مجله مهندسي مكانيك مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، ويژهنامه مجموعه مقالات كنفرانس، صص 127-130

مجموعه مقالات دومین کنفرانس بینالمللی تهویهمطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی بیرجند، دانشگاه بیرجند، 6 و 7 مهر 1395



مهندسی مکانیک مدرس mme.modares.ac.ir



تاثیر ضریب جذب هوا بر کارکرد کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت

حميد محسنی¹، خسرو لاری^{2*}، صابر صادقی²

1- کارشناسی ارشد، مهندسی مکانیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان 2- استادیار، مهندسی مکانیک، دانشگاه تحصیلات تکمیلی صنعتی و فناوری پیشرفته، کرمان * کرمان، صندوق پستی k.lari@kgut.ac.ir ،7631133131

چکیدہ

کلکتورهای خورشیدی در مقایسه با سیستم های گرمایشی استاندارد می توانند صرفه جویی قابل توجهی در مصرف انرژی ایجاد کنند. این مقاله، به ارزیابی انتقال حرارت مرکب تشعشعی و جابجایی طبیعی در کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت میپردازد که محفظه کلکتور بهصورت محیط دخیل در تشعشع در نظر گرفته شده است. ابتدا، مدل مناسب جهت بررسی رفتار حرارتی کلکتور، توسعه یافته و توسط نتایج موجود در دیگر پژوهشها اعتبارسنجی میگردد. جهت مدل سازی تشعشع از روش راستاهای مجزا استفاده میشود. این مدل جهت تحلیل انتقال حرارت داخل یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت با مشخصات واقعی و با در نظر گرفتن کانال آب زیر صفحه جاذب، در شرایط تابش خورشیدی در تابستان برای طیف وسیعی از ضرایب جذب مختلف به کار گرفته می میشود. این مدل جهت تحلیل انتقال حرارت داخل یک کلکتور طبق نتایج به متحت با مشخصات واقعی و با در نظر گرفتن کانال آب زیر صفحه جاذب، در شرایط تابش خورشیدی در تابستان برای طیف وسیعی از ضرایب جذب مختلف به کار گرفته میشود. بر طبق نتایج به دست آمده، با افزایش ضریب جذب هوا، دمای صفحه جاذب در مای هوا افزایش مییابد. تاثیر ضریب جذب بر دمای صفحه جاذب بیشتر است. همچنین با کاهش دمای صفحه جاذب، دمای آب خروجی از که تقریبا با دمای صفحه جاذب در انتهای کانال برابر است، کاهش خورشیدی با شد

کلید واژگان: کلکتور خورشیدی صفحه تخت، انتقال حرارت تشعشعی، انتقال حرارت جابجایی طبیعی، ضریب جذب

The effect of air absorption coefficient on the performance of flat plate solar collectors

Hamid Mohseni, Khosro Lari^{*}, Saber Sadeghi

Department of Mechanical Engineering, Graduate University of Advance Technology, Kerman, Iran * P.O.B. 7631133131, Kerman, Iran, k.lari@kgut.ac.ir

ABSTRACT

Solar collectors compared to standard heating systems can provide significant savings in energy consumption. This paper concerns with analyzing the coupled radiative and natural convective heat transfer in solar flat-plate collectors, when the collector cavity is considered as a radiative participating media. First, an appropriate model for analysis of the thermal behavior of the collector is validated using reliable results in the literature. The discrete ordinates method is used for the radiative analysis and thermal analysis of a flat-plat solar collector, with real specifications and by considering water channel under the absorber, in summer solar conditions and for a wide range of air absorption coefficients are performed. According to the results, by increasing the absorption coefficient of the air, the temperature of absorber plate is decreased while the temperature of the air is increased. The effect of the absorption coefficient on the air temperature is higher than the temperature of the absorber plate. Also, by decrease in the absorber temperature, the outlet water temperature, that is approximately equal to the temperature of the absorber plate, is decreased.

Keywords: Flat plate solar collector, Radiative heat transfer, Natural convection heat transfer, Absorption coefficient

1- مقدمه

جابجایی به سیال درون لولههایی که به سطح متصل میشوند، منتقل می گردد و سپس سیال گرم شده انرژی را به منبع ذخیره منتقل مینماید. انواع سیستم های آبگرمکن خورشیدی به کار گرفته شده در ایران توسط ریاحی و طاهریان [1] بررسی شده است که دو نوع متداول از این سیستمها، جابجایی طبیعی (ترموسیفون) و جابجایی اجباری است. ترکیب تشعشع سطحی و جابجایی طبیعی در یک کلکتور توسط کومار و ردی [2] به طور عددی بررسی شده که معادلات حاکم را دو بعدی در نظر گرفتند و از طریق نرمافزار فلوئنت آنها را حل نمودند. مدل های تحلیلی برای محاسبات و بهینه سازی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت با فضای هوای کوچک و طبیعی توسط سابیانتورو و تایو [3] به طور عددی با نرمافزار فلوئنت بررسی شد. آنها نشان دادند که وقتی فاصله بین شیشه و صفحه جذب کننده کم شد. آنها نشان دادند که وقتی فاصله بین شیشه و صفحه جذب کنده کم مباحث مهم در آنالیز حرارتی کلکتورها، تحلیل تشعشع حرارتی میباشد. در

دسترسی کشورهای درحال توسعه به انواع منابع جدید انرژی، برای توسعه اقتصادی آنها اهمیت اساسی دارد و پژوهشهای جدید نشان داده که بین سطح توسعه یک کشور و میزان مصرف انرژی آن، رابطه مستقیمی برقرار است. با توجه به ذخایر محدود انرژی فسیلی و افزایش سطح مصرف انرژی در جهان فعلی، دیگر نمی توان به منابع موجود انرژی متکی بود. در این میان انرژی خورشید، با توجه به این که انرژی کاملاً پاک و عاری از هرگونه آلودگی بوده و بهعنوان منبع انرژی کاملاً ارزان شناخته شده است، اهمیت بیشتری پیدا می کند.

اصلی ترین قسمت آبگرمکن های خورشیدی کلکتور (گردآور) می باشد که برای جمع آوری انرژی خورشید و انتقال آن به منبع ذخیره بکار می رود. در کلکتورهای خورشیدی، انرژی خورشیدی توسط سطح نسبتاً وسیعشان که معمولاً به رنگ سیاه می باشد، جذب شده و توسط انتقال حرارت هدایت و

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

H.Mohseni, Kh.Lari, S.Sadeghi, The effect of air absorption coefficient on the performance of flat plate solar collectors, *Modares Mechanical Engineering, Proceedings of the* Second International Conference on Air-Conditioning, Heating and Cooling Installations, Vol. 16, No. 13, pp. 127-130, 2016 (in Persian)

تاثير ضريب جذب هوا بر كاركرد كلكتورهاي خورشيدي صفحه تخت

حمید محسنی و همکاران

زمینه تحلیل انتقال حرارت تشعشعی در محیطهای دخیل در تشعشع روشهای عددی متعددی وجود دارد. روش راستاهای مجزا در انتقال حرارت تشعشی توسط تینل[4] بررسی شده است که معادله انتقال حرارت تشعشعی را برای چندین حالت مختلف با روش راستاهای مجزا حل کرد و روش راستاهای مجزا را با روشهای دیگر مقایسه نمود.

با توجه به مرور نوشتجات مختلف این نتیجه بهدست آمد که در کلکتورهای خورشیدی، تاثیر میزان ضریب جذب سیال بین صفحه جذب کننده و شیشه، در عملکرد کلکتور تاکنون مورد مطالعه و بررسی قرار نگرفته است. بنابراین هدف این پژوهش، تحلیل حرارتی و تعیین مشخصههای کارکردی یک کلکتور صفحه تخت به همراه جریان آب در زیر آن است که به منظور بررسی تمامی خصوصیات تشعشعی، محیط بهصورت دخیل در تشعشع در نظر گرفته میشود. بدین منظور، جهت تحلیل حرارتی کلکتور باید انتقال حرارت مرکب تشعشعی، هدایتی و جابجایی طبیعی در سیستم در نظر گرفته شود. برای محاسبات، از نرمافزار صنعتی فلوئنت¹ جهت تحلیل حرارتی کلکتور در ضرایب جذب گوناگون هوا استفاده شده است.

2- معادلات حاكم

هندسه مساله یک کلکتور صفحه تخت دوبعدی است. تمامی خواص فیزیکی سیستم بجز چگالی، ثابت در نظر گرفته میشود. محیط دخیل در تشعشع به صورت جذب کننده و صادر کننده خاکستری در نظر گرفته شده و قابلیت نشر دیوارهها نیز ثابت فرض می شود. معادلات بقای حاکم برای جریان دو بعدی، ناپایدار، آرام و با خواص ثابت با فرض تقریب بوزینسک، به صورت ذیل می باشد:

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = \mathbf{0}$$
(1) aulcle squarks:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial x}$$
(2) aulcle aquiting the squark of the

 $\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho_f C_p} \nabla \cdot q_r \qquad (4)$ $e_{1,2}(f) = e_{1,2}(f) + e_{2,2}(f) = e_{1,2}(f)$ $e_{2,2}(f) = e_{1,2}(f) + e_{2,2}(f) + e_{2,2}(f) = e_{1,2}(f)$ $e_{1,2}(f) = e_{1,2}(f)$ $e_{2,2}(f) =$

 $\nabla \cdot q_r = \kappa \left(4\pi I_b(\mathbf{r}) - \int_{4\pi} I(\mathbf{r}, \Omega) d\Omega \right)$ (5) + vanided variable var

(6) (6) (7, Ω) = $-\kappa I(r, \Omega) + \kappa I_b(r)$ (6) (6) (70) $\kappa I_b(r)$ (6) $\kappa I_b(r)$ (6) $\kappa I_b(r)$ κ

 $q_r = \varepsilon \left(\pi I_b(\mathbf{r}_w) - \int_{n \cdot \Omega' < 0} I(\mathbf{r}_w, \Omega') [n \cdot \Omega'] d\Omega' \right)$ (7) mean of the matrix o

$$I(\mathbf{r}_{w},\Omega) = \varepsilon I_{b}(\mathbf{r}_{w}) + \frac{(1-\varepsilon)}{\pi} \int_{n\cdot\Omega'<0} I(\mathbf{r}_{w},\Omega')[n\cdot\Omega']d\Omega'$$
(8)

¹ Fluent

شكل 1 كلكتور مستطيلي شكل

3- بحث در نتایج

1-3- اعتبار سنجی

به منظور تعیین اعتبار روش مورد استفاده در این مطالعه برای تحلیل انتقال حرارت مرکب تابشی- جابجایی طبیعی، یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت حرارت مرکب تابشی- جابجایی طبیعی، یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت با محفظه مستطیلی "شکل 1" در نظر گرفته میشود. این محفظه محتوی هوا است که دمای صفحه جذبکننده و دمای محیط آن بهترتیب $0.5 = T_{\rm amb} = 30^{\circ}C$ می باشد. ضریب صدور تمام دیوارها 0.5 = 0.5 می باشد. ضریب صدور تمام دیوارها 0.5 = 0.5 می باشد. ضریب صدور تمام دیوارها 0.5 = 0.5 می باشد. ضریب مدور تمام دیوارها 0.5 = 0.5 می باشد. ضریب انتقال حرارت جابهجایی باد و زاویه کلکتور با افق 45 درجه است. ضریب انتقال حرارت جابهجایی باد 20 سرابر با 20 W/m^2 . K برابر با 20 0.5 = 0.5 می مرابه با مشخصات مشابه برای کلکتور، در مطالعه سابیانتور و تایو [3] مورد تحلیل قرار گرفته است. در این مساله، نمینه و ست. در این مساله، است. در این مساله، در این مساله، است. در این مساله، در این مساله، است. در این مساله، در مطالعه سابیانتور و تایو (3 مرفته شده است.

شرط مرزی صفحه پایین دما ثابت، شرط مرزی صفحه بالا (شیشه) از نوع جابجایی و تشعشعی و شرط مرزی دیوارههای کناری کلکتور بهصورت شرط تقارن در نظر گرفته شده است.

"شکل 2 و 3" نتایج مربوط به کانتور دما بهترتیب برای نتایج موجود در مرجع [3] و نتایج کار حاضر میباشد. همان طور که مشاهده می شود، انتقال حرارت بین شیشه و صفحه جذب کننده، جابجایی طبیعی میباشد. در این حالت جریان چرخشی در محفظه رخ می دهد، هوای نزدیک صفحه جذب کننده گرم شده، در اثر نیروی بویانسی به سمت بالا حرکت می کند و هوای سرد نزدیک شیشه جایگزین آن می شود. همان طور که در این شکل ها مشاهده



Fig. 1 Rectangular Collector







Fig. 3 Temperature contour of the present results شکل 3 کانتور دما از نتایج کار حاضر

تاثیر ضریب جذب هوا بر کارکرد کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت

حمید محسنی و همکاران

مشاهده می شود، مطابقت خوبی بین نتایج بهدست آمده در مطالعه حاضر با نتایج مقاله سابیانتورو و تایو [3] وجود دارد.

2-3- آناليز حساسيت

بهمنظور کنترل کردن عدم وابستگی به شبکه محاسباتی برای حالت انتقال حرارت مرکب تشعشی و جابجایی طبیعی از مدل کلکتور جدول 1 استفاده شده است.

محاسبات برای حالت ضریب جذب $^{-1}$ **0 m** (تشعشع سطح به سطح) و مقدار تشعشع مستقیم و دیفیوز گرمترین ماه سال برای شهر کرمان انجام گرفته است. برای آنالیز حساسیت، تحلیل کلکتور برای تعداد المانهای مختلف انجام شد تا زمانی که تغییرات دمای متوسط صفحه جذب کننده بسیار کوچک گردد. المانبندی کلکتور به جهت پرهیز از پلههای دمایی بیش از اندازه تحمیل شده توسط شرایط مرزی، در نزدیک دیوارههای شیشه و صفحه جذب ریز میقوند. در نهایت، نتایج در حالت تعداد المان 382800 مستقل از شبکه محاسباتی به دست آمد و از همین تعداد المان جهت انجام محاسبات در بخش های بعد انتشعشه و منعه رو منه میشوند. در نهایت، نتایج در حالت تعداد المان محاسباتی به دست آمد و از همین تعداد المان جهت انجام محاسبات در بخش های بعد استفاده شد.

4- نتايج

کلکتوری با مشخصات جدول 1 برای مدلسازی در این پژوهش انتخاب شده است.

h_w = محاسبات ضریب انتقال حرارت جابجایی باد = h_w در نظر گرفته می شود. چگالی هوای داخل کلکتور و آب درون کانال طبق معادله (9) و (10) با دما متغیر می باشد.

$$\begin{split} \rho_{\rm air} &= 8.147 - 0.0682T + 2.688 \times 10^{-4}T^2 - 5.387 \quad (9) \\ &\times 10^{-7}T^3 + 5.299 \times 10^{-5}T^4 - 2.0282 \times 10^{-13}T^5 \\ \rho_{\rm water} &= 197.105 + 7.14299T - 0.0200628T^2 \quad (10) \\ &\quad + 1.711949787 \times 10^{-5}T^3 \end{split}$$

محاسبات در طیف وسیعی از ضریب جذب هوا، در ماه ژوئن برای مقادیر تابش خورشیدی شهر کرمان انجام شده است. مقدار تشعشع مستقیم و دیفیوز در ماه ژوئن بهترتیب برابر با **748.18 W/m² و 748.19 W/m** عمیاشد. برای انجام محاسبات چهار ضریب جذب هوای متفاوت، در محدوده وسیعی از $\mathbf{r} = \mathbf{0} \, \mathbf{m}^{-1}$ انتخاب شدهاند. این چهار مقدار عبارتند از: $\mathbf{r} = \mathbf{0} \, \mathbf{m}^{-1}$ ما تتخاب شدهاند. این چهار مقدار حالت محیط شفاف تشعشعی (تشعشع سطح به سطح) را ارایه می کند. ضریب جذب میانگین پلانک برای هوای شهر کرمان در حدود ^{1–} **m 3 س** برای شهرهای ساحلی مانند بوشهر و بندرعباس در حدود ^{1–} **m 3 س** میباشد. ضریب جذب آلا عاصل و ماند بوای موای شهر کرمان در حدود ^{1–} مرای شهرهای ساحلی مانند بوشهر و بندرعباس در حدود ^{1–} مرای هوای میباشد. ضریب جذب برای هوای موای محاون به طور تقریبی برای هوای میباشد. ضریب جذب ¹ مینوان به طور تقریبی برای هوای شهرها با آلودگی بسیار بالا حاصل از دود اگزوز ماشینها و کارخانجات در نظر گرفت. هدف از در نظر گرفتن این ضریب جذب، بررسی رفتار کلکتور در

جدول 1 خصوصيات كلكتور خورشيدي صفحه تخت

Table 1 Specifications of the flat plate solar collector	
مقدار	خصوصيت
$\times 200 \text{ cm}^2 94$	ابعاد بيروني
3 cm	ضخامت عايق
1 mm	ضخامت صفحه جاذب
4 mm	ضخامت شيشه
30 mm	فاصله شيشه تا صفحه جاذب
80 kg.m ⁻³	دانسیته عایق از نوع پشم سنگ

در "شکل 4" کانتورهای دمای مقطع کلکتور برای چهار ضریب جذب مختلف هوا رسم شده است. با مشاهده این اشکال دیده می شود که بیشترین دما در هر حالت، مربوط به صفحه جذب کننده است که طوری طراحی شده است که بتواند حداکثر حرارت خورشیدی را جذب کند. در قسمت زیر صفحه جذب کننده، کانال آب وجود دارد که انتقال حرارت در این بخش بصورت جابه جایی است و موجب می شود که دمای ماکزیمم صفحه جذب کننده در قسمت زیر صفحه جذب کننده بتدریج کاهش یابد و دمای آب موجود در کانال در راستای طول کانال به دلیل انتقال حرارت از صفحه جذب کننده، افزایش یافته، تا این که در انتهای کانال دمای آب خروجی به دمای صفحه جاذب نزدیک می شود. در قسمت بالای کلکتور شیشه قرار دارد که مینیمم جذب و ماکزیمم عبور را دارد، بنابراین دمای شیشه در مقدار مینیمم است.

در فضای بین شیشه و صفحه جذب کننده هوا وجود دارد که انتقال





 $\kappa = 2 \, \mathrm{m}^{-1}$



 $\kappa = 8 \, {\rm m}^{-1}$





129

مهندسی مکانیک مدرس، مهر 1395، دوره 16، شماره 13، مجموعه مقالات دومین کنفرانس بین|لمللی تهویهمطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی

تاثير ضريب جذب هوا بر كاركرد كلكتورهاي خورشيدي صفحه تخت

حمید محسنی و همکا*ر*ان

حرارت در این بخش بهصورت انتقال حرارت ترکیبی تابشی و جابجایی طبیعی می اشد.

با مقایسه کانتورهای دما در "شکل 4" دیده می شود که با افزایش ضریب جذب، توزیع دما در قسمت میانی محفظه در اثر تشعشع به مقدار بیشتری همگن می شود. در واقع با افزایش ضریب جذب، میزان تشعشع خورشیدی جذب شده توسط هوای داخل محفظه افزایش یافته و دمای هسته جرشیدی هوا، افزایش می یابد. انتقال حرارت به سمت مرکز جریان چرخشی افزایش یافته و سبب همگن و یکنواخت شدن توزیع دما در جریان های چرخشی می شود.

در "شکل 5" تغییرات میانگین دمای هوا بین شیشه و صفحه جاذب و در "شکل 6" تغییرات میانگین دمای صفحه جاذب برحسب ضریب جذب هوا رسم شدهاند. با مقایسه کانتورهای دما دیده میشود که با افزایش ضریب جذب، میانگین دمای صفحه جذب کننده به تدریج کاهش می یابد. در واقع، به دلیل این که مقداری از تشعشع خورشیدی ورودی توسط هوای داخل محفظه جذب می شود، در نتیجه متوسط دمای هوای بین شیشه و صفحه جذب کننده افزایش یافته است (شکل 5) و مقدار تشعشع ورودی به صفحه جاذب کم شده و دمای این صفحه کاهش می یابد (شکل 6). میزان تغییر دمای هوا با تغییر ضریب جذب، بیشتر از دمای صفحه جاذب است.

5- نتیجه گیری

در این پژوهش، انتقال حرارت مرکب جابجایی طبیعی و تشعشعی در یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت در حالت دو بعدی با در نظر گرفتن کانال آب



ig. 5 Average air temperature vs. absorption coefficient **شکل 5** تغییرات دمای میانگین هوا برحسب ضریب جذب هوا



Fig. 6 Average absorber temperature vs. absorption coefficient شکل 6 تغییرات دمای ماکزیمم صفحه جاذب برحسب ضریب جذب هوا

زیر صفحه جاذب، مورد مطالعه قرار گرفت. نتایج نشان داد که با افزایش ضریب جذب هوا، دمای هوای بین شیشه و صفحه جاذب افزایش مییابد، در حالی که دمای صفحه جاذب و در نتیجه دمای آب خروجی از کلکتور کاهش مییابد. ولی تاثیر ضریب جذب روی دمای هوا بیشتر از تاثیر آن روی دمای صفحه جاذب می باشد.

در نتیجه در صورت استفاده از کلکتور خورشیدی بهعنوان آبگرمکن خورشیدی، بهدلیل تاثیر کم ضریب جذب بر راندمان آبگرمکن، میتوان در این حالت از محاسبات مربوط به محیط دخیل در تشعشع صرفنظر کرده و تنها تشعشع سطح به سطح را لحاظ نمود. اما در صورت استفاده از کلکتور به عنوان هوا گرمکن، با توجه به تاثیرگذار بودن ضریب جذب هوا مخصوصا برای شهرهایی با رطوبت بالا باید محاسبات مربوط به محیط دخیل در تشعشع را لحاظ نمود.

6- مراجع

- A. Riyahi, H. Taherian, Different types of solar water heating systems used in Iran, Proceedings of The 4th Conference on Optimization of Energy Consuming in Buildings, Tehran, Iran, 2005. (in Persian نفارسی)
- [2] N. S. Kumar, K. Reddy, Study of combined natural convection and surface radiation in a modified cavity receiver for solar parabolic dish collector, *Advances in Energy Research*, 2006.
- [3] A. Subiantoro, O. K. Tiow, Analytical models for the computation and optimization of single and double glazing flat plate solar collectors with normal and small air gap spacing, *Applied Energy*, Vol. 104, pp. 392–399, 2013.
- [4] S. Thynell, Discrete-ordinates method in radiative heat transfer, *International Journal of Engineering Science*, Vol. 36, pp. 1651-1675, 1998.