, exergy and economic analyses for the selection of working fluid and metal oxide nanofluids in a parabolic trough collector, *Solar Energy*, Vol. 187, pp. 175-184, 2019.
- [29] P. Palenzuela, D.-C. Alarcón-Padilla, and G. Zaragoza, Large-scale solar desalination by combination with CSP: Techno-economic analysis of different options for the Mediterranean Sea and the Arabian Gulf, *Desalination*, Vol. 366, pp. 130-138, 2015.
- [30] M. Faizal, R. Saidur, S. Mekhilef, A. Hepbasli, and I. Mahbulul, Energy, economic, and environmental analysis of a flat-plate solar collector operated with SiO₂ nanofluid, *Clean Technologies and Environmental Policy*, Vol. 17, No. 6, pp. 1457-1473, 2015.
- [31] M. Yaghoubirad, N. Azizi, A. Ahmadi, Z. Zarei, and S. F. Moosavian, Performance assessment of a solar PV module for different climate classifications based on energy, exergy, economic and environmental parameters, *Energy Reports*, Vol. 8, pp. 68-84, 2022.
- [32] M. Mohseni, S. F. Moosavian, and A. Hajinezhad, Feasibility evaluation of an off-grid solar-biomass system for remote area electrification considering various economic factors, *Energy Science & Engineering*, 2022.
- [33] D. Borzuei, S. F. Moosavian, and A. Ahmadi, Investigating the dependence of energy prices and economic growth rates with emphasis on the development of renewable energy for sustainable development in Iran, *Sustainable Development*, 2022.
- [1] S. K. Sansaniwal, V. Sharma, and J. Mathur, Energy and exergy analyses of various typical solar energy applications: A comprehensive review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 82, pp. 1576-1601, 2018.
- [2] R. Zahedi, A. Ahmadi, and M. Sadeh, Investigation of the load management and environmental impact of the hybrid cogeneration of the wind power plant and fuel cell, *Energy Reports*, Vol. 7, pp. 2930-2939, 2021.
- [3] D. Borzuei, S. F. Moosavian, and M. Farajollahi, On the Performance Enhancement of the Three-Blade Savonius Wind Turbine Implementing Opening Valve, *Journal of Energy Resources Technology*, Vol. 143, No. 5, 2021.
- [4] R. Zahedi, A. Ahmadi, and R. Dashti, Energy, exergy, exergoeconomic and exergoenvironmental analysis and optimization of quadruple combined solar, biogas, SRC and ORC cycles with methane system, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 150, p. 111420, 2021.
- [5] D. Borzuei, S. F. Moosavian, A. Ahmadi, R. Ahmadi, and K. Bagherzadeh, An Experimental and Analytical Study of Influential Parameters of Parabolic Trough Solar Collector, *Journal of Renewable Energy and Environment*, 2021.
- [6] S. F. Moosavian, D. Borzuei, and A. Ahmadi, Energy, exergy, environmental and economic analysis of the parabolic solar collector with life cycle assessment for different climate conditions, *Renewable Energy*, Vol. 165, pp. 301-320, 2021.
- [7] M. Marefati, M. Mehrpooya, and M. B. Shaffi, Optical and thermal analysis of a parabolic trough solar collector for production of thermal energy in different climates in Iran with comparison between the conventional nanofluids, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 175, pp. 294-313, 2018.
- [8] O. Kizilkcan, A. Kabul, and I. Dincer, Development and performance assessment of a parabolic trough solar collector-based integrated system for an ice-cream factory, *Energy*, Vol. 100, pp. 167-176, 2016.
- [9] K. Yaman and G. Arslan, Modeling, simulation, and optimization of a solar water heating system in different climate regions, *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, Vol. 10, No. 2, p. 023703, 2018.
- [10] H. Caliskan, Energy, exergy, environmental, enviroeconomic, exergoenvironmental (EXEN) and exergoenvironmental (EXENEC) analyses of solar collectors, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 69, pp. 488-492, 2017.
- [11] S. F. Moosavian, R. Zahedi, and A. Hajinezhad, Economic, environmental and social impact of carbon tax for Iran: A computable general equilibrium analysis, *Energy Science & Engineering*, Vol. 10, No. 1, pp. 13-29, 2022.
- [12] J. Macedo-Valencia, J. Ramirez-Ávila, R. Acosta, O. Jaramillo, and J. Aguilar, Design, construction and evaluation of parabolic trough collector as demonstrative prototype, *Energy procedia*, Vol. 57, pp. 989-998, 2014.
- [13] A. M. de Oliveira Siqueira, P. E. N. Gomes, L. Torrezani, E. O. Lucas, and G. M. da Cruz Pereira, Heat transfer analysis and modeling of a parabolic trough solar collector: an analysis, *Energy Procedia*, Vol. 57, pp. 401-410, 2014.
- [14] R. Battisti and A. Corrado, Environmental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 13, No. 13-14, pp. 1295-1300, 2005.
- [15] S. Chamoli, Exergy analysis of a flat plate solar collector, *Journal of Energy in Southern Africa*, Vol. 24, No. 3, pp. 08-13, 2013.
- [16] H. Caliskan, Novel approaches to exergy and economy based enhanced environmental analyses for energy systems, *Energy conversion and management*, Vol. 89, pp. 156-161, 2015.
- [17] H. Caliskan, Thermodynamic and environmental analyses of biomass, solar and electrical energy options based building heating applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 43, pp. 1016-1034, 2015.
- [18] M. Ehyaei, A. Ahmadi, M. E. H. Assad, and T. Salameh, Optimization of parabolic through collector (PTC) with multi objective swarm optimization (MOPSO) and energy, exergy and economic analyses, *Journal of Cleaner Production*, 2019.
- [19] E. Bellos and C. Tzivanidis, A detailed exergetic analysis of parabolic trough collectors, *Energy Conversion and Management*, Vol. 149, pp. 275-292, 2017.

