



Techno-Economic Comparison of Solar Assisted Absorption and Compression Refrigeration Systems for Air Conditioning of an Office Building

ARTICLE INFO

Article Type

Original Research

Authors

Sahraiyani N.¹ MSc,
Mohammadi S.M.H.*¹ PhD,
Jahanshahi Javaran E.¹ PhD

How to cite this article

Sahraiyani N, Mohammadi S.M.H, Jahanshahi Javaran E. Techno-Economic Comparison of Solar Assisted Absorption and Compression Refrigeration Systems for Air Conditioning of an Office Building. Modares Mechanical Engineering, 2020;20(2):361-370.

¹Energy Department, Institute of Science & High Technology & Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran

*Correspondence

Address: Energy Department, Graduate University of Advanced, Haft-Bagh Alavi Highway, Kerman, Iran.
Postal Code: 7618895571
Phone: -
Fax: +98 (34) 33778502
smh.mohammadi@kgut.ac.ir

Article History

Received: November 19, 2018
Accepted: May 30, 2019
ePublished: February 01, 2020

ABSTRACT

The application of solar energy for space cooling has been increasingly considered in Iran and other countries in the last two decades. In this study, two different configurations of a solar assisted refrigeration system have been studied. The first system is the combination of a lithium bromide vapor absorption refrigeration system and flat plate collectors. The other system is consisted of a compression refrigeration system and thermal photovoltaic panels. For this purpose, 32% of the roof area of the building has been covered with 105 flat plate collectors, each with a total area of 1.591 m², or 288 photovoltaic panels each with an area of 0.556 m². Both systems have been compared in terms of energy, exergy, and economic viewpoints. This comparison has been conducted for providing the 70 kW cooling capacity system required for an office building with an area of 500 m². The results of this study showed that at an evaporator temperature of 5°C and the ambient temperature of 27°C, the coefficient of performance of the compression chiller is 3.5 and the absorption chiller is 0.71. Also, the total energy efficiency and the total exergy efficiency in the compression chiller system combined with thermal photovoltaic panels are 7.43% and 8.25% respectively. Those two parameters for the absorption chiller combined with flat plate collectors are 9.16% and 6.66%, respectively. In the economic analysis, the annual life cycle cost for the compression chiller system combined with thermal photovoltaic collectors is 9710 \$ and this cost for the absorption chiller system combined with flat plate collectors is estimated 7649 \$.

Keywords Solar Assisted Cooling System; Solar Flat Plate Collector; Thermal Photovoltaic; Techno-Economic Analysis

CITATION LINKS

[1] Some of the challenges of mental ... [2] Drugs, society, and human ... [3] Methamphetamine abuse a new concern in ... [4] Physiologic, subjective, ... [5] History of the methamphetamine ... [6] World drug ... [7] World drug report, volume ... [8] Methamphetamine toxicity and ... [9] Social structure of addiction in ... [10] A review of the clinical pharmacology of ... [11] Pharmacological approaches ... [12] Pharmacokinetics of methamphetamine ... [13] Human pharmacology of ... [14] Distribution and pharmacokinetics of ... [15] Similar effects of the selective ... [16] Striatal dopamine d2/d3 receptor ... [17] Effects of chronic methamphetamine ... [18] Methamphetamine - effects on human ... [19] Heart disease, methamphetamine and ... [20] Behavioral and stereological analysis ... [21] Pharmacotherapy of ... [22] Neuropsychological effects of chronic ... [23] Uranyl acetate induces oxidative stress and ... [24] Recent advances in methamphetamine ... [25] Brain dopamine neurotoxicity in ... [26] Methamphetamine neurotoxicity in dopamine ... [27] The infant development, environment ... [28] Prenatal exposure: The effects of ... [29] Methamphetamine exposure during ... [30] The effects of methamphetamine on the ... [31] Neurotoxic-related changes in ... [32] Methamphetamine-evoked depression of GABA(B) ... [33] Methamphetamine neurotoxicity: Necrotic ... [34] The role of oxidative stress in ... [35] HIV-1, methamphetamine and astrocyte glutamate ... [36] Chlorpyrifos toxicity in mouse cultured cerebellar ... [37] MK-801 and dextromethorphan block ... [38] Chronic stress enhances ... [39] Methamphetamine-induced nitric ... [40] Nitric oxide is a mediator of ... [41] Interactions between methamphetamine ... [42] Ginsenoside Re rescues ... [43] Methamphetamine causes microglial ... [44] Investigation of the impurities ... [45] Drug characterization/impurity ... [46] Impurities in illicit drug ... [47] Analysis of Leuckart-specific ... [48] Leuckart-specific impurities ... [49] Profiling of seized methamphetamine ... [50] Characterization of route specific ... [51] Structural determination of the ... [52] Making ... [53] The impurity characteristics ... [54] Analysis of the impurities in the ... [55] Characterization and profiling of ...

مقایسه فنی و اقتصادی سیستم‌های سرمایش جذبی و تراکمی کمک خورشیدی در تهویه یک ساختمان اداری

نرگس صحرانیان MSc

پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

سیدمحمدحجت محمدی* PhD

پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

ابراهیم جهانناهی جواران PhD

پژوهشکده انرژی، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان، ایران

چکیده

کاربرد انرژی خورشید به منظور تامین سرمایش فضاها در ایران و سایر کشورها در دو دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته است. در این پژوهش دو سیستم سرمایش ترکیبی کمک خورشیدی مورد مطالعه قرار گرفته است. در یک سیستم ترکیبی از چیلر جذبی لیتیم برماید و کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت و در سیستم دیگر ترکیب چیلر تراکمی و پنل فتوولتائیک حرارتی در نظر گرفته شده است. به این منظور ۳۲٪ از مساحت پشت بام ساختمان توسط ۱۰۵ کلکتور صفحه تخت خورشیدی هر یک به مساحت ۵۹۱/۵ مترمربع یا ۲۸۸ پنل فتوولتائیک حرارتی هر یک به مساحت ۵۵۶/۵ مترمربع پوشانده شده است. هر دو سیستم از نظر انرژی، انرژی و اقتصادی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. این مقایسه برای تامین ۷۰ کیلووات بار سرمایشی مورد نیاز یک ساختمان اداری با مساحت ۵۰۰ مترمربع انجام گرفته است. نتایج حاصل از این پژوهش نشان داد که در دمای اواپراتور ۵°C و دمای محیط ۲۷°C، ضریب عملکرد چیلر تراکمی ۳/۵ و ضریب عملکرد چیلر جذبی برابر ۷/۱ است. همچنین راندمان انرژی کل و راندمان انرژی کل به ترتیب در سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی برابر ۷/۴۳٪ و ۸/۲۵٪ و در سیستم ترکیبی چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت برابر ۹/۱۶٪ و ۶/۶۶٪ است. در تحلیل اقتصادی، متوسط هزینه سالانه سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی برابر ۹۷۱۰ دلار و این هزینه برای سیستم ترکیبی چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت برابر ۷۶۴۹ دلار برآورد شده است.

کلیدواژه‌ها: سیستم سرمایش کمک خورشیدی، کلکتور خورشیدی صفحه تخت، فتوولتائیک حرارتی، بررسی فنی و اقتصادی

تاریخ دریافت: ۱۳۹۷/۸/۲۸

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۸/۳/۹

*نویسنده مسئول: smh.mohammadi@kgut.ac.ir

۱- مقدمه

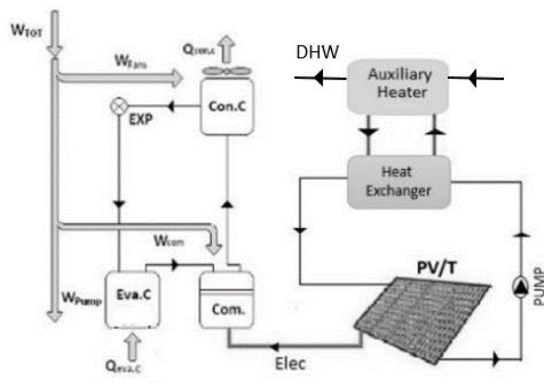
با توسعه جامعه بشری، نیاز به مصرف انرژی روز به روز در حال افزایش است. تقاضای روز افزون انرژی از یک سو و انتشار گازهای گلخانه‌ای از سوی دیگر، گرم‌شدن زمین را به دنبال دارد. به همین دلیل محققان به دنبال روش‌های گوناگون کاهش و بهینه‌سازی مصرف انرژی و استفاده از انرژی‌های دوستدار محیط زیست، هستند. یکی از راه‌کارهای مناسب برای نیل به این منظور، استفاده از انرژی خورشید در ترکیب با سیستم‌های تهویه مطبوع است. از

آنجایی که بیشینه بار سرمایشی ساختمان‌ها بر ساعات اوج مصرف انرژی منطبق می‌شود و این ساعات مطابق با ساعات بیشترین تابش خورشیدی است، به همین علت استفاده از انرژی خورشید راه‌کاری ارزشمند در کاهش و اصلاح الگوی مصرف انرژی خواهد بود.

در کاربردهای انرژی خورشیدی برای راه‌اندازی سیستم‌های سرمایش یا تهویه مطبوع، معمولاً از سیستم‌های سرمایش با بستر جذب مایع استفاده می‌شود. در این سیستم‌ها، بستر جذب، آب است که با مبرد آمونیاک کار می‌کند (برای دماهای زیر صفر درجه سانتی‌گراد) یا لیتیم برماید است که با مبرد آب عمل می‌نماید (برای دماهای بالای صفر درجه سانتی‌گراد). با توجه به راندمان بالاتر سیستم‌های لیتیم برمایدی، کاربرد آنها در صنعت تهویه مطبوع گسترده‌تر است. همچنین دمای ژنراتور این سیستم‌ها نیز در مقایسه با سیستم‌های آمونیاکی کمتر و برای کاربردهای خورشیدی سازگارتر است.

آلوهی و همکاران^[1] و ژایی و وانگ^[2] به تفصیل به مطالعه سیستم‌های سرمایش خورشیدی پرداختند. نتایج این محققان نشان داد که سیستم‌های سرمایش خورشیدی، سیستم‌هایی نوآورانه و امیدوارکننده برای کاهش مصرف انرژی هستند. همچنین این پژوهشگران به این نکته اشاره نمودند که استفاده از این سیستم‌های خورشیدی علاوه بر کاهش مصرف انرژی، سبب کاهش انتشار گاز دی‌اکسید کربن می‌شود که از لحاظ زیست‌محیطی نیز سودمند است. از سوی دیگر، مونتاگینیو^[3] نیز در مورد پروژه‌های اجرایشده در کشورهای مختلف که در زمینه تولید توان سرمایشی با استفاده از تابش خورشید هستند، تحقیق کاملی انجام داده است. این سیستم‌های سرمایشی، تمام یا بخشی از انرژی مورد نیاز خود را از طریق انرژی تابشی خورشید تامین می‌نمایند و توان سرمایشی تولیدشده تمام یا بخشی از نیاز ساختمان را تامین می‌کند. زینیان و نینگ^[4] با بررسی چیلرهای جذبی لیتیم برماید- آب و ترکیب آن با کلکتورهای لوله خلاء به منظور سرمایش در تابستان، گرمایش در زمستان و تامین آب گرم در دیگر فصول سال به این نتیجه رسیدند که این سیستم باعث افزایش سود اقتصادی سیستم‌های سرمایش خورشیدی خواهد شد. همچنین راندمان خنک‌سازی فضا ۴۰٪، راندمان گرمایش ۳۵٪ و راندمان سیستم تامین آب گرم مصرفی ۵۰٪ گزارش شد. نتیجه حاصل از این تحقیق نشان داد که استفاده از گردآورنده‌های خورشیدی لوله خلاء برای کاربردهایی است که نیاز به دمای نسبتاً بالا دارند و در محیط‌های دما پایین، مناسب است. در بررسی اقتصادی چیلرهای جذبی تک اثره، پانگتورن کولپانیچ و همکاران^[5] مطالعاتی روی یک چیلر جذبی تک اثره ۱۰ تن لیتیم برماید- آب در ترکیب با ۲۲ متر مربع کلکتور لوله خلاء انجام دادند. ایشان به این نتیجه رسیدند که با پیشرفت تکنولوژی و تولید این دستگاه‌ها در مقیاس‌های بزرگ، هزینه آنها کاهش پیدا می‌کند. از این رو می‌توان گفت که فناوری خنک‌کننده خورشیدی در آینده نزدیک قابل رقابت با دستگاه‌های فعلی خواهد بود. مظلومی و همکاران^[6] نیز به شبیه‌سازی یک چیلر جذبی لیتیم برماید- آب تک‌اثره که توسط کلکتور سهموی انرژی خورشید را جذب می‌کند،

الکتریکی معادل ۱۸/۹۱ کیلووات است. با توجه به اینکه مجموع کلکتورهای فتوولتائیک حرارتی قادر به تامین تمامی توان مورد نیاز ساختمان نیستند، باقی‌مانده مورد نظر از شبکه خریداری می‌شود. همچنین در سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و کلکتورهای فتوولتائیک حرارتی، از حرارت تولیدشده توسط کلکتورها در پیش‌گرم کردن آب گرم مصرفی ساختمان استفاده می‌شود و با قراردادن یک بویلر در مسیر آب گرم خروجی از کلکتور، دمای آب به اندازه مطلوب افزایش می‌یابد.



شکل ۱) شماتیک سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و کلکتورهای فتوولتائیک حرارتی

۲-۲- سیستم ترکیبی چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت

شماتیک از سیستم ترکیبی چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت در شکل ۲ مشاهده می‌شود.

عملکرد سیستم به گونه‌ای است که کلکتورهای صفحه تخت حرارت مورد نیاز ژنراتور را تامین می‌کنند و بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان توسط اواپراتور تامین می‌شود. مشابه قسمت قبل، در پشت بام این ساختمان تعداد ۱۰۵ عدد کلکتور هر یک به مساحت ۱/۵۹۱ متر مربع را می‌توان استفاده کرد. حرارت تولیدشده توسط هر کلکتور صفحه تخت در این پژوهش ۷۶۷/۰ کیلووات است که مجموع ۱۰۵ عدد کلکتور قادر به تامین بار حرارتی برابر ۱۳/۶۲ کیلووات هستند. این در حالی است که ژنراتور سیستم سرمایشی این ساختمان برای تامین ۷۰ کیلووات بار سرمایشی، نیازمند حرارت ۹۷/۵۶ کیلووات است. با توجه به اینکه مجموع کلکتورهای صفحه تخت قادر به تامین تمامی حرارت مورد نیاز ساختمان نیستند، باقی‌مانده انرژی مورد نیاز برای تامین این حرارت از شبکه خریداری می‌شود. همچنین این ساختمان برای تامین آب گرم مصرفی نیز نیازمند حرارتی افزون بر حرارت مورد نیاز ژنراتور است که انرژی مورد نیاز برای تامین این حرارت نیز از شبکه خریداری می‌شود.

۳-۲- آنالیز ترمودینامیکی

۳-۲-۱- آنالیز ترمودینامیکی سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و کلکتورهای فتوولتائیک حرارتی

توان تولیدی هر پنل فتوولتائیک حرارتی بر اساس پارامترهای وابسته به نوع پنل، تابش خورشید، مساحت هر پنل و دمای پنل از رابطه (۱) محاسبه می‌شود. با توجه به تعداد ۲۸۸ عدد پنل موجود

برای ساختمانی در اهواز با حداکثر بار سرمایشی ۱۷ کیلووات (۵ تن تبرید)، پرداختند. ایشان یافتند که نرخ جریان جرم کلکتور کمترین تاثیر را روی حداقل سطح کلکتور و تاثیر قابل توجهی روی گنجایش تانک ذخیره می‌گذارد. همچنین حداقل سطح مورد نیاز کلکتور که بتواند این بار سرمایشی را تامین کند، ۵۷ متر مربع با دمای آب ورودی ۱۷ درجه سانتی‌گراد از خروجی مخزن ذخیره است. شایان ذکر است که استفاده از انرژی تابشی خورشید به‌منظور تامین الکتریسیته مورد نیاز برای راه‌اندازی سیستم‌های سرمایش تراکمی هم راهکار دیگری است که محققان به آن پرداخته‌اند که تاثیر تغییر سیال کاری بر بازده کلی سیستم و میزان تولید برق بررسی شده است و نتیجه حاصل حاکی از آن است که عملکرد ترمودینامیکی سیال R245fa بهتر از سیال R134a است^[۷]. اما همان گونه که بیان شد، بیشترین و متداول‌ترین سیستم‌های سرمایش و تهویه مطبوع خورشیدی (یا کمک خورشیدی) از سیستم‌های سرمایش جذبی با بستر جذب مایع بهره می‌برند.

در این مقاله دو سیستم تهویه مطبوع کمک خورشیدی از دیدگاه انرژی، انرژی و اقتصادی مورد مقایسه قرار می‌گیرند. در سیستم اول از چیلر تراکمی در ترکیب با پنل‌های فتوولتائیک حرارتی استفاده می‌شود. در سیستم دوم ترکیب چیلر جذبی لیتیم‌برمایدی تک اثره و کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت مورد مطالعه قرار می‌گیرد. این پژوهش برای ساختمانی اداری با محدودیت فضای پشت بام ساختمان انجام می‌شود که می‌تواند تعداد ۲۸۸ پنل فتوولتائیک حرارتی هر یک به مساحت ۵۵۶/۰ متر مربع یا ۱۰۵ عدد کلکتور صفحه تخت هر یک به مساحت ۱/۵۹۱ متر مربع را در خود جای دهد. بازه زمانی مورد مطالعه این سیستم از ۱۵ خرداد تا ۱۵ مهر به مدت ۱۲۴ روز و مدت کارکرد سیستم در هر روز ۷ ساعت است. انتظار می‌رود که با استفاده از نتایج این تحقیق، بتوان سیستمی با کارایی بالاتر و نیز سیستمی که از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه‌تر است را معرفی نمود.

۲- عملکرد سیستم و معادلات حاکم

۲-۱- سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و کلکتورهای فتوولتائیک حرارتی

شماتیک از سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و کلکتورهای فتوولتائیک حرارتی در شکل ۱ مشاهده می‌شود. عملکرد سیستم به گونه‌ای است که کلکتورهای فتوولتائیک حرارتی، توان الکتریکی کمپرسور را تامین کرده و بار سرمایشی مورد نیاز ساختمان توسط اواپراتور تامین می‌شود. ساختمان اداری بررسی‌شده در این پژوهش دارای مساحتی برابر ۵۰۰ متر مربع است. با توجه به محدود بودن فضای پشت بام ساختمان ذکرشده، بام این ساختمان گنجایش تعداد ۲۸۸ عدد کلکتور هر یک به مساحت ۵۵۶/۰ متر مربع را دارد. توان الکتریکی هر عدد کلکتور فتوولتائیک حرارتی در این پژوهش برابر ۴۷۲۷/۰ کیلووات است که مجموع ۲۸۸ عدد کلکتور قادر به تامین ۱۳/۶۲ کیلووات توان الکتریکی هستند. این در حالی است که این ساختمان برای تامین ۷۰ کیلووات بار سرمایشی، نیازمند توان

اتلافات انرژی در پنل‌های فتوولتائیک حرارتی از رابطه (۱۳) به دست می‌آید [۸].

$$\dot{E}X_D = \dot{E}X_{in} + \left[1 - \frac{T_0}{T}\right] Q_{wast} - W + \dot{m}e_{in} - \dot{m}e_{out} \quad (13)$$

برای تحلیل انرژی و انرژی چیلرهای جذبی و تراکمی از قوانین بقای انرژی و بالانس انرژی استفاده می‌شود که صورت کلی این معادلات در روابط (۱۴) و (۱۵) مشاهده می‌شود [۹].

$$Q - W = \sum_{out}(\dot{m}^o h) - \sum_{in}(\dot{m}^o h) \quad (14)$$

$$\sum \left(1 - \frac{T_0}{T}\right) Q - W + \sum_{in}(\dot{m}^o e) - \sum_{out}(\dot{m}^o e) - E_D = 0 \quad (15)$$

همچنین ضریب عملکرد سیستم تراکمی از رابطه (۱۶) محاسبه می‌شود.

$$COP_c = \frac{Q_{eva}}{W_{elec} + W_{fan} + W_{building}} \quad (16)$$

راندمان انرژی کل سیستم از رابطه (۱۷) محاسبه می‌شود.

$$1 - \frac{ED}{\dot{E}X_{in,tot}} = \frac{\dot{E}X_{out,tot}}{\dot{E}X_{in,tot}} \quad (17)$$

در سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی اتلافات انرژی، انرژی ورودی کلی و انرژی خروجی کلی به ترتیب به صورت روابط (۱۸)، (۱۹) و (۲۰) محاسبه می‌شود.

$$ED_{tot} = ED_{eva} + ED_{con} + ED_{com} + ED_{exp} + ED_{Building} + ED_{PVT} + ED_{pump} + ED_{Boiler} + ED_{HEX} \quad (18)$$

$$\dot{E}X_{in,tot} = W_{tot} + \dot{m}_{Boiler}(h_{in,Boiler} - h_{out,Boiler}) - T_0(\dot{S}_{in,Boiler} - \dot{S}_{out,Boiler}) + \dot{m}_{DHW} \times (h_{in,DHW} - h_{out,DHW}) - T_0(\dot{S}_{in,DHW} - \dot{S}_{out,DHW}) + \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}}\right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}}\right)\right] \times I(t) \times A_C \quad (19)$$

$$\dot{E}X_{out,tot} = \frac{\dot{E}PVT}{I \times A_C} + \dot{m}C_p(T_{W,out} - T_{W,in}) \left(1 - \left(\frac{T_{amb}}{T_{W,out}}\right)\right) \quad (20)$$

پارامترهای مورد نیاز در محاسبات انرژی و انرژی پنل‌های فتوولتائیک حرارتی در جدول ۱ آورده شده است.

۲-۳-۲- آنالیز ترمودینامیکی سیستم ترکیبی چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت

در آنالیز ترمودینامیکی کلکتورهای صفحه تخت، انرژی مفید حاصل از هر کلکتور صفحه تخت از رابطه (۲۱) محاسبه می‌شود. قابل ذکر است با توجه به مجموع ۱۰۵ عدد کلکتور صفحه تخت موجود در پشت بام ساختمان مورد بررسی، مقدار به دست آمده از رابطه (۲۱) در مجموع کلکتورهای موجود ضرب می‌شود [۱۰].

$$\dot{Q}_u = A_C(S - U_L(T_P - T_{amb})) \quad (21)$$

$$S = \eta_0 \times I \quad (22)$$

لازم به ذکر است که η_0 در رابطه فوق، راندمان مرجع در کلکتورهای صفحه تخت است. در رابطه (۲۱) برای محاسبه ضریب اتلاف حرارتی از رابطه (۲۳) استفاده می‌شود. مقدار ضریب اتلاف حرارتی در واقع

در پشت بام ساختمان برای محاسبه توان کلی پنل‌ها، توان محاسبه شده در تعداد پنل‌ها ضرب می‌شود [۸].

$$\dot{E}_{PVT} = I \times \tau_g \times \alpha \times p_a \times A_C \times \eta_r \left(1 - \beta_r(T_{PVT} - T_r)\right) \quad (1)$$

برای محاسبه دمای سیال خروجی از پنل‌های فتوولتائیک حرارتی از رابطه (۲) استفاده می‌شود که این رابطه وابسته به دمای سیال ورودی به پنل‌ها است [۸].

$$T_{W,out} = \left[T_{amb} - T_{W,in} + \frac{(\alpha\tau) \times I}{U_L}\right] \times \frac{F_R \times U_L \times A_C}{\dot{m} \times C_p} + T_{W,in} \quad (2)$$

با استفاده از رابطه (۳)، راندمان حرارتی پنل‌ها محاسبه می‌شود [۸].

$$\eta_{thermal} = \frac{\dot{m} \times C_p(T_{W,out} - T_{W,in})}{I \times A_C} \quad (3)$$

با به کارگیری رابطه (۱)، تابش خورشید و مساحت پنل فتوولتائیک حرارتی راندمان الکتریکی از رابطه (۴) محاسبه می‌شود [۸].

$$\eta_{elec} = \frac{\dot{E}_{PVT}}{I \times A_C} \quad (4)$$

راندمان کلی پنل فتوولتائیک حرارتی از مجموع رابطه‌های (۳) و (۴) به دست می‌آید [۸].

$$\eta_{PVT} = \eta_{thermal} + \eta_{elec} \quad (5)$$

کسر خورشیدی در سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی از رابطه (۶) به دست می‌آید.

$$S.F = \frac{Q_{DHW,1} + \dot{E}_{PVT}}{W_{tot} + Q_{DHW}} \quad (6)$$

در رابطه فوق، $Q_{DHW,1}$ مقدار حرارتی است که توسط خورشید برای آب گرم مصرفی قابل تامین است. انرژی ورودی به پنل‌های فتوولتائیک بر اساس دمای محیط، دمای خورشید، تابش و مساحت سطح پنل از رابطه (۷) محاسبه می‌شود.

$$\dot{E}X_{in} = \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}}\right)^4 - \frac{4}{3} \left(\frac{T_{amb}}{T_{sun}}\right)\right] \times I \times A_C \quad (7)$$

با استفاده از دمای خروجی محاسبه شده در رابطه (۲)، انرژی حرارتی نیز به دست می‌آید.

$$\dot{E}X_{thermal} = \dot{m}C_p(T_{W,out} - T_{W,in}) \left(1 - \left(\frac{T_{amb}}{T_{W,out}}\right)\right) \quad (8)$$

انرژی الکتریکی با استفاده از توان تولیدی پنل فتوولتائیک حرارتی که در رابطه (۱) محاسبه شد، به دست می‌آید [۸].

$$\dot{E}X_{elec} = \dot{E}_{PVT} - P_{pump} \quad (9)$$

از روابط (۷) و (۸)، راندمان حرارتی قانون دوم ترمودینامیک نیز محاسبه می‌شود.

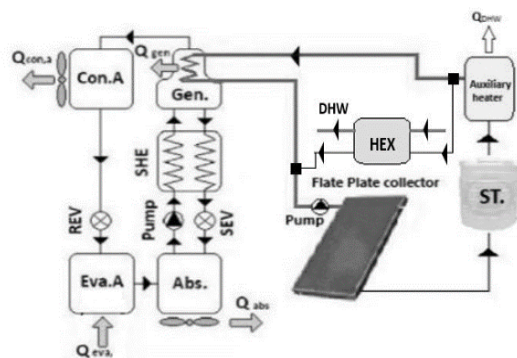
$$\eta_{Ex,thermal} = \frac{\dot{E}X_{thermal}}{\dot{E}X_{in}} \quad (10)$$

همچنین از روابط (۷) و (۹)، راندمان الکتریکی قانون دوم ترمودینامیک محاسبه می‌شود.

$$\eta_{Ex,elec} = \frac{\dot{E}X_{elec}}{\dot{E}X_{in}} \quad (11)$$

راندمان انرژی کل از مجموع روابط (۱۰) و (۱۱) به دست می‌آید [۸].

$$\eta_{Ex} = \eta_{Ex,thermal} + \eta_{Ex,elec} \quad (12)$$



شکل ۲ شماتیکی از سیستم ترکیبی چیلر جذبی با کلکتورهای صفحه تخت

جدول ۱) مقادیر مورد نیاز در محاسبات پنل‌های فتوولتائیک حرارتی [8]

پارامترهای مورد نظر	مقادیر	واحد
تابش (I(t))	۸۰۰	W/m ²
ضریب عبور شیشه (τ _g)	۰/۹۲	-
ضریب جذب (α)	۰/۹	-
ضریب فشرده‌گی (pa)	۰/۹	-
مساحت (A _c)	۰/۵۵۶۲	m ²
راندمان مرجع (η _r)	۰/۱۵	-
ضریب دمایی مرجع (β _r)	۰/۰۰۴۵	-
دمای فتوولتائیک (T _{pvt})	۳۶	°C
دمای مرجع (T _r)	۲۵	°C
دمای محیط (T _{amb})	۲۷	°C
دمای خورشید (T _{sun})	۵۵۰۵	°C
دبی جرمی (ṁ)	۰/۰۰۵	Kg/s

جدول ۲) مقادیر مورد نیاز در محاسبات کلکتورهای صفحه تخت [10]

پارامترهای مورد نظر	مقادیر	واحد
مساحت (A _c)	۱/۵۹۱	m ²
راندمان مرجع (η ₀)	۰/۷۶	-
ضخامت (δ _b)	۵	cm
دمای صفحه (T _p)	۸۸	°C
دمای سیال ورودی (T _{f.in})	۸۲	°C
دمای مرجع (T ₀)	۲۷	°C

ضریب عملکرد سیستم جذبی به صورت رابطه (۳۷) است.

$$COP_A = \frac{Q_{eva}}{Q_{gen} + W_{pump}} \quad (37)$$

در سیستم ترکیبی چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت اتلافات انرژی، انرژی ورودی کلی و انرژی خروجی کلی به ترتیب به صورت روابط (۳۸)، (۳۹) و (۴۰) محاسبه می‌شود.

$$ED_{tot} = I_{rev} + I_{con} + I_{gen} + I_{SHE} + I_{pump} + I_{sev} + I_{abs} + I_{eva} + I_{FPC} + I_{Boiler} + I_{ST} + I_{HEX} \quad (38)$$

$$\dot{E}X_{in,tot} = \dot{m}_{gen}(h_{in,gen} - h_{out,gen}) - T_0(S_{in,gen} - S_{out,gen}) + W_{tot} + A_p \times I(t) \times \left(1 - \frac{T_{amb}}{T_{sun}}\right) \quad (39)$$

حاصل جمع ضرایب اتلاف حرارت از سطوح بالا و پایین کلکتور است که این دو مقدار با استفاده از روابط (۲۴) و (۲۵) به دست می‌آید [10].

$$U_L = U_t + U_b \quad (23)$$

$$U_t = \frac{\dot{Q}_{t,l}}{T_p - T_{amb}} \quad (24)$$

$$U_b = \frac{K_l}{\delta_b} \quad (25)$$

در محاسبه نرخ انتقال حرارت از بالای صفحه و دمای آسمان با استفاده از روابط (۲۶) و (۲۷) محاسبه می‌شود [10].

$$\dot{Q}_{t,l} = h_{wind}(T_{co} - T_{amb}) + \sigma \times \varepsilon_g \times ((T_{co})^4 - (T_{sky})^4) \quad (26)$$

$$T_{sky} = T_{amb} - 6 \quad (27)$$

با استفاده از رابطه (۲۱) راندمان حرارتی کلکتورهای صفحه تخت از رابطه (۲۸) محاسبه می‌شود. راندمان انرژی و دمای سیال خروجی از کلکتورهای صفحه تخت به ترتیب از معادلات (۲۹) و (۳۰) محاسبه می‌شود [10].

$$\eta_{thermal} = \frac{\dot{Q}_u}{A_p \times I} \quad (28)$$

$$\eta_{ex} = \frac{\dot{m} \times C_p [(T_{f,out} - T_{f,in}) - (T_{amb} \ln \frac{T_{f,out}}{T_{f,in}})]}{A_p \times I \times (1 - \frac{T_{amb}}{T_{sun}})} \quad (30)$$

$$T_{f,out} = \frac{\dot{Q}_u}{\dot{m} \times C_p} + T_{f,in} \quad (31)$$

کسر خورشیدی در سیستم ترکیبی چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت حرارتی از رابطه (۳۱) محاسبه می‌شود.

$$S.F. = \frac{\dot{Q}_{DHW,1} + \dot{Q}_u}{\dot{Q}_{DHW} + \dot{Q}_{gen}} \quad (32)$$

اتلافات انرژی در کلکتورهای صفحه تخت از مجموع اتلافات انرژی در کلکتورهای صفحه تخت ناشی از اختلاف دمای جاذب کلکتور و درجه حرارت تابش خورشید، اتلافات انرژی از اتلافات حرارتی و اتلافات انرژی از اتلافات حرارتی بین صفحه جاذب و سیال کاری به دست می‌آید [10].

$$\dot{E}X_D = \dot{E}X_{D,s,p} + \dot{E}X_{D,leakage} + \dot{E}X_{D,p,f} \quad (33)$$

اتلافات انرژی در کلکتورهای صفحه تخت ناشی از اختلاف دمای جاذب کلکتور و درجه حرارت تابش خورشید به صورت رابطه (۳۴) است [10].

$$\dot{E}X_{D,s,p} = A_c \times I \left[1 - \eta_0 + \eta_0 \left(\frac{T_0}{T_p} \right) - \left(\frac{T_0}{T_s} \right) \right] \quad (34)$$

اتلافات انرژی از اتلافات حرارتی از رابطه (۳۵) محاسبه می‌شود [10].

$$\dot{E}X_{D,leakage} = U_L \times A_c (T_p - T_0) \left(1 - \left(\frac{T_0}{T_p} \right) \right) \quad (35)$$

اتلافات انرژی از اتلافات حرارتی بین صفحه جاذب و سیال کاری از رابطه (۳۶) محاسبه می‌شود [10].

$$\dot{E}X_{D,p,f} = \dot{m} \times C_p \times T_0 \times \left[\ln \frac{T_{f,out}}{T_{f,in}} - \left(\frac{T_{f,out} - T_{f,in}}{T_p} \right) \right] \quad (36)$$

پارامترهای مورد نیاز در محاسبات انرژی و انرژی کلکتورهای صفحه تخت در جدول ۲ ارائه شده است.

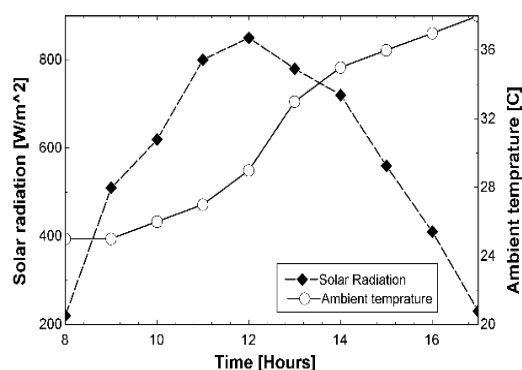
جدول ۴) مقادیر مورد نیاز در محاسبات اقتصادی کلکته‌های صفحه تخت و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی [11, 16, 17]

پارمترهای مورد نظر	تجهیز مربوطه	مقادیر	واحد
هزینه اولیه	پنل‌های فتوولتائیک حرارتی	۲۱۶۰۷	دلار
	کلکته‌های صفحه تخت	۱۱۳۴	دلار
هزینه تعمیر و نگهداری و پمپ	پنل‌های فتوولتائیک حرارتی	۲۵۷۳	دلار
	کلکته‌های صفحه تخت	۵۸۱۳	دلار
هزینه عملیاتی	پنل‌های فتوولتائیک حرارتی	۱۰۸۰	دلار
	کلکته‌های صفحه تخت	۱۵۵۰	دلار
نرخ بهره (i)		۱۰	%
نرخ تورم (f)		۰/۰۲۵	%
عمر سیستم (n)		۲۵	سال

۳- نتایج و بحث

در بررسی هر دو سیستم مورد مطالعه در این مقاله دمای اواپراتور ۵۰ درجه سانتی‌گراد در نظر گرفته شده است. همچنین دمای ژنراتور در چیلر جذبی مورد مطالعه در این تحقیق برابر با ۸۵ درجه سانتی‌گراد فرض شده است. این فرض برای سیستم‌های جذبی لیتیم‌برمایدی خورشیدی که در آنها امکان تامین دمای بالا وجود ندارد، فرضی قابل قبول است [18, 19]. هزینه حامل‌های انرژی در ایران ۰/۰۸۸ دلار به ازای هر متر مکعب گاز مصرفی و ۰/۰۲۳۸ دلار به ازای هر کیلووات‌ساعت الکتریسیته مصرفی است [20].

در نمودار ۱، میانگین تابش و دمای محیط در ساعات مختلف بر اساس کار دویی و تیواری [11] نمایش داده شده است. این نمودار برای هر شهر و در ماه‌های مختلف سال قابل تغییر است. قابل ذکر است که محاسبات در قسمت خورشیدی برای تابش 800 W/m^2 و دمای محیط ۲۷ درجه سانتی‌گراد انجام گرفته است.



نمودار ۱) متوسط تغییرات ساعتی دمای محیط و تابش خورشید [11]

در نمودار ۲، تغییرات ضریب عملکرد چیلرهای جذبی و تراکمی با تغییر دمای محیط نشان داده شده است. همان طور که انتظار می‌رود با افزایش دمای محیط، ضریب عملکرد چیلرها کاهش

$$\begin{aligned}
 & +\dot{m}_{Boiler}(h_{in.Boiler} - h_{out.Boiler}) - \\
 & T_0(S_{in.Boiler} - S_{out.Boiler}) + Q_{Boiler} \times \left(1 - \frac{T_0}{T_{Boiler}}\right) \\
 & +\dot{m}_{DHW} \times (h_{in.DHW} - h_{out.DHW}) - \\
 & T_0(S_{in.DHW} - S_{out.DHW}) \\
 & \dot{E}X_{out,tot} = Q_{eva} \times \left(1 - \frac{T_0}{T_{cold}}\right) + \dot{m} \times \\
 & C_p \left[(T_{f,out} - T_{f,in}) - \left(T_{amb} \ln \frac{T_{f,out}}{T_{f,in}} \right) \right] \quad (40)
 \end{aligned}$$

۴-۲- آنالیز اقتصادی

آنالیز اقتصادی سیستم‌ها در عمر مفید آنها به صورت مجموع هزینه اولیه، هزینه تعمیر و نگهداری و هزینه عملیاتی است که در این پژوهش هزینه چرخه زندگی سالانه سیستم‌ها محاسبه شده است. در این روش از تقسیم هزینه‌های به دست آمده در عمر مفید سیستم‌ها بر فاکتور ارزش فعلی هزینه‌ها، هزینه چرخه زندگی سالانه به دست می‌آید. قابل ذکر است که هزینه عملیاتی در چیلر تراکمی شامل هزینه برق مصرفی و گاز مصرفی است که هزینه گاز مصرفی در هزینه عملیاتی بویلر اعمال شده است. همچنین در چیلر جذبی، هزینه عملیاتی شامل گاز مصرفی است که همانند چیلر تراکمی این هزینه در هزینه عملیاتی بویلر اعمال شده است. هزینه تعمیر و نگهداری تجهیزات شامل ۱۰٪ هزینه اولیه تجهیزات است.

در پنل‌های فتوولتائیک حرارتی و کلکته‌های صفحه تخت، برای به دست آوردن ارزش فعلی سیستم از رابطه (۴۱) استفاده می‌شود [11].

$$per = p + R_1 \left[\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] - OC \left[\frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (41)$$

همچنین هزینه سالیانه سیستم به صورت رابطه (۴۲) محاسبه می‌شود [11].

$$AC = per \times \left[\frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \right] \quad (42)$$

برای تبدیل هزینه‌های سال‌های قبل به هزینه‌های امروز از رابطه‌های (۴۱) و (۴۲) استفاده می‌شود [12].

$$F = P(1 + i_f)^{n-1} \quad (43)$$

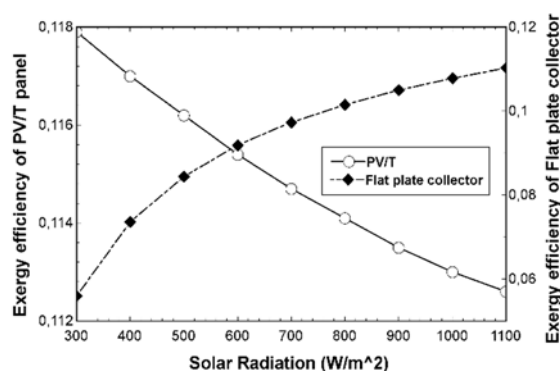
$$i_f = i + f + (i \times f) \quad (44)$$

در جدول‌های ۳ و ۴ هزینه سرمایه‌گذاری اولیه، هزینه تعمیر و نگهداری و پمپ به ازای ۲۸۸ پنل فتوولتائیک حرارتی و ۱۰۵ کلکته صفحه تخت آورده شده است. همچنین نرخ بهره، نرخ تورم و عمر سیستم نیز به منظور محاسبات اقتصادی مشخص شده است.

جدول ۳) مقادیر مورد نیاز در محاسبات اقتصادی [13-15] (هزینه‌ها بر حسب دلار است)

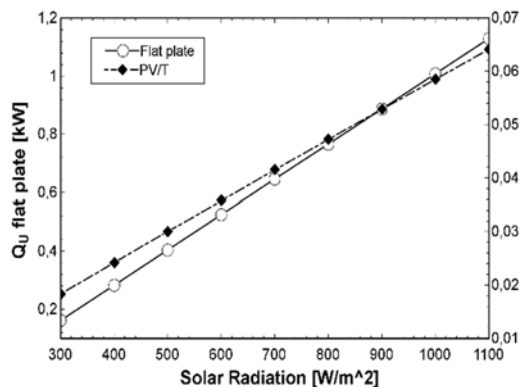
تجهیزات	هزینه اولیه	هزینه تعمیر و نگهداری	هزینه عملیاتی
چیلر تراکمی	۲۰۴۲	۲۷۰۴	۱۵۴۷
بویلر FPC	۲۹۰۶۷	۲۹۰۷	۵۰۴۸
بویلر PVT	۲۹۰۶۷	۲۹۰۷	۷۰۳۱
چیلر جذبی	۱۳۶۰۴	۱۳۶۰	-

در نمودار ۴، اثر افزایش تابش خورشید بر راندمان آگزرژی کلکتورهای فتوولتائیک حرارتی و صفحه تخت بررسی شده است. در کلکتورهای صفحه تخت با افزایش تابش دمای سیال خروجی از کلکتور، در حال افزایش است و این امر سبب اختلاف بیشتر دمای سیال ورودی و سیال خروجی از کلکتور و افزایش آگزرژی ورودی به سیستم (صورت کسر در رابطه ۲۴) می‌شود. همچنین راندمان آگزرژی کلکتورهای صفحه تخت بیشتر خواهد شد و در پنل‌های فتوولتائیک حرارتی با افزایش تابش، بازده آگزرژی الکتریکی به علت افزایش دمای پنل‌ها و کاهش انرژی تولیدی سیستم کاهش می‌یابد، در حالی که این امر سبب افزایش راندمان آگزرژی حرارتی پنل‌ها می‌شود. با این حال، اثر کاهش راندمان آگزرژی الکتریکی غالب است که سبب کاهش راندمان آگزرژی کل سیستم می‌شود.



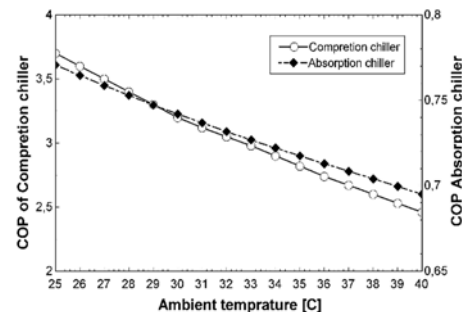
نمودار ۴) تغییرات راندمان آگزرژی کلکتورهای صفحه تخت و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی با تابش خورشید

اثر افزایش تابش خورشید بر انرژی تولیدی کل کلکتورهای صفحه تخت و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی در نمودار ۵ نمایش داده شده است. همان گونه که انتظار می‌رود به علت رابطه مستقیم تابش خورشید با انرژی تولیدی در کلکتورهای صفحه تخت و فتوولتائیک حرارتی، شیب نمودار صعودی بوده و انرژی تولیدی در کلکتورها در حال افزایش است.



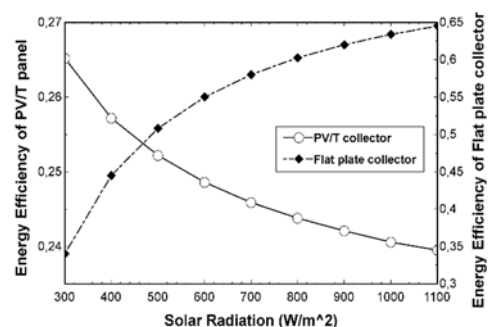
نمودار ۵) اثر تابش خورشید بر انرژی تولیدی پنل‌های فتوولتائیک حرارتی و کلکتورهای صفحه تخت

می‌یابد. با افزایش دمای محیط، اختلاف دمای بین دو منبع سرد و گرم که سیکل سرمایش بین آن دو کار می‌کند، افزایش یافته و این افزایش اختلاف دما سبب می‌شود که ضریب عملکرد آن کاهش یابد. بنابراین، برای تولید میزان ثابتی از بار سرمایشی، باید توان بیشتری توسط هر دو چیلر مصرف شود.



نمودار ۶) تغییرات ضریب عملکرد چیلرهای جذبی و تراکمی با تغییر دمای محیط

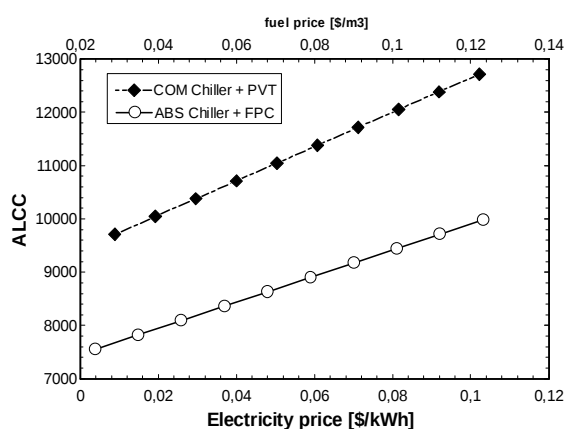
در نمودار ۳، تغییرات راندمان انرژی کلکتورهای صفحه تخت و پنل‌های فتوولتائیک با تغییرات تابش خورشید مشاهده می‌شود. همان طور که در پنل‌های فتوولتائیک حرارتی انتظار می‌رود، با افزایش تابش خورشید، انرژی الکتریکی تولیدی سیستم افزایش می‌یابد. همچنین طبق رابطه (۲) با افزایش تابش، اختلاف دمای سیال ورودی و خروجی از پنل‌ها نیز افزایش می‌یابد. به عبارت دیگر، انرژی حرارتی تولیدی PVT نیز افزون می‌شود. از سوی دیگر، به دلیل افزایش دمای پنل و افزایش اتلافات حرارتی، راندمان الکتریکی پنل‌های فتوولتائیک حرارتی شیب کاهشی خواهد داشت. در ضمن، تاثیر افزایش اختلاف دمای سیال ورودی و خروجی از پنل‌ها نسبت به تاثیر افزایش تابش خورشید (مخرج کسر در رابطه ۳) کمتر است. این امر سبب کاهش راندمان حرارتی سیستم و در نهایت کاهش راندمان انرژی کلی پنل‌های فتوولتائیک حرارتی می‌شود. در کلکتورهای صفحه تخت با افزایش تابش حرارت تولیدی افزایش و اتلافات حرارتی سیستم نیز افزایش می‌یابد. تاثیر افزایش انرژی ورودی در کلکتورهای صفحه تخت بیش از تاثیر افزایش اتلافات حرارتی است که این امر باعث افزایش راندمان انرژی کلکتورهای صفحه تخت خواهد شد.



نمودار ۳) تغییرات راندمان انرژی کلکتورهای صفحه تخت و پنل‌های فتوولتائیک با تابش خورشید

در تحلیل اقتصادی سیستم‌های بررسی‌شده در این پژوهش بر اساس قیمت‌های ارایه‌شده در جدول ۳ و ۴ و همچنین قیمت حامل‌های انرژی هزینه سالیانه هر دو سیستم ترکیبی محاسبه شده است. با توجه به روند حذف یارانه‌های حامل‌های انرژی و در راستای اصل هدفمندسازی یارانه‌ها، افزایش قیمت حامل‌های انرژی، امری اجتناب‌ناپذیر است.

در نمودار ۷، اثر افزایش قیمت حامل‌های انرژی از نرخ‌های کنونی موجود در ایران تا افزایش این قیمت‌ها تا رسیدن به قیمت‌های جهانی در آمریکا بر هر دو سیستم، مورد بررسی قرار گرفته است. همان‌گونه که انتظار می‌رود، با افزایش قیمت حامل‌های انرژی، هزینه‌های چرخه زندگی سالانه (ALCC) در هر دو سیستم افزایش می‌یابد. اما همچنان سیستم چیلرهای جذبی ترکیب‌شده با کلکتورهای صفحه تخت اقتصادی‌تر است.



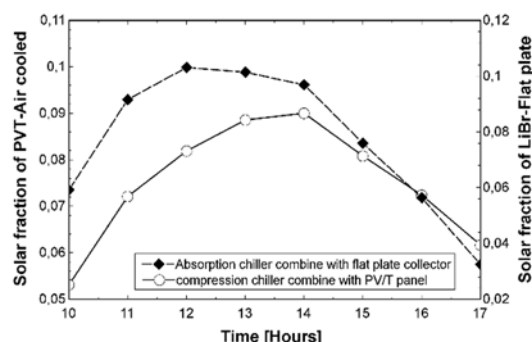
نمودار ۷) اثر افزایش قیمت حامل‌های انرژی بر هزینه سالانه سیستم‌ها در عمر مفید آنها

۴- جمع‌بندی

در این پژوهش دو سیستم سرمایه‌گذاری کمک خورشیدی برای یک ساختمان اداری پیشنهادی با استفاده از نرم‌افزار EES شبیه‌سازی شده‌اند. سیستم اول ترکیبی از چیلر تراکمی و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی است. از سوی دیگر، سیستم دوم ترکیبی از چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت ایجاد شده است. این دو سیستم از نظر قانون اول و دوم ترمودینامیک و نیز از دیدگاه اقتصادی با یکدیگر مقایسه شده‌اند. در مقایسه صورت‌گرفته، سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی اقتصادی‌تر است. سایر دستاوردهای این پژوهش را به اختصار می‌توان اینگونه بیان کرد که:

- در پنل‌های فتوولتائیک حرارتی با افزایش تابش، دمای پنل‌ها نیز افزایش می‌یابد و این امر سبب کاهش راندمان انرژی در پنل‌های فتوولتائیک حرارتی می‌شود. همچنین افزایش تابش سبب افزایش حرارت تولیدی در کلکتورهای حرارتی صفحه تخت می‌شود که این امر باعث افزایش راندمان انرژی در آنها می‌شود.
- در کلکتورهای صفحه تخت به دلیل افزایش دمای سیال خروجی از کلکتورها در اثر افزایش تابش، اختلاف دمای سیال ورودی و

در نمودار ۶، نسبت انرژی تامین‌شده توسط تابش خورشید به انرژی مورد نیاز برای تامین بار سرمایشی ساختمان و حرارت مورد نیاز برای تامین آب گرم مصرفی برای سیستم ترکیبی پیشنهادی مورد بررسی قرار گرفته است. این نسبت در دماهای محیط و تابش‌های مختلف بر اساس نمودار ۱ به‌دست آمده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود در ساعت ۱۲ ظهر و در دمای محیط ۲۹ درجه سانتی‌گراد برای سیستم ترکیبی چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت و در ساعت ۱۴ بعد از ظهر و در دمای محیط ۳۶ درجه سانتی‌گراد برای سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی، بیشترین میزان کسر خورشیدی حاصل می‌شود.



نمودار ۶) تغییرات کسر خورشیدی بر حسب زمان برای هر دو سیستم ترکیبی

در جدول ۵، نتایج حاصل از محاسبات راندمان انرژی، راندمان انرژی، اتلافات انرژی، COP و ALCC سیستم‌های ترکیبی چیلر تراکمی و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی و نیز چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت آورده شده است. در حالی که COP سیستم تراکمی به‌صورت چشمگیری از سیستم جذبی بیشتر است، با این وجود چون هر دو سیستم قادر به تامین توان سرمایشی یکسانی هستند، بنابراین سیستمی مناسب‌تر است که هزینه کمتری را در بر داشته باشد. سیستم‌های ترکیبی چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت با توجه به هزینه سالیانه کمتری که دارند در حال حاضر سیستم‌های کارآمدتری خواهند بود. شایان ذکر است که پیشرفت تکنولوژی ساخت سیستم‌های PVT که منجر به کاهش هزینه تمام‌شده این سیستم‌ها می‌شود، می‌تواند در نتایج به‌دست‌آمده از این تحقیق در سال‌های آینده تاثیر بگذارد.

جدول ۵) راندمان انرژی، انرژی، اتلافات انرژی، ضریب عملکرد و ALCC

تجهیزات	راندمان انرژی	راندمان انرژی	اتلافات انرژی (kW)	COP	ALCC (\$)
چیلر تراکمی	-	۰/۰۶۳	۱۷/۱۷	۳/۵	۹۷۱۰
پنل‌های فتوولتائیک حرارتی	۰/۲۴۳۸	۰/۱۱۴۱	۱۰۵/۷	-	-
چیلر جذبی	-	۰/۱۹۹	۱۱/۷۳	۰/۷۱	۷۶۴۹
کلکتورهای صفحه تخت	۰/۶۰۲۶	۰/۱۰۱۵	۲۰۱/۵	-	-

الکتریکی	elec
اگرزری	Ex
سیال	f
ورودی	in
خروجی	out
صفحه	p
مرجع	r
خورشید	Sun
حرارتی	thermal
سیال	w

منابع

- 1- Allouhi A, Kousksou T, Jamil A, Bruel P, Mourad Y, Zeraoul Y. Solar driven cooling systems: An updated review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2015;44:159-181.
- 2- Zhai XQ, Wang RZ. A review for absorbtion and adsorbtion solar cooling systems in China. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2009;13(6-7):1523-1531.
- 3- Montagnino FM. Solar cooling technologies. Design, application and performance of existing projects. *Solar Energy*. 2017;154:144-157.
- 4- Zinian H, Ning Z. A solar absorption air-conditioning plant using heat-pipe evacuated tubular collectors. In: Grossman G. 1999 ISES Solar World Congress. 1st Edition. Pergamon: Pergamon; 1999.
- 5- Pongtornkulpanich A, Thepa S, Amornkitbamrung M, Butcher C. Experience with fully operational solar-driven 10-ton LiBr/H₂O single-effect absorption cooling system in Thailand. *Renewable Energy*. 2008;33(5):943-949.
- 6- Mazloumi M, Naghashzadegan M, Javaherdeh K. Simulation of solar lithium bromide-water absorption cooling system with parabolic trough collector. *Energy Conversion and Management*. 2008;49(10):2820-2832.
- 7- Popa V, Popa C. Theoretical analysis for solar driven mechanical refrigeration systems. *Energy Procedia*. 2017;112:442-449.
- 8- Yazdanifard F, Ebrahimnia-Bajestan E, Ameri M. Investigating the performance of a water-based photovoltaic/thermal (PV/T) collector in laminar and turbulent flow regime. *Renewable Energy*. 2016;99:295-306.
- 9- Hojjat Mohammadi SM, Ameri M. Energy and exergy analysis of a tri-generation water-cooled air conditioning system. *Energy and Buildings*. 2013;67:453-462.
- 10- Jafarkazemi F, Ahmadifard E. Energetic and exergetic evaluation of flat plate solar collectors. *Renewable Energy*. 2013;56:55-63.
- 11- Dubey S, Tiwari GN. Analysis of PV/T flat plate water collectors connected in series. *Solar Energy*. 2009;83(9):1485-1498.
- 12- Blank L, Tarquin A. *Engineering Economy*. 7th Edition. New York: McGraw-Hill; 2011.
- 13- Avaneasian T, Ameri M. Energy, exergy, and economic analysis of single and double effect LiBr-H₂O absorption chillers. *Energy and Buildings*. 2014;73:26-36.
- 14- damatajhz.com [Internet]. Tehran: Damatajhz; 2018 [cited 2018 Feb 11]. Available from: www.damatajhz.com.
- 15- Indochoiceindia.com [Internet]. Delhi: Indochoice Technologies; 2017 [cited 2018 Feb 22]. Available from: http://www.indochoiceindia.com/.

خروجی از کلتورهای صفحه تخت افزایش می‌یابد و این امر سبب افزایش راندمان اگرزری در کلکتورها می‌شود. همچنین در پنل‌های فتوولتائیک حرارتی با افزایش تابش، بازده اگرزری الکتریکی به علت افزایش دمای پنل‌ها و کاهش انرژی تولیدی سیستم کاهش می‌یابد. از سوی دیگر، افزایش تابش خورشید سبب افزایش راندمان اگرزری حرارتی پنل‌ها می‌شود. با این حال، اثر کاهشی راندمان اگرزری الکتریکی غالب است که سبب کاهش راندمان اگرزری کل سیستم می‌شود.

- در بررسی صورت‌گرفته روی کسر خورشیدی در سیستم ترکیبی چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت و نیز چیلر تراکمی و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی، مشخص شد بیشترین کسر خورشیدی برای سیستم ترکیبی چیلر جذبی و کلکتورهای صفحه تخت در دمای ۲۹ درجه سانتی‌گراد و در سیستم ترکیبی چیلر تراکمی و پنل‌های فتوولتائیک حرارتی در دمای ۳۶ درجه سانتی‌گراد رخ می‌دهد.

تشکر و قدردانی: نویسندگان موردی را بیان نکردند.

تأییدیه اخلاقی: نویسندگان موردی را بیان نکردند.

تعارض منافع: نویسندگان موردی را بیان نکردند.

سهم نویسندگان: نرگس صحرائیان (نویسنده اول)، پژوهشگر اصلی (۴۰٪)؛ سیدمحمدحجت محمدی (نویسنده دوم)، پژوهشگر اصلی (۳۰٪)؛ ابراهیم جهانشاهی‌جواران (نویسنده سوم)، پژوهشگر اصلی (۳۰٪)

منابع مالی: نویسندگان موردی را بیان نکردند.

۵- فهرست علائم

علائم لاتین

A	مساحت؛ m ²
C _p	ظرفیت حرارتی ویژه
$\dot{E}$	انرژی تولیدی؛ kW
$\dot{E}_X$	اگرزری؛ kW
F	هزینه آینده؛ \$
i	نرخ بهره
I	تابش؛ kW/m ²
m	دبی جرمی؛ kg/m ²
n	سال
OC	هزینه عملیاتی؛ \$
P	هزینه سال جاری؛ \$
pa	ضریب فشردگی
Q	انتقال حرارت؛ kW
R	هزینه تعمیرات و نگهداری؛ \$
T	دما؛ °C
W	توان مصرفی؛ kW

علائم یونانی

β	ضریب دمایی؛ K ⁻¹
η	راندمان

زیرنویس‌ها

amb	محیط
building	ساختمان

2008;28(8-9):1074-1081.

19- Aphornratana S, Sriveerakul T. Experimental studies of a single-effect absorption refrigerator using aqueous lithium-bromide: Effect of operating condition to system performance. *Experimental Thermal and Fluid Science*. 2007;32(2):658-669.

20- US Energy Information Administration (EIA). Electric power monthly with data for February 2018 [Report]. Washington: US Energy Information Administration (EIA); 2018 Apr.

16- Gaur A, Tiwari GN. Performance of photovoltaic modules of different solar cells. *Journal of Solar Energy*. 2013; Article ID 734581.

17- Fazelpour F, Morosuk T. Exergoeconomic analysis of carbon dioxide transcritical refrigeration machines. *International Journal of Refrigeration*. 2014;38:128-139.

18- Izquirdo M, Lizarte R, Marcos JD, Gutiérrez G. Air conditioning using an air-cooled single effect lithium bromide absorption chiller: Results of a trial conducted in Madrid in August 2005. *Applied Thermal Engineering*.