



تأثیر ضریب جذب هوا بر کارکرد کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت

حمید 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 7631133131، k.lari@kgut.ac.ir

چکیده

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 تشعشی و جابجایی طبیعی در کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت می پردازد که محفظه کلکتور به صورت 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 پژوهش ها اعتبارسنجی می گردد. جهت مدل سازی تشعشع از روش راسهای مجزا استفاده می شود. این مدل جهت تحلیل انتقال حرارت داخل یک کلکتور خورشیدی صفحه تخت با مشخصات واقعی و با در نظر گرفتن کانال آب زیر صفحه جذب، در شرایط تابش خورشیدی در تابستان برای طیف وسیعی از ضرایب جذب مختلف به کار گرفته می شود. بر طبق نتایج به دست آمده، با افزایش ضریب جذب هوا، دمای صفحه جذب کاهش و دمای هوا افزایش می یابد. تأثیر ضریب جذب بر دمای هوا نسبت به دمای صفحه جذب بیشتر است. همچنین با کاهش دمای صفحه جذب، دمای آب خروجی از کانال آب نیز که تقریباً با دمای صفحه جذب در انتهای کانال برابر است، کاهش خواهد یافت.

کلید واژگان: کلکتور خورشیدی صفحه تخت، انتقال حرارت تشعشی، 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-plate 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 می‌گردد 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] به‌طور عددی بررسی شده که معادلات حاکم را دو بعدی در نظر گرفتند و از طریق نرم‌افزار فلونت آن‌ها را حل نمودند. مدل‌های تحلیلی برای محاسبات و بهینه‌سازی کلکتورهای خورشیدی صفحه تخت با فضای هوای کوچک و طبیعی توسط سابانتورو و تابو [3] به‌طور عددی با نرم‌افزار فلونت بررسی شد. آن‌ها نشان دادند که وقتی فاصله بین شیشه و صفحه جذب کننده کم (2mm) باشد، انتقال حرارت جابجایی طبیعی دیگر وجود ندارد. یکی از مباحث مهم در آنالیز حرارتی کلکتورها، تحلیل تشعشع حرارتی می‌باشد. در

دسترس کشورهای در حال 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 نمی‌توان به منابع موجود انرژی متکی بود. در این میان انرژی خورشیدی، با توجه به این‌که انرژی کاملاً پاک و عاری از هرگونه آلودگی بوده و به‌عنوان منبع انرژی کاملاً ارزان شناخته شده است، اهمیت بیشتری پیدا می‌کند.

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

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Please cite this article using:

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 فارسی)

3- بحث در نتایج

1-3- اعتبارسنجی

به منظور تعیین اعتبار روش مورد استفاده در این مطالعه برای تحلیل انتقال 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 به ترتیب $T_{abs} = 90^{\circ}C$ و $T_{amb} = 30^{\circ}C$ می‌باشد. ضریب صدور تمام دیوارها 0.5 و زاویه کلکتور با افق 45 درجه است. ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی باد برابر با $h_w = 20 W/m^2.K$ و ضخامت بین شیشه و صفحه جذب‌کننده 25 mm در نظر گرفته می‌شود. این مسأله با مشخصات مشابه برای کلکتور، در مطالعه سایبانتورو و تایو [3] مورد تحلیل قرار گرفته است. در این مسأله، تنها تشعشع سطح به سطح در نظر گرفته شده است.

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

"شکل 2 و 3" نتایج مربوط به کانتور دما به ترتیب برای نتایج موجود در مرجع [3] و نتایج کار حاضر می‌باشد. همان‌طور که مشاهده می‌شود، انتقال حرارت بین شیشه و صفحه جذب‌کننده، جابجایی طبیعی می‌باشد. در این حالت جریان چرخشی در محفظه رخ می‌دهد، هوای نزدیک صفحه جذب‌کننده گرم شده، در اثر نیروی بویانسی به سمت بالا حرکت می‌کند و هوای سرد نزدیک شیشه جایگزین آن می‌شود. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده

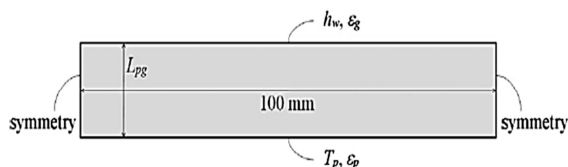


Fig. 1 Rectangular Collector

شکل 1 کلکتور مستطیلی شکل

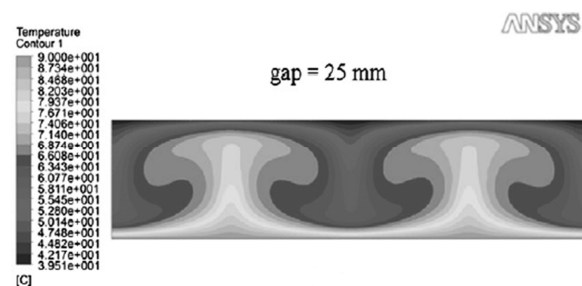


Fig. 2 Temperature contour of Subiantoro and Tiow [3]

شکل 2 کانتور دما از نتایج مطالعه سایبانتورو و تایو [3]

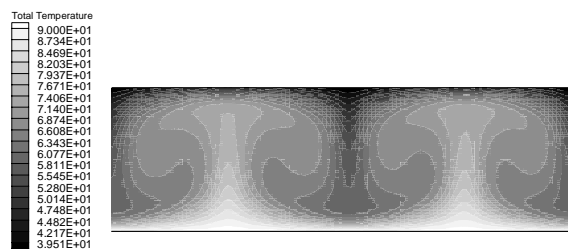


Fig. 3 Temperature contour of the present results

شکل 3 کانتور دما از نتایج کار حاضر

زمینه تحلیل انتقال حرارت تشعشعی در محیط‌های دخیل در تشعشع روش‌های عددی متعددی وجود دارد. روش راستاهای مجزا در انتقال حرارت تشعشعی 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 به دست آمد که در کلکتورهای خورشیدی، تأثیر میزان ضریب جذب سیال بین صفحه جذب‌کننده 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 به صورت 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 حاکم

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

$$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (1) \text{ معادله پیوستگی}$$

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial x} + v \left(\frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right) \quad (2) \text{ معادله مومنوم در جهت X}$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -\frac{1}{\rho_f} \frac{\partial p}{\partial y} + v \left(\frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right) + \beta(T - T_{ave}) \quad (3) \text{ معادله مومنوم در جهت Y}$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} = \alpha \left(\frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) - \frac{1}{\rho_f c_p} \nabla \cdot q_r \quad (4) \text{ معادله انرژی}$$

دیورژانس شار تشعشعی محلی در معادله انرژی (معادله 4) به شدت تشعشع‌های محلی از طریق معادله ذیل مربوط می‌شود:

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

به منظور به دست آوردن میدان شدت تشعشعی معادله انتقال تشعشعی باید حل شود. این معادله برای یک محیط خاکستری جذب‌کننده و صادرکننده به صورت ذیل خواهد بود:

$$(\Omega \nabla) I(r, \Omega) = -\kappa I(r, \Omega) + \kappa I_b(r) \quad (6)$$

برای میدان سرعت شرط مرزی بدون لغزش در نظر گرفته می‌شود. برای معادله انرژی، شار حرارتی تشعشعی در سطوح مرزی به صورت ذیل بیان می‌شود:

$$q_r = \varepsilon (\pi I_b(r_w) - \int_{n \cdot \Omega' < 0} I(r_w, \Omega') [n \cdot \Omega'] d\Omega') \quad (7)$$

شرط مرزی تشعشعی برای سطوح منعکس‌کننده دیفیوز در معادله (6) به این شکل خواهد بود:

$$I(r_w, \Omega) = \varepsilon I_b(r_w) + \frac{(1-\varepsilon)}{\pi} \int_{n \cdot \Omega' < 0} I(r_w, \Omega') [n \cdot \Omega'] d\Omega' \quad (8)$$

¹ Fluent

در "شکل 4" کانترهای 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 جذب 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

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

2-3- آنالیز حساسیت

به منظور 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 $\kappa = 0 \text{ m}^{-1}$ (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 المان های مختلف انجام شد تا زمانی که تغییرات دمای متوسط صفحه جذب کننده بسیار کوچک گردد. المان بندی کلکتور به جهت پرهیز از پله های دمایی بیش از اندازه تحمیل شده توسط شرایط مرزی، در نزدیک دیواره های شیشه و صفحه جذب ریز می شوند. 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 استفاده شد.

4- نتایج

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

در تمام محاسبات ضریب انتقال حرارت جابجایی باد $h_w = 15 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ در نظر گرفته می شود. چگالی هوای داخل کلکتور و آب درون کانال طبق معادله (9) و (10) با دما متغیر می باشد.

$$\rho_{\text{air}} = 8.147 - 0.0682T + 2.688 \times 10^{-4}T^2 - 5.387 \times 10^{-7}T^3 + 5.299 \times 10^{-5}T^4 - 2.0282 \times 10^{-13}T^5 \quad (9)$$

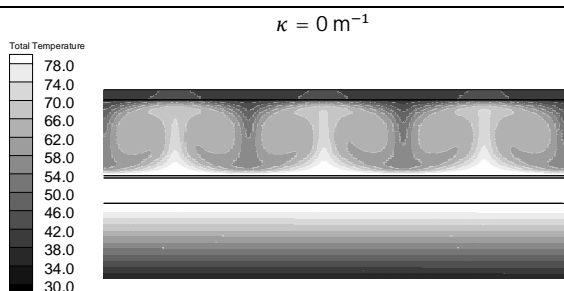
$$\rho_{\text{water}} = 197.105 + 7.14299T - 0.0200628T^2 + 1.711949787 \times 10^{-5}T^3 \quad (10)$$

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 به ترتیب برابر با 748.18 W/m^2 و 234.98 W/m^2 می باشد. برای انجام محاسبات چهار ضریب جذب هوا متفاوت، در محدوده وسیعی از $\kappa = 0 \text{ m}^{-1}$ تا $\kappa = 8 \text{ m}^{-1}$ انتخاب شده اند. این چهار مقدار عبارتند از: $\kappa = 0, 0.3, 2, 8 \text{ m}^{-1}$. ضریب جذب هوا $\kappa = 0 \text{ m}^{-1}$ نتایج حالت محیط شفاف تشعشی (تشعشع سطح به سطح) را ارائه می کند. ضریب جذب میانگین پلانک برای هوای شهر کرمان در حدود $\kappa = 0.3 \text{ m}^{-1}$ و برای شهرهای ساحلی مانند بوشهر و بندرعباس در حدود $\kappa = 2 \text{ m}^{-1}$ می باشد. ضریب جذب $\kappa = 8 \text{ m}^{-1}$ را می توان به طور تقریبی برای هوای شهرها با آلودگی بسیار بالا حاصل از دود آگروز ماشین ها و کارخانجات در نظر گرفت. هدف از در نظر گرفتن این ضریب جذب، بررسی رفتار کلکتور در حالت ضریب جذب بزرگ می باشد.

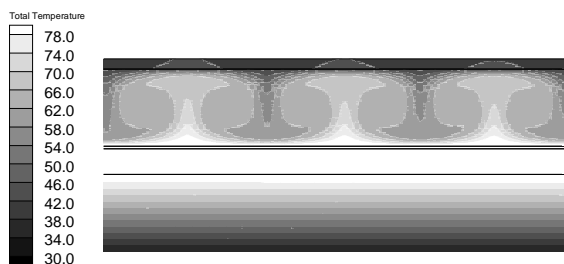
جدول 1 خصوصیات کلکتور خورشیدی صفحه تخت

Table 1 Specifications of the flat plate solar collector

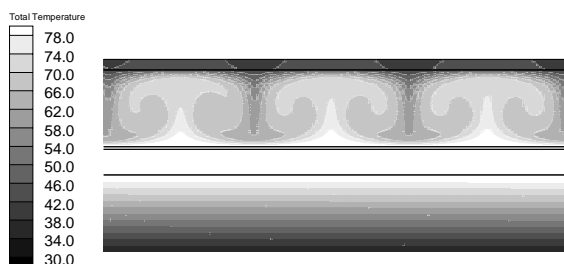
| مقدار | خصوصیت |
|------------------------------|-----------------------------|
| $200 \text{ cm}^2 \times 94$ | ابعاد بیرونی |
| 3 cm | ضخامت عایق |
| 1 mm | ضخامت صفحه جذب |
| 4 mm | ضخامت شیشه |
| 30 mm | فاصله شیشه تا صفحه جذب |
| 80 kg.m^{-3} | دانسیته عایق از نوع پشم سنگ |



$$\kappa = 0.3 \text{ m}^{-1}$$



$$\kappa = 2 \text{ m}^{-1}$$



$$\kappa = 8 \text{ m}^{-1}$$

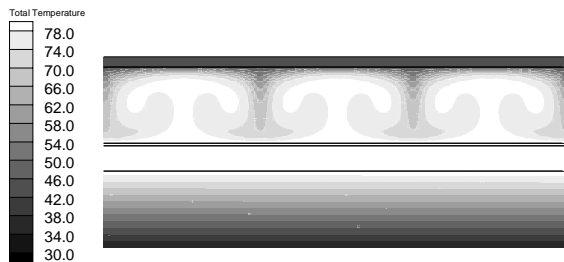


Fig. 4 Temperature contour for different absorption coefficient

شکل 4 کانتر دما برای ضریب جذب های مختلف

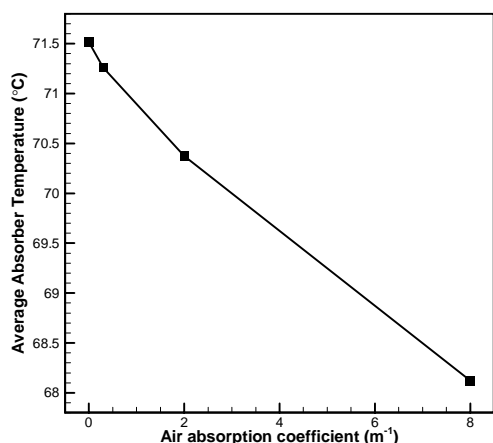


Fig. 6 Average absorber temperature vs. absorption coefficient

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 تأثیر ضریب جذب روی دمای هوا بیشتر از تأثیر آن روی دمای صفحه جاذب می‌باشد.

در نتیجه در صورت استفاده از کلکتور خورشیدی به‌عنوان آبگرمکن خورشیدی، به‌دلیل تأثیر 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 تأثیرگذار بودن ضریب جذب هوا مخصوصاً برای شهرهایی با رطوبت بالا باید محاسبات مربوط به محیط دخیل در تشعشع را لحاظ نمود.

6- مراجع

- [1] 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 فارسی)
- [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.

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

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

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 جاذب کننده به تدریج کاهش می‌یابد. در واقع، به‌دلیل این‌که مقداری از تشعشع خورشیدی ورودی توسط هوای داخل محفظه جذب می‌شود، در نتیجه متوسط دمای هوای بین شیشه و صفحه جاذب کننده افزایش یافته است (شکل 5) و مقدار تشعشع ورودی به صفحه جاذب کم شده و دمای این صفحه کاهش می‌یابد (شکل 6). میزان تغییر دمای هوا با تغییر ضریب جذب، بیشتر از دمای صفحه جاذب است.

5- نتیجه‌گیری

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

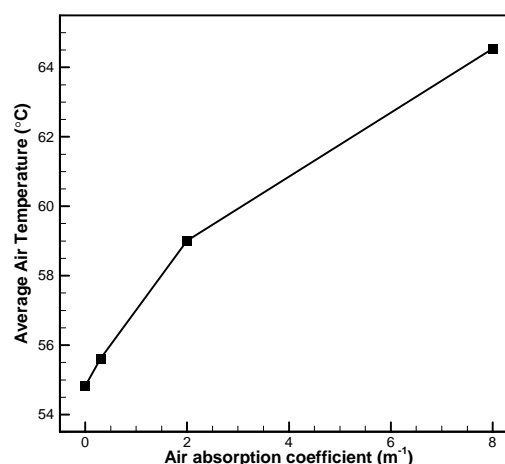


Fig. 5 Average air temperature vs. absorption coefficient

شکل 5 تغییرات دمای میانگین هوا برحسب ضریب جذب هوا