



تحلیل حرارتی و هیدرولیکی کلکتور خورشیدی پارابولیک دو سیاله مجهز به لوله کنگره‌دار و سقف عایق

مجتبی جمعیتی^۱

۱- استادیار گروه فیزیک، واحد نراق، دانشگاه آزاد اسلامی، نراق، ایران
*صندوق پستی ۳۷۹۶۱/۵۸۷۱۹ نراق، ایران، drmjamiati@iau-naragh.ac.ir

چکیده

در کار حاضر تحلیل حرارتی و هیدرولیکی کلکتور خورشیدی پارابولیک دو سیاله مجهز به لوله کنگره‌دار و سقف عایق مورد بررسی قرار گرفته است. سیال مورد استفاده در این کلکتور نانوسیال آب-آلومینا است. هدف اصلی پژوهش پیش رو، بررسی تأثیر استفاده از سیستم دوسیاله، لوله جاذب کنگره‌دار و نانوسیال بر عملکرد حرارتی-هیدرولیکی کلکتورهای پارابولیک خطی است. بدین منظور کمیت‌هایی از جمله دمای خروجی سیال، افت فشار، عدد ناسلت، ضریب اصطکاک، معیار ارزیابی عملکرد حرارتی-هیدرولیکی و بازده انرژی برای حالت‌های مختلف (شامل دمای محیط، دمای ورودی سیال، کسر حجمی نانوسیال، مشخصات هندسی و دبی جرمی سیال در رژیم آشفته) اندازه‌گیری و ارائه شده‌اند و در نهایت مدل‌های بهینه مختلف از نظر دارا بودن بیش‌ترین بازده انرژی و معیار ارزیابی عملکرد حرارتی-هیدرولیکی معرفی شده و در نهایت برترین مدل مشخص می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده در کلکتورهای بدون سایبان، مقدار بازده کلکتور در تمامی دماهای ورودی سیال، کمتر از این مقدار برای کلکتورهای با سایبان است. برای کلکتور بدون سایبان، مقدار بازدهی کلکتور همواره کمتر از این مقدار برای کلکتور سایبان دار است. همچنین برای تمامی حالات بیشترین مقدار بازدهی در دمای ۴۰ درجه اتفاق افتاده است. در همین دما بیشترین بازدهی برای کلکتور خورشیدی پارابولیک نوین با سایبان مقدار ۵۹٫۱۱٪ و بدون سایبان مقدار ۵۴٪ و برای کلکتور خورشیدی پارابولیک مرسوم با سایبان با بازدهی ۵۲٪ قرار می‌گیرند. از سوی دیگر برای تمامی کسرهای حجمی، با افزایش دمای ورودی مقدار بازدهی کلکتور پارابولیک مرسوم بدون سایبان رو به کاهش است. بنابراین یک دمای بهینه برای تمامی کسرهای حجمی در دمای ۴۰ C° وجود دارد.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل

دریافت: ۳۱ خرداد ۱۳۹۹

پذیرش: ۲۵ آبان ۱۳۹۹

ارائه در سایت: ۲۵ آبان ۱۳۹۹

کلیدواژگان

کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی
بهینه‌سازی انرژی
تشعشع
جابه‌جایی اجبار
سایه‌بان
کنگره

Thermal and hydraulic analysis of a novel p double fluid parabolic through solar collector equipped with corrugated tube and insulator roof

Mojtaba Jamiati¹

1- Assistant professor Department of Physics, Naragh Branch, Islamic Azad University, Naragh, Iran
* P.O.B. 58719/37961 naragh, Iran, drmjamiati@iau-naragh.ac.ir

Article Information

Original Research Paper
Received 20 June 2020
Accepted 15 November 2020
Available Online 15
November 2020

Keywords

Parabolic solar collector

ABSTRACT

The present study investigates a double-fluid volumetric based parabolic trough solar receiver. The control volume approach is used to solve the system of classical single phase governing equations by using the finite volume method. The standard k-ε turbulence model with enhanced wall function is selected. According to obtained results, the value of efficiency of Conventional-Parabolic-Through-Solar-Collectors (CPTSCs) and Novel-Parabolic-Through-Solar-Collectors (NPTSCs) reduces by increasing of inlet

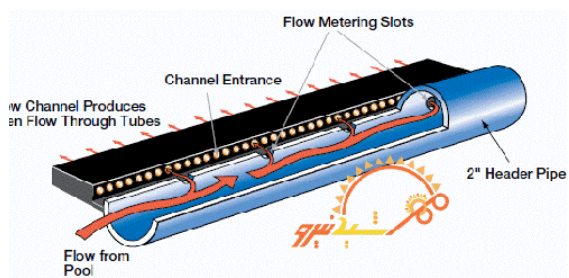
Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Mojtaba Jamiati, Thermal and hydraulic analysis of a novel p double fluid parabolic through solar collector equipped with corrugated tube and insulator roof, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, Vol. 11, No. 3, pp. 14-26, 2020 (In Persian)

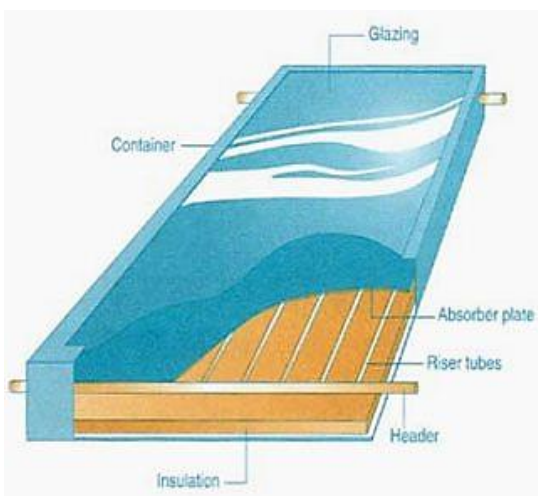
Novel model
Nanofluid
Canopy

temperature of base fluid and therefore, there is an optimum inlet temperature for all configurations and it is equal to 40°C. But, in high inlet temperatures, usage of CPTSCs is more suggested and in inlet temperature of 150°C, the efficiency of CPTSC with canopy is more than all other models and it is equal to 48.32% and after it, NPTSC with canopy, CPTSC without canopy and NPTSC without canopy are in located in next ranks, respectively. In case of using nanofluid, there is an optimum inlet temperature for all volume fractions and it is equal to 40°C and in high inlet temperatures,



شکل ۱ یک نمونه از کلکتورهای صفحه تخت بدون لعاب مایع

همان طور که در شکل (۲) نشان داده شده است، یک صفحه جذب کننده تخت در یک قالبی بین یک لایه دوتایی یا تکی از شیشه و یک پنل عایقی، در پشت آن فیکس شده است. با توجه به سطح صیقلی و براق آن انرژی بیشتری از خورشید جذب می‌گردد (اثر گلخانه ای). این نوع کلکتورها معمولاً در کاربردهایی با دمای متوسط استفاده می‌گردند.



شکل ۲ یک نمونه صفحه جذب کننده تخت

همان طور که در شکل (۳) مشاهده می‌نمایید، این نوع از کلکتورها یک صفحه جذب کننده با یک پوشش برگزیده دارد که در آن یک لوله خلا شیشه ای محصور شده قرار دارد. بازده کاری این نوع از کلکتورها بسیار مناسب بوده و تلفات گرمایی که به

۱- مقدمه

سیستم های حرارتی خورشیدی شامل سیستم هائی می‌شود که بر پایه گردآورنده های حرارتی با دمای پایین عمل می‌نماید. این سیستم ها از منبع خورشیدی برای مصرف نهائی حرارتی استفاده می‌کنند. این سیستم‌ها خود شامل ۲ گروه گردآورنده های تخت (کلکتورهای تخت) و کلکتورهای متمرکز کننده می‌شوند. پوششهای خاصی به صفحات جذب کننده کلکتورها اعمال می‌گردد تا بازده سراسری کلکتورها را بهبود ببخشد. یک مایع حرارتی انرژی جذب شده را جمع می‌کند. چندین نوع از کلکتورهای خورشیدی برای گرم کردن مایع وجود دارد انتخاب یک کلکتور خورشیدی به دمای برنامه مورد نظر و زمان استفاده از آن بستگی دارد. یک نمونه از کلکتورهای صفحه تخت بدون لعاب مایع در شکل (۱) نشان داده شده است، که معمولاً از یک ماده پلیمر سیاه ساخته می‌شوند. این نوع کلکتورها در حالت عادی دارای پوشش های برگزیده بر روی صفحات جذب کننده نمی‌باشند و شامل هیچ قالب و عایقی در پشت خود نبوده و معمولاً به صورت ساده ای بر روی سقف یا یک صفحه چوبی نصب می‌گردند. این نوع از کلکتورهای ارزان قیمت قدرت خوبی در جذب انرژی خورشیدی دارند اما تلفات حرارتی به محیط زیست بویژه در مناطق طوفانی را به سرعت افزایش می‌دهند. در آب و هوای سردتر آنها فقط در فصل تابستان مورد استفاده قرار می‌گیرند زیرا تلفات حرارتی این جمع کننده ها بسیار بالاست. از جمله موارد کاربرد این نوع از کلکتورها در فرآیندهای حرارتی می‌باشد [۱].

بنابندراهمانه و همکاران [۲] در سال ۲۰۱۷ در یک مطالعه عددی سه بعدی، جریان آشفته نانوسیال آلومینا در کلکتور خورشیدی پارابولیک مجهز به فین‌های زاویه‌دار تحت تابش خورشیدی غیر یکنواخت را بررسی نمودند. ایشان ابتدا نتایج عددی خود را با نتایج تجربی اعتبارسنجی نموده و سپس به بررسی عملکرد حرارتی کلکتور پرداختند. با توجه به نتایج کار ایشان، استفاده از نانوذرات به قطر کوچکتر بهبود عملکرد حرارتی بیشتری حاصل می‌نماید.

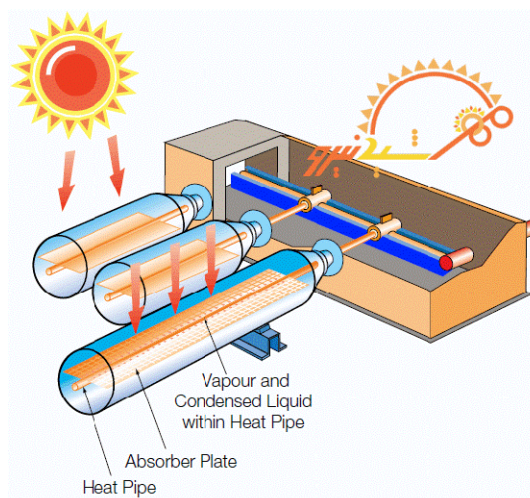
چافی و همکاران [۳] در سال ۲۰۱۷ در یک پژوهش تجربی بازده انرژی و اگزرژی کلکتورهای خورشیدی پارابولیک را مورد ارزیابی قرار دادند. هدف اصلی کار ایشان بهبود عملی عملکرد کلکتورهای خورشیدی پارابولیک است. ایشان به‌طور دقیق، انرژی مفید دریافتی، اگزرژی منتقل شده به سیال کاری، بازده انرژی، بازده اگزرژی و فاکتور اگزرژی را محاسبه و گزارش نمودند. نتایج کار ایشان نشان می‌دهد که عملکرد حرارتی کلکتورهای خورشیدی تا حد زیادی به شرایط اقلیمی و آب و هوایی محل نصب کلکتور بستگی دارد. بر اساس نتایج ایشان بهترین بازده انرژی و اگزرژی در روزهای آسمان صاف رخ می‌دهد و رنج تغییرات بازده انرژی و اگزرژی کلکتور بسته به شرایط اقلیمی به ترتیب در محدوده‌های ۱۹/۷٪ تا ۵۲/۶٪ و ۸/۵٪ تا ۱۶/۳٪ تغییر می‌نماید.

چاندرا و همکاران [۴] در سال ۲۰۱۷ به‌صورت عددی عملکرد کلکتورهای خورشیدی یک سمت عایق را مورد بررسی قرار دادند. ایشان دو مدل کلکتور خورشیدی پارابولیک طرح مبتنی بر خلأ و مبتنی بر هوا را مورد بررسی قرار دادند. در تحقیق جمشیدی و همکاران [۵] رشد اثرات افزایش نانوذرات SiO_2 بر روی ویسکوزیته گروهی از سیالات به صورت آزمایشگاهی در یک کلکتور خورشیدی مجهز به بازتابنده بررسی شده است. سیال پایه از میان سیالات پایه رایج در انتقال حرارت مانند اتیلن گلیکول، روغن ترانسفورماتور و آب انتخاب شده است.

انتقال حرارت اطراف یک مانع مربعی برای زوایای مختلف توسط دلهانی و همکاران [۶] مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه کار آن‌ها نشان داده است که با افزایش زاویه مانع، نرخ انتقال حرارت افزایش می‌یابد.

برخی مطالعات عددی و تجربی بر روی جریان سیال و انتقال حرارت داخل کانال‌های موج‌دار توسط بسیاری از محققان صورت گرفته است. وانگ و وانکا [۷] انتقال حرارت جابجایی را در یک

محیط انتقال می‌دهند بسیار پایین می‌باشد. سیستم‌های موجود در بازار از یک لوله گرمایی مهر و موم شده برای استخراج کردن گرما از صفحه جذب کننده استفاده می‌کنند (مایع در هنگام تماس با جذب کننده گرم شده تبخیر می‌گردد، گرما از بالای لوله بازیافت شده در حالیکه بخار متراکم می‌گردد و بخار متراکم شده بوسیله جاذبه به جذب کننده بر می‌گردد.



شکل ۳ یک نمونه کلکتورهای خورشیدی لوله خلا

۲- بیان مساله

هدف اصلی کار حاضر، یافتن روشی برای رسیدن به بیشترین بازده کلکتور خورشیدی پارابولیک است. مشخص شده است که به‌منظور بهبود عملکرد کلکتورهای خورشیدی می‌توان با استفاده از توربولاتورهای یا سقف‌های عایق، میزان جذب انرژی خورشیدی را بهبود داد. در کار حاضر از یک طرح نوین برای استاده از سیستم دوسیاله استفاده شده است؛ به این صورت که تمامی فضای بین کاور شیشه‌ای و جاذب سیال انتقال حرارت وجود دارد و بین دو کاور شیشه‌ای وکیوم می‌شوند. به منظور نشان دادن اثرات استفاده از سیستم دوسیال دارای سقف عایق، بازده انرژی کلکتور در زمان‌های مختلف روز محاسبه و گزارش شده‌اند در این بین از داده‌های تجربی موجود در پژوهش‌های پیشین استفاده شده است. در نهایت مدل‌های بهینه مختلف از نظر دارا بودن بیش‌ترین بازده انرژی معرفی شده و در نهایت برترین مدل مشخص می‌شود.

۳- پیشینه تحقیق

می‌دهد. در مطالعه‌ای دیگر ژانگ و چه [۱۵] به صورت عددی و سه‌بعدی انتقال حرارت و جریان سیال را در کانال‌های کنگره‌دار مقطعی با در نظر گرفتن هشت مدل آشفتگی مختلف بررسی نمودند.

جنبه‌های مختلف انتقال حرارت در اطراف موانع در دو دهه‌ی اخیر مورد بررسی قرار گرفته است. اسریکنک و همکاران [۱۶] تحقیقاتی را روی جریان و انتقال حرارت در اطراف یک مانع مثلی که درون یک کانال افقی قرار دارد انجام داده‌اند. آن‌ها دریافتند که بیش‌ترین تجمع دمایی در سطوح بالا و پایین مانع مثلی اتفاق می‌افتد. انتقال حرارت اطراف یک مانع مربعی برای زوایای مختلف توسط دلهانی و همکاران [۱۷] مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه کار آن‌ها نشان داده است که با افزایش زاویه مانع، نرخ انتقال حرارت افزایش می‌یابد. دینامیک سیالات و انتقال حرارت اجباری برای مقاطع شبه دایره‌ای توسط بهیندر و همکاران [۱۸] مورد بررسی قرار گرفته است. آن‌ها نشان داده‌اند که انحناهای خطوط جریان با افزایش زاویه برخورد زیاد خواهد شد. جریان سیال و انتقال حرارت پشت یک مانع مربعی توسط دهیماننا و همکاران [۱۹] بررسی شده است. آنها دو نوع شرایط مرزی دما ثابت و شار ثابت را برای مانع در نظر گرفتند. جریان نانو سیال و انتقال حرارت اطراف یک مانع مربعی توسط اطمینان، فروجی و همکاران [۲۰] مورد بررسی قرار گرفته است. آن‌ها دریافتند که نرخ انتقال حرارت با افزایش قطر نانو ذرات، کاهش می‌یابد. از دیگر جاهایی که وجود مانع بر سر راه جریان کاربرد دارد، در جریان‌های هیدرومگنتیک است. وجود مانع تأثیر میدان مغناطیسی که باعث میرایی اغتشاشات می‌شود را کاهش می‌دهد.

۴- روش اجرای تحقیق

در این بخش ابتدا مدل فیزیکی مساله معرفی و مشخصات آن بیان می‌شود. سپس معادلات موازنه انرژی و انرژی و همچنین معادلات حاکم بر جریان و انتقال حرارت ارائه می‌شوند. همچنین در مورد روش حجم محدود و روش‌های انفصال، شبکه بندی و الگوریتم حل مسائل در نرم افزار فلوننت اطلاعاتی بیان می‌شود. در شکل (۴)، نمای شماتیک کلکتور خورشیدی صفحه تخت،

معبّر موج‌دار متناوب به صورت عددی مطالعه کردند. مشخص شد که برای رینولدزهای کمتر از ۱۸۰ جریان پایا باقی می‌ماند و برای رینولدزهای بزرگتر از آن به علت گذار به جریان آشفته، افزایش قابل توجهی در انتقال حرارت مشاهده می‌شود. یک تحقیق عددی بر روی جریان انتقال حرارت جابجایی اجباری آشفته در یک کانال با دیواره موج‌دار توسط وانگ و چن [۸] انجام شد. نتایج نشان دادند همچنان که دامنه موج، طول موج و عدد رینولدز افزایش می‌یابند، عدد ناسلت محلی به طرز قابل توجهی افزایش می‌یابد. نیکرو و نوبیل [۹] پارامترهای حرارتی و هیدرولیکی را در یک جریان هوای آرام پایا و گذرا (وابسته به زمان) برای یک مدل کانال دو بعدی موج‌دار متناوب، به صورت عددی آنالیز کردند. مشاهده شد که در یک رژیم گذرا، ماورای اعداد رینولدز بحرانی انتقال حرارت قابل توجهی رخ می‌دهد. باهادار و همکاران [۱۰] به صورت عددی یک تحقیق دو بعدی را به منظور مشخص نمودن جریان سیال و انتقال حرارت در یک معبر موج‌دار متناوب با استفاده از روش حجم محدود ارزیابی کردند.

یک شبیه‌سازی عددی سه بعدی روی جریان آرام و انتقال حرارت داخل میکروکانال‌های موج‌دار توسط سوی و همکاران [۱۱] انجام گرفت. بر طبق نتایج استفاده از میکروکانال‌های موج‌دار عملکرد حرارتی بهتری دارند و در مقایسه با میکروکانال‌های پایه راست، تاوان افت فشار کوچکتری دارند. آساتو و دلموس [۱۲] عملکرد مدل‌های گردابه-ویسکوز خطی و غیر خطی را به منظور پیش‌بینی جریان آشفته در کانال‌های موج‌دار سینوسی متناوب، به صورت عددی بررسی کردند. نتیجه‌گیری‌ها نشان داد که با استفاده از مدل غیر خطی برای رفتار دیواره‌ها و اعداد رینولدز بالا، حتی در صورت استفاده از شبکه‌بندی درشت و ضریب تخفیف‌های بالا، به شکلی ساده‌تر نتایج محکم‌تری به دست می‌آیند.

تولنتینو و همکاران [۱۳] به صورت تجربی، جریان سیال داخل کانال موج‌دار سینوسی را مطالعه نمودند. بر اساس نتایج آن‌ها، در یک فاصله مشخص بین صفحات بالا و پایین کانال، یک شیفت فاز بهینه برای افزایش مشخصه‌های حرارتی کانال وجود دارد. نافون و کورن‌کوم‌جایریت [۱۴] به صورت عددی مشخصه‌های جریان و انتقال حرارت را در کانالی که تنها یک صفحه آن کنگره‌دار شده را بررسی کردند. آن‌ها در مطالعه خود از معادلات آشفتگی k-ε استفاده نمودند. نتایج آن‌ها افزایش قابل توجه انتقال حرارت را در مقایسه با کانال صاف نشان

در رابطه فوق، A_c سطح جاذب کلکتور، T_a دمای محیط و T_{pm} دمای متوسطه صفحه جاذب است. لازم به ذکر است دمای صفحه جاذب مقدار ثابتی نیست و در نظر گرفتن دمای متوسط برای آن کاملاً یک مفهوم مجازی است. در کار حاضر به دلایل زیر تغییرات دمای صفحه جاذب چندان زیاد نیست و در نظر گرفتن دمای ثابت میانگین برای آن در نتایج عددی حاصل می شود منطقی به نظر می رسد: ۱. سینک حرارتی در تمام سطح زیر جاذب گسترده شده است. ۲. رسانایی جوش بین صفحه و سینک بسیار بالاست. ۳. رسانایی خود صفحه جاذب بسیار بالاست. ۴. ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال بالاست. در رابطه فوق S ، بخشی از تشعشع خورشیدی بر واحد سطح جاذب کلکتور است که توسط آن جذب می شود و از رابطه زیر به دست می آید [۲۱-۲۲]:

$$S = \eta_0 \cdot I_T \quad (2)$$

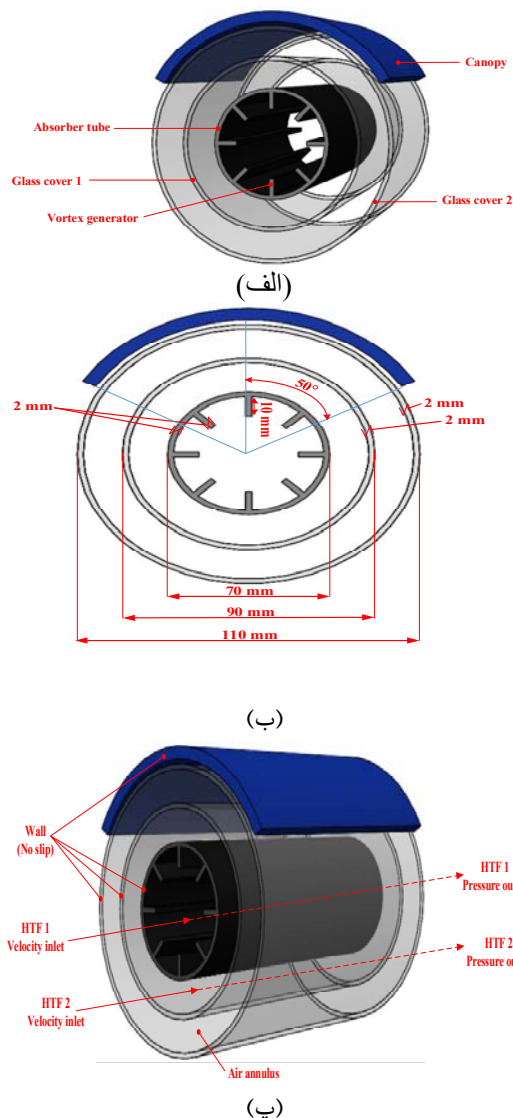
در این رابطه I_T شار تشعشع خورشیدی (میانگین ساعتی روزانه) وارد شده به کلکتور و η_0 بازده اپتیکی است. بازده اپتیکی برابر حاصلضرب مؤثر عبور- جذب است از رابطه زیر به دست می آید [۲۱-۲۲]:

$$\eta_0 = (\tau\alpha) = 1.01\tau \cdot \alpha \quad (3)$$

همچنین I_T از رابطه زیر محاسبه می شود:

$$I_T = I_b R_b + I_d \left[\frac{1 + \cos \beta}{2} \right] + I \cdot \rho_{gr} \left[\frac{1 - \cos \beta}{2} \right] \quad (4)$$

مجهز به بازتابنده کنگره‌دار نشان داده شده است.



شکل ۴ (الف) هندسه کلکتور خورشیدی مجهز به بازتابنده‌های کنگره‌دار، (ب) هندسه کنگره‌ها و (پ) شرایط مرزی

جدول (۱)، مشخصات هندسی، ترموفیزیکی و اپتیکی کلکتور خورشیدی مدل سازی شده را نشان می دهد. همچنین برخی اطلاعات هندسی کلکتور خورشیدی در شکل (۴) نشان داده شده است.

انرژی مفید کسب شده توسط کلکتور بر حسب مقدار تشعشع خورشیدی ورودی و تلفات حرارتی از بدنه کلکتور عبارت است از [۲۱-۲۲]:

$$Q_{u,c} = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (1)$$

$$U_L = U_i + U_b + U_e \quad (۴)$$

در رابطه فوق، U_i افت از سمت بالای صفحه جاذب بر محیط، U_b افت از پشت کلکتور و U_e افت از کناره‌هاست.

برای شبکه‌بندی شش وجهی و چهار وجهی زمانی که وجوه و سلول‌های واحد بالادست و پایین‌دست مشخص باشند، فلوننت برای محاسبه مقدار مرتبه بالاتر متغیر جابه جایی ϕ در یک صفحه، روش مرتبه سوم را نیز به کار می‌گیرد. روش‌های مرتبه ۳ بر پایه محاسبه میانگین جهت‌دار در روش آپ ویند مرتبه ۲ و میان‌بایی‌های مرکزی متغیرها می‌باشد [۲۴].

روشی که نرم‌افزار فلوننت برای حل معادلات بقا در نظر گرفته است، روش حجم محدود می‌باشد. در این روش میدان محاسباتی به تعدادی حجم کنترل که هر کدام یک گره را احاطه می‌نمایند تقسیم می‌شود. ابعاد حجم‌های کنترل می‌تواند متفاوت باشد که این روش تأکیدی بر یکسان بودن آن‌ها ندارد. قدم کلیدی در روش حجم کنترل انتگرال‌گیری از معادلات دیفرانسیل بر روی هر یک از حجم‌های کنترل است.

بدیهی است که برای شبیه‌سازی یک جریان به وسیله دینامیک سیالات محاسباتی ابتدا باید دامنه محاسباتی تولید گردد. از آنجا که نرم‌افزار فلوننت تنها یک نرم‌افزار محاسباتی می‌باشد، لازم است از نرم‌افزارهای پشتیبانی‌کننده آن استفاده کرد. از جمله این نرم‌افزارهای پشتیبانی‌کننده می‌توان ADMESH، ICEM، GAMBIT، CEI، ANSYS، NASTARAN، ANGENER، CFD، FIDAP و PREBFC را نام برد. نرم‌افزار گمبیت بهترین انتخاب برای ساختن فایل‌های ورودی فلوننت می‌باشد. هندسه و شبکه را می‌توان توسط نرم‌افزار پیش‌پردازنده گمبیت تولید کرد. نرم‌افزار گمبیت قادر به تولید انواع شبکه‌بندی (مش‌های چهار ضلعی، مثلثی، مش‌های حجمی چهار وجهی و شش وجهی) بوده و در آن می‌توان شرایط مرزی را نیز مشخص نمود [۲۰-۱۷].

آزمون استقلال نتایج از شبکه‌بندی برای کلکتور حاوی سیال آب برای تجزیه و تحلیل اثرات ابعاد شبکه‌بندی بر نتایج انجام گرفته است. مطابق جدول (۳-۲)، چهار حالت شبکه‌بندی دارای تعداد گره‌های ۳۹۵۴۱۳۱ و ۳۷۲۸۶۲۳، ۳۵۹۹۰۰۷، ۳۲۴۳۹۸۳، ۳۲۴۳۹۸۳ و ۳۷۲۸۶۲۳ به‌عنوان مدل حاوی سیال آب در نظر گرفته شده است. با مقایسه چهار حالت فوق، شبکه‌بندی با تعداد گره ۳۷۲۸۶۲۳ به‌عنوان شبکه‌بندی قابل قبول هم از نظر دقت و هم از نظر صرفه جویی در زمان حل انتخاب شد.

جدول ۱ مشخصات هندسی، ترموفیزیکی و اپتیکی کلکتور

مشخصات	مورد
صفحه تخت مجهز به سینک حرارتی	نوع کلکتور
آلومینیوم	جنس صفحه
رنگ سیاه مات	جنس پوشش صفحه
۰/۰۰۱ mm	ضخامت صفحه
۰/۹	ضریب صدور صفحه (ϵ_p)
۲۱۱ W / m . K	ضریب هدایت حرارتی صفحه (k_p)
۲×۰/۹۲۵ m	ابعاد کلکتور
۳۵ درجه	شیب قرارگیری کلکتور (β)
یک	تعداد پوشش شیشه‌ای
۰/۸۵	ضریب صدور پوشش شیشه‌ای
۲/۵ cm	قطر هیدرولیکی لوله
۰/۶۸	بازده اپتیکی (η_0)
۰/۰۵ W / m . K	ضریب هدایت حرارتی عایق‌ها (k_i)
۴۲۰۰ J / kg . K	ظرفیت گرمایی ویژه (c_p) سیال عامل (آب)

در رابطه فوق I ، I_b و I_d به ترتیب تشعشع خورشیدی روی سطح افقی، تشعشع مستقیم^۱ خورشیدی و تشعشع پخشی^۲ هستند. همچنین R_b نسبت تشعشع مستقیم خورشیدی ورودی روی سطح افقی به تشعشع مستقیم روی سطح زاویه دار است و از رابطه (۵) محاسبه می‌شود:

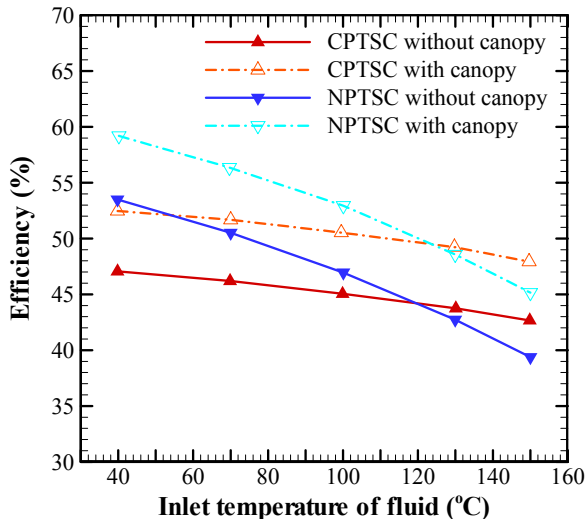
$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos(\omega) + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta} \quad (۵)$$

در رابطه فوق، φ عرض جغرافیایی محل^۳، θ زاویه انحراف خورشیدی^۴ و ω زاویه ساعت^۵ است [۲۳].

منظور از U_L در رابطه (۱) افت کلی از کلکتور است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

1. direct beam
2. direct beam
3. latitude
4. declination angle
5. hour angle

تمامی دماهای ورودی سیال رو به کاهش است. در کلکتورهای بدون سایبان NPTSCs، مقدار بازده کلکتور در تمامی دماهای ورودی سیال، کمتر از این مقدار برای کلکتورهای با سایبان CPTSCs است. بازدهی کلکتورهای با و بدون سایبان NPTSCs، نیز در تمامی دماهای ورودی سیال رو به کاهش است. برای کلکتور بدون سایبان NPTSCs، مقدار بازدهی کلکتور همواره کمتر از این مقدار برای کلکتور سایبان دار NPTSCs است. همانطور که مشاهده می‌شود، برای تمامی حالات بیشترین مقدار بازدهی در دمای ۴۰ درجه اتفاق افتاده است. در همین دما بیشترین بازدهی برای NPTSCs سایبان با مقدار ۵۹٫۱۱٪ است. بعد از آن به ترتیب NPTSC بدون سایبان با بازدهی ۵۴٪ و CPTSC با سایبان با بازدهی ۵۲٪ قرار می‌گیرند. کمترین بازدهی در این دما مربوط به CPTSCs بدون سایبان با بازدهی ۴۷٪ است. در درجه حرارت زیاد CPTSCs سایبان پیشنهاد می‌شود. زیرا در دمای ورودی ۱۵۰ درجه، بازدهی CPTSCs سایبان ۴۸٫۳۲٪ و بیشترین مقدار است. NPTSC سایبان با بازدهی ۴۵٪، CPTSC بدون سایبان با بازدهی ۴۲٪ و NPTSC بدون سایبان با بازدهی ۳۹٪ به ترتیب در رده های بعدی قرار دارند.



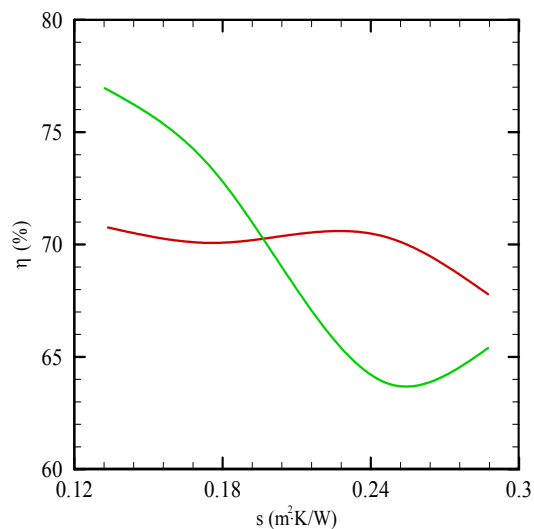
شکل ۶ نمودار تغییرات بازده انرژی بر حسب تغییرات دمای ورودی به کلکتورهای پایه و نوین در شرایط استفاده و عدم استفاده از عایق سقفی در رینولدز ۲۰۰۰

شکل (۷) نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور پایه بدون عایق سقفی بر حسب تغییرات دمای ورودی و کسر حجمی نانوذرات در رینولدز ۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. در حقیقت این شکل مقایسه بازدهی کلکتور پارابولیک معمولی و نوین PTSCs را بر حسب دمای ورودی سیال، با و بدون سایبان در عدد

اعتبارسنجی برنامه کامپیوتری بر اساس هندسه و شرایط مرزی تحقیق دودلی و همکاران [۲۵] انجام شده است. آن‌ها به صورت عددی عملکرد انتقال حرارت و جابجایی اجباری جریان آب در داخل یک کلکتور خورشیدی را به صورت عددی را مورد بررسی قرار دارند. با مقایسه نتایج کار حاضر و مرجع [۹۲] در مورد بازده انرژی از کلکتور، مطابق شکل (۵) انطباق خوب جواب‌ها با حداکثر خطای ۹/۳۲۱ درصد مشاهده می‌شود.

جدول ۲ آزمون استقلال حل از شبکه

No.	تعداد گره	T_{out} (°C)	Error (%)
۱	۳۲۵۲۸۵۱	۶۶/۶۷۸۲	۲/۲۳
۲	۳۶۰۸۱۷۸	۷۰/۵۱۳۴	۱/۰۴
۳	۳۷۹۰۹۰۱	۷۰/۷۸۱۱	۰/۲۰
۴	۳۹۳۷۸۱۰	۷۰/۷۸۳۴	-

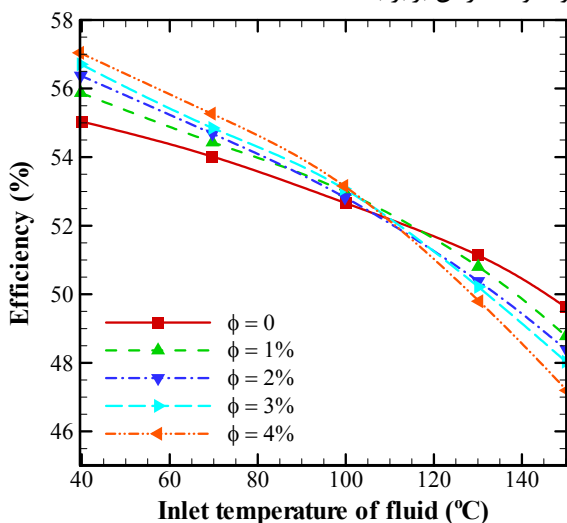


شکل ۵ مقایسه نتایج کار حاضر و مرجع [۲۵] در مورد بازده انرژی خط قرمز: کار حاضر، خط سبز: دودلی و همکاران [۲۵]

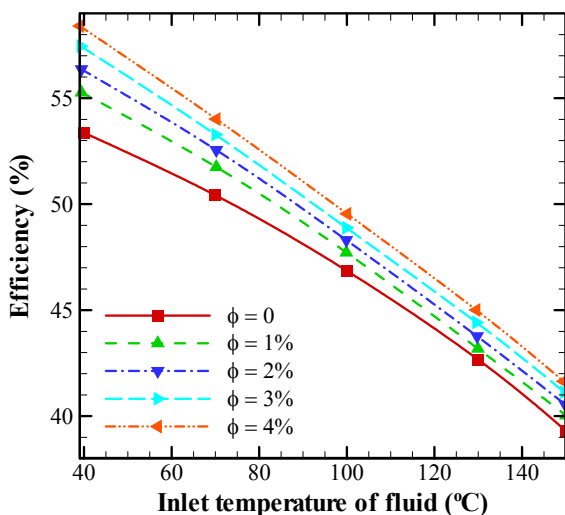
۵- تجزیه و تحلیل نتایج

شکل (۶) نمودار تغییرات بازده انرژی بر حسب تغییرات دمای ورودی به کلکتورهای پایه و نوین در شرایط استفاده و عدم استفاده از عایق سقفی در رینولدز ۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود روند تغییرات بازدهی در $Re = 2000$ و کلکتورهایی با و بدون سایبان در CPTSCs در

در این دما، بیشترین بازده کلکتور برای کسر حجمی ۴٪ بوده و مقدار ۵۷٫۰۰٪ است. در جایگاه‌های بعدی، به ترتیب کسرهای حجمی ۳٪، ۲٪، ۱٪ و ۰ قرار داشته که بازده کلکتور در این کسرهای حجمی ۵۶٫۸۰٪، ۵۶٫۴۰٪، ۵۵٫۹۰٪ و ۵۵٫۰۰٪ است. در دماهای ورودی بالاتر، پیشنهاد می‌شود از سیال پایه استفاده شود؛ زیرا در دمای ۱۵۰°C بیشترین بازدهی مربوط به سیال پایه بوده و مقدار آن برابر با ۴۹٫۷۰٪ است.



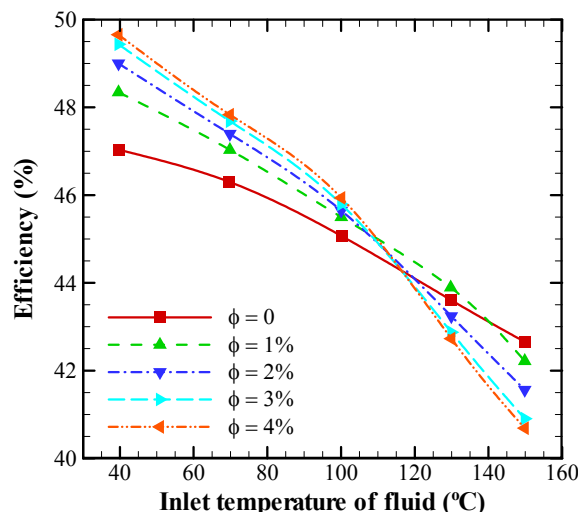
شکل ۸ نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور پایه دارای عایق سقفی بر حسب تغییرات دمای ورودی و کسر حجمی نانوذرات در رینولدز ۲۰۰۰



شکل ۹ نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور در حالت IWON بر حسب تغییرات دمای ورودی و کسر حجمی نانوذرات در رینولدز ۲۰۰۰

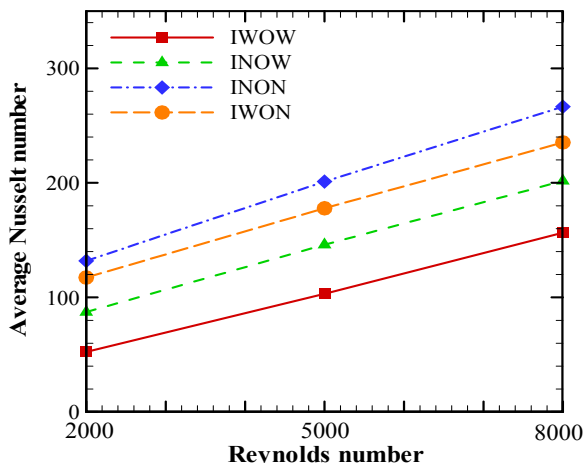
شکل (۹) نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور در حالت IWON بر حسب تغییرات دمای ورودی و کسر حجمی نانوذرات

رینولدز ۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. این شکل مقایسه بازدهی کلکتور بر حسب دمای ورودی نانوسیال با رشد کسری حجمی نانوذرات از ۰ تا ۴٪ را برای CPTSC بدون سایبان در $Re = 2000$ را نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود که برای تمامی کسرهای حجمی، با افزایش دمای ورودی مقدار بازدهی کلکتور CPTSC بدون سایبان رو به کاهش است. بنابراین یک دمای بهینه برای تمامی کسرهای حجمی در دمای ۴۰°C وجود دارد. در این دما بیشترین بازده کلکتور برای کسر حجمی ۴٪ بوده و مقدار آن ۴۹٫۸۵٪ است. در جایگاه‌های بعدی کسرهای حجمی ۳٪، ۲٪، ۱٪ و ۰ قرار داشته که بازده کلکتور در این کسرهای حجمی به ترتیب برابر ۴۹٫۵۰٪، ۴۹٫۰۰٪، ۴۸٫۱۰٪ و ۴۷٫۰۰٪ است. در دماهای ورودی بالاتر پیشنهاد می‌شود به جای نانوسیال از سیال پایه استفاده شود؛ زیرا در دمای ۱۵۰°C بیشترین بازدهی مربوط به سیال پایه بوده و مقدار آن برابر است با ۴۲٫۵۱٪.



شکل ۷ نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور پایه بدون عایق سقفی بر حسب تغییرات دمای ورودی و کسر حجمی نانوذرات در رینولدز ۲۰۰۰

شکل (۸) نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور پایه دارای عایق سقفی بر حسب تغییرات دمای ورودی و کسر حجمی نانوذرات در رینولدز ۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. در حقیقت این شکل مقایسه بازدهی کلکتور بر حسب دمای ورودی سیال، با رشد کسری حجمی نانوذرات از ۰ تا ۴٪ را برای CPTSC سایبان‌دار در $Re = 2000$ نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود، برای تمامی کسرهای حجمی، با افزایش دمای ورودی، مقدار بازدهی کلکتور CPTSC سایبان‌دار رو به کاهش است. بنابراین یک دمای بهینه برای تمامی کسرهای حجمی در دمای ۴۰°C وجود دارد.



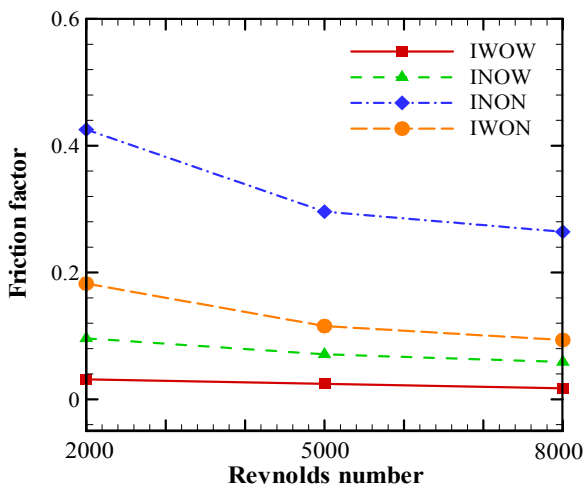
شکل ۱۰ نمودار تغییرات عدد ناسلت متوسط بر حسب تغییرات عدد رینولدز در کلکتور نوین در شرایط استفاده از عایق سقفی در دما ورودی ۴۰ درجه سلسیوس و کسر حجمی ۰.۴

شکل (۱۱) نمودار تغییرات افت فشار بر حسب تغییرات عدد رینولدز در کلکتور نوین در شرایط استفاده از عایق سقفی در دما ورودی ۴۰ درجه سلسیوس و کسر حجمی ۰.۴ را نشان می‌دهد. در حقیقت این شکل، مقایسه مقدار افت فشار بر حسب افزایش مقدار عدد رینولدز از ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ برای مدل‌های مختلف کلکتور CPTSC با سایبان رادر کسر حجمی ۰.۴ و دمای ورودی ۴۰^oC نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، افت فشار با افزایش عدد رینولدز همواره افزایش می‌یابد. برای مدل INON در تمامی اعداد رینولدز بیشترین افت فشار رخ می‌دهد. در جایگاه‌های بعدی به ترتیب موارد IWON، INOW، IWOW بیشترین افت فشار را در تمامی اعداد رینولدز دارند. بیشینه افت فشار، مربوط به مدل INON در رینولدز ۸۰۰۰ بوده و مقدار آن برابر ۲۷۸ است. کمترین مقدار افت فشار مربوط به مدل IWOW در رینولدز ۲۰۰۰ بوده و مقدار آن برابر ۱ است.

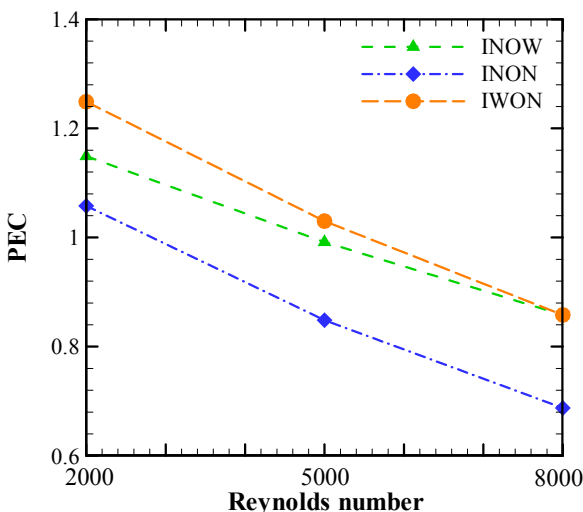
شکل (۱۲) نمودار تغییرات ضریب اصطکاک متوسط بر حسب تغییرات عدد رینولدز در کلکتور نوین در شرایط استفاده از عایق سقفی در دما ورودی ۴۰ درجه سلسیوس و کسر حجمی ۰.۴ را نشان می‌دهد. در حقیقت این شکل مقایسه ضریب اصطکاک با رشد مقدار عدد رینولدز از ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ برای مدل‌های مختلف کلکتور CPTSC با سایبان را در کسر حجمی ۰.۴ و دمای ورودی ۴۰^oC نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار ضریب اصطکاک با افزایش عدد رینولدز برای تمامی مدل‌ها کاهش می‌یابد. نرخ کاهش برای مدل INON بیشترین حد و برای مدل IWOW بسیار اندک است. نرخ کاهش ضریب اصطکاک برای تمامی مدل‌ها، تا رینولدز ۵۰۰۰ بالاتر از

در رینولدز ۲۰۰۰ را نشان می‌دهد. در حقیقت این شکل مقایسه بازدهی کلکتور بر حسب دمای ورودی سیال، با رشد کسری حجمی نانوذرات از ۰ تا ۰.۴ برای مورد IWON را برای کلکتور CPSTC بدون سایبان در $Re = 2000$ نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود، برای تمامی کسرهای حجمی، با افزایش دمای ورودی، مقدار بازدهی کلکتور CPTSC بدون سایبان رو به کاهش است. بنابراین یک دمای بهینه برای تمامی کسرهای حجمی در دمای ۴۰^oC وجود دارد. در این دما، بیشترین بازده کلکتور برای کسر حجمی ۰.۴ بوده و مقدار آن برابر با ۵۵.۳۱٪ است. در جایگاه‌های بعدی به ترتیب کسرهای حجمی ۰.۳، ۰.۲، ۰.۱ و ۰ قرار داشته و مقدار آن‌ها برابر ۵۵.۲۵٪، ۵۵.۱۵٪، ۵۵.۰۰٪ و ۵۳.۲۰٪ است. در دماهای ورودی بالاتر، پیشنهاد می‌شود از نانوسیال با کسر حجمی ۰.۴ استفاده شود. زیرا؛ در دمای ۱۵۰^oC بیشترین بازدهی مربوط به این کسر حجمی بوده و مقدار آن برابر با ۴۰.۱۷٪ است. جایگاه‌های بعدی مربوط به کسرهای حجمی ۰.۳، ۰.۲، ۰.۱ و ۰ بوده و مقدار آن‌ها برابر با ۴۰.۱۱٪، ۴۰.۰۵٪، ۳۹.۶۰٪ و ۳۹.۰۰٪ است.

شکل (۱۰) نمودار تغییرات عدد ناسلت متوسط بر حسب تغییرات عدد رینولدز در کلکتور نوین در شرایط استفاده از عایق سقفی در دما ورودی ۴۰ درجه سلسیوس و کسر حجمی ۰.۴ را نشان می‌دهد. در حقیقت این شکل مقایسه روند عدد ناسلت متوسط با افزایش مقدار عدد رینولدز از ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰، برای کلکتور CPTSC سایبان‌دار رادر کسر حجمی ۰.۴ و دمای ورودی ۴۰^oC نشان می‌دهد. مشاهده می‌شود، برای تمامی مدل‌ها، با افزایش عدد رینولدز، مقدار ناسلت متوسط در کلکتور CPTSC با سایبان رو به افزایش است. مقدار متوسط ناسلت برای مدل INON در تمامی اعداد رینولدز، بیشترین مقدار را دارد. در جایگاه‌های بعدی به ترتیب مدل‌های IWON، INOW، IWOW بیشترین مقدار ناسلت متوسط را در تمامی اعداد رینولدز دارند. بیشترین مقدار متوسط ناسلت، مربوط به مدل INON در رینولدز ۸۰۰۰ بوده، که مقدار آن برابر ۲۶۲ است. کمترین مقدار ناسلت متوسط مربوط به مدل IWOW در رینولدز ۲۰۰۰ بوده، که مقدار آن برابر ۵۴ است.



شکل ۱۲ نمودار تغییرات ضریب اصطکاک متوسط بر حسب تغییرات عدد رینولدز در کلکتور نوین در شرایط استفاده از عایق سقفی در دما ورودی ۴۰ درجه سلسیوس و کسر حجمی ۰.۴٪

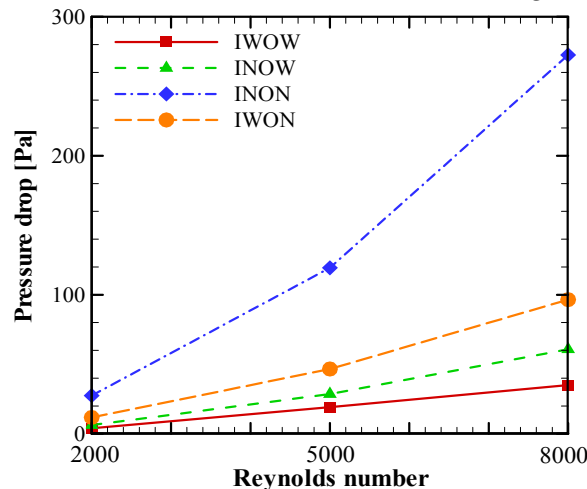


شکل ۱۳ نمودار تغییرات ضریب شاخص PEC بر حسب تغییرات عدد رینولدز در کلکتور نوین در شرایط استفاده از عایق سقفی در دما ورودی ۴۰ درجه سلسیوس

شکل (۱۴) نمودار تغییرات ضریب شاخص PEC بر حسب تغییرات زاویه کمان عایق در کلکتور نوین در شرایط استفاده از عایق سقفی در رینولدز ۲۰۰۰ و دما ورودی ۴۰ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. درحقیقت شکل (۴-۹)، مقایسه مقدار PEC بر حسب زاویه قوس سایبان در عدد رینولدز ۲۰۰۰ برای کلکتور NPTSC با سایبان را در کسر حجمی ۰.۴٪ و دما ورودی ۴۰°C نشان می‌دهد. بیشترین مقدار PEC در زاویه قوس سایبان ۱۰۰° رخ می‌دهد و مقدار آن برابر ۱.۲۴ است. کمینه این مقدار در زاویه قوس ۱۲۰° است؛ که مقدار آن برابر ۰.۹۶ است. همچنین

این نرخ کاهش پس از رینولدز ۵۰۰۰ است. با توجه به نمودار، بیشترین ضریب اصطکاک مربوط به مدل INON در عدد رینولدز ۲۰۰۰ بوده و مقدار آن برابر ۰.۴۱۸٪ است. کمترین ضریب اصطکاک مربوط به مدل IWOW در عدد رینولدز ۸۰۰۰ بوده و مقدار آن برابر ۰.۰۱٪ است. در جایگاه‌های بعدی، مقدار ضریب اصطکاک در تمامی اعداد رینولدز، به ترتیب مربوط به مدل‌های INON، IWON، INOW و IWOW است.

شکل (۱۳) نمودار تغییرات ضریب شاخص PEC بر حسب تغییرات عدد رینولدز در کلکتور نوین در شرایط استفاده از عایق سقفی در دما ورودی ۴۰ درجه سلسیوس را نشان می‌دهد. در حقیقت این شکل مقایسه روند مقدار PEC با رشد مقدار عدد رینولدز از ۲۰۰۰ تا ۸۰۰۰ برای مدل‌های مختلف، در کلکتور CPTSC با سایبان را در کسر حجمی ۰.۴٪ و دمای ورودی ۴۰°C نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، مقدار PEC با افزایش عدد رینولدز در تمامی موارد کاهش می‌یابد. نرخ کاهش برای تمامی مدل‌ها، تا رینولدز ۵۰۰۰ بیشتر است، و پس از رینولدز ۵۰۰۰ نرخ کاهش کمتر می‌شود. با توجه به نمودار، بیشترین PEC مربوط به مدل IWON و در رینولدز ۲۰۰۰ است که مقدار آن برابر ۱.۴۱٪ است. کمترین PEC مربوط به مدل INON و در رینولدز ۸۰۰۰ است که مقدار آن برابر ۰.۶۴٪ است. جایگاه‌های مقادیر PEC در تمامی اعداد رینولدز، به ترتیب مربوط به مدل‌های IWON، INOW و INON است. در رینولدز ۸۰۰۰ تقریباً، مقادیر PEC مربوط به مدل‌های IWON و INOW یکسان است.

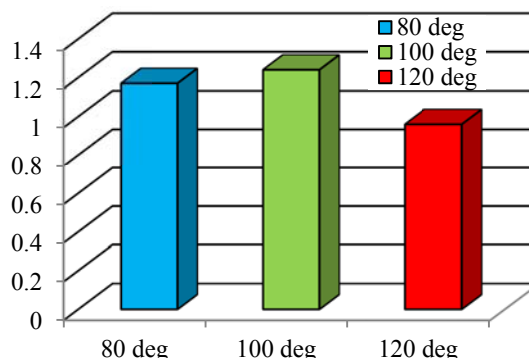


شکل ۱۴ نمودار تغییرات افت فشار بر حسب تغییرات عدد رینولدز در کلکتور نوین در شرایط استفاده از عایق سقفی در دما ورودی ۴۰ درجه سلسیوس و کسر حجمی ۰.۴٪

مشاهده می‌شود، برای زاویه قوس سایبان 80° بیشینه مقدار PEC، 1.17 است. به دلیل اثرات سایه، مقدار PEC در زاویه قوس سایبان 120° کمتر از 1 است.

مشاهده می‌شود، برای زاویه قوس سایبان 80° بیشینه مقدار PEC، 1.17 است.

به دلیل اثرات سایه، مقدار PEC در زاویه قوس سایبان 120° کمتر از 1 است.



شکل ۱۴ نمودار تغییرات ضریب شاخص PEC بر حسب تغییرات زاویه کمان عایق در کلکتور نوین در شرایط استفاده از عایق سقفی در رینولدز ۲۰۰۰ و دمای ورودی 40°C سلسیوس

۶- نتیجه‌گیری

در دماهای ورودی بالاتر پیشنهاد می‌شود به جای نانوسیال از سیال پایه استفاده شود؛ زیرا در دمای 150°C بیشترین بازدهی مربوط به سیال پایه بوده و مقدار آن برابر است با 42.51% . برای تمامی کسرهای حجمی، با افزایش دمای ورودی، مقدار بازدهی کلکتور CPTSC سایبان‌دار رو به کاهش است. بنابراین یک دمای بهینه برای تمامی کسرهای حجمی در دمای 40°C وجود دارد. در این دما، بیشترین بازده کلکتور برای کسر حجمی 4% بوده و مقدار 57.00% است. در جایگاه‌های بعدی، به ترتیب کسرهای حجمی 3% ، 2% ، 1% و 0% قرار داشته که بازده کلکتور در این کسرهای حجمی 56.80% ، 56.40% ، 55.90% و 55.00% است. در دماهای ورودی بالاتر، پیشنهاد می‌شود از سیال پایه استفاده شود؛ زیرا در دمای 150°C بیشترین بازدهی مربوط به سیال پایه بوده و مقدار آن برابر با 49.70% است. برای تمامی کسرهای حجمی، با افزایش دمای ورودی، مقدار بازدهی کلکتور CPTSC بدون سایبان رو به کاهش است. بنابراین یک دمای بهینه برای تمامی کسرهای حجمی در دمای 40°C وجود دارد. در این دما، بیشترین بازده کلکتور برای کسر حجمی 4% بوده و مقدار آن برابر با 55.31% است. در جایگاه‌های بعدی به ترتیب کسرهای حجمی 3% ، 2% ، 1% و 0% قرار داشته و مقدار آن‌ها برابر 55.25% ، 55.15% ، 55.00% و 53.20% است. در دماهای ورودی بالاتر، پیشنهاد می‌شود از نانوسیال با کسر حجمی 4% استفاده شود. زیرا؛ در دمای 150°C بیشترین بازدهی مربوط به این کسر حجمی بوده و مقدار آن برابر با 40.17% است. جایگاه‌های بعدی مربوط به کسرهای حجمی 3% ، 2% ، 1% و 0% بوده و مقدار آن‌ها برابر با 40.11% ، 40.05% ، 40.00% و 39.60% است. برای تمامی مدل‌ها، با افزایش عدد رینولدز، مقدار ناسلت متوسط در کلکتور CPTSC با سایبان رو به افزایش است. مقدار متوسط ناسلت برای مدل INON در تمامی اعداد رینولدز، بیشترین مقدار را دارد. در جایگاه‌های بعدی به ترتیب مدل‌های IWON، INOW، IWOW بیشترین مقدار ناسلت متوسط را در تمامی اعداد رینولدز دارند. بیشترین مقدار متوسط ناسلت، مربوط به مدل INON در رینولدز 8000 بوده، که مقدار

روند تغییرات بازدهی در $Re = 2000$ و کلکتورهایی با و بدون سایبان در CPTSCs در تمامی دماهای ورودی سیال رو به کاهش است. در کلکتورهای بدون سایبان CPTSCs، مقدار بازده کلکتور در تمامی دماهای ورودی سیال، کمتر از این مقدار برای کلکتورهای با سایبان CPTSCs است. بازدهی کلکتورهای با و بدون سایبان NPTSCs، نیز در تمامی دماهای ورودی سیال رو به کاهش است. برای کلکتور بدون سایبان NPTSCs، مقدار بازدهی کلکتور همواره کمتر از این مقدار برای کلکتور سایبان دار NPTSCs است. برای تمامی حالات بیشترین مقدار بازدهی در دمای 40°C درجه اتفاق افتاده است. در همین دما بیشترین بازدهی برای NPTSCs سایبان با مقدار 59.11% است. بعد از آن به ترتیب NPTSC بدون سایبان با بازدهی 54% و CPTSC با سایبان با بازدهی 52% قرار می‌گیرند. کمترین بازدهی در این دما مربوط به CPTSCs بدون سایبان با بازدهی 47% است. در درجه حرارت زیاد CPTSCs سایبان پیشنهاد می‌شود. زیرا در دمای ورودی 150°C درجه، بازدهی CPTSCs سایبان 48.32% و بیشترین مقدار است. NPTSC سایبان با بازدهی 45% ، CPTSC بدون سایبان با بازدهی 42% و NPTSC بدون سایبان با بازدهی 39% به ترتیب در رده های بعدی قرار دارند. برای تمامی کسرهای حجمی، با افزایش دمای ورودی مقدار بازدهی کلکتور CPTSC بدون سایبان رو به کاهش است. بنابراین یک دمای

- [1] M, Jamiati, Effects of rotational flow on energy efficiency of a novel parabolic through solar collector equipped with elliptical ribbed absorber tube filled with non-Newtonian two-phase nanofluid, *Journal of Mechanical Engineering and Vibration*, (acceptance).
- [2] Benabderrahmane, A., Benazza, A., Laouedj, S., Solano, J.P., Numerical analysis of compound heat transfer enhancement by single and two-phase models in parabolic through solar receiver, *Mechanika*, Vol. 23, No. 1, pp. 55-61, 2017.
- [3] Chafie, M., Fadhel-Ben-Aissa, M., Guizani, A., Energetic end exergetic performance of a parabolic trough collector receiver: An experimental study, *Journal of Cleaner Production*, Vol. 171, pp. 285-296, 2017.
- [4] Mahanta, D.K., Kumar, S.S., "Internal Irreversibility in a Water Heating Solar Flat Plate Collector" *Energy Conversion and Management*, Vol. 43, No. 17, pp. 2425-2435, 2002.
- [5] N. Jamshidi, M. Farhadi, D. D. Ganji and K. Sedighi, Experimental Investigation On The Viscosity Of Nanofluids, *IJE TRANSACTIONS B: Applications* Vol. 25, No. 3 (August 2012) 201-210.
- [6] Ali M, Zeitoun O, Nuhait A., 2011. "Forced convection heat transfer over horizontal triangular cylinder in cross flow". *Int J Therm Sci* 2011;50:106-14.
- [7] G.V. Wang, S. Vanka, Convective heat transfer in periodic wavy passages, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 38 (1995) 3219-3230.
- [8] C.C. Wang, C.K. Chen, Forced convection in a wavy-wall channel, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 45 (2002) 2587-2595.
- [9] B. Ničeno, E. Nobile, Numerical analysis of fluid flow and heat transfer in periodic wavy channels, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 22 (2001) 156-167.
- [10] H.M.S. Bahaidarah, N.K. Anand, H.C. Chen, Numerical study of heat and momentum transfer in channels with wavy walls, *Numerical Heat Transfer, Part A* 47 (2005) 417-439.
- [11] Y. Sui, C.J. Teo, P.S. Lee, Y.T. Chew, C. Shu, Fluid flow and heat transfer in wavy micro-channels, *International Journal of Heat and Mass Transfer* 53 (2010) 2760-2772.
- [12] M. Assato, M.J.S. de Lemos, Turbulent flow in wavy channels simulated with nonlinear models and a new implicit formulation, *Numerical Heat Transfer, Part A* 56 (2009) 301-324.
- [13] F. Oviedo-Tolentino, R. Romero-Méndez, A. Hernández-Guerrero, B. Girón-Palomares, Experimental study of fluid flow in the entrance of a sinusoidal channel, *International Journal of Heat and Fluid Flow* 29 (2008) 1233-1239.
- [14] P. Naphon, K. Kornkumjayrit, Numerical analysis on the fluid flow and heat transfer in the channel with V-shaped wavy lower plates, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 34 (2007) 62-71.
- [15] L. Zhang, D. Che, Turbulence models for fluid flow and heat transfer between cross-corrugated plates, *Numerical Heat Transfer, Part A* 60 (2011) 410-440.
- [16] Srikanth S, Dhiman AK, Bijjam S., 2010. "Confined flow and heat transfer across a triangular cylinder in a channel". *Int J Therm Sci* 2010 ;49:2191-200.
- [17] Dulhani JP, Sarkar S, Dalal A., 2014. "Effect of angle of incidence on mix convective wake dynamics and heat

آن برابر ۲۶۲ است. کمترین مقدار ناسلت متوسط مربوط به مدل IWOW در رینولدز ۲۰۰۰ بوده، که مقدار آن برابر ۵۴ است. افت فشار با افزایش عدد رینولدز همواره افزایش می‌یابد. برای مدل INON در تمامی اعداد رینولدز بیشترین افت فشار رخ می‌دهد. در جایگاه‌های بعدی به ترتیب موارد IWON، IWOW، بیشترین افت فشار را در تمامی اعداد رینولدز دارند. بیشینه افت فشار، مربوط به مدل INON در رینولدز ۸۰۰۰ بوده و مقدار آن برابر ۲۷۸ است. کمترین مقدار افت فشار مربوط به مدل IWOW در رینولدز ۲۰۰۰ بوده و مقدار آن برابر ۱ است. مقدار ضریب اصطکاک با افزایش عدد رینولدز برای تمامی مدل‌ها کاهش می‌یابد. نرخ کاهش برای مدل INON بیشترین حد و برای مدل IWOW بسیار اندک است. نرخ کاهش ضریب اصطکاک برای تمامی مدل‌ها، تا رینولدز ۵۰۰۰ بالاتر از این نرخ کاهش پس از رینولدز ۵۰۰۰ است. با توجه به نمودار، بیشترین ضریب اصطکاک مربوط به مدل INON در عدد رینولدز ۲۰۰۰ بوده و مقدار آن برابر ۰.۴۱۸٪ است. کمترین ضریب اصطکاک مربوط به مدل IWOW در عدد رینولدز ۸۰۰۰ بوده و مقدار آن برابر ۰.۰۱٪ است. در جایگاه‌های بعدی، مقدار ضریب اصطکاک در تمامی اعداد رینولدز، به ترتیب مربوط به مدل‌های INON، IWON، IWOW و INOW است. مقدار PEC با افزایش عدد رینولدز در تمامی موارد کاهش می‌یابد. نرخ کاهش برای تمامی مدل‌ها، تا رینولدز ۵۰۰۰ بیشتر است، و پس از رینولدز ۵۰۰۰ نرخ کاهش کمتر می‌شود. با توجه به نمودار، بیشترین PEC مربوط به مدل IWON و در رینولدز ۲۰۰۰ است که مقدار آن برابر ۱.۴۱٪ است. کمترین PEC مربوط به مدل INON و در رینولدز ۸۰۰۰ است که مقدار آن برابر ۰.۶۴٪ است. جایگاه‌های مقادیر PEC در تمامی اعداد رینولدز، به ترتیب مربوط به مدل‌های IWON، INOW و INON است. در رینولدز ۸۰۰۰ تقریباً مقادیر PEC مربوط به مدل‌های IWON و INOW یکسان است. بیشترین مقدار PEC در زاویه قوس سایبان ۹۰° رخ می‌دهد و مقدار آن برابر ۱.۲۴ است. کمینه این مقدار در زاویه قوس ۹۲° است؛ که مقدار آن برابر ۰.۹۶ است. برای زاویه قوس سایبان ۸۰° بیشینه مقدار PEC، 1.17 است. به دلیل اثرات سایه، مقدار PEC در زاویه قوس سایبان ۱۲۰° کمتر از ۱ است.

۷- مراجع

- transfer past a square cylinder in cross flow at $Re=100$ ". *Int J Heat Mass Transf* 2014;74:319-32.
- [18] Bhinder APS, Sarkar S, Dalal A., 2012. "Flow over and forced convection heat transfer around a semi-circular cylinder at incidence". *Int J Heat Mass Transf* 2012;55:5171-84.
- [19] Dhimana AK, Chhabraa RP, Eswaran V., 2005. "Flow and heat transfer across a confined square cylinder in the steady flow regime: effect of Peclet number". *Int J Heat Mass Transf* 2005;48:4598-614.
- [20] Etmian-Farooji V, Ebrahimnia-Bajestan E, Niazmand H, Wongwises S., 2012. "Unconfined laminar nanofluid flow and heat transfer around a square cylinder". *Int J Heat Mass Transf* 2012;55:1475-85.
- [21] A.J. Abdulhamed, et. al, Review of solar parabolic-trough collector geometrical and thermal analyses, performance, and applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 91 (2018) 822-831.
- [22] B. H. Upadhyay, et. al, A detailed review on solar parabolic trough collector, *International Journal of Ambient Energy* (2019) 942-946. DOI: 10.1080/01430750.2019.1636869
- [23] P. Naphon, Effect of wavy plate geometry configurations on the temperature and flow distributions, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 36 (2009) 942-946.
- [24] H. Heidary, M. Kermani, Effect of nano-particles on forced convection in sinusoidal-wall channel, *International Communications in Heat and Mass Transfer* 37 (2010) 1520-1527.
- [25] Dudley, V., Kolb, G., Sloan, M., Kearney, D., SEGS LS2 Solar Collector Test Results, Report of Sandia National Laboratories, Report No. 94-1884, 1994.