مجله مهندسی مکانیک مدرس، آذر 1396، دوره 17، شماره 9، ص‌ص 339-350

ماهنامه علمی پژوهشی

مهندسی مکانیک مدرس

mme.modares.ac.ir

ساخت و مدل‌سازی حرارتی کلکتورهای هوایی مشبک خورشیدی با صفحات جاذب فلزی (استیل) و غیرفلزی

فاطمه افضلی[1]، حسین امیری[2*]، وحید نخعی[1]، مهران عامری[3]

1- کارشناسی ارشد، مهندسی انرژی‌های تجدیدپذیر، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان

2- استادیار، مهندسی مکانیک، پژوهشگاه علوم و تکنولوژی پیشرفته و علوم محیطی، کرمان

3- استاد، مهندسی مکانیک، دانشگاه شهید باهنر کرمان، کرمان

* کرمان، صندوق پستی 117- 76315، h.amiri@kgut.ac.ir

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: 26 خرداد 1396

پذیرش: 22 مرداد 1396

ارائه در سایت: 17 شهریور 1396

کلید واژگان:

کلکتور خورشیدی

کلکتور مشبک بدون پوشش

هوا گرم‌کن

انرژی خورشیدی

صفحات جاذب غیرفلزی

چکیده

کلکتورهای هوایی مشبک بدون پوشش خورشیدی تکنولوژی‌های نسبتاً نوینی هستند که می‌توان از آن‌ها به‌منظور گرمایش ساختمان‌ها و فضاهای بزرگ، خشک‌کردن محصولات کشاورزی و صنعتی استفاده نمود. در این کلکتورها هوا به‌وسیله صفحات جاذب مشبک (سوراخ‌دار) معمولاً فلزی گرم می‌شود. هزینه خرید و آماده‌سازی صفحات جاذب سهم قابل‌توجهی از هزینه‌های این نوع از کلکتورها را به خود اختصاص می‌دهد. در تحقیق حاضر به‌صورت آزمایشگاهی و تئوری به بررسی و ارزیابی کارایی صفحات جاذب غیرفلزی موجود در بازار ایران به‌عنوان جایگزین صفحات جاذب استیل (فلزی) پرداخته‌شده است. بدین منظور سه کلکتور با صفحات جاذب استیل (فلزی)، پلی‌کربنات و پلاستیک - فشرده طراحی، ساخته و در سه دبی هوا مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. علاوه به راین یک مدل آنالیز حرارتی بر پایه قانون اول ترمودینامیک از رفتار این کلکتورها با در نظر گرفتن تمامی روش‌های انتقال حرارت (شامل رسانایی، جابجایی و تابش) توسعه داده شده و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده است. نتایج نشان دادند که در هر سه دبی مورد بررسی همخوانی بسیار خوبی بین نتایج تجربی و نتایج مدل آنالیز حرارتی وجود دارد به‌طوری‌که خطای نسبی متوسط در تخمین دمای خروجی از کلکتور برای اکثر شرایط کاری کمتر از 5 درصد بود. علاوه‌بر این، نتایج نشان داد اختلاف زیادی بین کارایی سه کلکتور خصوصاً برای دبی‌های کم وجود ندارد. با این وجود برای شرایط بررسی‌شده کلکتور استیل بهترین کارایی و کلکتور پلی‌کربنات پایین‌ترین کارایی را داشت. کارایی و بازده کلکتور پلاستیک‌فشرده بسیار نزدیک کلکتور استیل بود و با توجه به مزایای کلکتورهای غیرفلزی استفاده از آن به‌جای کلکتورهای فلزی پیشنهاد می‌شود.

Fabrication and Thermal Modeling of Unglazed Transpired Solar Air Heater Collectors with metallic (steel) and non-metallic absorber plates

Fatemeh Afzali[1], Hossein Amiri[1*], Vahid Nakhaei[1], Mehran Ameri[2]

1- Institute of Science and High Technology and Environmental Sciences, Graduate University of Advanced Technology, Kerman, Iran
2- Department of Mechanic Engineering, Shahid Bahonar University of Kerman, Kerman, Iran
* P.O.B. 76315-117, Kerman, Iran, h.amiri@kgut.ac.ir

ARTICLE INFORMATION

Original Research Paper
Received 16 June 2017
Accepted 13 August 2017
Available Online 08 September 2017

Keywords:
Unglazed Transpired Collectors
Air heaters
Solar Energy
Non-Metalic Absorber

ABSTRACT

Unglazed transpired solar air heater collectors are relatively new solar technologies that can be used for air heating or pre-heating ventilation air and drying agricultural and industrial products. Passing air through the perforated plate, which is usually metallic is the main mechanism of heat transfer. The cost of buying and preparing the absorber plate is the dominant share of costs allocated to this type of collector. In the present study, performance of non-metallic absorber plates available in the Iranian market, as an alternative to metal absorber plates are examined experimentally and theoretically. Therefore, three collectors with Metallic, Polycarbonate and Compressed-Plastic are designed, fabricated and tested in real conditions. In addition, a thermal model based on the first law of thermodynamics is developed for these collectors. In this model, all modes of heat transfer (including conduction, convection and radiation) are considered. Results show that there is a good agreement between experimental and theorical results (for most test conditions, average relative error in estimation of the outlet temperature of the collectors is less than 5%). The results showed that the performance of three collector's, especially for low mass flow rates, was not so different. However, for considered condition Steel (metallic) collector has the best performance and the polycarbonate collector the worse performance. The performance of the Compressed-plastic was close to the Steel collector and given the low cost of non-metallic collectors, it can be used as a convenient alternative to metal collectors.

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

F. Afzali, H. Amiri, V. Nakhaei, M. Ameri, Fabrication and Thermal Modeling of Unglazed Transpired Solar Air Heater Collectors with metallic (steel) and non-metallic absorber plates, *Modares Mechanical Engineering*, Vol. 17, No. 9, pp. 339-350, 2017 (in Persian)

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]

1- مقدمه

در دهه‌های اخیر، افزایش مصرف سوخت‌های فسیلی که موجب افزایش صدور گازهای گلخانه‌ای و دیگر آلودگی‌های زیست محیطی می‌شود از یک‌سو و مشکل رو به اتمام بودن منابع سوخت‌های فسیلی در آینده نزدیک از سوی دیگر، موجب شده در جهان رویکرد جدیدی نسبت به استفاده از منابع انرژی‌های تجدیدپذیر پیدا شود. یکی از اصلی‌ترین منابع انرژی تجدیدپذیر، انرژی خورشید است که منبع مستقیم تقریباً تمام انرژی‌های تجدیدپذیر می‌باشد. انرژی موجود در پرتوهای خورشید را می‌توان به روش‌های مختلفی استحصال کرد. یکی از تکنولوژی‌های مربوط در این زمینه، کلکتورهای خورشیدی می‌باشند. انواع کلکتورهای خورشیدی به سه دسته اصلی تقسیم می‌شوند که شامل کلکتورهای تخت، کلکتورهای تحت خلأ و کلکتورهای متمرکز کننده می‌باشند. از میان انواع کلکتور، کلکتورهای تخت ساده‌ترین و پرکاربردترین‌ها هستند.

کلکتورهای مشبک بدون پوشش (نفوذی) خورشیدی[1] که در اوایل دهه 1990 میلادی معرفی شدند [1]، نوعی هواگرم‌کن خورشیدی می‌باشند که استفاده از آن‌ها یکی از مؤثرترین روش‌های کاهش بار تهویه مطبوع در ساختمان‌هاست. علاوه بر این، از این کلکتورها می‌توان برای خشک‌کردن محصولات کشاورزی استفاده نمود. جزء اصلی این کلکتورها، صفحه جاذب مشبک معمولاً به رنگ تیره (سیاه) است که می‌تواند از جنس‌های مختلفی ساخته شود و منافذی به‌صورت شیار یا سوراخ بر روی آن ایجاد تعبیه می‌شود. عملکرد این کلکتورها بر پایه مکش هوا از درون منافذ صفحه جاذب به دلیل فشار منفی ایجاد شده توسط فن مکنده است که هوای مکیده شده، هنگام عبور از سوراخ‌ها گرمای صفحه را جذب کرده و توسط دمنده در ساختمان پخش می‌شود. به دلیل مکش هوا از روی صفحه جاذب، لایه مرزی بر روی این صفحه از بین رفته و تلفات حرارتی از این صفحه به‌طور قابل‌توجهی کاهش می‌یابد. در نتیجه، این کلکتورها برعکس کلکتورهای هوا گرم‌کن معمول، به پوشش شفاف نیاز ندارند. به همین دلیل، هزینه آن‌ها کمتر و دارای بالاترین راندمان برای گرمایش هوا می‌باشند [1]. با توجه به بازده بالا، این کلکتورها جایگزین خوبی برای کلکتورهای صفحه تخت هستند.

مطالعات متعددی بر روی کلکتورهای مشبک انجام شده است. بیشتر مطالعات انجام گرفته، بر روی انتقال حرارت موجود در صفحه مشبک متمرکز شده و هدف بیشتر کارهای پژوهشی انجام شده، بهبود انتقال حرارت این کلکتورها است. آرولاناندام و همکاران [2] با استفاده از شبیه‌سازی دینامیک سیالات بر روی یک صفحه با سوراخ‌هایی با الگوی مربعی در حالت بدون وزش باد رابطه‌ای را برای محاسبه ضریب مؤثر مبدل حرارتی به‌دست آورند و رابطه‌ای تجربی را برای محاسبه عدد ناسلت ارائه نمودند. فلک و همکاران [3] به‌صورت تجربی اثر باد بر روی کلکتورهای خورشیدی مشبک بدون پوشش را مورد مطالعه قرار دادند. گاولیک و همکاران [4] کلکتورهای مشبک با رسانایی حرارتی متفاوت (آلومینیوم و استایرین) را به‌صورت عددی و آزمایشگاهی مورد بررسی قرار دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که رسانایی مواد اثر کمی بر کارایی حرارتی این دستگاه‌ها دارد. لیون و کومار [1] با ارائه یک مدل ریاضی برای محاسبه حرارتی این دستگاه‌ها، اثر پارامترهای مختلف را مورد بررسی قرار دادند. مطهر [5] به بررسی کلکتورهای خورشیدی مشبک بدون پوشش بر پایه آنالیز اگزرژی پرداخت و دریافت که پارامترهای قطر، گام روزنه‌ها، شدت تابش و سرعت مکش، تأثیر معناداری در کارایی این کلکتورها دارند. غلامپور و عامری [6] به بررسی ملاحظات طراحی در کلکتورهای خورشیدی مشبک بدون پوشش بر پایه مطالعات اگزرژی و انرژی پرداختند و پارامترهای مؤثر در کارایی را مورد بررسی قراردادند. آن‌ها دریافتند که تحلیل اگزرژی در طراحی این کلکتورها دارای اهمیت فراوانی است. تاجدّران و همکاران [7] با استفاده از یک روش عددی، پارامترهای سرعت و جهت باد، جریان غیریکنواخت و مغشوش، شدت تابش و موقعیت خورشید و نرخ مکش جریان را بررسی کرده و نشان دادند که فاکتورهایی مثل زاویه باد، اثرات قابل توجهی بر عملکرد حرارتی این دستگاه‌ها دارد و اثر نسبت مکش در سرعت‌های باد پایین‌تر افزایش می‌یابد. همچنین نشان دادند، همان‌طور که انتظار می‌رود، با تغییر موقعیت خورشید در طول روز (ساعت روز)، دمای عملکرد کلکتور متفاوت خواهد بود. وزیری و همکاران [8] به‌صورت تجربی، عملکرد حرارتی هواگرم‌کن‌های خورشیدی مشبک با پوشش بارنگ‌های متفاوت داخلی کلکتور و یک کلکتور مشبک بدون پوشش بارنگ تیره مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها دریافتند که راندمان حرارتی کلکتور خورشیدی با پوشش حتی در روشن‌ترین رنگ از کلکتور بدون پوشش بیشتر است. کولینس و ابوالخیر [9] با استفاده از یک مدل سه بعدی به بررسی عددی کلکتورهای مشبک جدید با صفحات جاذب راه راه ذوزنقه‌ای پرداختند. باداچه و همکاران [10] به‌صورت عددی به شبیه‌سازی دوبعدی کلکتورهای هوایی مشبک خورشیدی بدون شیشه پرداختند. نتایج به‌دست آمده نشان داد که در دبی‌های کم انتقال حرارت از جلوی صفحه جاذب بیشترین سهم از انتقال حرارت به هوا را دارد ولی با افزایش دبی سهم انتقال حرارت از پشت صفحه افزایش می‌یابد. مروری بر مطالعات انجام شده بر روی کلکتورهای مشبک توسط شوکلا و همکاران [11] انجام شده است. آن‌ها در این تحقیق انواع مختلف این نوع از کلکتورها، اصول کارکرد، روش‌های مدل‌سازی و مطالعات انجام شده بر روی این کلکتورها را مرور کرده‌اند. همچنین یک سری بررسی‌های تئوری و آزمایشگاهی بر روی کلکتورهای مشبک بدون پوشش ترکیبی با پنل‌های فتوولتائیک صورت گرفته است. هالیک [12] گزارشی از یک پروژه تحقیقاتی جهت ارزیابی عملکرد کلکتورهای مشبک بدون پوشش خورشیدی ارائه داد. این گزارش نشان داد که پانل‌های فتوولتاییک نصب شده بر روی دستگاه‌های کلکتور مشبک عملکرد بهتری نسبت به دستگاه‌های معمول فتوولتاییک دارند. نوید و همکاران [13] عملکرد پانل‌های فتوولتاییک را در دو حالت معمول و نصب شده بر روی کلکتور مشبک را مقایسه کردند. آتینایتس و همکاران [14]دستگاه‌های کلکتور مشبک با و بدون پنل فتوولتاییک را به‌صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار دادند.

هرچند مطالعات زیادی در خصوص کلکتورهای هوایی مشبک خورشیدی صورت پذیرفته است ولی هنوز مسائل زیادی در مورد این کلکتورها باقی‌مانده که باید برطرف شوند. از موضوعاتی که در مورد این کلکتورها مطرح است هزینه نسبتاً زیاد صفحات جاذب و سوراخ‌کاری آن‌ها و مشکلات خوردگی صفحات و سنگین بودن مجموعه کلکتورهای فلزی می‌باشد. استفاده از صفحات جاذبی که به فراوانی در بازار موجود باشند و هزینه کمی داشته و سبک بوده و در برابر خوردگی مقاوم باشند، می‌تواند فراگیر شدن این نوع کلکتورها کمک کند. در همین راستا در تحقیق حاضر برای اولین بار کارایی کلکلتورهایی با صفحات جاذب پلاستیک فشرده و پلی‌کربنات که به فراوانی در بازار ایران در دسترس هستند با یکدیگر و با کلکتور با جنس صفحه جاذب استیل (فلزی) مقایسه شده‌اند. این دو کلکتور نسبت به کلکتورهای فلزی دارای سه ویژگی سبک بودن، کم هزینه بودن و ضدزنگ بودن هستند. علاوه براین یک مدل براساس آنالیز حرارتی بر پایه قانون اول ترمودینامیک برای پیش‌بینی رفتار این کلکتورها با در نظر گرفته

[1] Unglazed Transpired Solar Air Heater Collectors

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]

[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]

تمامی روش‌های انتقال حرارت توسعه داده شده است. با این مدل اثر جنس (ضریب هدایت حرارتی) صفحات جاذب، دبی مکش و شدت تابش، بر راندمان و عملکرد حرارتی کلکتورها موردبررسی قرار گرفته و نتایج با داده‌های تجربی مقایسه شده است.

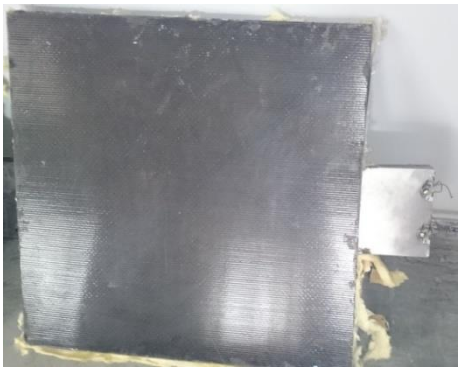
2- ساخت و آزمایش کلکتورها

اجزای اصلی کلکتور مشبک خورشیدی، صفحه جاذب مشبک، صفحه پشتی، فن (مکنده) و قاب نگه‌دارنده (فریم) می‌باشند. صفحه جاذب و صفحه پشتی به‌وسیله فریم فلزی به‌صورت موازی با یکدیگر قرار گرفته و از اطراف عایق‌کاری می‌شوند. به فضای بین دو صفحه، فضای "پر" یا "پلنوم"[1] می‌گویند و از آن‌جایی‌که عمق پلنوم بر افت فشار اصطکاکی تأثیرگذار است باید به‌گونه‌ای انتخاب شود که این افت به حداقل برسد. یکی دیگر از اجزای اصلی این کلکتورها، فن مکنده است که دبی جریان و افت فشار در صفحه جاذب، توسط آن تنظیم می‌شود. برای ایجاد جریان یکنواخت افت فشار باید حداقل 25 پاسکال بر روی صفحه جاذب باشد [15]. مهم‌ترین جزء یک کلکتور خورشیدی مشبک، صفحات جاذب آن هستند. معمولاً به‌دلیل ضریب رسانایی خوب فلزات، این صفحات از جنس فلز (آهن ضدزنگ یا استیل) سیاه شده ساخته می‌شوند. همان‌طور که در مقدمه گفته شد به دلیل مشکلات موجود این صفحات، در این تحقیق چند صفحه جاذب مختلف به‌عنوان جایگزین صفحات جاذب فلزی مورد ارزیابی قرار می‌گیرند.

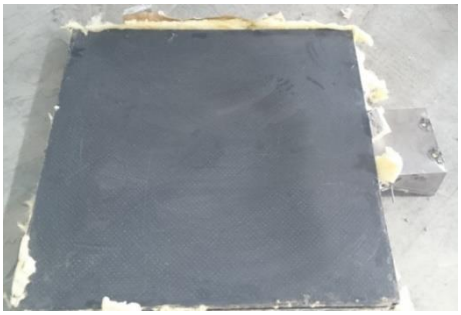
با توجه به بررسی‌های انجام شده بر روی صفحه‌های موجود در بازار دو صفحه با جنس‌های پلی‌کربنات و پلاستیک فشرده انتخاب شده که رنگ هر دو صفحه تیره و جاذب نور هستند. بعد از تهیه این صفحات، سطح آن‌ها با استفاده از مته فولادی برای سوراخ‌کاری ابزار دقیق، سوراخ شده است. چیدمان سوراخ‌ها مثلثی است و با فاصله 12 میلی‌متر از یکدیگر قرار گرفته‌اند. بعد از ساخت صفحات جاذب، این صفحات در قاب فلزی آماده شده، قرار داده و بعد از عایق‌بندی از جهت نشت هوا، ازنظر حرارتی هم با استفاده از پشم شیشه عایق‌بندی شده‌اند. به‌منظور ارزیابی این دو کلکتور، یک کلکتور استیل با همان مشخصات هندسی ساخته و بارنگ سیاه کوره‌ای (ضدانعکاسی) رنگ شده است. مشخصات ترموفیزیکی و هندسی این کلکتورها در جدول 1 ارائه شده است. جابجایی هوا در این نوع کلکتورها از نوع جابجایی اجباری بوده، بدین منظور در کانال خروجی کلکتور محلی برای قرار دادن دو فن به ابعاد 12×12 سانتی‌متر مربع در نظر گرفته‌شده است. این دو فن قادرند هوا را با دبی‌های مختلف 0.011، 0.0088، 0.0045 کیلوگرم بر ثانیه مکش نمایند. "شکل 1" عکس‌هایی از کلکتور پلی‌کربنات و پلاستیک فشرده ساخته شده را نشان می‌دهد.

بررسی هزینه نشان می‌دهد که هزینه بر واحد مترمربع صفحات پلاستیک فشرده و پلی کربنات حدود 50 درصد هزینه صفحه استیل و هزینه سوراخ‌کاری آن‌ها حدود 60 درصد هزینه صفحه استیل می‌باشد. درمجموع هزینه‌های کلکتور پلاستیک‌فشرده و پلی‌کربنات ساخته شده حدود هشت‌صد هزار تومان (800000 تومان) و حدود یک میلیون و صد هزار تومان (1100000 تومان) برای کلکتور استیل می باشد.

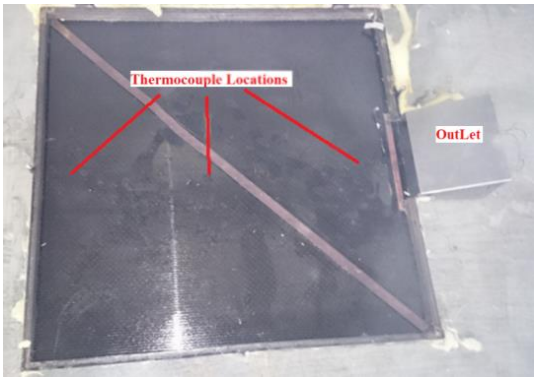
مهم‌ترین بخش هر آزمایش قسمت ثبت دقیق پارامترهای اندازه‌گیری می‌باشد. در آزمایش‌های انجام شده پارامترهای مهم اندازه‌گیری عبارت‌اند از: دبی جرمی جریان، سرعت جریان، شدت تابش خورشید و دما که شامل دمای خروجی، دمای محیط و دمای نقاط مختلف سطح جاذب می باشد. دمای صفحه جاذب در سه نقطه و به‌وسیله سه ترموکوپل گونه-تی[2] متصل به دیتالاگر پروا (دقت دستگاه $\pm 0.5^0C$) اندازه‌گیری شده است. در "شکل 1" مکان‌های نصب ترموکوپل‌ها، نشان داده شده است. برای محاسبه دبی جرمی هوا نیاز به‌سرعت هوا می‌باشد که با استفاده از دستگاه سرعت‌سنج تستو مدل 435 (با دقت $\pm 0.1\ ms^{-1}$) اندازه‌گیری شده است. شدت تابش رسیده به کلکتور به‌وسیله تشعشع‌سنج (پیرانومتر) کیپ-اند-زونن مدل CMP6 (با دقت $\pm 4Wm^{-2}$)، که در شیب کلکتور نصب شده، اندازه‌گیری شده است. با توجه به این‌که آزمایش‌ها در شهر کرمان و در شهریور ماه انجام شده‌اند کلکتورها در زاویه شیب بهینه برای عرض جغرافیایی این منطقه و در این ماه سال که برابر با 6 درجه رو به جنوب می باشد، نصب‌شده‌اند. آزمایش‌ها از 9 صبح تا 15 بعدازظهر انجام گرفته و از زمان شروع آزمایش، داده‌ها هر 20 دقیقه یک‌بار ثبت شدند. همچنین در تمام طول مدت آزمایش دبی خروجی



(الف) (a)



(ب) (b)



(ج) (c)

Fig.1 a) Pictures of the Polycarbonate and b) the Compressed-Plastic collectors in the prosess of fabrication and c) A picture of the inside of the polycarbonate collector and locations of thermocouple

شکل 1 عکس الف) کلکتور پلی کربنات و عکس ب) کلکتور پلاستیک‌فشرده در حال ساخت و ج) عکسی از داخل کلکتور پلی‌کربنات و محل نصب ترموکوپل‌ها

[1] plenum

[2] T-type

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]

جدول 1 مشخصات ترموفیزیکی صفحات جاذب و ابعاد کلکتورها

Table1 Thermo-physical properties of absorber plates and dimensions of the collectors

پارامترهای ورودی	مقدار
ضریب جذب کلکتور استیل (فلزی)	0.9
ضریب جذب کلکتور پلی‌کربنات	0.84
ضریب جذب کلکتور پلاستیک	0.92
ضریب صدور صفحه پشت	0.85
ضریب صدور سطح داخلی کلکتور	0.26
قطر سوراخ‌ها (mm)	0.7
گام سوراخ‌ها (mm)	12
ضخامت صفحه پلی‌کربنات (mm)	6
ضخامت صفحه استیل (فلزی) (mm)	0.5
ضخامت صفحه پلاستیکی (mm)	3.6
عمق پلنوم (cm)	6

کلکتورها ثابت بوده است. با توجه به محدود بودن دستگاه‌های اندازه‌گیری، در هرروز فقط داده‌های دو کلکتور قابل ثبت بوده‌اند. بنابراین مقایسه بین کلکتورها دوبه‌دو انجام شده است.

3- آنالیز حرارتی

از آن‌جایی‌که حل معادلات حاکم بر رفتار سیال درکلی‌ترین حالت آن بسیار پیچیده و برای مسائل واقعی عملاً غیرممکن می‌باشد، معمولاً با توجه به‌دقت و جزییات موردنیاز از حرکت سیال، با استفاده از فرضیاتی این معادلات ساده‌تر شده و حل می‌شوند. در این تحقیق از آنجایی که هدف از مدل‌سازی درک رفتار کلی سیال بوده فرضیات زیر در نظر گرفته شدند:

1- سرعت مکش در همه نقاط صفحه مشبک یکسان فرض شد است.
2- جریان برگشتی از میان صفحه جاذب قابل‌چشم‌پوشی است.
3- جاذب به‌صورت جسم خاکستری و دیفیوز در نظر گرفته می‌شود.
4- از تلفات حرارتی لبه پلنوم صرف‌نظر شده است.
5- هوا به‌صورت گاز ایدئال در نظر گرفته شده است.
6- مدل‌سازی به‌صورت صفر بعدی انجام شده و از تغییرات مکانی دمای صفحه جاذب، صفحه پشتی و داخل هوای پلنوم صرف‌نظر شده است.

3-1- معادلات حاکم

مکانیسم‌های مختلفی در جریان انرژی در کلکتور نقش دارند. تابش خورشید به صفحات جاذب برخورد کرده و قسمتی از آن جذب شده و مابقی آن انعکاس می‌یابد. قسمتی از انرژی جذب شده توسط صفحات جاذب به‌وسیله مکانیسم جابجایی و در طی مسیر حرکت هوای مکیده شده (جریان یافته) بر رو و پشت صفحات جاذب و در داخل سوراخ‌ها، به هوا منتقل می‌شود. قسمت دیگری از انرژی جذب شده، توسط انتقال حرارت تشعشعی به صفحه پشتی منتقل می‌شود و مابقی، از طریق فرآیند تشعشع و جابجایی به محیط اطراف منتقل و تلف می‌گردد. در "شکل 2" روش‌های انتقال حرارت بین اجزاء سیستم با یکدیگر و با محیط نشان داده شده است.

با توجه به فرضیات ذکر شده در بخش قبل، معادله بقاء انرژی برای سه قسمت اصلی کلکتور شامل صفحه جاذب، صفحه پشتی و پلنوم به‌صورت زیر درمی‌آید:

$$m_{\text{abs}}\, C_{\text{p.abs}} \left(\frac{\mathrm{d}T_{\text{abs}}}{\mathrm{d}t}\right) = (\alpha_{\text{abs}}\, I_{\text{T}}\, A_{\text{abs}}) - \mathrm{b}Q_{\text{conv.abs\sim air}} + Q_{\text{rad.abs\sim bp}} + Q_{\text{rad.abs\sim sur}} + Q_{\text{conv.abs\sim sur}}) \quad (1)$$

$$m_{\text{bp}}\, C_{\text{p.bp}} \left(\frac{\mathrm{d}T_{\text{bp}}}{\mathrm{d}t}\right) = Q_{\text{conv.air\sim bp}} + Q_{\text{rad.abs\sim bp}} - Q_{\text{rad.bp\sim sur}} - Q_{\text{conv.bp\sim sur}} \quad (2)$$

$$m_{\text{air}}\, C_{\text{v.air}} \left(\frac{\mathrm{d}T_{\text{air.out}}}{\mathrm{d}t}\right) = Q_{\text{conv.abs\sim air}} - Q_{\text{conv.air\sim bp}} + \dot{m}_{\text{air}}\, C_{\text{p.air}}\, (T_{\text{sur}} - T_{\text{air.out}}) \quad (3)$$

در معادلات فوق Q_{conv}، Q_{rad}، T، I_{T}، C_{p}، C_{v}، A، m و α به ترتیب بیان کننده انتقال حرارت جابجایی، انتقال حرارت تشعشعی، دما، تابش خورشیدی، گرمای ویژه فشار ثابت، گرمای ویژه در حجم ثابت، مساحت، جرم و ضریب جذب هستند. همچنین زیروندهای abs، bp، sur، air و out، به ترتیب اشاره به کلکتور، صفحه پشت، محیط، هوا و خروجی دارند. در ادامه به تفکیک معادلات مربوط به محاسبه ترم‌های انتقال حرارت در معادلات (1) تا (3) ارائه خواهند شد.

برای محاسبه ترم‌های انتقال حرارت جابه‌جایی از قانون سرمایش نیوتن استفاده می‌کنیم. آنچه در این فرمول‌ها حائز اهمیت است، محاسبه ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی (h_{conv}) می‌باشد. انتقال حرارت جابجایی بین هوای مکیده شده و صفحه جاذب از معادله (4) محاسبه می‌شود.

$$Q_{\text{conv.abs\sim air}} = A_{\text{col}}\, h_{\text{conv.abs\sim air}}\, (T_{\text{col}} - T_{\text{air.out}}) \quad (4)$$

مطالعات مربوط به انتقال حرارت جابه‌جایی با مکش از یک صفحه تخت سوراخ‌دار داغ، نسبتاً محدود است، در این تحقیق برای برآورد عدد ناسلت (Nu) از رابطه تجربی گزارش شده توسط کوتسچر [16] استفاده شده است.

$$h_{\text{conv.abs\sim air}} = \frac{(\mathrm{Nu}_1\, k_{\text{air}})}{\mu_{\text{air}}}$$

$$\mathrm{Nu}_1 = 2.75\, [\left(\frac{P}{D}\right)^{-1.21} \mathrm{Re}_1^{0.43} + 0.011\, \beta\, \mathrm{Re}_1 \left(\frac{V_{\text{wind}}}{V_{\text{app}}}\right)^{0.48}]$$

$$\mathrm{Re}_1 = \frac{\rho_{\text{air}}\, V_{\text{hole}}\, \mathrm{D}}{\mu_{\text{air}}} \quad (5)$$

در رابطه (5)، k، μ، β، P، D، V_{wind} و V_{app} به ترتیب بیانگر ضریب هدایت، لزجت، تخلخل، گام، قطر سوراخ، سرعت باد و سرعت مکش هوا می‌باشند. همچنین Re عدد رینولدز است که V_{hole} سرعت هوا درون سوراخ و ρ_{air} چگالی هواست.

انتقال حرارت جابجایی بین هوای درون پلنوم و صفحه پشتی، عدد

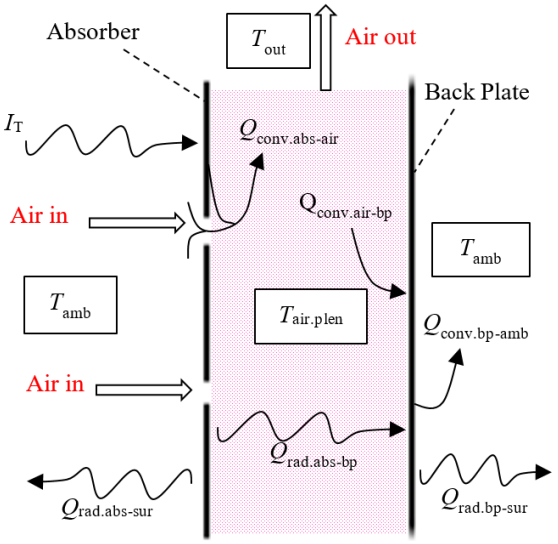


Fig.2 Modes of heat transfer in an Unglazed Transpired Solar Air Heater Collectors[1]

شکل 2 پدیده‌های انتقال حرارت در یک کلکتور مشبک بدون پوشش[1]

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]

ناسلت و در نتیجه آن ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی بین صفحه تخت (صفحه پشتی) و هوا (هوای پلنوم و هوای محیط) از روابط (6-الف) تا (6-ه) محاسبه می‌شوند [1].

$$Q_{\text{conv.air}\sim\text{bp}} = A_{\text{col}}\, h_{\text{conv.air}\sim\text{bp}}\,(T_{\text{out}} - T_{\text{bp}}) \quad \text{(6-الف)}$$

$$h_{\text{conv.air}\sim\text{bp}} = \frac{\text{Nu}_2\, k_{\text{air}}}{d_{\text{plen}}} \quad \text{(6-ب)}$$

$$\text{Nu}_2 = 0.664\, \text{Re}_2^{.05}\, \text{P}_{\text{r.2}}^{0.33} \quad \text{(6-ج)}$$

$$\text{Re}_2 = \frac{\rho_{\text{air}}\, V_{\text{plen}}\, H}{\mu_{\text{air}}} \quad \text{(6-د)}$$

$$\text{P}_{\text{r.2}} = \frac{C_{\text{P.air}}\, \mu_{\text{air}}}{k_{\text{air}}} \quad \text{(6-ه)}$$

در معادلات فوق فرض شده است دمای هوای داخل پلنوم برابر دمای هوای خروجی باشد.

انتقال حرارت جابجایی بین هوای محیط و صفحه پشتی از روابط (7-الف) تا (7-ه) قابل محاسبه است؛ که در آن‌ها H و W به ترتیب، ارتفاع و عرض جاذب می‌باشند و Pr عدد پرانتل است که از رابطه (6-ه) به‌دست می‌آید [1]:

$$Q_{\text{conv.bp}\sim\text{sur}} = A_{\text{col}}\, h_{\text{conv.bp}\sim\text{sur}}\left(T_{\text{bp}} - T_{\text{amb}}\right) \quad \text{(7-الف)}$$

$$h_{\text{conv.bp}\sim\text{sur}} = \frac{\text{Nu}_3\, k_{\text{air}}}{W} \quad \text{(7-ب)}$$

$$\text{Nu}_3 = 0.664\left(\text{Re}_3^{0.5}\right)\text{P}_{\text{r.3}}^{0.33} \quad \text{(7-ج)}$$

$$\text{Re}_3 = \frac{\rho_{\text{air}}\, V_{\text{wind}}\, W}{\mu_{\text{air}}} \quad \text{(7-ه)}$$

تلفات حرارت جابه‌جایی از صفحه جاذب به هوای اطراف کلکتور (هوای محیط) بستگی به‌سرعت مکش هوا و سرعت باد دارد که از رابطه (8) قابل محاسبه است [6,1].

$$h_c = \begin{cases} 0 & V_{\text{app}} \geq 0.02 \\ 0.82\,\dfrac{V_{\text{wind}}\, \upsilon_{\text{air}}\, \rho_{\text{air}}\, C_{\text{p.air}}}{V_{\text{app}}\, H} & V_{\text{app}} < 0.02 \quad V_{\text{wind}} \neq 0 \\ 1.31\left((T_{\text{abs}} - T_{\text{amb}})^{0.33}\right) & V_{\text{app}} < 0.02 \quad V_{\text{wind}} = 0 \end{cases} \quad (8)$$

نرخ انتقال حرارت ناشی از تابش با استفاده از قانون استفان- بولتزمن محاسبه‌شده است. انتقال حرارت تابشی بین صفحه جاذب و صفحه پشتی و همچنین صفحه پشتی به محیط از روابط (9) و (10) به دست می‌آیند؛ که در آن‌ها ε بیانگر ضریب صدور و σ ثابت استفان- بولتزمن است.

$$Q_{\text{rad.abs}\sim\text{bp}} = \frac{A_{\text{abs}}\, \sigma_{\text{sb}}\,(T_{\text{abs}}^4 - T_{\text{bp}}^4)}{\left(\frac{1}{\varepsilon_{\text{abs.in}}} + \frac{1}{\varepsilon_{\text{bp}}} - 1\right)} \quad (9)$$

$$Q_{\text{rad.bp}\sim\text{sur}} = A_{\text{abs}}\, \sigma_{\text{sb}}\, \varepsilon_{\text{bp}}\,(T_{\text{bp}}^4 - T_{\text{sur}}^4) \quad (10)$$

تلفات حرارت تابشی از کلکتور به محیط، به آسمان و زمین اتفاق می‌افتد و به ضریب شکل کلکتور به آسمان (F_{cs}) و ضریب شکل کلکتور به زمین (F_{cg}) و همچنین دمای آسمان و زمین بستگی دارد و از رابطه (11) محاسبه می‌گردد. در رابطه (11) دمای زمین را برابر با دمای محیط می‌گیرند [1].

$$Q_{\text{rad.abs}\sim\text{sur}} = A_{\text{abs}}\, \sigma_{\text{sb}}\, \varepsilon_{\text{abs}}(T_{\text{abs}}^4 - F_{\text{cs}}\, T_{\text{sky}}^4 - F_{\text{cg}}\, T_{\text{gnd}}^4)$$
$$T_{\text{sky}} = 0.0552\, T_{\text{amb}}^{1.5} \quad (11)$$

یکی از پارامترهای مهم در ارزیابی دستگاه‌های مختلف، بازده آن‌ها می‌باشد. بازده یک دستگاه به‌صورت کسری از انرژی ورودی که به انرژی مفید خروجی تبدیل شده، تعریف می‌گردد. در این تحقیق، بازده ساعتی با استفاده از معادله زیر محاسبه می‌شود.

$$\eta_{\text{th}} = \frac{\dot{m} C_{\text{p}}(T_{\text{out}} - T_{\text{in}})}{A_{\text{abs}}\, I_{\text{T}}} \quad (12)$$

3-2- روش حل معادلات حاکم

اعمال معادلات بقاء منجر به سه معادله دیفرانسیل معمولی مرتبه اول دارای سه مجهول دمای صفحه جاذب، دمای صفحه پشتی و دمای هوای درون کلکتور می‌شود. این معادلات به هم وابسته بوده و باید به‌طور هم‌زمان حل شوند. این معادلات در قالب یک برنامه رایانه‌ای در نرم‌افزار متلب پیاده‌سازی و حل شده‌اند. علاوه بر این دمای محیط و شدت تابش معلوم در نظر گرفته شده است و متناسب با روز موردنظر از داده‌های تجربی استفاده شده است. با توجه به این‌که داده‌های تابش و هوای محیط در بازه‌های 20 دقیقه‌ای ثبت شده‌اند و از آن‌جایی‌که در حل عددی معادلات برحسب بازه‌های زمانی کوچک‌تری حل می‌شوند از میانیانی خطی برای محاسبه این پارامترها استفاده‌شده است. از نتایج تجربی به‌عنوان حدس اولیه برای شرایط مرزی موردنیاز در حل معادلات دیفرانسیل حاکم استفاده شده است. از آنجایی که در واقعیت دمای قسمت‌های مختلف کلکتور در لحظه شروع اندازه‌گیری براساس شرایط تابش و دمای محیط پیش از شروع اندازه‌گیری تعیین می‌شود؛ استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده به‌عنوان شرط مرزی ممکن است یک جهش در دمای صفحه جاذب در زمان‌های اولیه حل عددی ایجاد نماید. در صورتی که جهشی در دمای صفحه جاذب مشاهده شود؛ شرط اولیه طوری اصلاح می‌شود که این جهش از بین برود.

4- نتایج و بحث

در این قسمت، نتایج بررسی اثر صفحات جاذب با جنس‌های استیل (فلزی)، پلی‌کربنات و پلاستیک فشرده بر کارایی کلکتورهای مشبک ارائه می‌شوند. به‌منظور اعتبارسنجی نتایج مدل‌سازی حرارتی این نتایج در کنار نتایج تجربی (آزمایشگاهی) ارائه شده‌اند. همان‌طور که در قسمت ساخت و آزمایش کلکتورها گفته شد به دلیل محدود بودن تجهیزات اندازه‌گیری، مقایسه بین کلکتورها به‌صورت دو به دو انجام شده است. در شکل‌هایی که در ادامه ارائه خواهد شد از عبارات Poly، Plastic و Steel به ترتیب برای کلکتورهای با جنس صفحات جاذب پلی‌کربنات، پلاستیک و استیل (فلزی) استفاده خواهد شد. علاوه بر این از عبارات .Exp و .Num به ترتیب برای ارائه نتایج تجربی (آزمایشگاهی) و نتایج مدل آنالیز حرارتی (عددی) استفاده خواهد شد.

به‌منظور ارزیابی و مقایسه کلکتورهای مختلف و ارزیابی دقت روش آنالیز حرارتی از تعاریف زیر استفاده شده است.

بیشینه خطای (اختلاف) نسبی:

$$E_{\text{rel,Max}}(\%) = \text{Max}\left(\left|\frac{X_{\text{i}} - X_{\text{i}}^{\text{ref}}}{X_{\text{i}}^{\text{ref}}}\right| \times 100, \text{i} = 1, \dots, N\right) \quad (13)$$

متوسط خطای (اختلاف) نسبی:

$$E_{\text{rel,Ave}}(\%) = \frac{\sum_{\text{i}=1}^{N}\left|(X_{\text{i}} - X_{\text{i}}^{\text{ref}})/X_{\text{i}}^{\text{ref}}\right| \times 100}{N} \quad (14)$$

بیشینه اختلاف دما:

$$\Delta T_{\text{Max}} = \text{Max}\left(\left|T_{\text{i}} - T_{\text{i}}^{\text{ref}}\right|, \text{i} = 1, \dots, N\right) \quad (15)$$

متوسط اختلاف دما:

$$\Delta T_{\text{Ave}} = \frac{\sum_{\text{i}=1}^{N}\left|(T_{\text{i}} - T_{\text{i}}^{\text{ref}})\right|}{N} \quad (16)$$

در معادله‌های بالا، زیرنویس‌های rel، Ave، Max و ref خطای نسبی، متوسط، مقدار بیشینه و کمیت مرجع می‌باشند. همچنین Max، X_{i} ، E و ΔT به ترتیب تابع بیشینه، مقدار متغیر مورد بررسی در نقطه i، خطای نسبی و اختلاف دما می‌باشند.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]

4-1- مجموعه آزمایش‌های 1: مقایسه عملکرد دو کلکتور با صفحه‌های جاذب پلی‌کربنات و استیل (فلزی)

در مجموعه آزمایش‌های 1 مقایسه بین دو کلکتور در سه دبی انجام شده است. در "شکل 3" تغییرات شدت تابش روی سطح کلکتورها و تغییرات دمای محیط در روزهای 13، 16 و 20 شهریورماه که در آن‌ها به ترتیب آزمایش‌ها در دبی‌های 0.011، 0.0088 و 0.0045 کیلوگرم بر ثانیه انجام شده، نشان داده شده است. به‌منظور ساده‌تر شدن و راحتی مقایسه نتایج در دبی‌های مختلف، در این شکل‌ها و آنچه در ادامه می‌آید، روزهای مختلف براساس دبی مورد آزمایش نه براساس روز سال از هم تفکیک شده‌اند.

همان‌طور که "شکل 3" مشاهده می‌شود در دبی 0.0045 کیلوگرم بر ثانیه نوساناتی درشدت تابش و دمای محیط دیده می‌شود این نوسانات به دلیل ابری شدن موقت هوا و شرایط محلی آب و هوایی می باشد. عدم پیوستگی در این تغییرات به دلیل ثبت داده‌ها در بازه زمانی 20 دقیقه‌ای می‌باشد.

همان‌طور که در قسمت فرضیات بیان شد، در مدل‌سازی حرارتی، توزیع دما در کل صفحه یکنواخت در نظر گرفته شده است. بدین منظور و به منظور مقایسه نتایج، در تمامی شکل‌هایی که در ادامه می‌آیند، نتایج تجربی ارائه شده برای دمای صفحه جاذب، متوسط سه دمای اندازه‌گیری شده بر روی صفحه جاذب می‌باشند (شکل2).

در "شکل 4"دمای صفحه جاذب دو کلکتور و در "شکل 5" دمای هوای خروجی از کلکتورها باهم و با نتایج آنالیز حرارتی (نتایج عددی) مقایسه شده است. همان‌طور که این شکل‌ها نشان می‌دهند که با نزدیک شدن به ظهر و افزایش شدت تابش خورشید، دمای صفحه جاذب و به طبع آن دمای هوای خروجی افزایش می‌یابد. همچنین با کاهش شدت تابش خورشید در بعدازظهر، تمام دماها کاهش می‌یابند. علاوه به این به دلیل کاهش شدید شدت تابش به دنبال ابری شدن هوا، در دبی 0.0045 کیلوگرم بر ثانیه نوساناتی در دمای صفحه جاذب و دمای هوای خروجی مشاهده می‌شود که نشان‌دهنده وابستگی مستقیم این دماها به‌شدت تابش می باشد. در جدول 2 اختلاف نسبی نتایج کلکتور پلی‌کربنات نسبت به کلکتور فلزی بر اساس داده‌های تجربی مجموعه آزمایش‌های 1 نشان داده شده است. در این جدول و بقیه این بخش کلکتور استیل به‌عنوان مرجع در نظر گرفته‌شده و اختلاف‌ها براساس آن محاسبه شده است. مقادیر منفی در این جدول نشان‌دهنده این است که دمای کلکتور پلی‌کربنات بیشتر از دمای کلکتور فلزی شده است.

بررسی نتایج نشان می‌دهد که با کاهش دبی هوای خروجی، به دلیل کاهش ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی، دمای صفحه‌های جاذب برای هر دو کلکتور افزایش یافته است. علاوه به این هرچند در دبی 0.011 کیلوگرم بر ثانیه دمای صفحه جاذب کلکتور فلزی بیشتر از صفحه جاذب کلکتور پلی‌کربنات است. برای دبی 0.0088 و 0.0045 کیلوگرم بر ثانیه دمای صفحه جاذب کلکتور پلی‌کربنات بیشتر از کلکتور فلزی می‌شود. به‌عبارت‌دیگر با کاهش دبی، دمای سطح جاذب پلی‌کربنات بیشتر از دمای صفحه جاذب می‌شود. این اثر را می‌توان این‌گونه تحلیل کرد که با کاهش دبی، از آن‌جایی‌که انتقال حرارت از پشت صفحه جاذب پلی‌کربنات به دلیل ضریب رسانایی پایین‌تر، کمتر از کلکتور فلزی است و با توجه به این‌که تابش ورودی و تلفات از قسمت جلو برای دو کلکتور تقریباً یکسان است، دمای صفحه جاذب پلی‌کربنات بیشتر از دمای صفحه جاذب فلزی می‌شود.

جدول 2 نشان می‌دهد که برای دبی‌های بررسی‌شده، بیشینه اختلاف دمای بین صفحه جاذب دو کلکتور کمتر از 9 درجه سانتی‌گراد (معادل

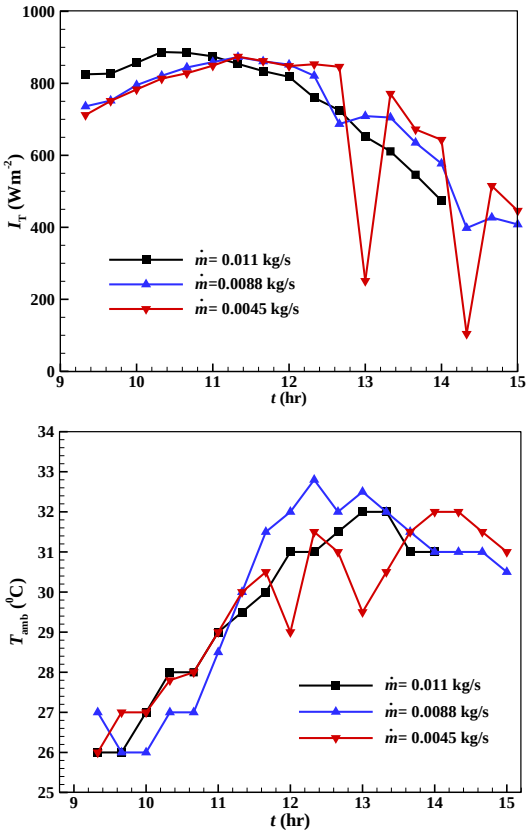


Fig.3 Solar irradition and ambient temperature on different days of testing metal and polycarbonate collectors

شکل 3 شدت تابش و دمای محیط در سه روز آزمایش کلکتور پلی‌کربنات و استیل

جدول 2 اختلاف نسبی و اختلاف دمای کلکتور پلی‌کربنات نسبت به کلکتور فلزی براساس داده‌های تجربی مجموعه آزمایش‌های 1

Table 2 the relative difference and the difference between the temperature of polycarbonate and metal collectors based on experimental data sets of test number 1

ΔT_{Max}	ΔT_{Ave}	$E_{rel,Max}$	$E_{rel,Ave}$		$\dot{m}$[kg/s]
4.7	2.0	8.8	3.6	T_{abs}	0.011
5.0	3.7	10.7	7.8	T_{Out}	
-8.9	3.3	-13.7	5.4	T_{abs}	0.0088
-2.0	0.4	4.9	1.9	T_{Out}	
-8.8	3.9	-15.6	6.3	T_{abs}	0.0045
-5.0	0.2	-10.9	2.1	T_{Out}	

بیشینه اختلاف نسبی کمتر از 16 درصد) می‌باشد. متوسط اختلاف دمای بین دو کلکتور کمتر از 4 درجه سانتی‌گراد (اختلاف نسبی کمتر از 8 درصد) می‌باشد. بررسی جدول 2 و منحنی‌های دمای هوای خروجی کلکتورهای پلی‌کربنات و فلزی نشان می‌دهد که با کاهش دبی هوا، اختلاف دمای هوای خروجی دو کلکتور کاهش می‌یابد از نظر فیزیکی این رفتار را این‌گونه می‌توان تفسیر کرد که با کاهش دبی هوا با توجه به این‌که دمای سطح کلکتور پلی‌کربنات افزایش بیشتری نسبت به کلکتور فلزی دارد و از آن‌جایی که ضریب انتقال حرارت جابجایی نیز تقریباً برای دو کلکتور یکسان است (دبی مکش و در نتیجه سرعت مکش یکسان است.) انتقال حرارت انجام شده از قسمت بیرونی صفحه جاذب به نحوی است که با انتقال حرارت انجام شده از جلو و پشت صفحه جاذب فلزی برابری می‌کند و نتیجه آن می‌شود که دمای هوای خروجی هر دو کلکتور تقریباً یکسان شود. بررسی هوای خروجی دو کلکتور نشان می‌دهد که در دبی‌های بررسی شده بیشینه اختلاف بین

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]

دمای هوای خروجی دو کلکتور 5 درجه سانتی‌گراد (اختلاف نسبی کمتر از 11 درصد) می‌باشد.

در جدول‌های 3 و 4 خطای نسبی نتایج آنالیز حرارتی (حل عددی) و اختلاف دمای نتایج آنالیز حرارتی (عددی) نسبت به نتایج تجربی در مجموعه آزمایش‌های 1 و به ترتیب برای کلکتور پلی‌کربنات و فلزی نشان داده شده است. همان‌طور که این جدول‌ها و "شکل‌های 4 و 5" نشان می‌دهد، برای هر دو کلکتور همخوانی خوبی بین داده‌های ثبت شده از اندازه‌گیری‌های تجربی و نتایج آنالیز حرارتی وجود دارد. متوسط اختلاف بین دمای به‌دست آمده از نتایج تجربی و عددی کمتر از 4.5 درجه سانتی‌گراد (معادل اختلاف نسبی کمتر از 8 درصد) برای کلکتور پلی‌کربنات و کمتر از 6 درجه سانتی‌گراد (معادل اختلاف نسبی کمتر از 11 درصد) برای کلکتور فلزی می‌باشد.

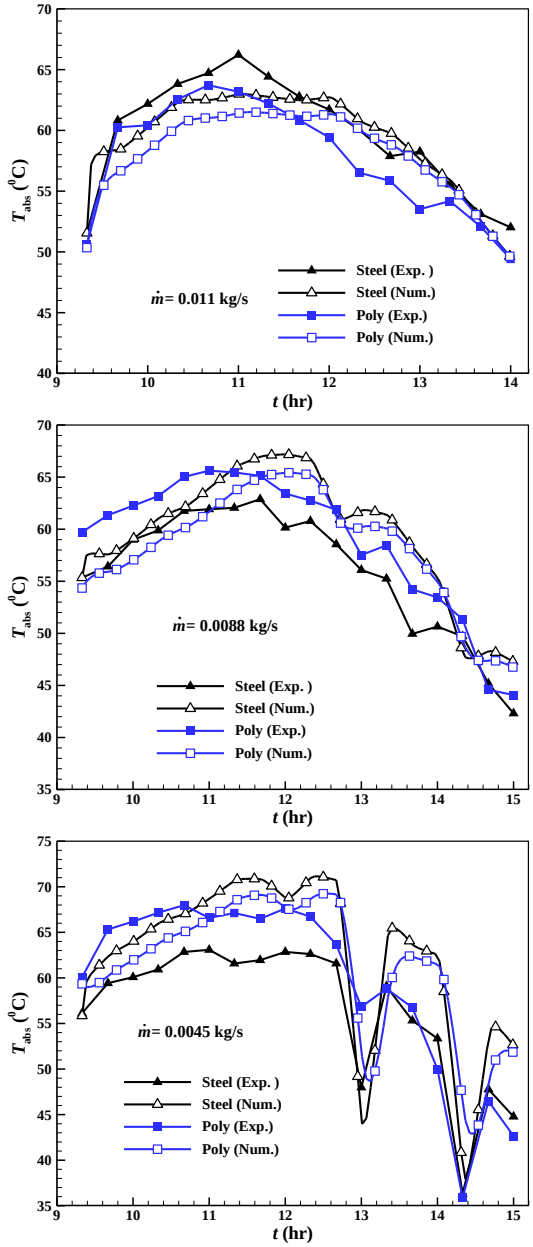


Fig.4 Comparison of absorber temperatures of the steel and poly-carbonate collectors in different mass flow rates

شکل 4 مقایسه دمای صفحات جاذب کلکتور استیل و پلی‌کربنات در دبی‌های مختلف

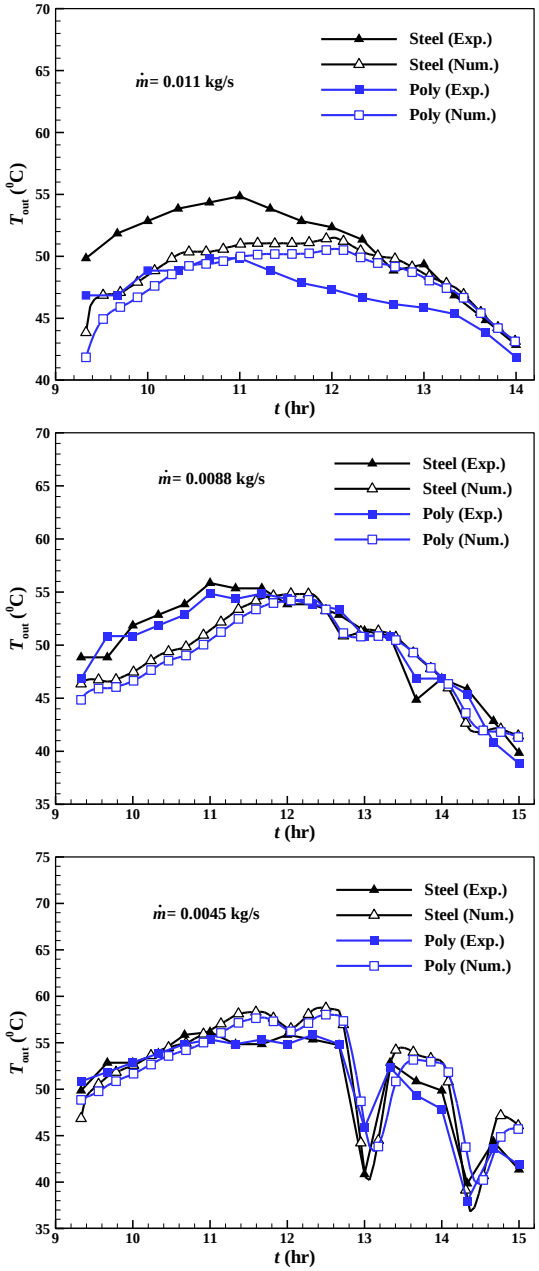


Fig.5 Comparison of outlet air temperatures of the metal and poly-carbonate collectors in different mass flow rates

شکل 5 مقایسه دمای هوای خروجی کلکتور استیل و پلی‌کربنات در دبی‌های مختلف

بیشترین اختلاف بین دماها برای کلکتور پلی‌کربنات کمتر از 12 درجه سانتی‌گراد (خطای نسبی کمتر از 30 درصد) و برای کلکتور فلزی کمتر از 10 درجه سانتی‌گراد (خطای نسبی کمتر از 18 درصد) و در تخمین دمای صفحه جاذب می‌باشد. علاوه بر این مشاهده می‌شود که مدل آنالیز حرارتی دمای هوای خروجی را با دقت بهتری نسبت به دمای صفحه جاذب تخمین می‌زند. همچنین با کاهش دبی دقت نتایج عددی به‌طور مجانبی کاهش می‌یابد. خطای بیشتر نتایج آنالیز حرارتی در تخمین دمای صفحه جاذب در دبی‌های پایین‌تر به این دلیل است که در این دبی‌ها دمای صفحه جاذب افزایش یافته و توزیع دما بر روی صفحه جاذب غیریکنواخت‌تر می‌شود درحالی‌که مدل آنالیز حرارتی توزیع دما برای همه دبی‌ها یکنواخت فرض شده است.

همان‌طور که در بخش روش حل معادلات حاکم ذکر شد داده‌های

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]

تجربی از جمله شدت تابش در بازه‌های 20 دقیقه‌ای ثبت شده‌اند و در آنالیز حرارتی از میانیابی خطی برای محاسبه تابش در فاصله زمانی بین دو تابش ثبت شده استفاده شده است. با توجه به این‌که در فاصله این بازه‌ها به دلیل ابری شدن هوا، تابش می‌تواند تغییرات قابل توجه داشته باشد و تابش لزوماً به‌صورت خطی بازمان تغییر نمی‌کند، یکی از دلایل اختلاف بین نتایج تجربی و آنالیز حرارتی فرض خطی بودن تغییرات تابش بین بازه‌های زمانی می‌باشد. همان‌طور که در "شکل‌های 4 و 5" و جداول 3 و 4 مشاهده می‌شود اختلاف بین نتایج تجربی و عددی خصوصاً دمای صفحه جاذب برای روزهایی که تابش تغییرات زیادی دارد (دبی‌های 0.0088 و 0.0045) بیشتر می‌باشد.

بازده کلکتورهای استیل (فلزی) و پلی‌کربنات در دبی‌های مختلف در "شکل 6" ارائه داده شده است. بررسی این شکل‌ها نشان می‌دهد که بازده هر دو کلکتور در طول روز تغییرات زیادی نمی‌کند مگر این‌که تابش ورودی به‌طور ناگهانی تغییر یابد. نتایج عددی به‌دست آمده توسط باداچه و همکاران [10] برای کلکتورهای فلزی نیز چنین رفتاری را نشان می‌دهد. علاوه براین بازده کلکتور استیل (با ضریب هدایت بالا) در بیشترین دبی براساس نتایج تجربی 8 درصد و براساس نتایج آنالیز حرارتی 3 درصد بیشتر از کلکتور پلی-کربنات (با ضریب هدایت پایین) می‌باشد.

همان‌طور که گفته شد با کاهش دبی جرمی دمای صفحه جاذب و به دنبال آن دمای هوای خروجی افزایش می‌یابد؛ اما افزایش دمای صفحه جاذب بیشتر از افزایش دمای هوای خروجی است. به عبارتی اختلاف دمای صفحه جاذب و هوای خروجی افزایش یافته و درنتیجه‌ی آن با کاهش دبی، بازده کلکتورها به دلایل زیر کاهش می‌یابد:

1- بخشی از انرژی انتقال یافته به هوای ورودی، به دلیل سرعت مکش پایین به محیط بازگردانده شده و تلف می‌شود.

2- به دلیل افزایش بیشتر دمای صفحه جاذب نسبت به دمای هوای محیط تلفات حرارتی تابشی و جابجایی به محیط افزایش می‌یابد.

دلیل اختلاف بازده دو کلکتور، رسانایی بالاتر صفحه‌های استیل نسبت به صفحه‌های پلی‌کربنات است که باعث می‌شود حرارت جذب‌شده توسط صفحه

جدول 3 خطای نسبی و اختلاف دمای نتایج آنالیز حرارتی (عددی) کلکتور پلی-کربنات نسبت به نتایج تجربی در مجموعه آزمایش‌های 1

Table 3 the relative error and the difference between thermal analysis (numerical) and experimental data sets of polycarbonate collector in test number 1

ΔT_{Max}	ΔT_{Ave}	$E_{rel,Max}$	$E_{rel,Ave}$		$\dot{m}$[kg/s]
-3.7	1.9	6.7	3.2	T_{abs}	0.011
-5.0	1.9	-10.7	4.0	T_{Out}	
-9.5	3.3	-14.5	5.5	T_{abs}	0.0088
-4.9	2.1	-9.7	4.1	T_{Out}	
11.5	4.1	29.2	7.9	T_{abs}	0.0045
5.0	2.2	13.0	4.5	T_{Out}	

جدول 4 خطای نسبی و اختلاف دمای نتایج آنالیز حرارتی (عددی) کلکتور فلزی نسبت به نتایج تجربی در مجموعه آزمایش‌های 1

Table 4 the relative error and the difference between thermal analysis (numerical) and experimental data sets of metal collector in test number 1

ΔT_{Max}	ΔT_{Ave}	$E_{rel,Max}$	$E_{rel,Ave}$		$\dot{m}$[kg/s]
-3.3	1.4	-4.9	2.3	T_{abs}	0.011
-6.0	2.4	-12.0	4.6	T_{Out}	
8.4	3.5	16.8	6.4	T_{abs}	0.0088
-4.4	2.1	9.2	4.2	T_{Out}	
9.2	5.8	17.6	10.4	T_{abs}	0.0045
4.7	2.0	11.4	3.9	T_{Out}	

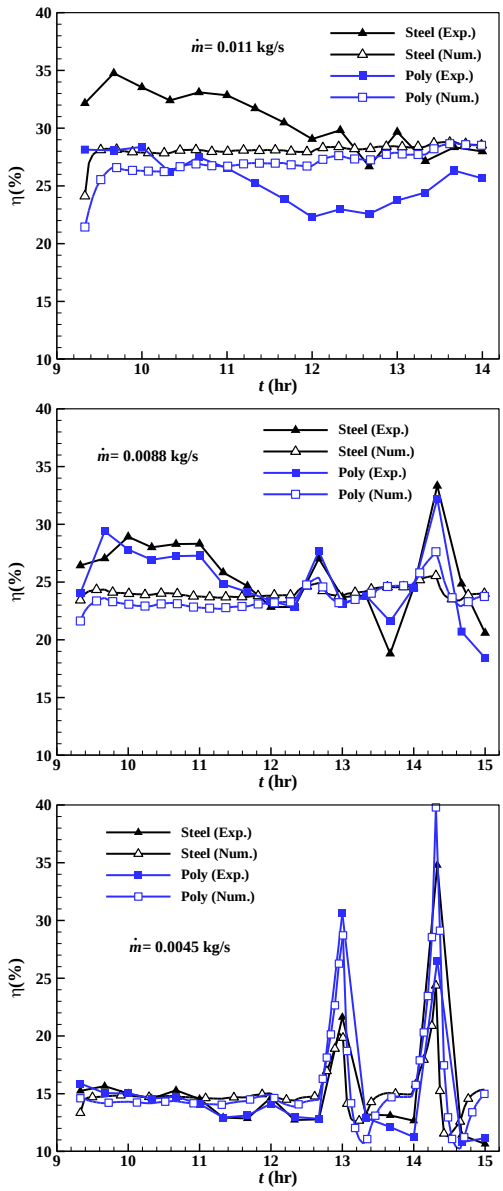


Fig. 6 Comparison of the efficiency of the polycarbonate and metal collectors in diffrent mass flow rates

شکل 6 مقایسه راندمان لحظه‌ای کلکتور استیل و پلی‌کربنات در دبی‌های مختلف

جاذب از طریق رسانایی به قسمت داخلی صفحه جاذب برسد و در آنجا از طریق جابه‌جایی با هوای داخل پلنوم انتقال حرارت انجام دهد. دلیل افزایش اختلاف بازده دو کلکتور با افزایش دبی این است که با افزایش دبی، اختلاف دمای صفحه جاذب با هوای عبوری افزایش‌یافته و نقش انتقال حرارت از پشت صفحه جاذب (داخل پلنوم) و رسانایی صفحه جاذب پررنگ‌تر می‌شود.

در "شکل 6" تغییرات شدید در نمودار بازده در دبی 0.0045 و به‌طور نسبی در دبی 0.0088 کیلوگرم بر ثانیه به این دلیل است که بازده لحظه‌ای به‌صورت اختلاف دمای هوای خروجی نسبت به دمای هوای ورودی در هر لحظه تقسیم بر شدت تابش در همان لحظه تعریف می‌شود (معادله 12 را ببینید). از آن‌جایی که به دلیل ذخیره انرژی در صفحه جاذب، تغییرات دمای هوای خروجی (صورت کسر معادله 12) با تأخیر (اختلاف‌فاز) اتفاق می‌افتد؛ ولی شدت تابش (مخرج کسر معادله 12) با ابری شدن هوا می‌تواند به‌سرعت از یک مقدار زیاد به مقدار نزدیک صفر تغییر کند بازده وقتی‌که هوا ابری می-شود به‌شدت افزایش می‌یابد.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]

4-2- مجموعه آزمایش‌های 2: مقایسه عملکرد دو کلکتور با جنس صفحه‌های جاذب پلی‌کربنات و پلاستیک‌فشرده

در مجموعه آزمایش‌های 2 مقایسه بین دو کلکتور پلاستیک‌فشرده و پلی کربنات انجام شده است. همانند مقایسه بین دو کلکتور فلزی و پلی‌کربنات، مقایسه بین این دو کلکتور نیز در سه دبی انجام شده است. در "شکل 7" شدت تابش خورشید بر روی صفحه جاذب و تغییرات دمای محیط در روزهای 4، 6 و 10 شهریورماه که در آن‌ها به ترتیب آزمایش‌ها در دبی‌های 0.011، 0.0088 و 0.0045 کیلوگرم بر ثانیه انجام شده، نشان داده شده است.

در "شکل 8" دمای صفحه جاذب دو کلکتور و در "شکل 9" دمای هوای خروجی از کلکتورها باهم و با نتایج آنالیز حرارتی (نتایج عددی) مقایسه شده است. بررسی این شکل‌ها نشان می‌دهد که با کاهش دبی هوای خروجی، دمای صفحه‌های جاذب برای هر دو کلکتور افزایش یافته است. برای هر سه دبی بررسی شده، دمای صفحه جاذب کلکتور پلاستیک‌فشرده بیشتر از صفحه جاذب کلکتور پلی‌کربنات است. با این وجود با کاهش دبی، اختلاف بین دمای صفحه جاذب دو کلکتور کاهش می‌یابد.

در جدول 5 اختلاف نسبی نتایج کلکتور پلاستیک‌فشرده نسبت به کلکتور پلی‌کربنات براساس داده‌های تجربی مجموعه آزمایش‌های 2 نشان داده شده است. در این جدول و آنچه در ادامه می‌آید کلکتور پلی‌کربنات به‌عنوان مرجع در نظر گرفته شده و اختلاف‌ها براساس آن محاسبه شده است. در این جدول‌ها مقادیر منفی نشان‌دهنده این است که دمای کلکتور پلی‌کربنات بیشتر از دمای کلکتور پلاستیک‌فشرده شده است.

جدول 5 نشان می‌دهد که برای دبی‌های بررسی‌شده، بیشینه اختلاف دمای بین صفحه جاذب دو کلکتور کمتر از 10 درجه سانتی‌گراد (معادل بیشینه اختلاف نسبی کمتر از 19 درصد) بوده که در دبی 0.011 کیلوگرم بر ثانیه اتفاق افتاده است. متوسط اختلاف دمای بین دو کلکتور کمتر از 8 درجه سانتی‌گراد (اختلاف نسبی متوسط کمتر از 16 درصد) می‌باشد که مربوط به دبی 0.011 کیلوگرم بر ثانیه می‌باشد. با کاهش دبی به 0.0088 نتایج دمای صفحه جاذب دو کلکتور به هم بسیار نزدیک می‌شوند. با کاهش بیشتر دبی، اختلاف دمای صفحه جاذب دو کلکتور دوباره افزایش می‌یابد.

بررسی جدول 5 و منحنی‌های دمای هوای خروجی کلکتورهای پلی-کربنات و پلاستیک‌فشرده نشان می‌دهد که اختلاف بین دمای هوای خروجی از دو کلکتور نسبت به اختلاف دمای صفحه جاذب دو کلکتور کمتر است. علاوه براین با کاهش دبی هوا، اختلاف دمای هوای خروجی دو کلکتور کاهش می‌یابد و دمای هوای خروجی هر دو کلکتور تقریباً یکسان می‌شود. بررسی هوای خروجی دو کلکتور نشان می‌دهد که در دبی‌های بررسی شده بیشینه اختلاف بین دمای هوای خروجی دو کلکتور کمتر از 5 درجه سانتی‌گراد (اختلاف نسبی بیشینه کمتر از 10 درصد) می‌باشد. با توجه به این‌که متوسط اختلاف نسبی دمای خروجی دو کلکتور کمتر 6 درصد است می‌توان گفت که اختلاف قابل ملاحظه‌ای بین دمای خروجی دو کلکتور خصوصاً در دبی‌های پایین وجود ندارد.

در جدول‌های 6 و 7 خطای نسبی نتایج آنالیز حرارتی (حل عددی) و اختلاف دمای نتایج آنالیز حرارتی (عددی) نسبت به نتایج تجربی به ترتیب برای کلکتور پلی‌کربنات و پلاستیک‌فشرده نشان داده شده‌اند.

همان‌طور که این جدول‌ها و "شکل‌های 8 تا 9" نشان می‌دهند، برای هر دو کلکتور همخوانی نسبتاً خوبی بین داده‌های ثبت شده از اندازه‌گیری‌های تجربی و نتایج آنالیز حرارتی وجود دارد. متوسط اختلاف بین دمای به‌دست آمده از نتایج تجربی و عددی کمتر از 6 درجه سانتی‌گراد (معادل متوسط اختلاف نسبی حدود 10 درصد) برای کلکتور پلی‌کربنات و کمتر از 8 درجه سانتی‌گراد (معادل متوسط اختلاف نسبی حدود 13 درصد) برای کلکتور پلاستیک‌فشرده می‌باشد. بیشترین اختلاف بین دماها برای کلکتور پلی‌کربنات کمتر از 10 درجه سانتی‌گراد (بیشینه خطای نسبی کمتر از 19 درصد) و برای کلکتور پلاستیک‌فشرده کمتر از 12 درجه سانتی‌گراد (خطای نسبی کمتر از 21 درصد) و در تخمین دمای صفحه جاذب می‌باشد. علاوه براین مشاهده می‌شود که آنالیز حرارتی دمای هوای خروجی را با دقت بهتری نسبت به دمای صفحه جاذب تخمین می‌زند.

بازده کلکتورهای استیل (فلزی) و پلی‌کربنات در دبی‌های مختلف در "شکل 10" ارائه داده شده است. بررسی این شکل‌ها نشان می‌دهد که تغییرات بازده هر دو کلکتور در طول روز نسبتاً کم است و به جزء برای دبی

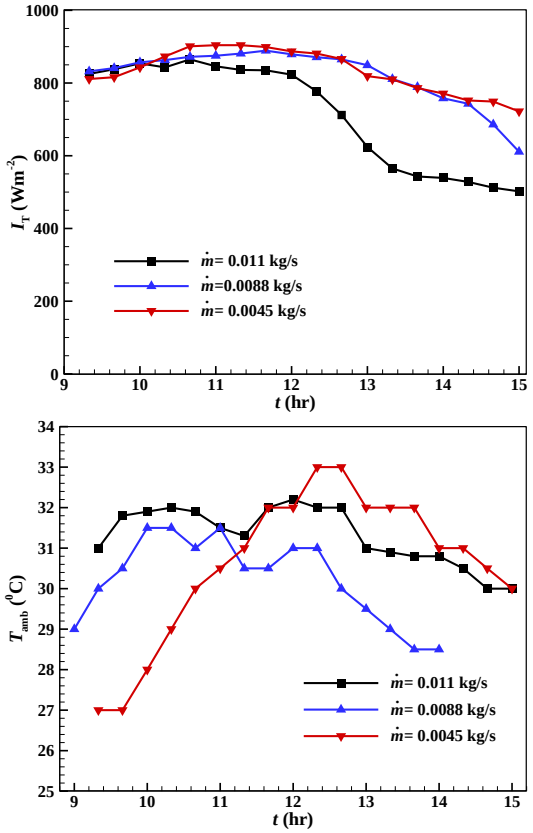


Fig. 7 Solar irradiation and ambient temperature on different days of testing metal and polycarbonate collectors

شکل 7 شدت تابش و دمای محیط در روزهای مختلف آزمایش کلکتور پلی‌کربنات و پلاستیک فشرده

جدول 5 متوسط و بیشینه اختلاف نسبی و اختلاف دمای کلکتور پلاستیک‌فشرده نسبت به کلکتور پلی‌کربنات براساس داده‌های تجربی مجموعه آزمایش‌های 2

Table 5 the average and maximum relative difference and temperature difference between the polycarbonate and plastic collectors based on experimental data sets of test number 2

ΔT_{Max}	ΔT_{Ave}	$E_{rel,Max}$	$E_{rel,Ave}$		$\dot{m}$[kg/s]
9.4	7.9	18.6	15.3	T_{abs}	0.011
4.7	2.7	9.6	5.9	T_{Out}	
1.2	0.5	2.1	0.8	T_{abs}	0.0088
4.1	1.4	7.8	2.7	T_{Out}	
4.3	3.2	6.3	4.9	T_{abs}	0.0045
0.6	0.3	1.1	0.5	T_{Out}	

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]

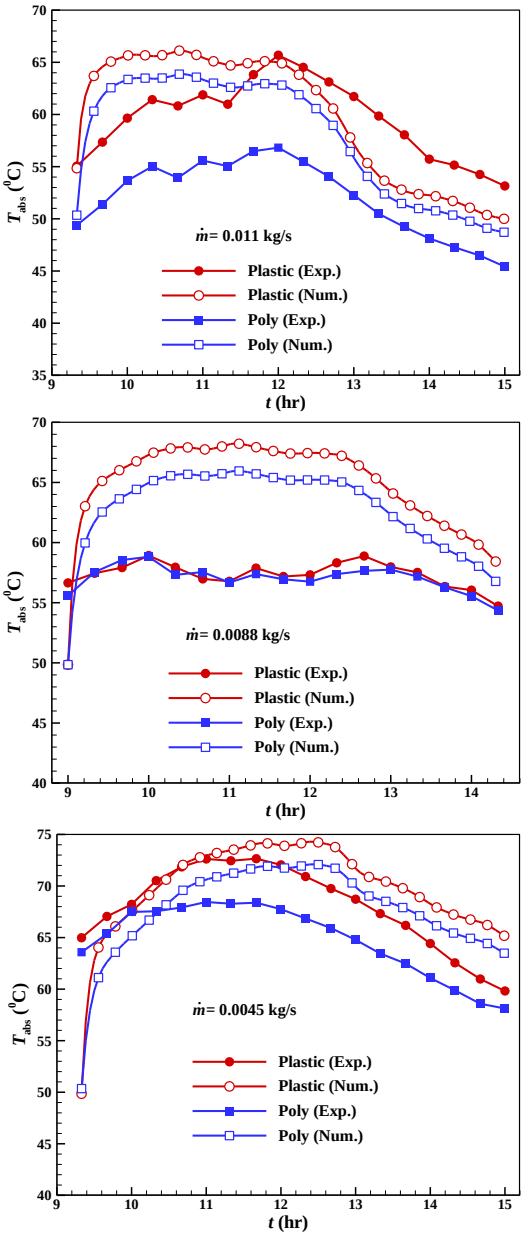


Fig. 8 Comparison of absorber temperatures of the plastic and poly-carbonate collectors at diffrent mass flow rates

شکل 8 مقایسه دمای صفحات جاذب کلکتور پلاستیک‌فشرده و پلی‌کربنات در دبی‌های مختلف

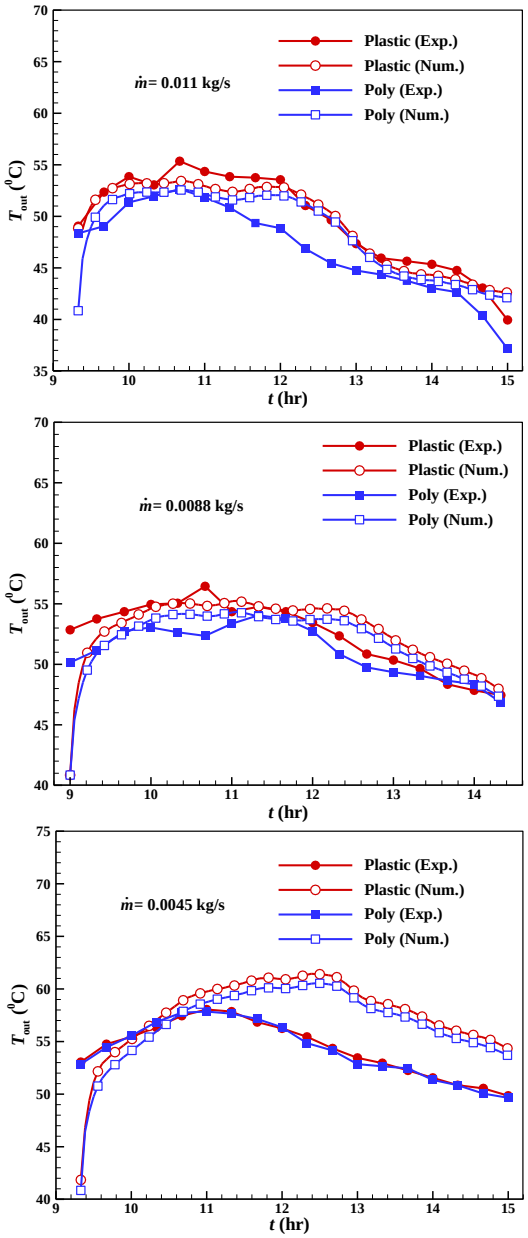


Fig. 9 Comparison of outlet air temperatures of the plastic and poly-carbonate collectors in different mass flow rates

شکل 9 مقایسه دمای هوای خروجی از کلکتور پلاستیک‌فشرده و پلی‌کربنات در دبی‌های مختلف

جدول 6 متوسط و بیشینه خطای نسبی و اختلاف دمای نتایج آنالیز حرارتی (عددی) کلکتور پلی‌کربنات نسبت به نتایج تجربی در مجموعه آزمایش‌های 2

Table 6 the average and maximum relative difference and temperature difference between thermal analysis(numerical) and experimental data sets of polycarbonate collector in test number 2

ΔT_{Max}	ΔT_{Ave}	$E_{rel,Max}$	$E_{rel,Ave}$		$\dot{m}$[kg/s]
9.9	5.2	18.4	9.7	T_{abs}	0.011
5.0	2.0	13.4	4.4	T_{Out}	
9.2	5.8	16.2	10.1	T_{abs}	0.0088
-3.3	1.2	-6.6	2.3	T_{Out}	
6.1	3.7	10.4	5.9	T_{abs}	0.0045
6.2	3.2	11.5	6.1	T_{Out}	

جدول 7 خطای نسبی و اختلاف دمای نتایج آنالیز حرارتی (عددی) کلکتور پلاستیک فشرده نسبت به نتایج تجربی در مجموعه آزمایش‌های 2

Table 7 the relative error and the temperature difference between thermal analysis (numerical) and experimental data sets of plastic collector in test number 2

ΔT_{Max}	ΔT_{Ave}	$E_{rel,Max}$	$E_{rel,Ave}$		$\dot{m}$[kg/s]
-5.7	3.4	-9.6	5.8	T_{abs}	0.011
2.7	1.0	6.7	2.0	T_{Out}	
11.4	7.5	20.1	13.1	T_{abs}	0.0088
-6.0	1.4	-11.4	2.7	T_{Out}	
5.5	2.4	9.0	3.7	T_{abs}	0.0045
6.9	3.7	12.7	6.9	T_{Out}	

0.011 کیلوگرم بر ثانیه بازده دو کلکتور تقریباً یکسان است. بازده کلکتور پلاستیک‌فشرده در بیشترین دبی براساس نتایج تجربی 8 درصد بیشتر از کلکتور پلی‌کربنات می‌باشد. نتایج مربوط به تغییرات دما و بازده، نشان می‌دهند که دمای هوای خروجی و در نتیجه بازده کلکتور پلاستیک فشرده

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]

در تشعشع‌های مختلف بیشتر از دمای خروجی کلکتور پلی‌کربنات است. بنابراین از آن‌جایی که عملکرد کلکتور پلاستیک فشرده بهتر از پلی‌کربنات است، می‌توان نتیجه گرفت که عملکرد کلکتور پلاستیک فشرده به عملکرد کلکتور استیل نزدیک‌تر است؛ اما از آن‌جایی‌که در آزمایش مربوط به مقایسه دو کلکتور پلاستیک و پلی‌کربنات، با افزایش دمای سطح کلکتور، تنش حرارتی در صفحه پلاستیک به وجود آمده و موجب تغییر شکل کلکتور شد، امکان مقایسه دو کلکتور استیل و پلاستیک فشرده به‌طور هم‌زمان وجود نداشته است. لازم به ذکر است در هنگام خرید به محدوده دمای کاری صفحات جاذب توجه شده بود و از آن‌جایی‌که دمای مجاز صفحه جاذب پلاستیک‌فشرده برای این صفحه 90 درجه سانتی‌گراد بود به نظر می‌رسید که صفحه مناسبی باشد. بعد از خرید و انجام آزمایش‌ها همان‌طور که در مقاله اشاره شد صفحه جاذب تغییر شکل داد که به‌دلیل تنش‌های حرارتی می‌باشد؛ بنابراین با توجه به وجود انواع مختلف صفحات پلاستیک‌فشرده در بازار توصیه می‌شود برای کاربرد در کلکتورهای مشبک، صفحات با دمای کاری حدود 120 درجه سانتی‌گراد و بالاتر مدنظر قرار گیرند.

با مقایسه دو کلکتور در دبی‌های مختلف، مشاهده می‌شود که با کاهش دبی مکش، دمای صفحه جاذب هر دو کلکتور افزایش یافته است اما دمای هوای خروجی دو کلکتور تغییر چندانی نداشته و یا تغییرات آن کم بوده است که همین امر موجب افزایش اختلاف دمای صفحه جاذب و هوای خروجی و در نتیجه کاهش راندمان کلکتورها شده است. همچنین در دبی‌های پایین اختلاف دمای هوای خروجی دو کلکتور کم شده و همان‌طور که در منحنی‌های مربوط به بازده مشخص است؛ راندمان دو کلکتور نیز به هم نزدیک شده‌اند که این امر نشانگر بهبود بازده کلکتور پلی‌کربنات در دبی‌های پایین می‌باشد.

4-3- بررسی اثر دبی مکش

نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهند که برای دبی‌های مورد بررسی، راندمان هر سه کلکتور نسبتاً پایین است و به‌ندرت به 35٪ می‌رسد. دلیل این امر سرعت مکش پایین است که باعث می‌شود اتلافات جابه‌جایی از صفحه جاذب به محیط اطراف افزایش یابد و نتوان از تمامی ظرفیت کلکتور استفاده نمود.

با توجه به این‌که به‌دلیل محدودیت امکانات آزمایشگاهی، ایجاد دبی بیشتر از(0.011(kg/s امکان‌پذیر نبود و از آنجایی که نتایج آنالیز حرارتی از دقت مطلوبی برخوردار بودند، در این قسمت اثر افزایش دبی بر کارایی کلکتور با استفاده از مدل آنالیز حرارتی مورد بررسی قرار می‌گیرد. بدین منظور فرض شده است که دمای محیط و شدت تابش در طول روز همانند روز آزمایش با دبی 0.011 باشند. در "شکل 11" اثر افزایش دبی بر بازده روزانه کلکتورهای استیل، پلی‌کربنات و پلاستیک‌فشرده نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود با افزایش دبی، بازده هر سه کلکتور به‌صورت مجانبی افزایش یافته و برای دبی 0.1 kg/s به حدود 60 درصد می‌رسد. با بررسی این شکل نشان می‌دهد که اولاً ازنظر بیشترین بازده کلکتورها به‌صورت کلکتور فلزی، پلاستیک‌فشرده و پلی‌کربنات دسته‌بندی می‌شوند. دوما با افزایش دبی، اختلاف بین بازده کلکتورها افزایش می‌یابد. سوما بازده کلکتور پلاستیک فشرده بسیار نزدیک به کلکتور فلزی است و می‌توان از این کلکتورها به‌عنوان جایگزین کلکتورهای فلزی استفاده نمود.

5- نتیجه‌گیری و جمع‌بندی

در تحقیق حاضر برای اولین بار کارایی کلکتورهای خورشیدی مشبک بدون پوشش با صفحه‌های جاذب غیرفلزی شامل صفحه پلی‌کربنات و پلاستیک‌فشرده و کلکتور با صفحه جاذب استیل مقایسه و رفتار آن‌ها در سه دبی مختلف مورد ارزیابی قرار گرفت. علاوه بر این به‌منظور درک بهتر پدیده‌های انتقال حرارت و ارزیابی رفتار کلکتورها، یک مدل آنالیز حرارتی، بر پایه قانون اول ترمودینامیک، از رفتار این کلکتورها با در نظر گرفتن تمامی روش‌های انتقال حرارت (شامل رسانایی، جابه‌جایی و تابش) توسعه داده شد و نتایج آن با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شدند. نتایج جدید به‌دست‌آمده از تحقیق را می‌توان به‌صورت زیر جمع‌بندی نمود.

1- در مجموع همخوانی خوبی بین نتایج آزمایشگاهی و نتایج به‌دست آمده از مدل آنالیز حرارتی وجود دارد. با این وجود مدل ارائه شده، دمای هوای خروجی از کلکتورها را نسبت به دمای صفحه جاذب همواره با دقت بهتری تخمین می‌زند. برای اکثر شرایط خطای نسبی

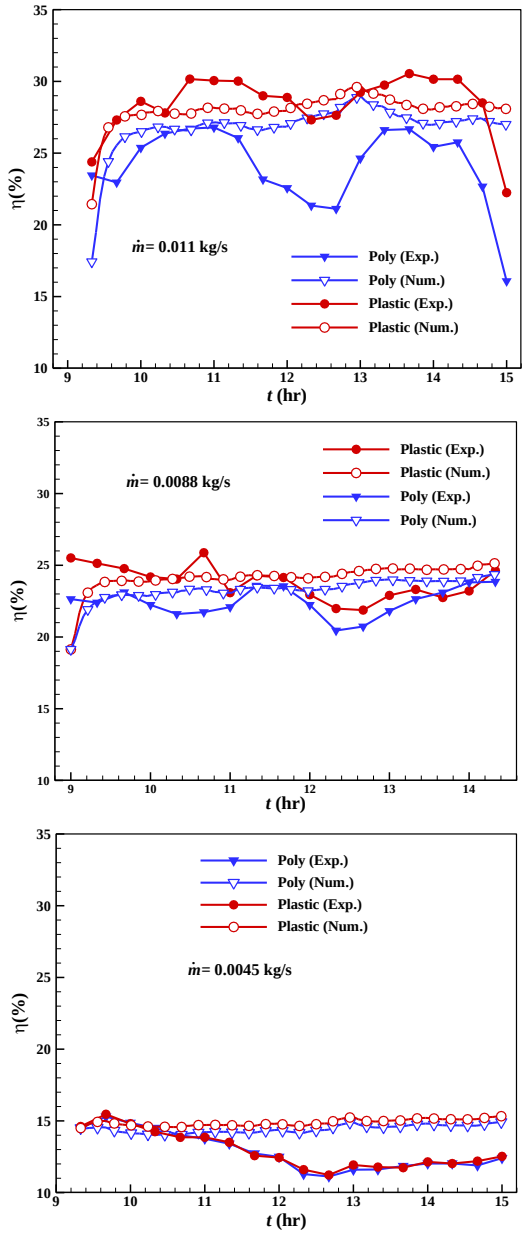


Fig. 10 Comparison of the efficiency of the polycarbonate and plastic collectors at diffrent mass flow of rates

شکل 10 مقایسه راندمان لحظه‌ای کلکتور پلاستیک فشرده و پلی‌کربنات در دبی‌های مختلف

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]

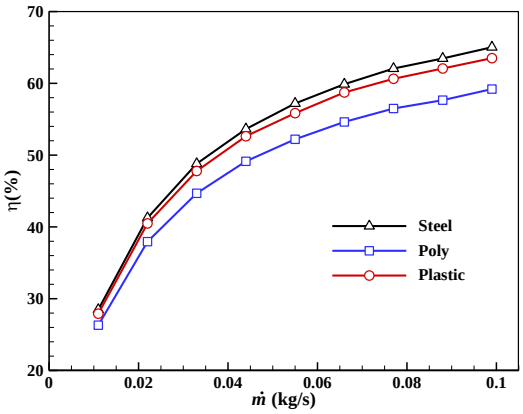


Fig. 11 Effect of mass flow of air on efficiency of metal, polycarbonate and plastic collectors

شکل 11 اثر دبی بر بازده کلکتورهای فلزی، پلی‌کربنات و پلاستیک‌فشرده

متوسط در تخمین دمای هوای خروجی از کلکتور کمتر از 5 درصد است که با توجه به صفر بعدی بودن این مدل دقت بسیار خوبی محسوب می‌شود. متوسط خطای نسبی در تخمین دمای صفحه جاذب برای اکثر شرایط کاری کمتر از 10 درصد است.

2- بررسی نتایج آزمایش‌های کلکتورهای ساخته شده نشان می‌دهد که بیشترین اختلاف بین کلکتورها در بالاترین دبی یعنی 0.011 کیلوگرم بر ثانیه اتفاق می‌افتد. در این دبی متوسط اختلاف نسبی بین دمای صفحه جاذب و دمای هوای خروجی کلکتور استیل و دماهای مربوطه در کلکتور پلی‌کربنات کمتر از 8 درصد می‌باشد. این اختلاف نسبی دماها برای کلکتور پلی‌کربنات و پلاستیک فشرده کمتر از 16 درصد می‌باشد. در بقیه دبی‌ها همخوانی خوبی بین دماهای کلکتورها وجود دارد.

3- هرچند با افزایش دبی دمای هوای خروجی از کلکتورها کاهش می‌یابد با این وجود با افزایش دبی بازده هر سه کلکتور، به‌دلیل کاهش تلفات جابجایی و تابشی از صفحه جاذب به محیط، افزایش می‌یابد.

4- هرچند سه کلکتور کارایی و بازده خوبی داشتند و خصوصاً در دبی‌های پایین اختلاف زیادی بین آن‌ها وجود نداشت. با این وجود کلکتور استیل (فلزی) بیشترین و کلکتور پلی‌کربنات کمترین کارایی را داشتند. کارایی و بازده کلکتور پلاستیک فشرده بسیار نزدیک کلکتور استیل بود.

5- بررسی‌های انجام شده نشان می‌دهد که استفاده از کلکتور پلاستیک‌فشرده به‌جای کلکتور استیل (فلزی) گزینه مناسبی است. با این وجود باید در انتخاب پلاستیک‌فشرده دقت نمود و ماده‌ای را انتخاب نمود که قابلیت تحمل و پایداری در دماهای بالا را داشته باشد.

6- بررسی فوق نشان می‌دهد برای کاربردهایی که اختلاف دمای زیاد و دبی کم موردنیاز است، مثل خشک کردن محصولات کشاورزی، استفاده از کلکتورهای غیرفلزی (پلی‌کربنات و پلاستیک فشرده) به دلیل صرفه‌جویی زیاد در هزینه‌های ساخت، تعمیر و نگه‌داری، گزینه مناسبی می‌باشند.

6- مراجع

[1] M. A. Leon, S. Kumar, Mathematical modeling and thermal performance analysis of unglazed transpired solar collectors, *Solar Energy*, Vol. 81, No. 1, pp. 62-75, 2007.
[2] S. Arulanandam, K. T. Hollands, E. Brundrett, A CFD heat transfer analysis of the transpired solar collector under no-wind conditions, *Solar Energy*, Vol. 67, No. 1, pp. 93-100, 1999.
[3] B. Fleck, R. Meier, M. Matović, A field study of the wind effects on the performance of an unglazed transpired solar collector, *Solar Energy*, Vol. 73, No. 3, pp. 209-216, 2002.
[4] K. M. Gawlik, C. F. Kutscher, A numerical and experimental investigation of low-conductivity unglazed, transpired solar air heaters, *ASME International Solar Energy Conference*, Reno, Nevada, USA, June 15–20, 2002, pp. 47-55.
[5] S. Motahar, An analysis of unglazed transpired solar collectors based on exergetic performance criteria, *International Journal of Thermodynamics*, Vol. 13, No. 4, pp. 153-160, 2010.
[6] M. Gholampour, M. Ameri, Design considerations of unglazed transpired collectors: energetic and exergetic studies, *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 136, No. 3, pp. 031004_1-10, 2014.
[7] S. Tajdaran, F. Bonatesta, R. Ogden, C. Kendrick, CFD modeling of transpired solar collectors and characterisation of multi-scale airflow and heat transfer mechanisms, *Solar Energy*, Vol. 131, pp. 149-164, 2016.
[8] R. Vaziri, M. İlkan, F. Egelioglu, Experimental performance of perforated glazed solar air heaters and unglazed transpired solar air heater, *Solar Energy*, Vol. 119, pp. 251-260, 2015.
[9] M. R. Collins, H. Abulkhair, An evaluation of heat transfer and effectiveness for unglazed transpired solar air heaters, *Solar Energy*, Vol. 99, pp. 231-245, 2014.
[10] M. Badache, D. R. Rousse, S. Hallé, G. Quesada, Experimental and numerical simulation of a two-dimensional unglazed transpired solar air collector, *Solar Energy*, Vol. 93, pp. 209-219, 2013.
[11] A. Shukla, D. N. Nkwetta, Y. Cho, V. Stevenson, P. Jones, A state of art review on the performance of transpired solar collector, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, Vol. 16, No. 6, pp. 3975-3985, 2012.
[12] J. Hollick, Solar cogeneration panels, *Renewable Energy*, Vol. 15, No. 1-4, pp. 195-200, 1998.
[13] A. Naveed, E. Kang, E. Lee, Effect of unglazed transpired collector on the performance of a polycrystalline silicon photovoltaic module, *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 128, No. 3, pp. 349-353, 2006.
[14] A. K. Athienitis, J. Bambara, B. O'Neill, J. Faille, A prototype photovoltaic/thermal system integrated with transpired collector, *Solar Energy*, Vol. 85, No. 1, pp. 139-153, 2011.
[15] D. N. Summers, Thermal simulation and economic assessment of unglazed transpired collector systems, M.S. Thesis, University of Wisconsin-Madison, 1995.
[16] C. Kutscher, Heat exchange effectiveness and pressure drop for air flow through perforated plates with and without crosswind, *Journal of Heat Transfer, Transactions ASME*, Vol. 116, No. 2, pp. 391-399, 1994.

[Downloaded from mme.modares.ac.ir on 2024-10-12]
[DOR: 20.1001.1.10275940.1396.17.9.18.4]