



تأثیر جریان چرخشی بر بازده انرژی یک کلکتور خورشیدی پارابولیک با جاذب بیضوی خان دار حاوی نانوسیال دو فازی غیرنیوتونی

مجتبی جمعیتی^۱

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

چکیده

هدف اصلی پژوهش، بررسی تأثیر استفاده از سیستم جاذب بیضوی شکل با کنگره‌های هلیکال بر بازده انرژی کلکتورهای پارابولیک خطی است. بدین منظور بازده انرژی برای حالت‌های مختلف اندازه‌گیری و ارائه شده‌اند و در نهایت مدل‌های بهینه مختلف از نظر دارا بودن بیش‌ترین بازده انرژی معرفی شده و در نهایت برترین مدل مشخص می‌شود. بر اساس نتایج به‌دست آمده بیشترین مقدار بازده انرژی در رینولدزهای مختلف، مربوط به کلکتور نوین و مدل تک‌فازی می‌شود. بر اساس نتایج حاصله از این پایان‌نامه، استفاده از لوله شیاردار در افزایش بهره‌وری کلکتور تأثیر دارد. با افزایش تعداد شیارها از ۱ به ۳ راندمان کلکتور افزایش می‌یابد. در $N=3$ حداکثر مقادیر η حاصل می‌شود. همچنین مشخص شد که با افزایش گام و دامنه شیار راندمان کلکتور افزایش می‌یابد. بعلاوه با افزایش زاویه شیار از 10° تا 50° راندمان کلکتور افزایش می‌یابد و در $\xi=60^\circ$ حداکثر مقدار η حاصل می‌شود. اما با افزایش زاویه شیار از 50° تا 60° راندمان کلکتور کاهش می‌یابد.

اطلاعات مقاله

مقاله پژوهشی کامل
دریافت: ۳ اردیبهشت ۱۳۹۹
پذیرش: ۳۱ مرداد ۱۳۹۹
ارائه در سایت: ۳۱ مرداد ۱۳۹۹
کلیدواژگان کلکتور خورشیدی
پارابولیک خطی
بهینه‌سازی انرژی
تشعشع
جابه‌جایی اجباری
لوله خان دار
لوله بیضوی

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

Mojtaba Jamiati¹

1- Assistant professor Department of Mechanical Engineering, 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 22 April 2020
Accepted 21 August 2020
Available Online 21 August 2020

Keywords

parabolic solar collector
Ribs
Nanofluid
Two-phase
Non-Newtonian

ABSTRACT

The main purpose of this study is to investigate the effect of using an elliptical absorber system with helical ribbed tube on the energy efficiency of linear parabolic collectors. For this purpose, energy efficiency has been measured and presented for different modes, and finally different optimal models are introduced in terms of having the highest energy efficiency, and finally the best model is determined. Based on the obtained results, the highest energy efficiency in different Reynolds is related to the new collector and single-phase model. According to the results of this dissertation, the use of grooved pipe has an effect on increasing the efficiency of the collector. As the number of grooves increases from 1 to 3, the collector efficiency increases. At $N=3$ the maximum values of η are obtained. It was also found that the collector efficiency increases with increasing step and slope amplitude. In addition, by increasing the groove angle from 10° to 50° , the collector efficiency increases and the maximum value of η is obtained at $\xi=$

Please cite this article using:

برای ارجاع به این مقاله از عبارت ذیل استفاده نمایید:

Mojtaba 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*, Vol. 11, No. 2, pp. 57-65, 2020 (In Persian)

60. However, by increasing the groove angle from 50 ° to 60 °, the collector efficiency decreases.

۱- مقدمه

سیستم های حرارتی خورشیدی شامل سیستم هائی می‌شود که بر پایه گردآورنده های حرارتی با دمای پایین عمل می نمایند. این سیستم ها از منبع خورشیدی برای مصرف نهائی حرارتی استفاده می کنند. این سیستم ها خود شامل ۲ گروه کلکتورهای تخت و کلکتورهای متمرکز کننده می شوند. پوششهای خاصی به صفحات جذب کننده کلکتورها اعمال می گردد تا بازده سراسری کلکتورها را بهبود ببخشد. یک مایع حرارتی انرژی جذب شده را جمع می کند. 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. این نوع کلکتورها در حالت عادی دارای پوشش های برگزیده بر روی صفحات جذب کننده نمی باشند و شامل هیچ قالب و عایقی در پشت خود نبوده و معمولاً به صورت ساده ای بر روی سقف یا یک صفحه چوبی نصب می گردند. 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 می دهند [۱].

سیستم های موجود در بازار از یک لوله گرمایی مهر و موم شده برای استخراج کردن گرما از صفحه جذب کننده استفاده می کنند. مایع در هنگام تماس با جذب کننده گرم شده تبخیر می گردد، گرما از بالای لوله باز یافت شده در حالیکه بخار متراکم می گردد و بخار متراکم شده بوسیله جاذبه به جذب کننده بر می گردد. نتایج تجربی نشان می دهد که افزودن نانوذرات به سیال پایه باعث افزایش چشمگیر ضریب انتقال حرارت رسانش در نانوسیال می شود. بنابراین نانوسیال های گزینه های مناسبی برای استفاده در کاربردهای انتقال حرارت به شمار می روند.

۲- بیان مساله

مشخص شده است که به منظور بهبود عملکرد کلکتورهای خورشیدی می توان با استفاده از روش های نوین نظیر استفاده از سطوح کنگره دار یا شیاردار عملکرد و بازده کلکتور را بهبود داد. در کار حاضر از یک طرح نوین برای استفاده از سیستم تک سیاله استفاده شده است؛ به این صورت که تمامی فضای بین کاورشیشه ای و جاذب وکیوم

است و در از لوله جاذب بیضوی شکل با شیارهای هلیکال استفاده شده است که منجر به ایجاد جریان چرخشی با شتاب کوریولیس در جریان می شود. به منظور نشان دادن اثرات استفاده از لوله جاذب بیضوی شکل با شیارهای هلیکال، بازده انرژی کلکتور در شرایط مختلف محاسبه و گزارش شده اند در این بین از داده های تجربی موجود در پژوهش های پیشین استفاده شده است. در نهایت مدل های بهینه مختلف از نظر دارا بودن بیشترین بازده انرژی معرفی شده و در نهایت برترین مدل مشخص می شود.

۳- پیشینه تحقیق

جیاسینگ و هربت [۱] در سال ۲۰۱۶ در یک مطالعه مروری به بررسی کلکتورهای خورشیدی پارابولیک (سهموی) پرداختند. پناهدراهمانه و همکاران [۲] در سال ۲۰۱۷ در یک مطالعه عددی سه بعدی، بهبود عملکرد حرارتی کلکتورهای خورشیدی پارابولیک را با در نظر گرفتن مدل های تک فاز و دو فازی در نرم افزار انسیس-فلوئنت بررسی نمودند. نتایج کار ایشان نشان می دهد که استفاده از مدل دو فازی نسبت به مدل تک فاز، ضریب انتقال حرارت جابه جایی بیشتری را پیش بینی می کند.

بیکر و همکاران [۳] با انجام مطالعه عددی نشان دادند در صورتی که کلکتورها در شبی بیشتر از عرض جغرافیایی محل قرار گیرند، با قرار دادن سطحی برای بازتاب تشعشع در پایین کلکتور عملکرد کلکتور در تابستان بهبود می یابد. چاندرا و همکاران [۴] در سال ۲۰۱۷ به صورت عددی عملکرد 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 نانوذرات SiO₂ بر روی ویسکوزیته گروهی از سیالات به صورت آزمایشگاهی در یک کلکتور خورشیدی مجهز به بازتابنده بررسی شده است. آزمایشات نشان می دهند که ویسکوزیته سیال پایه با اضافه نمودن نانوذرات افزایش می یابد.

انتقال حرارت اطراف یک مانع مربعی برای زوایای مختلف توسط دلهانی و همکاران [۲۶] مورد بررسی قرار گرفته است. نتیجه کار آن ها نشان داده است که با افزایش زاویه مانع، نرخ انتقال حرارت افزایش می یابد.

دوان و مازیچکا [۱۴] به صورت عددی کنگره‌دار شدن محوری میکروتیوب‌ها را بر جریان آرام توسعه‌یافته بررسی کردند. نتایج آن‌ها افزایش قابل توجه افت فشار را به دلیل کنگره‌دار شدن میکروتیوب نشان داد.

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.

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 دریافته‌اند که بیش‌ترین تجمع دمایی در سطوح بالا و پایین مانع مثلی اتفاق می‌افتد. انتقال حرارت اطراف یک مانع مربعی برای زوایای مختلف توسط دلپانی 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.

جریان نانو سیال و انتقال حرارت اطراف یک مانع مربعی توسط اطمینان، فروجی و همکاران [۲۰] مورد بررسی قرار گرفته است. آن‌ها دریافته‌اند که نرخ انتقال حرارت با افزایش قطر نانو ذرات، کاهش می‌یابد.

۴- روش اجرای تحقیق

در شکل (۱)، نمای شماتیک کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی مجهز به لوله جاذب بیضوی شکل با کنگره‌های هلیکال نشان داده شده است. جدول (۱)، مشخصات هندسی، ترموفیزیکی و اپتیکی کلکتور خورشیدی مدل سازی شده را نشان می‌دهد.

انرژی مفید کسب شده توسط کلکتور بر حسب مقدار تشعشع خورشیدی ورودی و تلفات حرارتی از بدنه کلکتور عبارت است از [۳۴]:

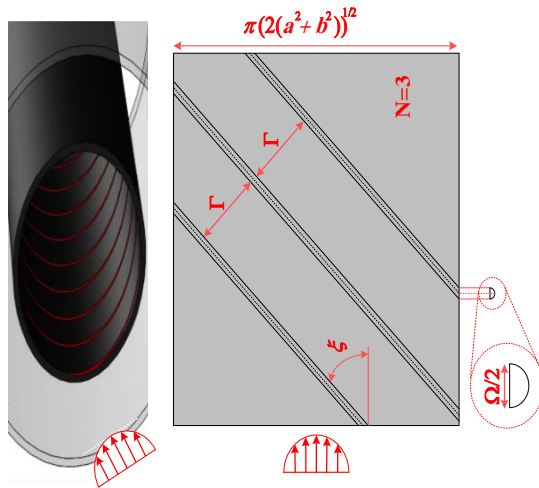
$$Q_{u,c} = A_c [S - U_L (T_{pm} - T_a)] \quad (1)$$

برخی مطالعات عددی و تجربی بر روی جریان سیال و انتقال حرارت داخل کانال‌های موج‌دار توسط بسیاری از محققان صورت گرفته است. راش و همکاران [۷] رفتار جریان و انتقال حرارت محلی در معابر موج‌دار سینوسی را برای نواحی رژیم جریان آرام و نیز ناحیه گذار بررسی کردند. مشاهده شد که هر دو مورد عدد رینولدز و هندسه کانال تأثیر قابل توجهی بر وضعیت اختلاط و مشخصه‌های جریان دارند. العوادی [۸] یک تحقیق عددی روی جریان انتقال حرارت جایجایی اجباری هوا در یک کانال موج‌دار انجام داد. در کار وی دیواره‌های کانال در یک دمای یکنواخت نگهداری شدند و عدد رینولدز بین ۱۲۵ تا ۱۰۰۰ در نظر گرفته شد. نتایج نشان دادند که افزایش خطی موج‌دار بودن در منطقه ورودی کانال به شکل قابل توجهی افت فشار را کاهش داده و عدد ناسلت متوسط را اندکی افزایش می‌دهد.

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. باهادارا 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. ین و همکاران [۱۱] به صورت عددی تحقیقاتی روی پارامترهای حرارتی- هیدرولیکی هوا در کانال‌های موج‌دار سینوسی برای شیف‌فازهای مختلف بین دیواره‌های بالایی و پایینی انجام دادند. نتایج نشان داد در حالی که شیف‌فازها زیاد می‌شوند، ضریب اصطکاک و عدد ناسلت کاهش می‌یابند.

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.

کومینی و همکاران [۱۳] مشخصه‌های جریان و انتقال حرارت را در داخل یک کانال موج‌دار سه‌بعدی بررسی کردند. آن‌ها دریافته‌اند که با کاهش ضریب منظر، عدد ناسلت و ضریب اصطکاک افزایش می‌یابند.



(c)

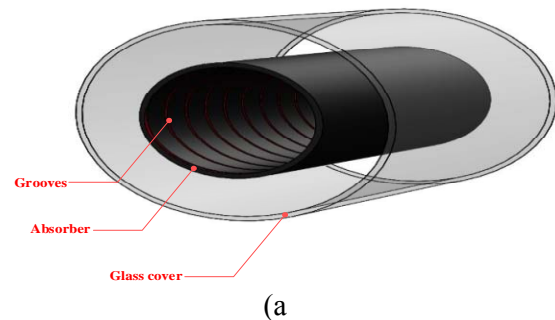
شکل ۱ نمای شماتیک و شرایط مرزی هندسه کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی مجهز به لوله جاذب خان دار بیضوی

جدول ۱ مشخصات هندسی، ترموفیزیکی و اپتیکی کلکتور

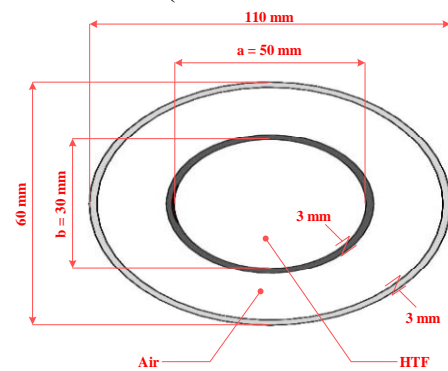
مشخصات	مورد
صفحه تخت مجهز به سینک حرارتی	نوع کلکتور
آلومینیوم	جنس صفحه
رنگ سیاه مات	جنس پوشش صفحه
۰/۰۰۱ mm	ضخامت صفحه
۰/۹	ضریب صدور صفحه (ϵ_p)
۲۱۱ W / m · K	ضریب هدایت حرارتی صفحه (k_p)
۲ m	طول کلکتور
۳۵ درجه	شیب قرارگیری کلکتور (β)
یک	تعداد پوشش شیشه‌ای
۰/۸۵	ضریب صدور پوشش شیشه‌ای
۵ cm	قطر هیدرولیکی 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، 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 رابطه فوق S ، بخشی از تشعشع خورشیدی بر واحد سطح جاذب کلکتور است که توسط آن جذب می‌شود و از رابطه زیر به دست می‌آید [۲۱-۲۲]:

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



(a)



(b)

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 فلونتت 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 فلونتت 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 (۲)، شش حالت شبکه‌بندی دارای تعداد گره‌های ۲،۱۹۸،۲۸۸، ۱،۳۸۷،۱۲۹، ۸۶۲،۲۲۸، ۴۵۶،۲۱۸، ۳،۰۱۸،۱۲۳ و ۲،۸۲۷،۳۲۹ گرفته شده است. با مقایسه چهار حالت فوق، شبکه‌بندی با تعداد گره ۲،۸۲۷،۳۲۹ به‌عنوان شبکه‌بندی قابل قبول هم از نظر دقت و هم از نظر صرفه جویی در زمان حل انتخاب شد.

اعتبارسنجی برنامه کامپیوتری بر اساس هندسه و شرایط مرزی تحقیق دودلی و همکاران [۹۵] انجام شده است. آن‌ها به صورت عددی عملکرد انتقال حرارت و جابجایی اجباری جریان نانوسیال در داخل یک کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی را به‌صورت عددی را مورد بررسی قرار دارند. با مقایسه نتایج کار حاضر و مرجع [۲۳] در مورد بازده انرژی از کلکتور، مطابق شکل (۲) انطباق خوب جواب‌ها با حداکثر خطای ۸/۲۷۶ درصد مشاهده می‌شود.

جدول ۲ آزمون استقلال حل از شبکه

No.	Nodes	T_{out} (°C)	Error (%)
1	456,218	84.8126	15.51
2	862,228	71.1870	6.27
3	1,387,129	66.0173	9.27
4	2,198,288	60.2376	3.96

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

همچنین 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 به‌دست می‌آید [۲۱-۲۲]:

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

همچنین I_T از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

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

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

$$R_b = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cos \delta \cos(\omega) + \sin(\varphi - \beta) \sin \delta}{\cos \varphi \cos \delta \cos \omega + \sin \varphi \sin \delta} \quad (5)$$

در رابطه فوق، φ عرض جغرافیایی محل ۳، θ زاویه انحراف خورشیدی ۴ و ω زاویه ساعت ۵ است [۳۵-۳۷].

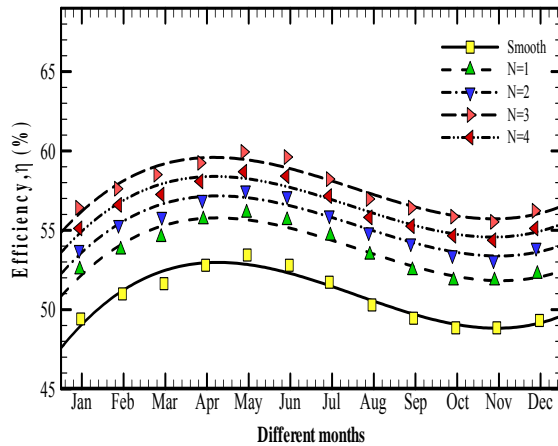
منظور از U_L در رابطه (۱) افت کلی از کلکتور است و از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$U_L = U_t + U_b + U_e \quad (6)$$

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

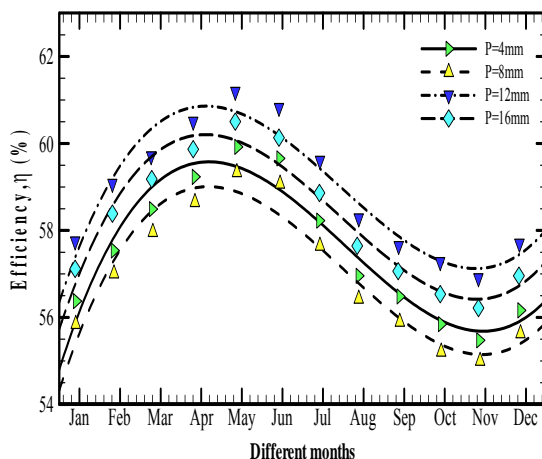
روشی که نرم‌افزار فلونتت برای حل معادلات بقا در نظر گرفته است، روش حجم محدود می‌باشد. در این روش میدان محاسباتی به تعدادی حجم کنترل که هر کدام یک گره را احاطه می‌نمایند تقسیم می‌شود. ابعاد حجم‌های کنترل می‌تواند

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



شکل ۳ نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی نوین در تعداد ردیف شیارهای مختلف بر حسب شرایط محیطی در ماه‌های مختلف سال

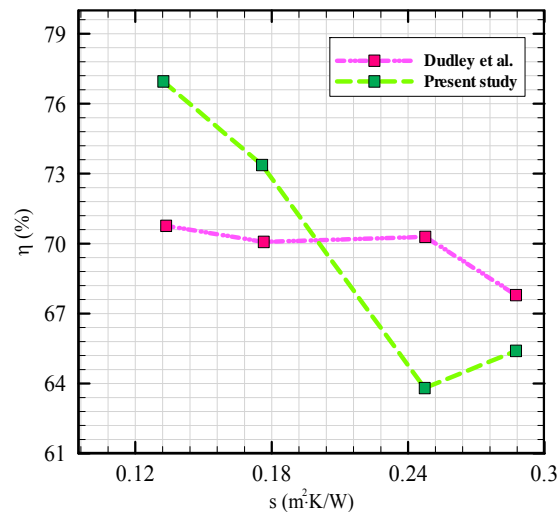
شکل (۴) نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی نوین در گام شیارهای مختلف بر حسب شرایط محیطی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، با افزایش گام شیار از 4 mm به 8 mm راندمان کلکتور افزایش می‌یابد. در $P=12\text{mm}$ حداکثر مقدار η به دست می‌آید. اما با افزایش گام شیار از 12 mm به 16 mm راندمان کلکتور کاهش می‌یابد. در مورد $P=4\text{mm}$ ، تاوان افت فشار به شدت روی راندمان کلکتور تأثیر می‌گذارد. به همین دلیل است که بازده انرژی برای هندسه $P=8\text{mm}$ کمتر از $P=12\text{mm}$ است. بنابراین، یک گام شیار بهینه برای لوله وجود دارد. در نتیجه، گام شیار $P=12\text{mm}$ برای باقی مطالعات در نظر گرفته می‌شود.



5	2,827,329	58.3298	0.03
6	3,018,123	58.3109	-

۵- تجزیه و تحلیل نتایج

شکل (۳) نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی نوین در تعداد ردیف شیارهای مختلف بر حسب شرایط محیطی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، با افزایش تعداد شیارها از ۱ به ۳ راندمان کلکتور افزایش می‌یابد. در $N=3$ حداکثر مقادیر η حاصل می‌شود (حدود ۱۴٫۳٪ بیشتر از مدل مرجع). اما با افزایش تعداد شیار از ۳ به ۴ راندمان کلکتور کاهش می‌یابد. در مورد $N=3$ ، تاوان افت فشار به شدت بر کارایی کلکتور تأثیر می‌گذارد. به همین دلیل است که بازده انرژی برای هندسه $N=4$ کمتر از این مقدار برای هندسه $N=3$ است. بنابراین، استفاده از لوله شیاردار داخلی مناسب است. برای لوله جاذب، یک تعداد شیار بهینه وجود دارد، در نتیجه تعداد شیار $N=3$ برای بقیه مطالعات در نظر گرفته می‌شود.



شکل ۲ مقایسه نتایج کار حاضر و مرجع [۲۴] در مورد دمای خروجی

در حقیقت این شکل، تأثیر زوایای مختلف لوله شیاردار در جاذب داخلی بر بازده جاذب‌های دو سیاله در طی ماه‌های مختلف را با همان نرخ دبی جرمی نشان می‌دهد. همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، با افزایش زاویه شیاردار از 10° تا 50° راندمان کلکتور افزایش می‌یابد و در $60^\circ = \xi$ حداکثر مقدار η حاصل می‌شود. اما با افزایش زاویه شیاردار از 50° تا 60° راندمان کلکتور کاهش می‌یابد.

در مورد $60^\circ = q$ ، تاوان افت فشار به شدت بر راندمان کلکتور تأثیر می‌گذارد. به همین دلیل است که، بازده انرژی برای هندسه $q = 60^\circ$ کمتر از سایر موارد است. بنابراین، یک زاویه شیاردار بهینه برای لوله وجود دارد؛ در نتیجه، زاویه شیاردار 50° برای بقیه مطالعات در نظر گرفته می‌شود.

سرانجام، کلکتور شیاردار داخلی با $N = 3$ ، $P = 12\text{mm}$ ، $a = 0.9\text{mm}$ و $q = 50^\circ$ به عنوان بیشترین بازده مدل شیاردار داخلی که حاوی سیال پایه است، معرفی می‌شود.

شکل (۷) نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی نوین بهینه در کسرهای حجمی مختلف نانوسیال بر حسب شرایط محیطی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. در حقیقت این شکل، متراکم‌سازی جاذب مرجع، جاذب دو سیاله مرجع، هندسه بهینه هر بخش و ترکیبی از آنها، در طی ماه‌های مختلف را با نرخ دبی جرمی یکسان نشان می‌دهد.

همانطور که در شکل مشاهده می‌شود، استفاده از نانوسیال باعث افزایش بازده انرژی کلکتور می‌شود؛ در صورت استفاده از نانوسیالی با کسر حجمی از $\Phi = 4\%$ ، بیشترین بازده انرژی حاصل می‌شود. در جایگاه‌های بعدی به ترتیب $\Phi = 3\%$ ، $\Phi = 2\%$ ، $\Phi = 1\%$ قرار دارند. در مورد $\Phi = 4\%$ ، راندمان کلکتور حدوداً برابر با مقدار $2,2\%$ مربوط به کانال صاف حاوی نانوسیال است و برابر با مقدار $2,9\%$ مربوط به کانال صاف حاوی سیال پایه است.

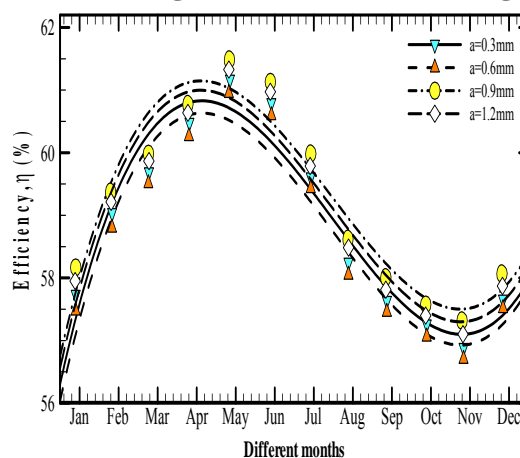
شکل ۴ نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی نوین در گام شیاردارهای مختلف بر حسب شرایط محیطی در ماه‌های مختلف سال

شکل (۵) نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی نوین در دامنه شیاردارهای مختلف بر حسب شرایط محیطی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد. در حقیقت این شکل، اثرات دامنه‌های مختلف شیاردار لوله جاذب شیاردار داخلی را بر بازده جاذب‌های دو سیاله، در طی ماه‌های مختلف با سرعت جریان یکسان نشان می‌دهد.

همانطور که در این شکل مشاهده می‌شود، با افزایش دامنه شیاردار از $3/0\text{mm}$ به $9/0\text{mm}$ راندمان کلکتور افزایش می‌یابد. در دامنه $9/0\text{mm}$ حداکثر مقدار η حاصل می‌شود. اما با افزایش دامنه شیاردار از $9/0\text{mm}$ به $2/1\text{mm}$ راندمان کلکتور کاهش می‌یابد.

در مورد $a = 1.2$ ، تاوان افت فشار به شدت بر بازده کلکتور تأثیر می‌گذارد. به همین دلیل است که، بازده انرژی برای هندسه $a = 1.2\text{mm}$ کمتر از این مقدار برای $a = 0.9\text{mm}$ است. بنابراین، یک دامنه شیاردار بهینه برای لوله وجود دارد. در نتیجه $a = 0.9$ دامنه‌ای است که برای بقیه مطالعات در نظر گرفته می‌شود.

شکل (۶) نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی نوین در زاویه شیاردارهای مختلف بر حسب شرایط محیطی در ماه‌های مختلف سال را نشان می‌دهد.

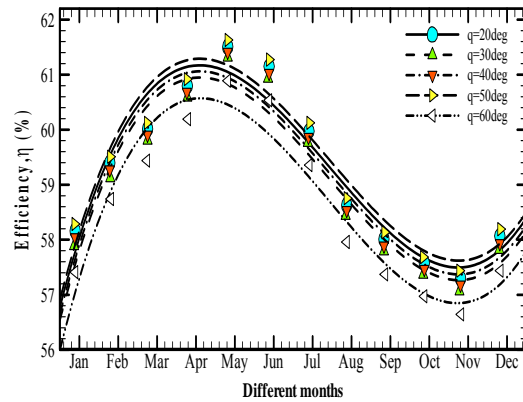


شکل ۵ نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی نوین در دامنه شیاردارهای مختلف بر حسب شرایط محیطی در ماه‌های مختلف سال

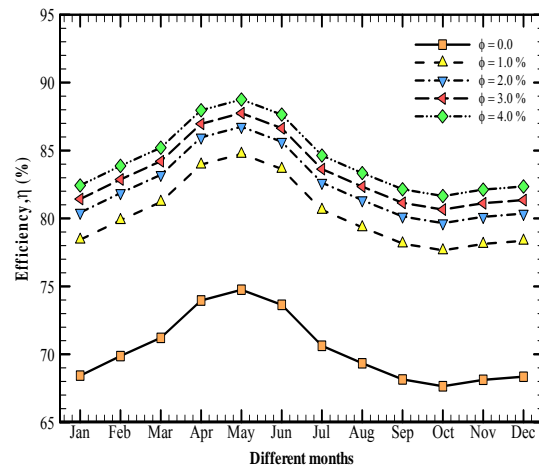
4mm، تاوان افت فشار به شدت روی راندمان کلکتور تأثیر می‌گذارد. بازده انرژی برای هندسه $P=8\text{mm}$ کمتر از $P=12\text{mm}$ است. بنابراین، یک گام شیار بهینه برای لوله وجود دارد. با افزایش دامنه شیار از $3/0\text{mm}$ به $9/0\text{mm}$ راندمان کلکتور افزایش می‌یابد. در دامنه $9/0\text{mm}$ حداکثر مقدار η حاصل می‌شود. اما با افزایش دامنه شیار از $9/0\text{mm}$ به $2/1\text{mm}$ راندمان کلکتور کاهش می‌یابد. بازده انرژی برای هندسه $a=1.2$ کمتر از این مقدار برای $a=0.9\text{mm}$ است. بنابراین، یک دامنه شیار بهینه برای لوله وجود دارد. با افزایش زاویه شیار از 50° تا 60° راندمان کلکتور افزایش می‌یابد و در $60^\circ = \xi$ حداکثر مقدار η حاصل می‌شود. اما با افزایش زاویه شیار از 50° تا 60° راندمان کلکتور کاهش می‌یابد. در مورد $q=60$ ، تاوان افت فشار به شدت بر راندمان کلکتور تأثیر می‌گذارد. بازده انرژی برای هندسه $q=60$ کمتر از سایر موارد است. بنابراین، یک زاویه شیار بهینه برای لوله وجود دارد؛ در نتیجه، زاویه شیار 50° برای بقیه مطالعات در نظر گرفته می‌شود. کلکتور شیاردار داخلی با $a=0.9\text{mm}$ ، $P=12\text{mm}$ ، $N=3$ و $q=50$ به عنوان بیشترین بازده مدل شیاردار داخلی که حاوی سیال پایه است، معرفی می‌شود. استفاده از نانوسیال باعث افزایش بازده انرژی کلکتور می‌شود؛ در صورت استفاده از نانوسیالی با کسر حجمی از $\phi=4\%$ ، بیشترین بازده انرژی حاصل می‌شود. در جایگاه‌های بعدی به ترتیب $\phi=3\%$ ، $\phi=2\%$ ، $\phi=1\%$ قرار دارند در مورد $\phi=4\%$ ، راندمان کلکتور حدوداً برابر با $22,2\%$ مربوط به کانال صاف حاوی نانوسیال است و برابر با مقدار $2,93\%$ مربوط به کانال صاف حاوی سیال پایه است.

۷- مراجع

- [1] Jebasingh, V.K., Joselin-Herbert, G.M., A review of solar parabolic trough collector, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 54, pp. 1085-1091, 2016.
- [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] Baker, S., MDaniels, D.K., Kaehn, H.D., Lowndes, D.H., "Time Integrated Calculation of the Insolation Collected by a Reflector-collector System" Solar energy, Vol. 20, No. 5, pp. 415-417, 1978.
- [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



شکل ۶ نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی نوین در زاویه شیارهای مختلف بر حسب شرایط محیطی در ماه‌های مختلف سال



شکل ۷ نمودار تغییرات بازده انرژی کلکتور خورشیدی پارابولیک خطی نوین بهینه در کسرهای حجمی مختلف نانوسیال بر حسب شرایط محیطی در ماه‌های مختلف سال

۶- نتیجه‌گیری

استفاده از لوله شیاردار در افزایش بهره‌وری کلکتور تأثیر دارد. با افزایش تعداد شیارها از ۱ به ۳ راندمان کلکتور افزایش می‌یابد. در $N=3$ حداکثر مقادیر η حاصل می‌شود. بازده انرژی برای هندسه $N=4$ کمتر از این مقدار برای هندسه $N=3$ است. بنابراین، استفاده از لوله شیاردار داخلی مناسب است. برای لوله جاذب، یک تعداد شیار بهینه وجود دارد. با افزایش گام شیار از 4mm به 8mm راندمان کلکتور افزایش می‌یابد. در $P=12\text{mm}$ حداکثر مقدار η به دست می‌آید. اما با افزایش گام شیار از 12mm به 16mm راندمان کلکتور کاهش می‌یابد. در مورد $P=$

- [23] Dudley, V., Kolb, G., Sloan, M., Kearney, D., SEGS LS2 Solar Collector Test Results, Report of Sandia National Laboratories, Report No. 94-1884, 1994.
- [24] Abolfazli J, Esfahani Vasselbehagh AR., 2012. "LB simulation of heat transfer in flow past a square unit of four isothermal cylinders". CR Mec 2012; 340:526-35.
- [2] S. G. Tuttle, S. Chaudhuri, K. M. Kopp-Vaughan, T. R. Jensen, B. M. Cetegen, M. W. Renfro, J. M. Cohen, Lean blowoff behavior of asymmetrically-fueled bluff body-stabilized flames, *Combustion and Flame*, Vol. 160, No. 9, pp. 1677-1692, 2013.
- 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] T.A. Rush, T.A. Newell, A.M. Jacobi, An experimental study of flow and heat transfer in sinusoidal wavy passage, International Journal of Heat and Mass Transfer 42 (1999) 1541-1553.
- [8] E.M. Alawadhi, Forced convection flow in a wavy channel with a linearly increasing waviness at the entrance region, Journal of Heat Transfer 131 (2009) 1-7.
- [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] J. Yin, G. Yang, Y. Li, The Effects of Wavy Plate Phase Shift on Flow and Heat Transfer Characteristics in Corrugated Channel, Energy Procedia 14 (2012) 1566-1573.
- [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] G. Comini, C. Nonino, S. Savino, Effect of aspect ratio on convection enhancement in wavy channels, Numerical Heat Transfer, Part A 44 (2003) 21-37.
- [14] Z. Duan, Y.S. Muzychka, Effects of axial corrugated roughness on low Reynolds number slip flow and continuum flow in micro-tubes, Journal of Heat Transfer 132 (2010) 1-8.
- [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 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] Etmnan-Farooji V, Ebrahimnia-Bajestan E, Niazmand H, Wongwises S., 2012. "Unconfined laminar nanofluid flow and heat transfe around a squarer cylinder". Int J Heat Mass Transf 2012;55:1475-85.
- [21] A.J. Abdulhamed, et. all, 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. all, A detailed review on solar parabolic trough collector, International Journal of Ambient Energy (2019) 942-946. DOI: 10.1080/01430750.2019.1636869