



## تأثیر نانوسیال بر روی دما و سرعت جریان در کلکتور ترموسیفون خورشیدی

عبدالله خالویی، دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران.

سید امیر عباس علموی<sup>\*</sup>، استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

سید علی آقا میرجلیلی، استادیار، گروه مهندسی مکانیک، واحد یزد، دانشگاه آزاد اسلامی، یزد، ایران

Email: amiroloomi@iauyazd.ac.ir

### چکیده

سیالاتی از قبیل آب و اتیلن گلیکول یا پروپیلن گلیکول به عنوان سیال عامل انتقال حرارت نقش مهمی در بسیاری از کاربردهای صنعتی ایفا می‌کنند. مشکل عمده‌ی این نوع سیالات، رسانش حرارتی کم آن‌ها می‌باشد که منجر به پایین ماندن نرخ انتقال حرارت آن‌ها می‌گردد. یکی از روش‌های جدید برای افزایش رسانش حرارتی این قبیل سیالات افزودن ذرات فلزی در سایز نانو به سیال است. استفاده از نانوذرات فلزی به همراه هدایت حرارتی بالا، هدایت حرارتی موثر این دسته از سیالات را به طور قابل ملاحظه‌ای افزایش می‌دهد. در سال‌های اخیر نانوسیالات توجه زیادی را در زمینه‌ی خنک سازی در کاربردهای صنعتی گوناگون به خود جلب کرده است. در این مقاله، نانوسیال اکسید مس با در صد حجمی ۰/۰۵ انتخاب شده است. کانتورهای دما و بردارهای سرعت برای کلکتور صفحه تخت در زمانهای مختلف، رسم شد. نتایج با کار تجربی ساتو، مقایسه شد.

### واژه های کلیدی:

دما- ترموسیفون- کلکتور خورشیدی- نانوسیال- بردار سرعت

## Effects of Nanofluids on the Temperature and Velocity of the Solar Thermosyphon Collector

A. Khaloei, MSc Student, Dept. of Mech. Eng., Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

S. A.A Oloomi, Ass. Prof. ,Det. of Mech. Eng., Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

S. A.A Mirjalily, Ass. Prof. ,Det. of Mech. Eng., Yazd Branch, Islamic Azad University, Yazd, Iran

### Abstract:

Heat transfer fluids such as water, ethylene glycol or propylene glycol play important roles in many industrial applications, but low thermal conductivity is a primary limitation in the development of energy-efficient heat transfer fluids. Therefore a new class of heat transfer fluids can be designed by suspending metallic nanoparticles in conventional heat transfer fluids. Use of metallic nanoparticles with high thermal conductivity will increase the effective thermal conductivity of these types of fluid remarkably. In recent years, nanofluids have attracted more attention for cooling in various industrial applications. In this paper, copper oxide nanofluid by the volumetric ratio 0.05 is selected. Temperature Cantors and velocity vectors for flat plate collector are plotted at different times. The results were compared with experimental results of Sato.

**Keywords:** Temperature, Thermosyphon, Solar Collector, Nanofluid, Velocity Vector.

## ۱- مقدمه

آمار و ارقام نشان می‌دهد که استفاده از منابع انرژی تجدیدپذیر از قبیل انرژی خورشیدی در طی چند دهه اخیر بسیار مورد توجه قرار گرفته و کشورهای اروپایی و چین در این زمینه برنامه‌ریزی بلند مدتی را انجام داده اند [۱]. در این راستا فناوری‌های تبدیل تابش خورشید به انرژی گرمایی از قبیل جمع‌کننده‌های خورشیدی تخت برای تأمین انرژی در دمای پائین کاربردهای مختلفی پیدا نموده‌اند. می‌توان گفت که جمع‌کننده خورشیدی، تابش خورشید را جذب کرده و آن را به گرما تبدیل می‌کند [۲] و این گرما به سیال عاملی که از داخل جمع‌کننده خورشیدی عبور می‌کند و اغلب نیز آب و یا آب به همراه مقداری از افزودنی‌ها مانند ضدیخ و ضدخوردگی است، داده می‌شود [۳].

اخیراً استفاده از نانوسیال‌ها که در واقع سوسپانسیون پایداری از نانوفیبرها و نانوذرات جامد هستند، به عنوان راهبردی جدید در عملیات انتقال حرارت مطرح شده‌است. سانترا (Santra) و همکاران [۴] مسئله جابجایی آزاد در یک حفره حاوی نانوسیال را با فرض رفتار غیرنیوتنی نانوسیال به روش عددی مورد مطالعه قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که در برخی اعداد رایلی خاص، با افزایش کسر حجمی نانوذرات، نرخ انتقال گرما کاهش می‌یابد و در محدوده دیگری از اعداد رایلی با افزایش کسر حجمی نانوذرات، نرخ انتقال گرما افزایش می‌یابد.

اوزتاپ و ابوندا (Oztop and Abu-Nada) [۵] با انجام شبیه‌سازی عددی، جریان سیال و انتقال گرمای جابجایی آزاد در محفظه مستطیلی حاوی نانوسیال را مورد بررسی قرار دادند. محفظه بررسی شده توسط آنها دارای یک دیواره عمودی سرد و یک جزء سرد که روی دیواره عمودی مقابل قرار گرفته بود، در حالیکه سایر دیواره‌ها عایق بودند. آنها اثر نوع نانوسیال، عدد رایلی، اندازه و موقعیت جزء گرم و نسبت ابعاد محفظه را مورد بررسی قرار دادند. نتایج آنها نشان داد که با افزایش کسر حجمی

نانوذرات و افزایش اندازه جزء سرد در تمام محدوده اعداد رایلی، عدد ناسلت افزایش می‌یابد.

اوگوت (Ogut) [۶] به بررسی انتقال حرارت در یک حفره با دیواره عمودی سرد دما ثابت و یک جزء سرد با شار ثابت روی دیواره عمودی مقابل پرداخت. وی نشان داد که اندازه جزء سرد و زاویه محفظه، از عوامل مهم در نرخ انتقال گرما هستند.

ابوندا و اوزتاپ (Abu-Nada and Oztop) [۷] اثر تغییر زاویه بر نرخ انتقال گرما در یک حفره حاوی نانوسیال را به صورت عددی مورد مطالعه قرار دادند و نشان دادند که اثر غلظت نانوذرات بر عدد ناسلت در مقادیر پایین کسر حجمی بیشتر از مقادیر بالای کسر حجمی است، بعلاوه نتایج آنها نشان داد با افزایش عدد رایلی، درصد افزایش انتقال گرما با استفاده از نانوسیال، کاهش می‌یابد.

مسئله انتقال حرارت جابجایی آزاد یک نانوسیال در داخل محفظه مربع‌شکل سردشونده متقارن از طرفین و با وجود یک جزء سرد روی دیواره تحتانی آن، توسط امین الساداتی و قاسمی [۸] به صورت عددی مطالعه شده‌است. آنها اثرات عدد رایلی، اندازه و محل قرارگیری جزء سرد، نوع نانوسیال و کسر حجمی نانوذرات را بررسی کردند و نشان دادند که افزودن نانوذرات بویژه در اعداد رایلی پایین باعث بهبود بازده سرمایی می‌شود. همچنین نتایج آنها نشان داد که نوع نانوسیال و هندسه جزء سرد به شدت بر دمای بیشینه سطح جزء سرد تاثیرگذار است.

قاسمی و امین‌الساداتی [۹] مسئله جابجایی آزاد در یک محفظه مربعی با دیواره‌های افقی عایق، دیواره چپ سرد و یک المان گرمایی روی دیواره راست با شار حرارتی نوسانی را به روش عددی بررسی کردند. آنها ضمن مشاهده میدان جریان و دمای نوسانی درون محفظه، دریافتند که مکان بهینه المان گرمایی تابعی از عدد رایلی است.

شیخ زاده و همکاران [۱۰] جابجایی طبیعی نانوسیال آب - اکسیدمس را در محفظه مربعی با وجود منبع گرم و سرد روی

در این تحقیق از معادلات زیر برای محاسبه خواص ترموفیزیکی نانوسیال استفاده شده است.

مدل برینکمن [۱۳] برای پیش‌بینی لزجت نانوسیال:

$$\frac{\mu_{nf}}{\mu_f} = (1 - \phi)^{-2.5} \quad (۴)$$

مدل پاتل [۱۴] برای محاسبه ضریب هدایت حرارتی نانوسیال می‌باشد: (۵)

$$\frac{k_{eff}}{k_f} = 1 + \frac{k_p A_p}{k_f A_f} (1 + C \cdot p_e)$$

$$\frac{A_p}{A_f} = \frac{d_f}{d_p} \frac{\phi}{1 - \phi} p_e = \frac{u_p d_p}{\alpha_f} u_p = \frac{2K_B T}{\pi \mu_f d_p^2} \quad (۶)$$

در روابط بالا،  $k_p$  و  $k_f$  به ترتیب ضریب هدایت حرارتی نانوذرات و سیال پایه،  $d_p$  قطر نانوذرات،  $d_f$  قطر مولکولی سیال پایه،  $u_p$  سرعت حرکت براونی ذرات و  $C$  ضریب تجربی است. ضریب تجربی  $C$  توسط پاتل و همکارانش ۲۵۰۰۰ تعیین شد ولی با توجه به بررسی‌های فراوانی که صورت گرفت، مقدار این ضریب محدود به حوزه خاصی از قطر نانوذرات می‌باشد. لذا در تحقیق حاضر براساس داده‌های تجربی موجود، مقدار مناسب پارامتر  $C$  برای نانو ذرات با قطرهای  $۲۵ \text{ nm} < d_p < ۴۵ \text{ nm}$ ، ۱۳۵۰۰ بدست آمد. خواص ترموفیزیکی سیال و نانوذرات مورد استفاده در جدول (۱) ارائه شده‌اند:

### ۳- نتایج

در شکل (۱) نمای یک آبگرم‌کن خورشیدی نشان داده شده است. لازم به ذکر است که برای شبیه‌سازی مسأله باید معادلات پیوستگی، اندازه حرکت و انرژی ( روابط (۱) الی (۳)) به صورت هم زمان حل شوند. به خاطر تقارن مسأله به جای اینکه یک جمع‌کننده خورشیدی به طور کامل (شامل تعداد زیادی لوله خلاء) شبیه‌سازی شود، برای کاهش حجم محاسبات تنها یک بخش به همراه مخزن ذخیره شبیه‌سازی

دیواره‌های عمودی به صورت عددی بررسی و گزارش کردند که انتقال گرما با افزایش کسر حجمی نانوذرات افزایش می‌یابد.

### ۲- معادلات حاکم بر جریان

دینامیک محاسباتی سیال‌ها بصورت وسیع در زمینه‌های مختلف صنعتی مرتبط با جریان سیال، انتقال جم و حرارت بکار گرفته می‌شود. از جمله این موارد می‌توان به صنایع خودروسازی، صنایع هوافضا، توربومشین‌ها، صنایع هسته‌ای، صنایع نظامی، صنایع نفت و گاز و انرژی و بسیاری موارد وسیع صنعتی دیگر اشاره نمود که دانش دینامیک محاسباتی سیال‌ها به‌عنوان حل مسائل مرتبط تبدیل شده است [۱۱].

جهت تحلیل رفتار سیال برای تمام جریان‌ها، معادلات بقای جرم و اندازه حرکت حل میشوند. برای جریان‌های تراکم‌پذیر یا جریان‌های شامل انتقال حرارت، معادله بقای انرژی نیز حل می‌گردند. هنگامیکه جریان آشفته باشد باید از مدل‌های اغتشاش استفاده نمود. هدف از مدلسازی جریان‌های آشفته تعیین عبارتی از قبیل تنش رینولدز، شارجرمی و یا حرارتی آشفته با استفاده از ارتباط دادن مقادیر مزبور به کمیت‌های جریان متوسط و بالانحص گرادیان‌های موجود در جریان متوسط می‌باشد [۱۲].

معادله بقای جرم یا پیوستگی بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\frac{\partial \bar{\rho}}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{\rho} u_i) + \frac{\partial}{\partial x_i} (\rho' u_i') = 0 \quad (۱)$$

معادله اندازه حرکت بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\rho \frac{D\bar{V}}{Dt} + \frac{\partial}{\partial x_i} (\bar{\rho} u_i' u_j') = \rho g - \nabla \bar{P} + \mu \nabla^2 \bar{V} \quad (۲)$$

معادله ی انرژی بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$\rho C_p \frac{D\bar{T}}{Dt} = - \frac{\partial}{\partial x_i} \left( -k \frac{\partial \bar{T}}{\partial x_i} + \rho C_p \bar{u}_i' T' \right) + \frac{\mu}{2} \left( \frac{\partial \bar{u}_i}{\partial x_j} + \frac{\partial \bar{u}_j}{\partial x_i} + \frac{\partial u_i'}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j'}{\partial x_i} \right)^2 \quad (۳)$$

مس، در نتیجه بهبود انتقال حرارت بیشتری نسبت به حالت پایه سیال آب، دارد.

بردار سرعت جریان برای زاویه شیب  $45^\circ$  برای گذشت مدت زمان دو ساعت از شروع فرآیند، جهت سیال پایه آب در شکل (۶) آمده است.

شکل‌های (۷) و (۸) بردار سرعت برای زاویه شیب  $45^\circ$  به ترتیب برای گذشت مدت‌زمان یک و دو ساعت از شروع فرآیند، با نانوسیال اکسید مس را نشان می‌دهد.

همان طور که از شکل‌های (۶) تا (۸) می‌توان مشاهده نمود، بردار سرعت به خوبی جهت حرکت جریان سیال را نشان می‌دهد. همان طوریکه در شکل مشخص است سیال سرد در اثر نیروی گرانش به سمت پایین حرکت می‌کند و پس از گرم شدن در اثر خاصیت ترموسیفون به مخزن بر می‌گردد.

حداکثر مقدار سرعت جریان نسبت به لحظات اولیه شبیه سازی، افزایش می‌یابد. این امر ناشی از افزایش دمای سیال می‌باشد. در واقع با افزایش بیشتر گرادیان دمای سیال، گرادیان چگالی آن نیز افزایش بیشتری از خود نشان می‌دهد. در نهایت به دلیل افزایش گرادیان چگالی جریان ناشی از سیال گرم در اثر پدیده ترموسیفون نیز افزایش می‌یابد. بالاخره این امر منجر به افزایش سرعت حرکت سیال می‌گردد. اما بعد از گذشت مدت زمان بیشتر برای اینکه جریان به حالت پایای خود بیشتر نزدیک شود و در نتیجه گرادیان دما در آن کاهش می‌یابد (گرادیان دما و نه دمای بیشینه). بنابراین گرادیان چگالی و سرعت سیال نیز کاهش می‌یابد.

#### ۴- بحث و نتیجه گیری

بمنظور بررسی اثر نانوسیال در انتقال حرارت و ایجاد شرایط جریان ترموسیفون، یک جمع‌کننده خورشیدی صفحه‌ای تخت با سیال عامل آب و اکسید مس شبیه‌سازی گردید. معادلات پیوستگی، اندازه حرکت و انرژی بطور همزمان حل گردید. نتایج نشان داد که یکی از مشخصات بارز نانوسیال

خواهد شد که می‌توان نتیجه به دست آمده را برای سایر بخش‌ها و در نتیجه کل سیستم تعمیم داد.

در این مقاله، نانوسیال اکسید مس (CuO) با کسر حجمی  $0/05$  درصد انتخاب شده است، مدل لزجت از رابطه برینکمن و مدل هدایت حرارتی از مدل پاتل، استفاده شد.

جهت اعتبارسنجی از نتایج ساتو (Sato) و همکاران استفاده شد [۱۵]. در اینجا فرض شده که زاویه شیب جمع‌کننده  $45^\circ$  و برای گذشت زمان یک ساعت از آغاز فرآیند حداقل دمای سیال  $300/6\text{ K}$  و حداکثر دما  $309/7\text{ K}$  گزارش شده است. در شرایط مشابه در پژوهش حاضر حداقل دمای سیال  $303/5\text{ K}$  و حداکثر دما  $311/5\text{ K}$  محاسبه شده است. مقایسه داده‌های فوق بیانگر تطابق مناسب داده‌های حاصل از شبیه‌سازی عددی این پژوهش با داده‌های ارائه شده توسط ساتو می‌باشد. همچنین برای صحت اجرای برنامه کامپیوتری به مقایسه کار با مقاله کوفی [۱۶] پرداخته شده که نتایج کار حاضر از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد (شکل ۲).

کانتور دما برای زاویه  $30^\circ$  درجه به ترتیب برای گذشت مدت زمان یک، دو و سه ساعت از شروع فرآیند، در شکل‌های (۳) تا (۵) آمده است.

همانطوریکه در شکل (۳) مشاهده می‌شود با افزایش زاویه شیب گرادیان دمای مطلوب لازم پس از گذشت مدت زمان یک ساعت به خوبی ایجاد نمی‌شود و در نتیجه آن گرادیان چگالی لازم برای شکل‌گیری شرایط مطلوب جریان ترموسیفون به وجود نمی‌آید.

با گذشت مدت زمان بیشتر نسبت به حالت اول تا حدودی دمای سیال افزایش می‌یابد، که این امر مطابق شکل (۴) به علت استفاده نانوسیال می‌باشد.

از آنجا که یکی از راه‌های افزایش ضریب هدایت حرارتی نانوسیال بالابودن ضریب هدایت حرارتی نانوذرات در آن می‌باشد، باتوجه به بالابودن ضریب هدایت حرارتی نانو ذره اکسید

[2] E. Ekramian, S.Gh. Etemad, M. Haghshenasfard, Numerical Analysis of Heat Transfer Performance of Flat Plate Solar Collectors, *Journal of Fluid Flow, Heat and Mass Transfer*, Volume 1, 38-42, 2014.

[3] Kalogirou, S.A., "Solar thermal collectors and applications", *Progress in Energy and Combustion Science*, 30(3), pp.231-295, 2004.

[4] Santra, A. K., Sen, S., and Chakraborty, N., "Study of Heat Transfer Augmentation in a Differentially Heated Square Cavity Using Copper-Water Nanofluid," *Int. J. Thermal Sciences*, Vol. 47, pp. 1113-1122, 2008.

[5] Oztop, H. F., and Abu-Nada, E., "Numerical Study of Natural Convection in Partially Heated Rectangular Enclosures Filled With Nanofluids," *Int. J. Heat and Fluid Flow*, Vol. 29, pp. 1326-1336, 2008.

[6] Ogut, E. B., "Natural Convection of Water-Based Nanofluids in an Inclined Cavity with a Heat Source," *Int. J. Thermal Sciences*, Vol. 48, pp. 2063-2073, 2009.

[7] Abu-Nada, E., and Oztop, H. F., "Effects of Inclination Angle on Natural Convection in Enclosures Filled with Cu-Water Nanofluid," *Int. J. Heat and Fluid Flow*, Vol. 30, pp. 669-678, 2009.

[8] Aminossadati, S.M., and Ghasemi, B., "Natural Convection Cooling of a Localized Heat Source at the Bottom of a Nanofluid-Filled Cavity," *European Journal of Mechanics B/Fluids*, Vol. 28, pp. 630-640, 2009.

[9] Ghasemi B., and Aminossadati S.M., "Periodic Natural Convection in a Nanofluid-Filled Cavity with Oscillating Heat Flux," *Int. J. Thermal Sci.*, Vol. 49, pp. 1-9, 2010.

[10] Sheikhzadeh, G.A., Arefmanesh, A., Kheirkhah, M.H., and Abdollahi, R., "Natural Convection of Cu-Water Nanofluid in a Cavity with Partially Active Side Walls," *European Journal of Mechanics B/Fluids*, Vol. 30, pp. 166-176, 2011.

ضریب هدایت حرارتی است که در این پدیده نقش موثری دارد. با بررسی نتایج بدست آمده، مشاهده می‌شود که در کل شکل خطوط جریان در حالت آب خالص و نانوسیال مشابه می‌باشند، ولی در حالت نانوسیال گردابه‌های ایجادشده تاحدی از آب خالص کوچکتر بوده، علت اساسی مربوط به حرکت خزشی در نانوسیال بوده که مانع از ایجاد گردابه‌های بزرگ می‌شود.

همچنین با بررسی بیشتر نتایج مشاهده شد که هر چه مدت زمان بیشتری از آغاز فرآیند می‌گذرد دمای متوسط و دمای موضعی سیال نیز افزایش می‌یابد. این امر بدیهی می‌باشد که با گذشت مدت زمان بیشتر به دلیل جذب مقدار بیشتری تابش حرارتی توسط سیال عامل در حال گردش در داخل جمع‌کننده صفحه‌ای تخت، متوسط دمای آب گرم ذخیره شده در مخزن افزایش یابد که به تبع آن گرادیان فشار ایجاد شده نیز بیشتر گردد. زیرا با افزایش بیشتر دما چگالی سیال عامل کاهش بیشتری می‌یابد و در نتیجه گردش سیال در اثر پدیده ترموسیفون با شدت بیشتری صورت می‌گیرد.

بررسی دقیق نمودارهای توزیع بردار سرعت می‌توان دریافت که در داخل جمع‌کننده صفحه‌ای تخت آب سرد از قسمت پایینی لوله به سمت پایین حرکت می‌کند و آب پس از گرم شدن در انتهای لوله برگشت نموده و از قسمت بالایی لوله در اثر پدیده ترموسیفون به سمت مخزن حرکت می‌کند. همواره در این حالت آب سرد و گرم دارای یک سطح تماس می‌باشند که برخورد آب با دو جهت مختلف در آن سطح تماس منجر به ایجاد آشفتگی‌هایی می‌شود که بدین دلیل نوع جریان در داخل جمع‌کننده صفحه‌ای تخت آشفته انتخاب گردیده است.

##### ۵- مراجع

[1] Arizu, D. Balaya, P., "Direct Solar Energy - IPCC Special Report on Renewable Energy Sources and Climate Change Mitigation" United Kingdom: Cambridge University Press, 2011.

[15] A. I. Sato, V. L. Scalon and A. Padilha, "Numerical analysis of a modified evacuated tubes solar collector", International Conference on Renewable Energies and Power Quality (ICREPQ'12) Santiago de Compostela (Spain), 28th to 30th March, 2012.

[16] Koffi, P.M.E., *et al*, Thermal Performance of a Solar Water Heater with Internal Exchanger using Thermosiphon System in Côte d'Ivoire, *Energy*, 64 (2014), pp. 187-199

جدول (۱): خواص ترموفیزیکی آب خالص و نانوذرات

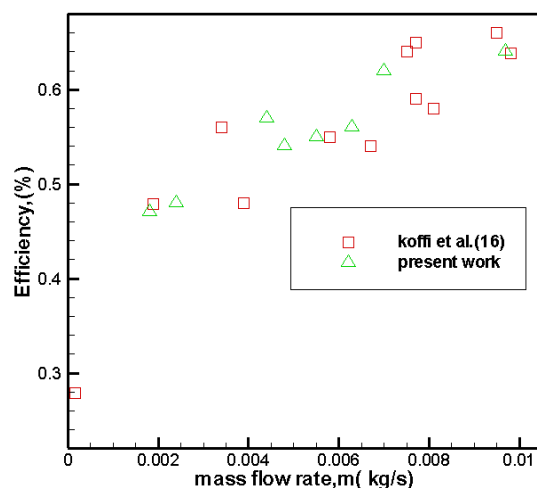
خواص ترموفیزیکی			نوع ماده
K(W/m.K)	$\rho$ (kg/m <sup>3</sup> )	Cp(J/kg.K)	
۰.۶۱۳	۹۹۷.۱	۴۱۷۹	آب
۷۶.۵	۶۳۲۰	۵۳۱.۸	اکسید مس

[11] Zambolin, E & Del Col, D. "Experimental analysis of thermal performance of flat plate and evacuated tube solar collectors in stationary standard and daily conditions", *Solar Energy*, 84(3), pp.1382–1396, 2009.

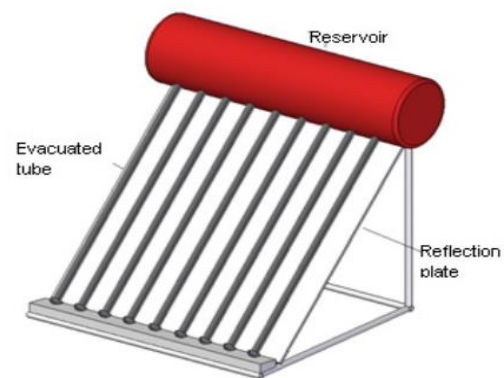
[12] Kasaeian, Mohammad karim, Kaabinejadian, "Performance investigation of solar evacuated tube collector using TRNSYS in Tehran", *International Journal of Renewable Energy Research*, Vol. 14, 2014.

[13] HC. Brinkman, The viscosity of concentrated suspensions and solutions, *Journal of Chemistry and Physics*, Vol. 20, pp. 571, 1952.

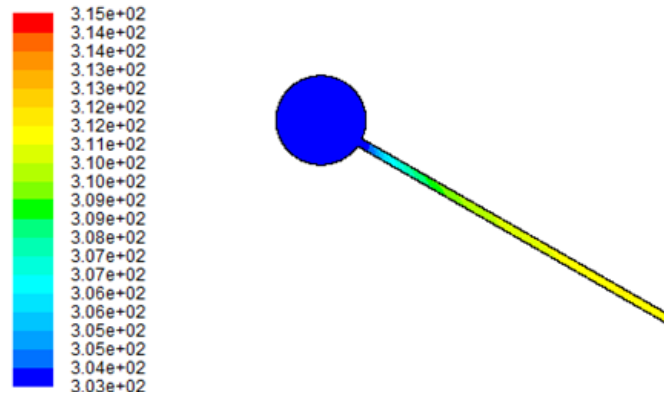
[14] H.E. Patel, T. Pradeep, T. Sundararajan, A. Dasgupta, N. Dasgupta and S.K. Das, A micro-convection model for thermal conductivity of nanofluid, *Pramana- J. Phys* 65 (2005) 863–869.



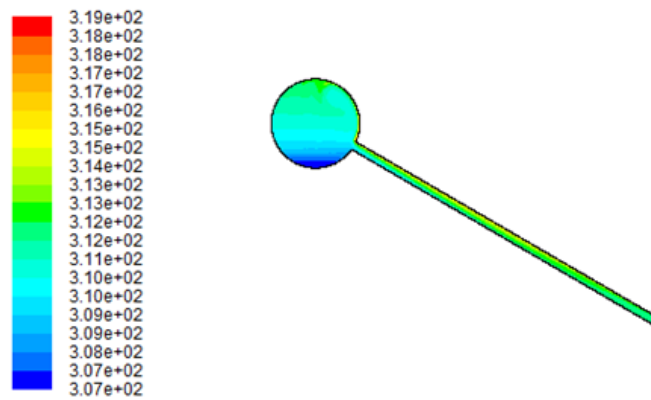
شکل (۲): مقایسه نتایج کار حاضر با نتایج کوفی [۱۶]



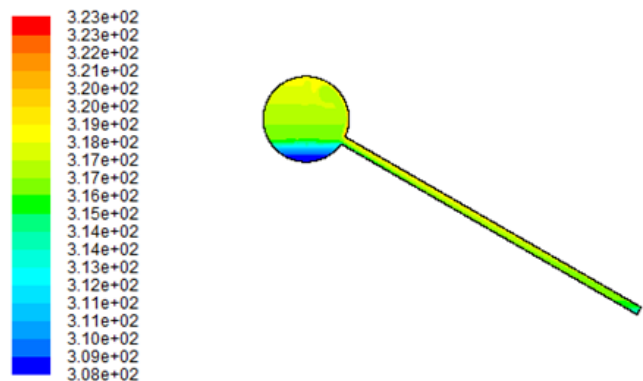
شکل (۱): نمای شماتیک از یک آب گرم کن خورشیدی



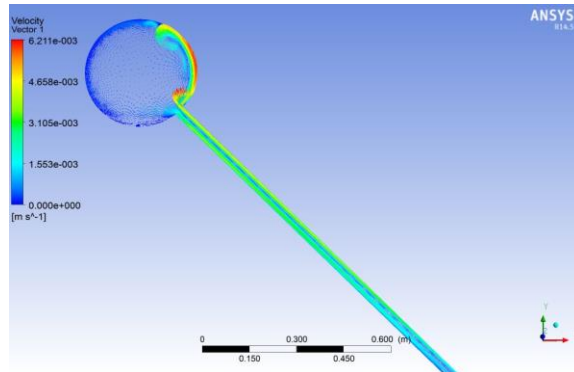
شکل (۳): کانتور دما در جمع کننده صفحه‌ای تخت با سیال عامل نانوسیال اکسیدمس ( $\beta = 30^\circ$  و  $t = 1 \text{ hr}$ )



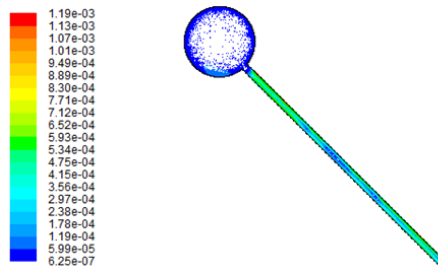
شکل (۴): کانتور دما در جمع کننده صفحه‌ای تخت با سیال عامل نانوسیال اکسیدمس ( $\beta = 30^\circ$  و  $t = 2 \text{ hr}$ )



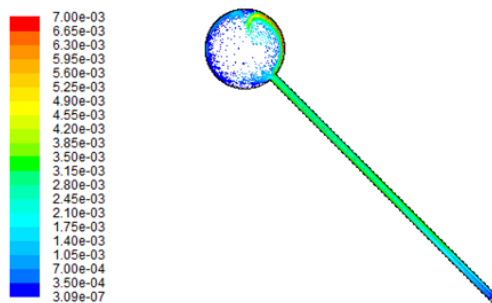
شکل (۵): کانتور دما در جمع کننده صفحه‌ای تخت با سیال عامل نانوسیال اکسیدمس ( $\beta = 30^\circ$  و  $t = 3 \text{ hr}$ )



شکل (۶): بردار سرعت در جمع‌کننده صفحه‌ای تخت با سیال عامل پایه آب ( $\beta = 45^\circ$  و  $t = 2 \text{ hr}$ )



شکل (۷): بردار سرعت در جمع‌کننده صفحه‌ای تخت با سیال عامل نانوسیال اکسیدمس ( $\beta = 45^\circ$  و  $t = 1 \text{ hr}$ )



شکل (۸): بردار سرعت در جمع‌کننده صفحه‌ای تخت با سیال عامل نانوسیال اکسیدمس ( $\beta = 45^\circ$  و  $t = 2 \text{ hr}$ )