بررسی عددی عملکرد حرارتی یک لوله جاذب صاف کلکتور خورشیدی سهموی خطی

میثم محمودی[۱]

[۱] گروه مهندسی مکانیک، دانشکده مهندسی، دانشگاه ولایت، ایرانشهر، m.mahmoudi@velayat.ac.ir

چکیده

انتقال حرارت نقش مهمی در صنعت ایفا می کند. لذا در پژوهش حاضر انتقال حرارت و عملکرد حرارتی لوله جاذب صاف یک کلکتور خورشیدی سهموی خطی شبیه سازی عددی شده است. شار حرارتی در جهت محیطی و معادلات حاکم سه بعدی ناویر استوکس جرم، مومنتم و انرژی با استفاده از نرم افزار تجاری انسیس فلوئنت و با استفاده از روش گسسته سازی مرتبه دوم برای ترم های جابجایی و پخش و همچنین برای کوپل نمودن سرعت و فشار از الگوریتم سیمپل استفاده شده است. نتایج حاصل نشان داد با افزایش اعداد رینولدز و سرعت سیال اعداد ناسلت روی دیواره و نرخ انتقال حرارت افزایش می یابد. همچنین با استفاده از سیالات مختلف مقادیر ضریب اصطکاک و همچنین افت فشار با سیالات با ویسکوزیته بالاتر افزایش می یابد.

واژه های کلیدی

بررسی عددی، کلکتور خورشیدی سهموی، لوله جاذب

مقدمه

انرژی خورشید یکی از منابع تامین انرژی رایگان، پاک و بدون اثرات مخرب زیست محیطی است. با توجه به بحران انرژی در سال های اخیر و همچنین کاهش آلودگی و صرفه جویی در مصرف انرژی و کنترل عرضه و تقاضای انرژی، جایگزینی انرژی های تجدید پذیر مانند انرژی خورشیدی با انرژی های فسیلی اهمیت زیادی یافته است با توجه به جغرافیای کشور ایران امکان استفاده حداکثری از انرژی خورشید در بخش های مختلف کشور در کل ایام سال وجود دارد. وجود معادن فراوان سیلسیوم و مس به عنوان ماده اولیه تولید سلول های فتوولتائیک در ایران و نیز کاربرد بسیار زیاد سلول های خورشیدی در صنایع مختلف مربوط به تولید الکتریسته با بهره گیری از انرژی خورشیدی در سازمان های مختلف صنعتی، اهمیت ایجاد شرکت های تخصصی تحقیق و توسعه در حوزه فناوری نوین به خصوص فناوری نانو مواد ساخت و تولید سلول های نیروی پر بازده برای استفاده در کلکتورهای خورشیدی روز به روز بیشتر می شود. با توجه به تغییرات جهانی و افزایش قیمت انرژی های فسیلی و نفت و گاز و ضرورت توجه به فناوری های پاک، تولید انرژی از منابع تجدید پذیر ضروری است[۱].

انرژی خورشیدی بزرگترین منبع انرژی تجدید پذیر در جهان بوده که بیش از هر منبع تجدید پذیر دیگر گسترش یافته است. استفاده از این منبع که انرژی آن به صورت نور و انرژی گرمایی به زمین می رسد، توسط دو گروه عمده از گیرنده ها یعنی سلول های خورشیدی و کلکتورهای خورشیدی جمع آوری شده و به طور مستقیم و یا پس از تبدیل به سایر انواع انرژی مورد استفاده قرار می گیرد انرژی گرمایشی تابشی را جمع آوری و جهت مصارف مختلف در اختیار بشر قرار می دهند. متاسفانه پایین بودن کارآیی این سیستم ها و پایین بودن ظرفیت گرمایی ویژه این سیالات از قابلیت رقابتی این منبع عظیم انرژی در برابر سوخت های فسیلی کاسته و تاکنون از کاربرد عملی و جایگزینی کامل آنها با یکدیگر جلوگیری نموده است. توسعه فناوری نانو و دستاوردهای آن مانند نانوذرات مختلف امیدهای زیادی در جهت رفع این نقیصه ایجاد نموده و دانشمندان طی دو دهه گذشته تحقیقات وسیع خود دریافته اند که جایگزینی نانوسیالات جدید با سیالات قبلی ، می تواند قابلیت هدایت حرارتی آنها را افزایش داده و با افزایش کارایی سیستم های حرارتی خورشیدی و کاهش هزینه انرژی تولید شده استفاده از آن در مقایسه با سوخت های فسیلی مقرون به صرفه نماید[۲]. کشور ایران به دلیل قرار گرفتن در کمربند تابشی خورشید از پتانسیل بالایی در زمینه بهره برداری از این موهبت خدادادی برخوردار است. ایران با دریافت تابش متوسط سالانه خورشید یکی از مناطق مستعد جهان برای بهره گیری از انرژی خورشیدی است[۳].

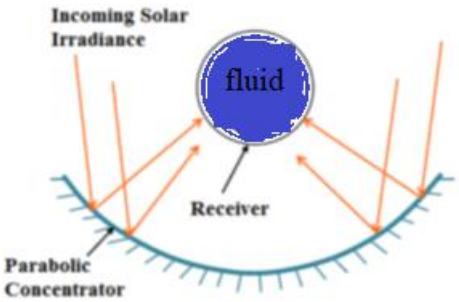
انتقال حرارت نقش مهمی را در صنعت و نیروگاه ها ایفا می کند و دارای کاربردهای مختلفی است .به عنوان مثال، در وسایل نقلیه، حرارت تولید شده توسط عامل محرک به منظور عملکرد مناسب باید از بین برود مانند قطعات الکترونیکی که نیاز به خنک کاری دارند . سیستم گرمایش و تهویه مطبوع نیز شامل فرایندهای مختلف انتقال حرارت می باشند .همچنین انتقال حرارت فرایند کلیدی در نیروگاههای حرارتی است. در مجموع در بسیاری از فرایندهای تولید انتقال حرارت نقش مهمی دارد و در بیشتر این کاربردها انتقال حرارت توسط برخی از دستگاههای انتقال حرارت مانند مبدل حرارتی، اواپراتور و چگالنده تحقق می یابد .چندین روش برای بهبود راندمان انتقال حرارت وجود دارد .برخی از این روشها شامل استفاده از سطوح گسترده، استفاده از لرزش به سطوح انتقال حرارت و استفاده از کانالهای میکرو است. [۳] تحقیقات قبله و همکاران[۴] نشان داد در یک جذب کننده خورشیدی با قرار دادن موانعی در جریان عبور سیال، با افزایش ضریب انتقال حرارت بین صفحه جاذب و هوا، راندمان حرارتی جذب کننده افزایش پیدا می کند ؛ و به کاربردن سطح دریافت جذب کننده خورشیدی به

فرم وی شکل، موج دار، لوله خلاء و مشبک، بازده آن را نیز افزایش داد و عوامل محیطی نیز مانند دمای محیط، سرعت باد و از آن مهم تر شدت تابش نور خورشید، در عملکرد بالای کلکتور میسر بوده است. فلاح و همکاران[۵]نشان دادند که راندمان متمرکز کننده خورشیدی، تابعی از شدت تابش می باشد و متمرکز کننده با یک پوشش شیشه ای بر روی لوله جاذب بیشترین راندمان را دارد .سلطانپورخامنه و همکاران[۶]، در پژوهشی به روش شبیه سازی عددی به کمک نرم افزار گمبیت و فلوئنت سعی در بهینه کردن میزان حرارت انتقال یافته به سیال موجود در لوله جاذب نمودند و تمامی عوامل و پارامترهایی که درافزایش دمای خروجی سیال عامل، تاثیر دارد را موردبررسی قرار دادند.

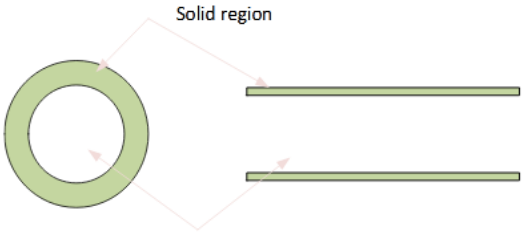
کار حاضر با رویکرد بررسی عددی جریان و انتقال حرارت در لوله جاذب سیستم کلکتور خورشیدی سهموی حاوی سیال به منظور پیشبرد تحقیقات، فناوری سیستم های کلکتور خورشیدی سهموی معرفی و انجام می گیرد.

معرفی مساله

در شکل ۱ نمای شماتیک مقطع دوبعدی از سیستم کلکتور خورشیدی سهموی نشان داده شده است .کلکتور سهموی از تعدادی بازتابنده مقعر با سطح مقطع سهمی شکل تشکیل شده است. بازتابنده ها، نورخورشید را در خط کانونی خود بازتابش و متمرکز می کنند. برای استفاده از گرمای تولید شده، لوله ای حاوی یک سیال جاذب گرما در طول خط کانونی سهمی قرار می گیرد. لوله جاذب به نحوی طراحی می شود که توانایی جذب بیشترین انرژی و تحمل دمای بالا را دارد. پرتوهای خورشیدی بر صفحه ی رفلکس می تابند و به طرف لوله های جاذب بازتاب می شوند. گرما به سیال داخل لوله های جاذب منتقل می شود. مطابق شکل ۲ در سیستم کلکتور سهموی خورشیدی سیال دریافت کننده گرما که در لوله جریان دارد معمولا از جنس های ترکیبی است. پس از عبور از لوله جاذب وارد یک سیستم بسته شده و گرمای آن برای تولید توان استفاده می شود. استفاده از کلکتورهای نوع سهموی باعث کاهش اتلاف حرارتی، تولید دما و حرارت بیشتر می شود که منجر به راندمان بهتر کلکتور خواهد شد. میزان دریافت تابش خورشیدی در این نوع کلکتورها می تواند هفتاد تا هشتاد برابر بیشتر نسبت به نوع تخت باشد. مدل کلکتور سهموی که در پژوهش حاضر انتخاب و بررسی عددی انجام گرفته است از جمع آوری آزمایشگاه ملی Sandia National Laboratory(SNED) LS-2 مدل سازی شده است [۷] ابعاد و مشخصات کلکتور و لوله جاذب در جدول ۱ آورده شده اند. گیرنده با یک جاذب انتخابی پوشیده شده است و از مواد ضد زنگ و فولاد ساخته شده است. شکل ۲ نمایانگر لوله جاذب صاف را به صورت طولی و مقطعی نشان می دهد در مدلسازی صورت گرفته لوله جاذب صاف در کلکتورهای سهموی استفاده می شود هدف بررسی عددی و مدل سازی عددی جریان و انتقال حرارت سیال نیوتنی آب در شرایط استاندارد در لوله جاذب صاف سیستم کلکتور خورشیدی که آب به عنوان سیال عامل انتقال حرارت در لوله جاذب با هندسه های داخلی صاف درنظر گرفته شده است.



شکل ۱. نمایش مقطعی دو بعدی از سیستم کلکتور سهموی متمرکز کننده خورشیدی همراه با لوله جاذب



شکل ۲: لوله جاذب صاف سیستم کلکتور سهموی متمرکز کننده خورشیدی

جدول۱. ویژگی های کلکتور سهموی متمرکز کننده خورشیدی LS-2[۷]

سازنده	اندازه صنعتی
اندازه ماژول	$7.8m \times 5m$
بازتاب کلکتور	0.935
محدوده دیافراگم	$39.2\ m^2$
نسبت غلظت	22.74
قطر بیرونی پوشش شیشه ای	$115\ mm$
قطر داخلی پوشش شیشه ای	$109\ mm$
عبور پوشش شیشه ای	0.95
جاذبه لوله	0.96
قطر داخلی لوله	$66\ mm$
قطر بیرونی لوله	$70\ mm$
بازده نوری	75.5 %
انتشار پوشش	0.86

معادلات حاکم، شرایط مرزی و روش حل عددی

در این بررسی با صرف نظر از تلفات حرارتی اصطکاکی و جابجایی آزاد و نیروهای خارجی و همچنین تراکم ناپذیر بودن سیال، معادلات پیوستگی، مومنتم و انرژی عبارتند از[۸]:

معادله پیوستگی:

$$\nabla.(\rho_{eff}\vec{u})=0 \quad (۱)$$

معادله مومنتوم:

$$\nabla.(\rho_{eff}\vec{u}\vec{u}) = -\nabla p + \nabla.(\tau) \quad (۲)$$

معادله انرژی:

$$\nabla.(\vec{u}\rho_{eff}c_{p,eff}T) = -\nabla.(k_{eff}\nabla T + \tau.\vec{u}) \quad (۳)$$

تانسور تنش برشی به صورت رابطه (۴) حاصل می شود.

$$\tau = \mu_{eff}(\nabla\vec{u} + \nabla\vec{u}^T - \frac{2}{3}\nabla.\vec{u}I) \quad (۴)$$

مدل های توربولانسی مختلفی برای حل جریان آشفته وجود دارد. هرکدام از آنها برای شرایط خاصی قابل اعمال است. مدل آشفتگی k-ε برای بیشتر مسائل مهندسی مورد استفاده قرار می گیرد و دقت لازم را دارد که در کار حاضر بهره برده شده است[۹-۱۱].

شرایط مرزی جریان:

شرط مرزی جریان برای ورودی:

$$0 \le r \le ro \;.\; 0 \le \theta \le 2\pi \;,\quad Z = 0 \rightarrow \quad V = Vi \quad (۵)$$

شرط مرزی جریان برای خروجی:

$$0 \le r \le ro \;.\; 0 \le \theta \le 2\pi \;,\quad Z = l \rightarrow \quad V = 0 \quad (۶)$$

شرط مرزی جریان برای سطوح خارجی لوله:

$$0 \le Z \le L, 0 \le r \le ro\,, 0 \le \theta \le 2\pi \rightarrow V = 0 \quad (۷)$$

شرایط مرزی حرارتی:

شرط مرزی حرارتی برای ورودی:

$$0 \le r \le ro\,,\;\; 0 \le \theta \le 2\pi\,,\qquad Z = 0\,, T = Ti \quad (۷)$$

شرط مرزی حرارتی برای خروجی:

$$0 \le r \le ro\,,\;\; 0 \le \theta \le 2\pi\,,\qquad Z = l\,, T = 0 \quad (۸)$$

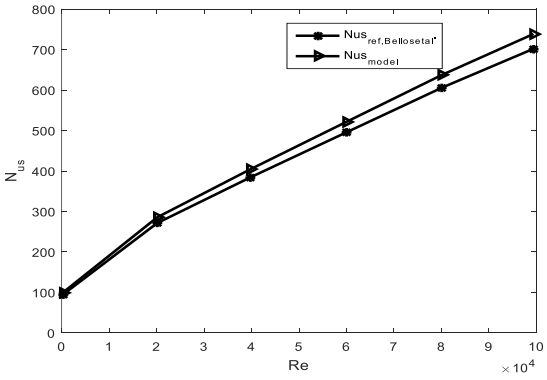
شرط مرزی حرارتی برای سطح:

$$0 \le Z \le L\,, 0 \le r \le ro,\qquad 0 \le \theta \le 2\pi \rightarrow q'' = q_0 \quad (۹)$$

الگوریتم حل سیمپل برای کوپل شدن سرعت و فشار و با روش حجم محدود برای حل مساله استفاده می شود. برای معادلات حرکت و انرژی از دقت مرتبه اول و میزان همگرایی برای معادلات حرکت 10^{-5} و برای معادله انرژی 10^{-9} می باشد. همچنین برای گسسته سازی مولفه های حاکم از روش اختلاف بالا دست مرتبه دوم استفاده شده است.

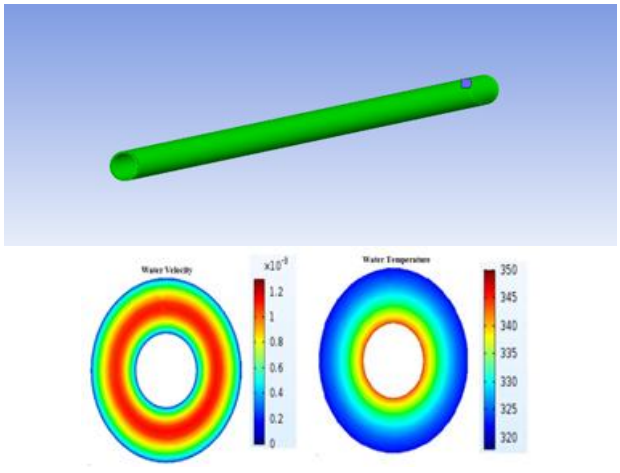
نتایج و بحث

نتایج عددی حاصل از شبیه سازی با نتایج حاصل از کار بیلوس و همکاران[۱۲]مقایسه شده است. شکل ۳ نتایج عددی به دست آمده از طریق کار شبیه سازی عددی به کمک دینامیک سیالات محاسباتی را برای محاسبه عدد بی بعد ناسلت را بین کار حاضر و نتایج حاصل از کار [۱۲] را برای لوله جاذب صاف نشان می دهد. معادلات حاکم و شرایط مرزی با استفاده از روش عددی حجم محدود حل شده و برای کوپل سرعت و فشار الگوریتم سیمپل استفاده شده است. که نتایج حاصل بسیار نزدیک به مدل مرجع[۱۲]است. با میانگین انحراف ۱.۱۲ این مقادیر در دامنه قابل قبولی هستند که اعتبار مدل را نشان می دهند



شکل ۳. مقایسه عدد ناسلت به کمک شبیه سازی لوله جاذب به کمک دینامیک سیالات محاسباتی با کار مرجع[۱۲]

با مدلسازی لوله جاذب در شکل ۴ نمایی از هندسه لوله و سپس کانتور سرعت و دما برای لوله جاذب صاف حاوی سیال عامل آب در خروجی سیال نشان داده شده است برای اینکه ارائه نتایج حاصل در حجم بالا نباشد و اشکال زیادی نمایش داده نشود و مقایسه خوبی از نتایج انتظار رود در بقیه حالت‌ها کانتور ها آورده نشده است.



شکل ۴. نمایش کانتور دما و سرعت برای سطح مقطع خروجی لوله جاذب برای لوله صاف حاوی آب خالص

جدول ۲مقادیر ناسلت محاسبه شده برای حالت های مختلف لوله جاذب و با در نظر گرفتن سیال عامل آب را نشان می دهد. نتایج حاصل حاکی از آن است با افزایش عددرینولدز و برای حالات لوله جاذب حاوی سیال خورده مقادیر ناسلت افزایش یافته است.

جدول۲. اعداد ناسلت محاسبه شده به کمک آنالیز حرارتی برای لوله جاذب صاف حاوی آب خالص

اعداد ناسلت دیواره لوله جاذب مورد مطالعه	Re
95.94744	300
274.0456	20000
387.4796	40000
500.9506	60000
612.3236	80000
709.0609	100000

از مقایسه مقادیر ضریب اصطکاک ، ضریب انتقال حرارت و همچنین افت فشار در لوله جاذب صاف کلکتور را برای دوسیال متفاوت می توان نشان داد سیال با ویسکوزیته بالاتر سبب افت فشار بیشتر در لوله می شود همچنین مقادیر میزان انتقال حرارت بین سیال و لوله نیز افزایش می‌یابد و این افزایش انتقال حرارت درسرعتهای بالاتر مشهود تر است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که به جهت کاهش تلفات انرژی حرارتی می‌توان از سیالات مختلف برای بهبود انتقال حرارت در لوله های جاذب استفاده کرد.

نتیجه گیری

هدف از کارحاضر تحلیل عددی جریان و انتقال حرارت حرارتی وبررسی عملکرد متمرکز کننده سهموی خورشیدی با هندسه لوله جاذب صاف حاوی سیال آب بود نتایج این مطالعه نشان می دهد که با افزایش اعداد رینولدز و سرعت سیال اعداد ناسلت روی دیواره و نرخ انتقال حرارت افزایش می یابد. همچنین با استفاده از سیالات مختلف مقادیر ضریب اصطکاک و همچنین افت فشار با سیالات با ویسکوزیته بالاتر افزایش می یابد.

مراجع و منابع

[۱] رمضان نژادکوتنایی علی،محمدی نیا سمیرا،لطفی نژاد امین،۱۳۹۱ ، "انرژی خورشیدی و کاربرد نانو تکنولوژی در انرژی خورشیدی"، کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

[۲] سعید بهنام،۱۳۹۵، "کاربردهای فناوری نانو در افزایش کارایی سیستم های حرارتی خورشیدی"، چهارمین کنفرانس تخصصی فناوری نانو در صنعت برق و انرژی

[۳] مرتضی پاک نژاد راسخی، ناصر کردانی،۱۳۹۷، "بررسی عددی عملکرد حرارتی لوله جاذب کلکتور خورشیدی سهموی خطی با استفاده از نانوسیال تکسید مس- روغن حرارتی"، سال پنجم فصلنامه علمی-پژوهشی دریا فنون

[4] Ghebleh, N., and Askari Asli A.E., 2016 “Studying theParameters on the Type of Solar Absorbers, theSecond International Conference on New Ideas inAgriculture”, Environment and Tourism, Ardabil,Institute of Environmental Sighted Supporters”, IdealEnvironment,.

[5] Falah, A. and Khalilian. M, 2015 “Reviews thePerformance of the Heat Pipe in order to Improve itsEfficiency Concentrator Solar Collectors”, The firstInternational Congress of Earth, Space and CleanEnergy, Ardebil University researcher,.

[6] Soltanpurkhameneh, M., Pestehei M. andSoltanpurkhameneh, M., 2015 “To Studied Heat Transferin a Linear Parabolic Solar Collectors”, SixthInternational Conference on Heating, Cooling andVentilation Systems, Tehran, Research Institute forHousing and Urban Development,.

[7] Dudley VE, Kolb GJ, Mahoney AR, et al. 1994 . Test results: SEGS LS-2 solar collector. Sand Natl Lab.;96:11437.

[8] Diwan K, Soni MS. 2015 . Heat transfer enhancement in absorber tube of parabolic trough concentrators

using wire-coils inserts. Univ J Mech Eng.;3(3):107–12.

[9] Ghasemi SE, Ranjbar AA. 2017 . Numerical thermal study on effect of porous rings on performance of solar parabolic trough collector. Appl Therm Eng.;118(25):807–16.

[10] Kumar KR, Reddy KS. 2009. Thermal analysis of solar parabolic trough with porous disc receiver. Appl Energy.;86:1804–12.

[11] Benabderrahmane A, Aminallah M, Laouedj S, Benazza A, Solano JP. 2016. Heat transfer enhancement in a parabolic trough solar receiver using longitudinal fins and nanofluids. J Therm Sci;25:410–7.

[12] Bellos E, Daniil I, Tzivanidis C. 2018. Multiple cylindrical inserts for parabolic trough solar collector. Appl Therm Eng.;143:80–9.