

بررسی عددی جریان و انتقال گرما در گردآور خورشیدی سهموی SEGS LS2 تحت شرایط ورودی پله ای - سینوسی

احد عباسیان پیرنیا دانشجوی دکتری، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، ahad_pimia@yahoo.com
ایرج میرزایی استاد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، enpim@yahoo.com
مجید عباسعلیزاده* استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه ارومیه، ارومیه، ایران، m.abbasalizadeh@urmia.ac.ir

چکیده

در مطالعه حاضر مدل خاصی از گردآورهای خورشیدی سهموی با نام SEGS LS2 مورد مطالعه عددی قرار گرفته است. به طور کلی گردآورهای گرمای خورشیدی به دو دسته کلی متمرکز کننده (Concentrator) و غیر متمرکز کننده (None Concentrator) تقسیم بندی می‌شوند که مدل SEGS LS2 از نوع متمرکز کننده بوده به طوری که نور خورشید را بر نقطه کانونی خود منعکس کرده و با کنار هم قرار دادن سهموی‌ها و حرکت دادن یک سیال از روی نقطه کانونی، گرمای تابشی خورشید را جذب می‌کند. گرما جذب شده به سیال عامل (روغن Syltherm 800) منتقل شده و وارد سیستم گرمای می‌گردد. مطالعه انجام شده به مقایسه سرعت ورودی لوله انتقال گرما که از روغن Syltherm 800 تشکیل شده می‌پردازد. به طوری که سرعت متوسط ورودی لوله ثابت، اما همراه با افت و خیزهای ثانویه وارد گردآور سهموی می‌گردد. برای ایجاد این افت و خیزهای متناوب از ورودی پله‌ای - سینوسی استفاده شده به طوری که با اعمال این شرط مرزی سرعت به طور لحظه‌ای (غیر پایا) تغییر کرده و سبب تلاطم بیشتر روغن ناقل گرما می‌گردد. نتایج مطالعه نشانگر افزایش بازده گرمای تحت شرایط مرزی ورودی پله‌ای - سینوسی می‌باشد. به طوری این متغیر در مقایسه با ورودی سرعت ثابت ۲۲٪ افزایش را به همراه دارد.

واژه های کلیدی: گردآور سهموی، ورودی پله‌ای - سینوسی، ضریب انتقال گرما، جریان غیر دائم.

Numerical Computation of Flow and Heat Transfer in Parabolic Collector SEGS LS2 with Step- Sinus Boundary Condition

A. Abbasian Pirnia

Department of Mechanical Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

I. Mirzaei

Department of Mechanical Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

M. Abbasalizadeh

Department of Mechanical Engineering, Urmia University, Urmia, Iran

Abstract

In the present study, a particular model of parabolic solar collectors, SEGS LS2, has been numerically studied. Generally, solar thermal collectors are divided into two general concentrators and none concentrators, the SEGS LS2 model being concentrated so that it reflects sunlight on its focal point and Together parabolas and moving a fluid from the focal point absorbs the radiant heat of the sun.

The heat absorbed into the operating fluid (Syltherm oil 800) is transferred to the thermal system. The study compares the input speed of the heat transfer pipe, which is composed of Syltherm 800 oil. So that the average speed of the pipe inlet constant, but with the secondary slopes enter the particle collector. To create these intermittent bursts, a step-sine input is used such that, by applying this boundary condition, the velocity changes instantaneously (non-stable) and causes more turbulence of the carrier of the heat. The results of the study indicate an increase in the Thermal efficiency under the stepwise-sinus input boundary conditions. Thus, this variable has a 22% increase compared to the constant speed input.

Keywords: Parabolic Collector, Step-Sine Input, Heat Transfer Coefficient, un-Steady Flow.

نمود. امروزه در بسیاری از کشورهای توسعه یافته، انرژی خورشیدی نقش عمده‌ای در تولید انرژی مصرفی منازل را داراست به طوری که خانه ها علاوه بر استفاده از انرژی تولیدی، می توانند آن را به مناطق دیگر ارسال نمایند با این روش بخشی از انرژی خورشیدی را مصرف و باقی آن را به فروش می رسانند. پس می توان گفت انرژی خورشیدی علاوه بر پاک بودن، مقرون به صرفه بودن، می‌تواند اقتصادی نیز باشد. در سال ۱۹۹۴ میلادی، دودلی و همکاران [۲] برای اولین بار مدل SEG-LS2 را مورد مطالعات آزمایشگاهی خود قرار داده‌اند آنها در این تحقیق با تغییر جنس قسمت‌های مختلف گردآور سعی کردند راندمان

۱- مقدمه

انرژی خورشیدی یکی از پاک ترین و ارزان ترین انرژی‌های دنیا بشمار می‌رود که جنبه گرمای و گرمایشی نیز دارد و بسیاری از متخصصان بدنبال استفاده از این انرژی برای سیستم گرمایش و سرمایش منازل هستند [۱]. در گردآورهای خورشیدی، از انرژی خورشید برای گرمایش، سرمایش و حتی تولید برق مصرفی خانه استفاده می‌شود. این درحالی است که می‌توان با استفاده از فناوری - های جدید انرژی گرمای را در طول روز ذخیره و در طول شب استفاده

* نویسنده مکاتبه کننده، آدرس پست الکترونیکی: m.abbasalizadeh@urmia.ac.ir

گرمای را افزایش و تلفات گرمای را کاهش دهند. مطالعات آنها منجر به تولید نتایج آزمایشگاهی مفیدی شد که بعدها با نام Test Result نشریه علمی ساندا ریپورت [۳] (Sandia Report) چاپ و مورد استفاده تولید کنندگان انواع گردآور قرار گرفت. صادیانی و همکاران [۴] در سال ۲۰۱۳ با استفاده از روش‌های عددی مختلف و کوپل آنها راه کارهای جدیدی جهت بررسی عملکرد گردآورهای سهموی ارائه داده‌اند. آنها در تحقیقات عددی خود، از الگوریتم مونتو کارلو جهت پیش بینی میزان انعکاس نور خورشید به قسمت‌های مختلف لوله جاذب بهره برده‌اند و به این نتیجه رسیدند که می‌توان با تغییر در ابعاد و زوایای منعکس کننده، انرژی بیشتری را به قسمت‌های تحتانی لوله جاذب انتقال داد. چنگ و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۲ با استفاده از روش‌های عددی (FVM) و (MCRT) و کوپل آنها به بررسی عددی گردآورهای سهموی پرداخته‌اند آنها در این روش از سیال Syltherm 800 جهت مقایسه نتایج بهره برده‌اند. نتایج آنها نشان داد عوامل مختلفی همچون نوع سیال ناقل گرما، خواص ترموفیزیکی سیال و نوع گاز تشکیل دهنده شرایط خلاء بر میزان افزایش راندمان گرمای گردآور سهموی، تاثیر گذار هستند. وسیگی و همکاران [۶] در سال ۲۰۱۵ تحقیقات همکاران قبلی را در زمینه تحلیل عملکرد و بررسی بازده گردآورهای سهموی ادامه داده و این بار مدل LS2 را با اضافه کردن صفحات سوراخ دار به منعکس کننده پیگیری نموده‌اند. صفحات سوراخ دار تاثیر بسزایی در میزان جذب و انعکاس انرژی خورشیدی داشته و در صورتی که طراحی با دقت بالایی صورت گیرد می‌تواند باعث افزایش چشم گیر بازده گردآور خورشیدی شود. وانگ و همکاران [۷] در سال ۲۰۱۵ در تحلیل عددی خود، از کوپل دو روش FEM و Solar Ray Trace بهره برده‌اند عمده تحلیل و بررسی تیم وانگ مربوط به میزان انتقال گرما و تنش های گرمای ایجاد شده در سیستم PTC بوده است. جفر و سیوارمن [۸] در آزمایشات تجربی خود، از مخلوط اکسید آلومینیوم و آب و همچنین میخ های پیچ خورده، برای افزایش میزان انتقال گرما استفاده نموده‌اند. آنها در تحقیقات خود از مدل جریان لایه‌ای، استفاده نموده‌اند و نشان دادند که استفاده از نانوسیالات و پیچ خوردگی ها، می‌تواند در افزایش میزان انتقال گرما تاثیر گذار باشد. تورک یلماز اوغلو و همکاران [۹] در سال ۲۰۱۵ مطالعات خود را پیرامون استفاده از نانوسیالات در لوله های متراکم دایره‌ای پیگیری نموده و به بررسی تاثیر سرعت جزئی در دیواره‌های لوله پرداخته‌اند. آنها در تحقیقات خود از روش تک فاز استفاده نموده و جریان سیال را لایه‌ای، در نظر گرفته‌اند. همچنین شرایط مرزی تعیین شده با توجه به توسعه یافتگی جریان و گرما صورت گرفته است. کسائیان و همکاران [۱۰] در سال ۲۰۱۵ در تحقیقات آزمایشگاهی خود، از مخلوط روغن و نانولوله‌های کربنی چند لایه استفاده نموده و به این نتیجه رسیده‌اند که استفاده از این نوع نانو ذرات بازده گرمای، را ۷٪ بیشتر از حالت روغن خالص (بدون حضور نانو لوله‌های کربنی) پیشی بینی می‌کند. موغاری و همکاران [۱۱] به بررسی عددی مدل LS2 پرداخته و با فرض جریان لایه‌ای از مخلوط آب و اکسید آلومینیوم، به عنوان نانوسیال ناقل گرما بهره برده‌اند. آنها در تحلیل عددی خود از مدل دو فازی استفاده نموده‌اند. همچنین برای کلیه دیواره‌های لوله جاذب از شرط مرزی شار ثابت استفاده کرده‌اند. نتایج تحقیق عددی آنها نشان داد که با افزایش درصد حجمی نانوذرات، عدد ناسلت (Nu) نیز افزایش می‌یابد و این پیش بینی برای

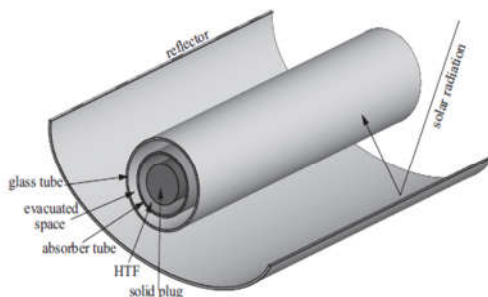
دیواره‌های داخلی بیشتر از دیواره‌های خارجی است. سخن صفت [۱۲] به بررسی عددی جریان و انتقال گرما مخلوط روغن و اکسید آلومینیوم به عنوان نانوسیال ناقل گرما پرداخته و از مدل جریان متلاطم بهره برده‌اند. آنها در تحلیل سه بعدی خود از مدل تکفاز برای بررسی نقش نانوذرات آلومینیوم اکسید استفاده کرده و سطح لوله جاذب را با کریمت اندود کرده‌اند. در کلیه مطالعات صورت گرفته نوع جریان ورودی سیال مورد توجه جدی قرار نگرفته و اغلب تحت پروفیل سهموی تحت جریان لایه ای است. در مطالعه حاضر نوع جدیدی از تلاطم با عنوان تلاطم های طولی تعریف می‌گردد. در واقع با استفاده از تابع زمانی سینوسی تعریف شده (با استفاده از زبان برنامه نویسی C) میزان دبی جرمی ورودی گردآور کنترل می‌گردد. تحت این شرایط، جریان در هر لحظه، تحت تاثیر تلاطم ایجاد ذرات ورودی بعدی قرار می‌گیرد و تلاطم های ایجاد شده با تلاطم های عرضی قبلی تلفیق می‌گردند.

۲- مبانی و روش ها

۲-۱- تعریف مسئله و مدل سازی عددی

گردآور سهموی مدل LS2 به طول ۷/۸ متر توسط دودلی و همکاران مورد مطالعه آزمایشگاهی قرار گرفته‌است. در تحلیل عددی حاضر از این گردآور جهت مدل سازی، تحلیل و ارائه نتایج استفاده شده است. در گردآورهای سهموی از دو نوع سیال روغن Syltherm 800 به عنوان سیال انتقال دهنده گرما خورشیدی و هوای کم فشار (1Turr) جهت ایجاد فضای خلاء در اطراف لوله جاذب استفاده شده‌است چرا که جهت به حداقل رساندن اتلافات گرمای وجود عایق مناسب، ضروری می‌باشد. هوای کم فشار در داخل محفظه‌ای از جنس شیشه Pyrex جریان داشته و مانع اتلاف گرمای می‌گردد. گردآور سهموی از قسمت‌های مختلفی از به شرح زیر تشکیل شده که مطابق شکل ۱ نشان داده شده‌است.

- منعکس کننده (Reflector)
- لوله جاذب (Absorber Tube)
- فضای تحت خلاء (Evacuated Space)
- سیال انتقال دهنده گرما (Heat Transfer Fluid)
- لوله شیشه‌ای (Glass Tube)
- هسته جامد (Solid Plug)



شکل ۱- اجزای گردآور سهموی LS2

معادله پیوستگی در حالت کلی در جریان گذرای سه بعدی به صورت معادله (۱) تعریف شده است.

$$\frac{\partial p}{\partial t} + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

با توجه به قانون دوم نیوتن نرخ تغییرات مومنتوم برابر است با مجموع نیروهای وارده بر سیال که دارای سه جهت می‌باشد. مولفه‌های معادله مومنتوم در سه جهت به صورت معادله (۲) نشان داده شده است.

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx}$$

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (2)$$

برای حل تلاطم جریان در این مطالعه مدل $k-\epsilon$ نوع RNG مورد استفاده قرار گرفته است. در واقع روش RNG حالت حل عددی معادلات ناوبر استوکس لحظه‌ای است. RNG مخفف Renor Malization Group می‌باشد که از روش‌های عددی خاصی پیروی می‌کند. تفاوت اساسی این روش با مدل ساده $k-\epsilon$ در جملات و توابعی است که در معادلات RNG گنجانده شده است. معادلات به کار رفته در نرم افزار Fluent بصورت معادله (۳) ارائه گردیده است.

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) =$$

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j}) + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_m + S_k$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) = \quad (3)$$

در معادله (۳) G_k بیانگر تلاطم تولیدی حاصل از تغییرات سرعت متوسط جریان سیال (انرژی جنبشی) است. G_b بیانگر تلاطم تولیدی حاصل از نیروهای شناوری سیال در انرژی جنبشی سیال بوده و Y_m بیانگر نسبت تغییرات انبساطی سیالات تراکم پذیر به شار تلفات کلی است. همچنین α بیانگر وارون عدد پرانتل موثر در جریان‌های متلاطم می‌باشد.

Fluent معادله انرژی را به شکل معادله (۴) حل می‌کند.

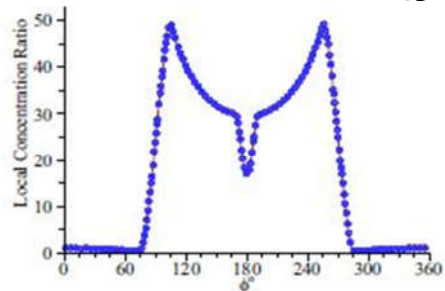
$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho E) + \frac{\partial}{\partial x_i}(U_i(\rho E + p)) = \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k_{eff} \frac{\partial T}{\partial x_i} - \sum_j h_j J_j + U_j (\tau_{ij})_{eff} \right) + S_k \quad (4)$$

K_{eff} رسانایی گرمایی موثر و با توجه به مدل اغتشاش به کار رفته، از شار پخشی از گونه‌های Z می‌باشد. سه ترم اول در سمت راست معادله (۴) به ترتیب بیان کننده انتقال انرژی به صورت رسانش، پخش گونه‌ها و پراکندگی لزجت می‌باشد. S_k شامل گرما واکنش‌های شیمیایی و دیگر جملات گرمایی حجمی می‌باشد. برای تعریف تابش ایجاد می‌شود از مدل تابشی سطح به سطح استفاده شده است. مدل S2S زمانی استفاده می‌گردد که رفتار سطوح نزدیک به

منعکس کننده LS2، سطحی به اندازه ۳۹ متر مربع را جهت انعکاس انرژی خورشیدی در جهات مختلف لوله جاذب قرار می‌دهد. انرژی خورشیدی ساطع شده در جهات و مقادیر مختلف جذب لوله مسی (لوله جاذب) می‌گردد. جهت جذب هر چه بیشتر انرژی، از پوشش کریمت بر روی سطح لوله جاذب استفاده شده به طوری که میزان جذب انرژی دریافتی سطح به ۰.۹۶ برسد. گرما جذب شده از طریق رسانش (ضخامت لوله جاذب ۰.۲۱۵ متر می‌باشد) ضخامت لوله جاذب را طی کرده و بصورت گرما جابجایی اجباری به سیال انتقال دهنده گرما (روغن Syltherm 800) منتقل می‌شود. همچنین جهت انتقال گرما بهتر از هسته آهنی (فولاد ضد زنگ) با رسانایی گرمایی ۵۴ W/m.K استفاده شده است.

۲-۲- الگوریتم مونتوکارلو

برای پیش بینی گرما جذب شده توسط سیال منتقل کننده گرما (روغن Syltherm 800) باید میزان شار گرمایی دریافت شده توسط سطح لوله جاذب بدست آورده شود. لوله جاذب تحت زوایای مختلف شارهای گرمایی مختلفی جذب می‌کند. در واقع میزان جذب گرما تابشی به عوامل مختلفی از جمله عرض جغرافیایی، انرژی گرمایی خورشید (DNI)، سطح منعکس کننده، زاویه قرارگیری سطح منعکس کننده و غیره... وابسته است. در نتیجه می‌توان گفت سطح لوله جاذب در هر زاویه (از صفر الی ۳۶۰ درجه) میزان خاصی از انرژی گرمایی را جذب خود می‌کند. برای محاسبه میزان جذب تابش تحت تغییرات زاویه سطح لوله جاذب، از الگوریتم مونتو کارلو استفاده شده است. این الگوریتم توسط چنگ و همکاران [۵] در سال ۲۰۱۲ طراحی شده است. آنها در پژوهش عددی خود میزان گرما تابشی جذب شده را با متغیر ضریب جذب منطقه ای (LCR) بیان نموده‌اند. شکل ۲ میزان تغییرات LCR را تحت تغییرات زاویه سطح لوله جاذب نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌گردد گرما تابشی جذب شده در زوایای ۱۰۴ و ۲۵۶ درجه به حداکثر رسیده و در زوایای ۰ تا ۶۰ و ۲۸۵ تا ۳۶۰ درجه به حداقل می‌رسد.



شکل ۲- تغییرات LCR بر حسب تغییرات زاویه سطح لوله

۳-۲- معادلات

معادلات حاکم بر حل جریان و انتقال گرما در لوله گردآور سه‌موی، شامل معادلات پیوستگی، مومنتوم، آشفتنگی، انرژی و تابشی سطح به سطح می‌باشد که به ترتیب در معادله ۱، ۲، ۳، ۴ و ۵ گنجانده شده است.

		جاذب
Convection	No Slip	سطح خارجی هسته آهنی
Adiabatic	-	ورودی و خروجی هسته آهنی
Convection	Uniform Velocity	سطح خارجی شیشه Pyrex
Convection-Radiation	No Slip	سطح داخلی شیشه Pyrex

همچنین فرض شده است که هوا با سرعت مشخصی از فضای اطراف گردآور سهموی عبور می کند. لذا جهت شبیه سازی جابجایی اجباری ایجاد شده، باید ضریب انتقال گرما هوا با شرط مرزی جابجایی تعیین شود. نائینی و یعقوبی [۱۵] در سال ۲۰۰۷ مطالعات عددی گسترده‌ای در رابطه با نقش سرعت باد در میزان ضریب انتقال گرما انجام داده و نتایج خود را بصورت معادله (۶) ارائه کرده‌اند. در مطالعه حاضر از این معادله جهت پیش بینی ضریب انتقال گرما هوای عبوری از فضای اطراف گردآور استفاده شده است.

$$h_{wind} = 4V_{wind} D_{g,o}^{-0.42} \quad (6)$$

در معادله فوق الذکر V_{wind} سرعت متوسط هوای عبوری از فضای اطراف گردآور و $D_{g,o}$ به عنوان قطر خارجی شیشه Pyrex تعریف شده است.

۲-۵- خواص ترمودینامیکی

خواص ترمودینامیکی سیال انتقال دهنده گرما (Syltherm 800) شامل لزجت دینامیکی، رسانایی گرمایی، گرمای ویژه و چگالی به شدت تابع دما است. لذا جهت دستیابی به معادله تغییرات خواص نسبت به دما از توابع تخمینی چند جمله ای (معادله ۷) استفاده شده است. ضرایب توابع طبق آزمایشات شرکت داو [۱۶] گردآوری شده و بصورت جدول ۲ ارائه شده است. ضرایب تخمینی برای بازه دمایی ۳۰۰ الی ۶۵۰ کلوین صحت سنجی شده و دارای اعتبار می باشد.

$$property = a_0 + a_1 T + a_2 T^2 + a_3 T^3 + a_4 T^4 \quad (7)$$

جدول ۲- ضرایب خواص ترمودینامیکی نسبت به تغییرات دما

ضرایب	لزجت	رسانایی گرمایی	گرمای ویژه	چگالی
a0	8.4866E-2	0.190119	1.1078E3	1.2690E3
a1	-5.541E-4	-1.880E-4	1.707422	-1.52080
a2	1.3882E-6	0	0	1.790E-3
a3	-1.566E-9	0	0	-1.52E-6
a4	6.672E-13	0	0	0

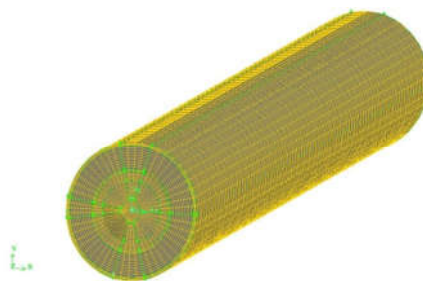
جسم خاکستری باشد. میزان تابش به عوامل مختلفی از جمله اندازه سطوح، فاصله بین سطوح و جهت گیری آن‌ها وابسته است. عوامل گفته شده توسط تابعی به نام ضریب دید (View Factor) کنترل می گردد. مهم ترین فرض در مدل سطح به سطح (S2S) این است که هرگونه جذب، نشر یا پخش تابش بین دو سطح مد نظر است و از موارد دیگر صرف نظر گردیده است. میزان جذب و نشر تابش در سطوح خاکستری مستقل از طول موج بوده و طبق قانون کیرشرف دارای مقدار یکسان می باشند. مدل سطح به سطح بر اساس ضرایب دید سطوح و با فرض سطح خاکستری مطابق با معادله (۵) میزان تابش جذبی و نشری را محاسبه کرده و به معادله انرژی اضافه می نماید.

$$q_{in,k} = \sum_{j=1}^N F_{kj} q_{out,j} \quad (5)$$

در معادله (۵) F_{kj} بصورت نسبت تابش خروجی از سطح k و ورودی به سطح j تعریف شده است.

۲-۴- شبیه سازی عددی و شرایط مرزی

روش های عددی مختلفی برای حل مسائل وجود دارد ولی در این مطالعه از روش عددی حجم محدود (FVM) استفاده شده است به طوری که کلیه مراحل مدل سازی شکل اولیه، شبکه بندی و ایجاد شرایط مرزی در نرم افزار Gambit [۱۳] و مراحل استقلال از شبکه هندسی، اعتبار سنجی و نتایج عددی با کمک نرم افزار Fluent [۱۴] بدست آمده است. مدل طراحی شده مطابق با ابعاد پیشنهادی گزارش آزمایشگاهی دودلی (Sandia Report) ایجاد شده که در شکل ۳ نشان داده شده است. در این مدل از شبکه بی سازمان مثلثی-هرمی، جهت دستیابی به استقلال از شبکه استفاده شده به طوری که در تعداد ۳۰۰۰۰۰ شبکه، مدل ایجاد شده به استقلال کامل می رسد. همچنین شرایط مرزی مورد استفاده در گردآور سهموی LS2 بصورت جدول ۱ ارائه شده است.



شکل ۳- شبکه بندی مدل LS2 در نرم افزار گمبیت

جدول ۱- شرایط مرزی اعمال شده در Gambit و Fluent

موقعیت	شرط مرزی هیدرودینامیکی	شرط مرزی گرمایی
ورودی روغن	Mass Flow Inlet	Uniform Temperature
خروجی روغن	Pressure Outlet	Fluent Result
سطح خارجی لوله جاذب	-	Non-Uniform Heat Flux-Radiation
سطح داخلی لوله	No Slip	Convection-Radiation

۳-۲- نتایج عددی

در مطالعه حاضر گردآور سهموی LS2 طبق ابعاد پیشنهادی دودلی و دوستان با استفاده از نرم افزارهای Gambit و Fluent طراحی و شبیه سازی شده است. در اکثر مطالعات پیشین فرض بر این بوده که جریان سیال با سرعت و دبی ثابتی وارد گردآور می شود و طی دریافت شار گرمای حاصل از تابش خورشید با دمای بالاتر از لوله گردآور خارج می گردد. در این مطالعه نحوه ورود جریان به گردآور، مورد بحث قرار گرفته و در دو حالت دبی ثابت و دبی متغیر مورد سنجش قرار گرفته است. در حالت دبی ثابت روغن Syltherm 800 تحت پروفیل تخت حاصل از جریان تلاطم وارد گردآور می شود اما در حالت دبی متغیر فرض بر این است که دبی ورودی بصورت تابع سینوسی و تحت دامنه مشخصی وارد سیستم می گردد. در دو شرط مرزی گفته شده دبی متوسط ثابت است اما در ورودی سینوسی دبی بصورت لحظه ای و طبق تابع سینوسی تعریف شده نسبت به مقدار دبی متوسط (با دامنه ثابت) تغییر می کند به طوری که در مقدار دبی متوسط تغییری ایجاد نمی شود. در این مطالعه سعی شده است تغییرات لحظه ای دبی و تاثیر آن بر مقدار دمای خروجی و پروفیل آن مورد بررسی قرار گرفته و با حالت ورودی دبی ثابت مقایسه شود.

۳-۱- اعتبار سنجی نتایج

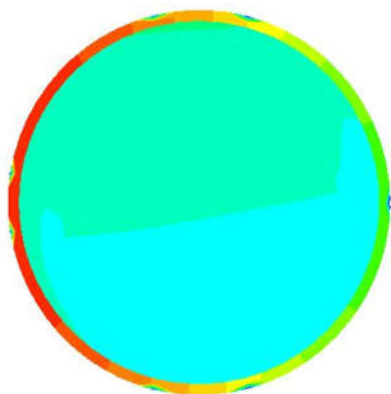
جهت اعتبار سنجی نتایج عددی، از نتایج آزمایشگاهی مجله سانديا ريبورت [۳] که توسط دودلی و همکاران بر روی ویژگی های هندسی گردآور سهموی LS2 انجام شده، استفاده شده است. دودلی و همکاران آزمایشات تحقیقاتی خود را بر روی ۴ حالت کاملا متفاوت مطابق با جدول ۳ انجام داده اند. لذا برای اعتبار سنجی دقیق مطالعه عددی حاضر هر ۴ حالت بررسی شده آزمایشگاهی با نتایج عددی مطالعه عددی حاضر مقایسه شده و میزان خطای مطالعه بدست آمده است. همان طور که در جدول ۳ آمده است کلیه دماهای محاسبه شده برای سطح خروجی گردآور سهموی برای ۴ حالت مختلف، خطایی کمتر از ۱۰ درصد را نشان می دهد.

جدول ۳- نتایج مطالعه حاضر و نتایج آزمایشگاهی سانديا

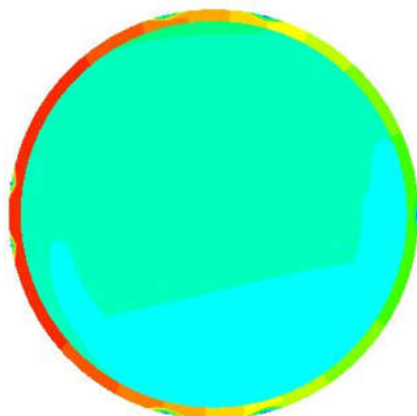
نوع	Error (%)	T _{out} (Num)	T _{out} (Exp)	U _{wind} (m/s)	Re	I _b (W/m ²)	T _{in} (K)
1	0.9	450.5	446.4	3.7	4761	968.2	424.15
2	1.1	498.6	493.1	2.5	7196	982.3	470.65
3	0.8	544.8	541.2	3.3	11207	909.5	523.85
4	0.7	593.5	589.7	1	15044	937.9	590.05

۳-۲- مقایسه کانتور دما تحت دبی ثابت و متغیر

در شکل ۴ کانتور دمای لوله گردآور در فاصله ۵/۸ متر از ورودی جریان سیال تحت دو حالت دبی ثابت و دبی متغیر مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. همانطور که در شکل ۴-الف و ۴-ب مشخص شده است شار گرمای تابشی سطوح جانبی هسته آهنی و لوله جاذب را تحت تاثیر قرار داده و باعث افزایش دمای روغن Syltherm 800 می گردد اما با مقایسه دقیق تر کانتورها، تفاوت میزان جذب گرما مشخص می شود به طوری که در شکل ۴-ب دید می شود میزان پخش گرمای در اطراف هسته برای حالت دبی متغیر بیشتر است چرا که تحت تاثیر تغییرات لحظه ای سرعت و ایجاد تلاطم های طولی، برخورد های لحظه ای ذرات بیشتر شده و انتقال گرما با سرعت بیشتری صورت می گیرد.



شکل ۴-الف (دبی ثابت)

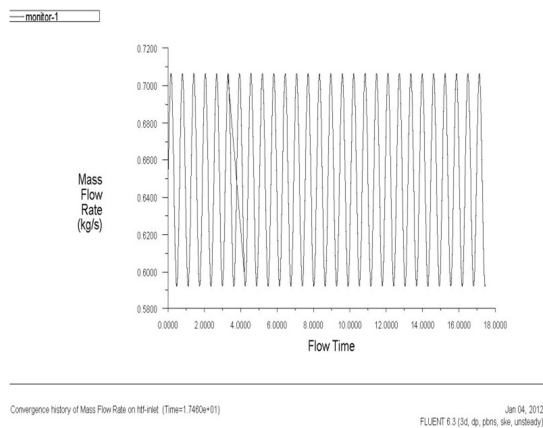


شکل ۴-ب (دبی متغیر)

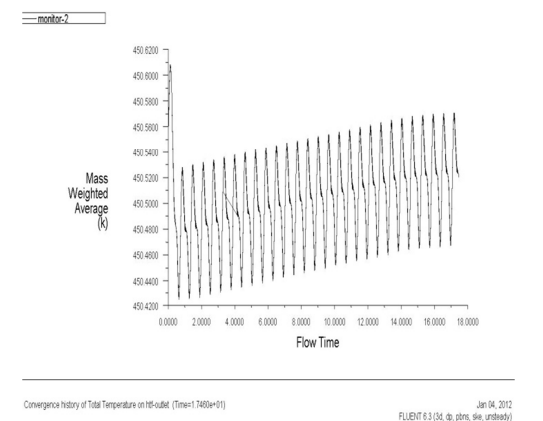
۳-۳- مقایسه بردارهای سرعت تحت دبی ثابت و متغیر

مطابق با شکل ۵-الف و ۵-ب بردارهای سرعت در جهات عرضی لوله گردآور در طول ۵/۸ متری از ورودی لوله نشان داده شده است. با مقایسه بردارهای سرعت در جهات عرضی مقطع تغییرات سرعت در حالت دبی متغیر (تابع سینوسی) به وضوح دیده می شود به طوری که تحت تاثیر برخورد های ناگهانی ذرات سیال انتقال دهنده گرما، تلاطم های طولی و عرضی افزایش یافته و پخش گرمای گسترش می یابد. همانطور که در شکل ۵-ب دیده می شود بردارهای عرضی سرعت به

طور کاتره‌ای حرکت کرده و مسیر مشخصی وجود ندارد به همین جهت احتمال برخورد‌های ناگهانی به شدت افزایش یافته و انتقال انرژی سرعت می‌گیرد.



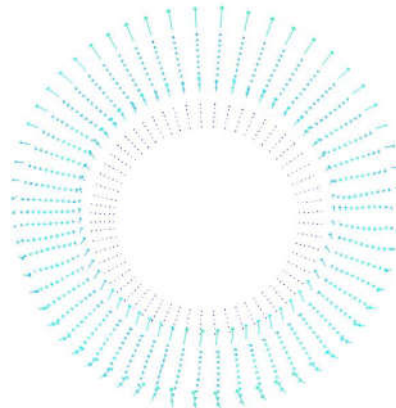
شکل ۶- تغییرات سینوسی دبی ورودی جریان بر حسب توابع UDF



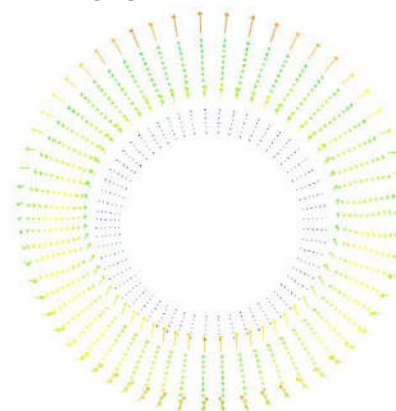
شکل ۷- تغییرات دمای خروجی متوسط بر حسب تغییرات زمان جریان

۳-۵- بررسی تغییرات دامنه بر دمای خروجی گردآور

دامنه تابع سینوسی یکی از پارامترهای موثر در میزان افزایش و با کاهش آنی دبی جرمی است که تاثیر به سزایی در میزان جذب تلاطم طولی لحظه ای دارد. مومنوم لحظه ای، تحت تاثیر تغییر دامنه دچار تغییرات آنی شده و این عامل سبب تغییر دمای خروجی روغن Syltherm800 می‌گردد. وسعت دامنه می‌تواند سبب افزایش و یا کاهش تاثیر تلاطم‌های طولی شود. همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می‌گردد دامنه‌های کوچک تاثیر به سزایی بر دمای خروجی گردآور نداشته و با افزایش دامنه، دمای خروجی افزایش و با ادامه روند افزایش دامنه، دمای خروجی دچار افت شدید می‌گردد.



شکل ۵- (الف) بردارهای عرضی دبی ثابت



شکل ۵- (ب) بردارهای عرضی دبی متغیر

۳-۴- دمای خروجی گردآور تحت دبی متغیر با استفاده از توابع UDF:

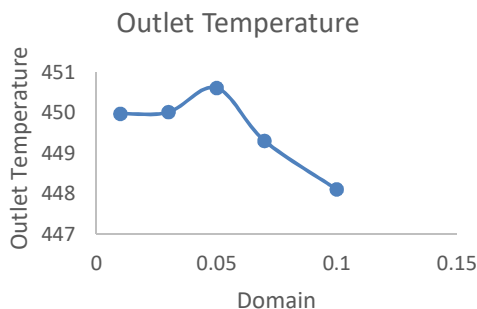
مطابق شکل ۶، دبی ورودی گردآور سهموی LS2 با استفاده از توابع UDF بصورت سینوسی، با دامنه تغییرات ۰/۰۵ و دبی متوسط ۰/۶۵۲۲ کیلوگرم بر ثانیه تحت زبان برنامه نویسی C کد نویسی شده و به شروط مرزی نرم افزار اضافه شده‌است. مسئله مورد تحلیل به صورت غیر دائم و به مدت ۱۷ ثانیه مورد تحلیل عددی قرار گرفته‌است. مطابق شکل ۷ تغییرات دمای خروجی کلکتور سهموی تحت تغییرات زمان نشان داده شده‌است. دمای خروجی گردآور تحت تغییرات لحظه‌ای دبی ورودی، تغییر می‌کند و رفته رفته با گذشت زمان با شیب غیر خطی افزایش می‌یابد. تلاطم‌های طولی ایجاد شده، ذرات سیال عامل را تحت تاثیر قرار داده و مقدار و جهت بردارهای سرعت را تغییر می‌دهد. تلاطم‌های ایجاد شده با جریان آشفته داخلی ترکیب شده و شدت پخش مومنوم و پخش گرمایی را افزایش می‌دهد.

۷-۳- مطالعه اقتصادی

جهت ایجاد جریان متناوب سینوسی با فرکانس مشخص، وجود پمپ های هوشمند الزامی است. در این راستا از اینورتر های قابل برنامه نویسی استفاده می شود. در واقع بخشی از برق تولیدی گردآور سهموی SEGS LS2 به اینورتر تبدیل جریان DC به AC رفته و نوع جریان به متناوب سینوسی تبدیل می شود. سپس جریان الکتروسیسته وارد پمپ ورودی گردآور می شود. این پمپ مجهز به اینورتر هوشمند دیگری است که قابل برنامه نویسی است (ECU) و در کسری از ثانیه مطابق تناوب الکتروسیسته طراحی شده تناوب دبی جریانی را ایجاد می کند. ایجاد چنین شرایطی نیازمند اینورتر های حساس به کوچکترین تغییر جریانی است. لذا هزینه اولیه شامل اینورتر AC، اینورتر پمپ هوشمند و مرکز کنترل داده (ECU) خواهد بود. از طرفی اگزوزی ایجاد شده توسط گردآور، هزینه های مربوط به مصرف دستگاه های فوق الذکر را به صفر رسانده و مطالعه حاضر را از لحاظ اقتصادی قابل توجیه می نماید.

۴- بحث و نتیجه گیری

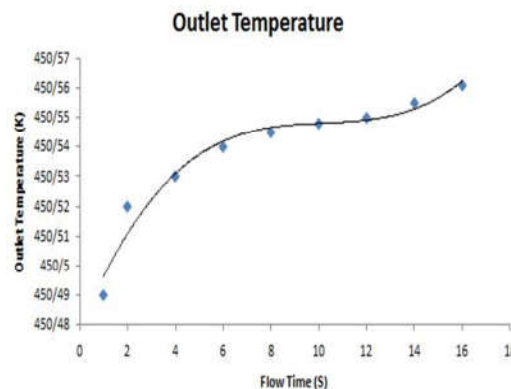
تابش نور خورشید تحت زوایای مختلف با شارهای گرمایی مختلف جذب لوله جاذب گردآور سهموی LS2 می گردد که مطابق الگوریتم مونتو کارلو تعریف شده است. اما آنچه حائز اهمیت هر چه بیشتر است توانایی جذب شار توسط سیال منتقل کننده گرما می باشد. ذرات سیال هر چه برخورد های عرضی و طولی بیشتری را تجربه کنند پخش گرمای گسترده تری را از خود نشان خواهند داد. جریان پر سرعت تحت رینولدز بالا و تلاطم بیشتر جریان از یک طرف و تغییرات لحظه ای دبی در راستای طولی از طرفی دیگر، باعث اختلاط بیشتر جریان های عرضی و طولی شده و باعث جذب گرما بیشتر توسط Syltherm800 می گردد. نتایج عددی ارائه شده نشان می دهد که سیال منتقل کننده گرما پس از طی ۷/۸ متر طول لوله گردآور سهموی، تحت تاثیر ترکیب جریان های عرضی و طولی متلاطم شده قرار گرفته و دمای خروجی را بصورت رابطه چند جمله ای درجه ۳ پیش بینی می کند به طوری که پس از گذشت ۶۰ ثانیه دمای خروجی با مقدار ۴۵۷/۷۸ کلوین تقریب زده شده که در مقایسه با دمای خروجی، تحت حالت دبی ثابت حدود ۷ کلوین بیشتر است. همچنین با بررسی بازده گرمای گردآور های سهموی و مقایسه مقادیر آن برای دو حالت دبی ثابت و دبی متغیر (پله ای- سینوسی) افزایش ۲۲٪ بازده گرمای برای حالت دبی متغیر پس از گذشت ۶۰ ثانیه، نشان دهنده میزان تاثیر تلاطم های طولی در بازده گرمای است. برای محاسبه و مقایسه بازده گرمای گردآور از معادله (۹) استفاده شده است. استفاده از توابع زمانی UDF می تواند سبب ایجاد تلاطم های طولی تحت دامنه و فرکانس های متعدد گردد اما ایجاد تناسب مناسب بین دامنه و فرکانس سبب ایجاد ریتم مناسب تلاطمی می گردد که باعث افزایش مونتوم حرکتی ذرات و در نهایت باعث افزایش انتقال گرما جا به جایی گردد. تابع سینوسی تعریف شده در پله های تناسبی معین، سبب افزایش بازده گرمای گردآور می گردد.



شکل ۸- تغییرات دمای خروجی گردآور بر حسب تغییرات دامنه تابع

۳-۶- پیش بینی دمای خروجی گردآور

با بررسی دقیق تر شکل ۷ و با توجه به ایجاد تلاطم های طولی و ترکیب آن با جریان متلاطم تحت رینولدز ۴۷۶۱ می توان دلیل افزایش نسبی دمای خروجی گردآور را مشخص کرد. بردارهای سرعت در جهات گوناگون و در طول لوله تحت شرایط متفاوت به یکدیگر برخورد کرده و انرژی گرمای را با پخش گسترده تری به هم انتقال می دهند نتیجه برخوردهای کاتوره ای متفاوت، حاصلی جز برخوردهای عرضی و گسترده تر به سطح جانبی لوله ندارد بنابراین می توان برای دقایق محدودی از زمان جریان، افزایش دمای خروجی را حدس زد. در تحلیل عددی انجام شده شیب افزایش دمای خروجی گردآور برای ۱۷ ثانیه بدست آمده و با توجه به مشکلات نرم افزاری توانایی حل مسئله برای بازه زمانی طولانی تر امکان پذیر نیست. لذا با تقریب مناسبی می توان رابطه ای جهت پیش بینی دمای خروجی برای بازه زمانی حدودی صفر تا ۱ دقیقه تعیین کرد. در شکل نتایج عددی بصورت رابطه چند جمله ای درجه ۳ پیش بینی شده است. در واقع می توان گفت تا زمانی که جریان روغن Syltherm 800 به شرایط پایدار موقعیتی نرسیده است رابطه (۸) با تقریب مناسبی قابل استفاده می باشد.



شکل ۹- تخمین رابطه تغییرات دمای خروجی بر حسب تغییرات زمانی

$$T(t) = 6E - 05t^3 - 0.0019t^2 + 0.0197 + 450.48 \quad (8)$$

nanofluid flow in an annulus. *International Journal of Multiphase Flow*, 37(6), 585-595.

- [12] Sokhansefat T., Kasaeian A. B., & Kowsary F. (2014). Heat transfer enhancement in parabolic trough collector tube using Al₂O₃/synthetic oil nanofluid. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 33, 636-644.
- [13] Gambit User Guide, 2005. Fluent Inc., Lebanon, New Hampshire
- [14] Fluent 6.2 User Guide, 2005. Fluent Inc., Lebanon, New Hampshire
- [15] Naceni N., & Yaghoubi M. (2007). Analysis of wind flow around a parabolic collector (2) heat transfer from receiver tube. *Renewable Energy*, 32(8), 1259-1272.
- [16] Dow Chemical Company, Syltherm 800 Heat Transfer Fluid, Product Technical Data, Dow, 1997.

$$\eta = \dot{m} \bar{C}_p \frac{T_{out} - T_{in}}{A_{ap} I_b} \quad (9)$$

۵- نمادها

عدد رینولدز	Re
گرمای ویژه (j/kg.K)	C _p
سطح رفلکتور (A _{ap})	A _{ap}
طول لوله (L)	L
لزجت (kg/m.s)	μ
دما (k)	T
چگالی (kg/m ³)	ρ
انرژی تابشی خورشید (w/m ²)	I _b
سرعت جریان (m/s)	V
رسانایی گرمایی (W/m.K)	K

۶- مراجع

- [1] Mostafaeipour A., Zarezade M., Goudarzi H., Rezaei-Shouroki M., & Qolipour M. (2017). Investigating the factors on using the solar water heaters for dry arid regions: A case study. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 78, 157-166.
- [2] Dudley V., Premkumaran S. P., Kumar S. R., & Rajapandian R. (2017). SOLAR WATER HEATER THROUGH ALUMINIUM FOIL-A REVIEW. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, 4(10), 2033-2037.
- [3] Moss T. A., & Brosseau D. A. (2005). Final test results for the Schott HCE on a LS-2 collector (No. SAND2005-4034). Sandia National Laboratories.
- [4] Karimi Sadaghiyani O., Mehdi Pesteci S., & Mirzaee I. (2014). Numerical study on heat transfer enhancement and friction factor of LS-2 parabolic solar collector. *Journal of Thermal Science and Engineering Applications*, 6(1).
- [5] Cheng Z. D., He Y. L., Cui F. Q., Xu R. J., & Tao Y. B. (2012). Numerical simulation of a parabolic trough solar collector with nonuniform solar flux conditions by coupling FVM and MCRT method. *Solar Energy*, 86(6), 1770-1784.
- [6] Mwesigye A., Bello-Ochende T., & Meyer J. P. (2015). Multi-objective and thermodynamic optimization of a parabolic trough receiver with perforated plate inserts. *Applied Thermal Engineering*, 77, 42-56.
- [7] Wang Y., Liu Q., Lei J., & Jin H. (2015). Performance analysis of a parabolic trough solar collector with non-uniform solar flux conditions. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 82, 236-249.
- [8] Jafar K. S. J., & Sivaraman B. (2015). Thermal performance of solar parabolic trough collector using nanofluids and the absorber with nail twisted tapes inserts. *International Energy Journal*, 14(4).
- [9] Turkyilmazoglu M. (2015). Anomalous heat transfer enhancement by slip due to nanofluids in circular concentric pipes. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 85, 609-614.
- [10] Kasaeian A., Daviran S., Azarian R. D., & Rashidi A. (2015). Performance evaluation and nanofluid using capability study of a solar parabolic trough collector. *Energy conversion and management*, 89, 368-375.
- [11] Moghari R. M., Akbarinia A., Shariat M., Talebi F., & Laur, R. (2011). Two phase mixed convection Al₂O₃-water