



Original Article

# The 3D Modeling of a Radiator to Investigate Function Resulting from Adding the Hybrid Nanoparticles of $\text{Al}_2\text{O}_3$ and SiC to Base Fluid

Diyar Mundher Mousa Abbas Al-Mamoori<sup>1\*</sup> , Seyed Alireza Mousavi Shirazi<sup>2\*</sup> 

<sup>1</sup>Department of Mechanical Engineering- Manufacturing and Production (Postgraduate), ST.C., Islamic Azad University, Tehran, Iran

<sup>2</sup>Department of Physics, ST.C., Islamic AZAD University, Tehran, Iran

Received: 2025-08-21

Revised: 2025-10-05

Accepted: 2025-11-06

**Abstract:** In this research, a three-dimensional model of a radiator was created using SolidWorks software. The effects of adding hybrid nanoparticles to the coolant base fluid on the thermo-physical properties of the nanofluid and the radiator thermal function were investigated through modeling and experimentation. The nanoparticles used in this research consist of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and SiC in four various mass levels, including 1% $\text{Al}_2\text{O}_3$ +4%SiC, 2% $\text{Al}_2\text{O}_3$ +3%SiC, 3% $\text{Al}_2\text{O}_3$ +2%SiC, and 4% $\text{Al}_2\text{O}_3$ +1%SiC, which were defined and modeled. The results showed that adding the nanoparticles to the fluid causes an increase in viscosity, density, and heat transfer coefficient in the base fluid such that for the hybrid nanofluid 4% $\text{Al}_2\text{O}_3$ +1%SiC, the maximum density, heat transfer coefficient, and the best function is seen for fluid cooling, but the viscosity values among various samples do not differ considerably. Also, the results showed that adding the nanoparticles and creating the nanofluid in the radiator design causes consistency in the radiator output temperature, which represents a significant improvement in the radiator's thermal function. The experimental results showed that by adding nanoparticles to the base fluid, the temperatures of the fluids entering and pouring out of the radiator, and the temperature of the air passing over the radiator fins increase, decrease, and increase, respectively.

**Keywords:** Fin; Hybrid nanofluid; Modeling; Radiator; Temperature

\*Corresponding Author. Email: [a\\_moosavi@azad.ac.ir](mailto:a_moosavi@azad.ac.ir)

## How to Cite This Article:

Al-Mamoori D M M A, Mousavi Shirazi S A. The 3D Modeling of a Radiator to Investigate Function Resulting from Adding the Hybrid Nanoparticles of  $\text{Al}_2\text{O}_3$  and SiC to Base Fluid. Nanomeghyas. 2025; 12(2): 155-167. DOI: [10.22034/ns.2025.2069527.1404](https://doi.org/10.22034/ns.2025.2069527.1404)



©2025 The Author(s). Published by the Iranian Nanotechnology Society under the terms of the CC BY 4.0, Creative Commons Attribution License, which permits use, distribution and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. To view a copy of this license, visit <https://creativecommons.org/licenses/by/4.0>



# مدلسازی سه بعدی یک رادیاتور جهت بررسی عملکرد ناشی از افزودن نانوذرات هیبریدی $Al_2O_3$ و $SiC$ به سیال پایه

دیار منذر موسی عباس المعموری<sup>1</sup>، سید علیرضا موسوی شیرازی<sup>2\*</sup>

۱ گروه مهندسی مکانیک- ساخت و تولید (تحصیلات تکمیلی)، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران  
۲ گروه فیزیک، واحد تهران جنوب، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۴/۰۸/۱۵

تاریخ بازنگری: ۱۴۰۴/۰۷/۱۳

تاریخ دریافت: ۱۴۰۴/۰۵/۳۰

چکیده: در این تحقیق، یک نمونه سه بعدی از یک رادیاتور توسط نرم افزار SolidWorks مدلسازی و اثرات افزودن شدن نانوذرات به صورت هیبرید به سیال پایه خنک کننده از نظر خواص ترموفیزیکی نانوسیال و همچنین عملکرد حرارتی رادیاتور به صورت مدلسازی و آزمون تجربی بررسی شد. نانوذرات استفاده شده در این تحقیق شامل  $Al_2O_3$  و  $SiC$  در چهار سطح مختلف جرمی،  $3\%SiC + 2\%Al_2O_3$ ،  $2\%SiC + 3\%Al_2O_3$  و  $4\%SiC + 1\%Al_2O_3$  تعریف و مدلسازی شد. بررسی نتایج نشان داد که افزودن شدن نانوذرات به سیال سبب افزایش ویسکوزیته، چگالی و ضریب انتقال حرارت نسبت به سیال پایه شده که به ازای نانوسیال  $1\%SiC + 4\%Al_2O_3$  بیشینه چگالی و ضریب انتقال حرارت و بهترین عملکرد برای خنک کاری سیال مشاهده می شود ولی مقدار ویسکوزیته بین نمونه های مختلف نانوسیال تفاوتی ندارد. همچنین نتایج نشان داد که افزودن نانوذرات و ایجاد نانوسیال در طراحی رادیاتور منجر به تثبیت دمای خروجی آن می شود که نمایانگر بهبود چشمگیر در کارکرد حرارتی رادیاتور است. نتایج آزمون های تجربی نیز نشان داد که با افزودن شدن نانوذره به سیال پایه، دمای سیال ورودی به رادیاتور، دمای سیال خروجی از رادیاتور و دمای هوای عبوری از روی پره ها به ترتیب افزایش، کاهش و افزایش می یابد.

واژگان کلیدی: پره، دما، رادیاتور، مدلسازی، نانوسیال هیبریدی.

\* نویسنده مسئول. ایمیل: a\_moosavi@azad.ac.ir

## نحوه استناد به این مقاله:

المعموری، دیار منذر موسی عباس، موسوی شیرازی، سید علیرضا. مدلسازی سه بعدی یک رادیاتور جهت بررسی عملکرد ناشی از افزودن نانوذرات هیبریدی  $SiC$  و  $Al_2O_3$  به سیال پایه. *نانو مقیاس*، ۲۰۲۵، ۱۲(۲)، ۱۶۷-۱۵۵.

DOI: [10.22034/ns.2025.2069527.1404](https://doi.org/10.22034/ns.2025.2069527.1404)



## ۱- مقدمه

پایه، اندازه نانوذره و دمای نانو سیال بر ضریب انتقال حرارت جابجایی و افت فشار نانو سیال اثر می‌گذارند [۱۰].

رادیاتورها مبدل های حرارتی فشرده‌ای هستند که با در نظر گرفتن شرایط کاری مختلف، بهینه و ارزیابی می‌شوند. سیستم خنک کننده خودرو نقش مهمی در عملکرد خودرو دارد و از دو قسمت اصلی به نام های رادیاتور و فن تشکیل شده است. بهبود راندمان حرارتی موتور منجر به افزایش عملکرد موتور، کاهش مصرف سوخت و کاهش انتشار آلاینده‌ها می‌شود [۱۱، ۱۲] که در زمینه طراحی خودرو، محققان توجه زیادی به بهینه سازی سیستم خنک کاری خودروها کرده‌اند که علاوه بر کاهش هزینه های تمام شده خودرو سبب افزایش بازدهی سیستم خنک کاری موتور نیز شده است [۱۳، ۱۴].

چنانچه سیال خنک کننده، گرمای تولیدی در موتور را سریع تر جذب کرده و سبب تسریع در خنک کاری موتور گردد، این امکان فراهم می‌شود که موتوری با قدرت بیشتر و با رادیاتور در ابعاد کوچکتر را طراحی نمود [۱۵]. همچنین نتایج تحقیقات سایر محققین نشان داده است که  $Al_2O_3$  و  $SiC$  سبب بهبود خواص ترموفیزیکی و انتقال حرارت در نانوسیالات شده است [۱۶، ۱۷]. بنابر این در این تحقیق، هدف، بررسی اثرات ترکیبی نانوذرات  $SiC$  و  $Al_2O_3$  بر عملکرد سیال خنک کننده رادیاتور است.

هدف کاربردی تحقیق، بهبود انتقال حرارت در سیستم خنک کاری از جمله خنک کاری موتورها می‌باشد.

با توجه به اینکه افزایش راندمان و بهبود مصرف انرژی در صنایع همواره بسیار مورد توجه بوده است و همچنین با توجه به اهمیت نوع سیال در رادیاتورها و ارائه راهکار برای بهبود و افزایش نرخ انتقال حرارت، لذا تحقیق در خصوص نانوسیالات هیبریدی از اهمیت بسیار بالایی برخوردار می‌باشد.

البته محدودیت این تحقیق شامل سختی

رادیاتورها از جمله مهم ترین تجهیزات مورد استفاده در صنایع هستند که نقش عمده در تعدیل دمایی تجهیزات صنعتی را دارند. از جمله کاربردهای رادیاتورهای حرارتی می‌توان به کاربرد آنها در فرآیندهای شیمیایی، نیروگاه‌ها، سیستم‌های تهویه مطبوع و تأسیسات و ... اشاره کرد [۱]. بهبود مصرف انرژی و افزایش بازده به خصوص در رادیاتورهای یکی از موضوعاتی است که همواره مورد توجه محققین بوده است. راه حل‌های معمول و متداول در افزایش بهره‌وری رادیاتورها، افزایش سطح رادیاتور یا تغییر سیال حامل گرما است [۲]. افزایش اندازه رادیاتور سبب افزایش هزینه‌ها و سنگین شدن دستگاه می‌شود که مطلوب نبوده اما یکی از بهترین راه حل های افزایش عملکرد رادیاتور، تغییر نوع سیال پایه برای افزایش میزان انتقال حرارت است [۳، ۴]. از این رو تحقیقات زیادی جهت جایگزین کردن سیال حامل گرما در رادیاتور انجام شده است که یکی از این روش ها کاربرد نانوتکنولوژی در رادیاتورها است [۵].

اخیراً با رشد فناوری، ذرات فلزی و غیرفلزی در ابعاد نانومتر تولید شده اند که با افزودن این نانوذرات به سیال می‌توان ضریب انتقال حرارت سیال پایه را افزایش داد [۶]. با توجه به اینکه فلزاتی نظیر آلومینیوم، مس، سدیم، تیتانیوم و ... دارای خواص هدایت حرارتی زیادی در مقایسه با سیالات متداول هستند لذا پخش شدن این فلزات در مقیاس نانو در سیالات می‌تواند یک نانو سیال با خواص هدایت حرارتی بالا ایجاد کند [۷]. نانو سیالات، دارای ضریب انتقال حرارت بالاتری نسبت به سیالات معمولی هستند که باعث شده است کاربرد آنها در رادیاتورها علاوه بر صرفه جویی در مصرف انرژی، باعث کاهش ابعاد رادیاتور و افزایش راندمان آنها شود [۸، ۹]. عوامل زیادی از قبیل سرعت جریان نانو سیال ورودی به رادیاتور، غلظت نانوذره در سیال

## ۲- مواد و روش تحقیق

در این مقاله، یک مدل سه بعدی از رادیاتور توسط نرم افزار SolidWorks مدلسازی گردید که در آن یک پیکربندی برای اتصال لوله و پره های رادیاتور و نیز مخازن ورودی و خروجی سیال طراحی و مدلسازی شد.

مطابق شکل ۱، در ابتدا مکان ایجاد لوله ها و پره های رادیاتور معین گردید.

همچنین طبق شکل ۲، به این لوله ها حجم داده شد که میزان ضخامت تمامی لوله ها نیز می بایست برابر و یکسان باشد.

طبق شکل ۳ نیز تمامی سطح های معین شده با ضخامتی به میزان ۰/۵mm سوراخکاری گردیدند.

همچنین مطابق شکل ۴، هر یک از مخازن بالایی و پایینی رادیاتور نیز مدلسازی شده و به رادیاتور متصل گردیدند. بدین طریق در مخزن بالایی، آب داغ از موتور ورود پیدا کرده و از مسیر لوله های مربوطه، به مخزن پایینی که در آن آب خنک موجود می باشد انتقال پیدا می کند.

مطابق شکل ۵، پره های رادیاتور که وظیفه ایجاد چرخش هوا را بر عهده دارند نیز در میان لوله ها طراحی و مدلسازی گردیدند.

از آنجاییکه عوامل زیادی از قبیل سرعت جریان نانو سیال ورودی به مبدل، غلظت نانو ذره در سیال پایه، اندازه نانو ذره و دمای نانو سیال بر ضریب

دسترسی به امکانات آزمایشگاهی جهت تولید نانو ذرات هیبریدی بوده که محدودیت های مالی و زمانی جهت تولید این نانو ذرات را نیز می توان بر شمرد.

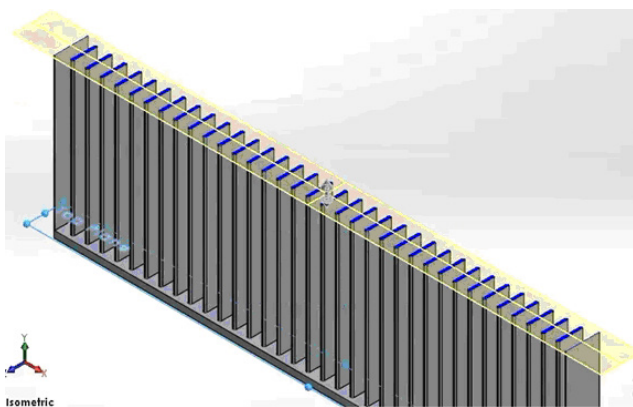
راهکارهایی که برای دستیابی به هدف مذکور محقق گردیده است عبارتند از: ۱- بررسی خواص ترموفیزیکی نانوسیال ترکیبی برای غلظت های مختلف نانو ذرات، ۲- انتخاب بهترین نانوسیال برای داشتن بیشترین بازده در خنک کننده با توجه به شبیه سازی صورت گرفته، ۳- معرفی یک نانوسیال هیبریدی با بالاترین عملکرد در خنک کنندگی به عنوان یافته تحقیق.

جنبه های نوآوری و تازه های تحقیق شامل موارد ذیل است:

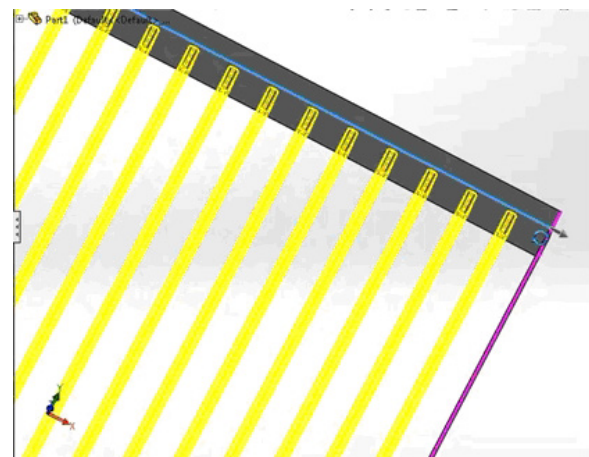
۱- مدلسازی سه بعدی یک رادیاتور با استفاده از نرم افزار SolidWorks.

۲- پی بردن به اثر افزودن نانو ذرات هیبریدی به سیال پایه از نظر خواص ترموفیزیکی از جمله تغییرات طولی و عرضی دمایی رادیاتور در عملکرد آن و یافتن بهترین درصد مناسب ترکیباتی برای دست یافتن به بهترین عملکرد خنک کاری سیال.

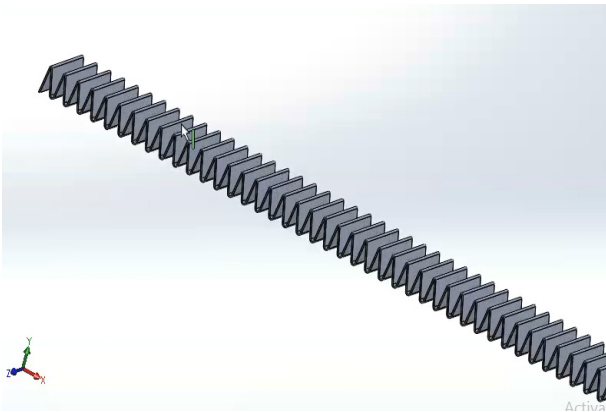
۳- یافتن دمای تثبیت شده خروجی رادیاتور، دمای سیال ورودی و خروجی رادیاتور و دمای هوای عبوری از روی پره های رادیاتور در اثر افزودن نانو ذرات هیبریدی به سیال پایه.



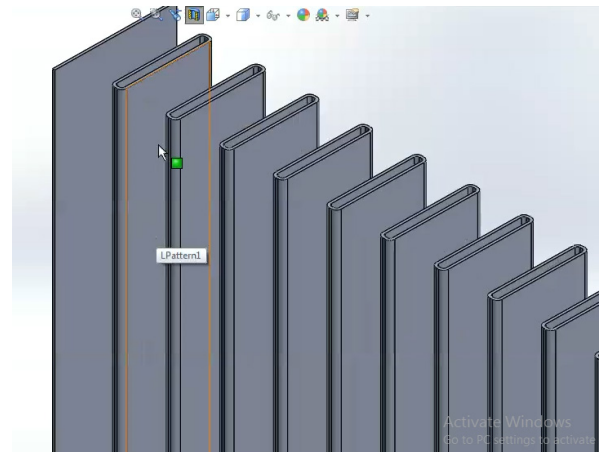
شکل ۲- حجم داده شده به لوله های انتقال دهنده سیال در رادیاتور



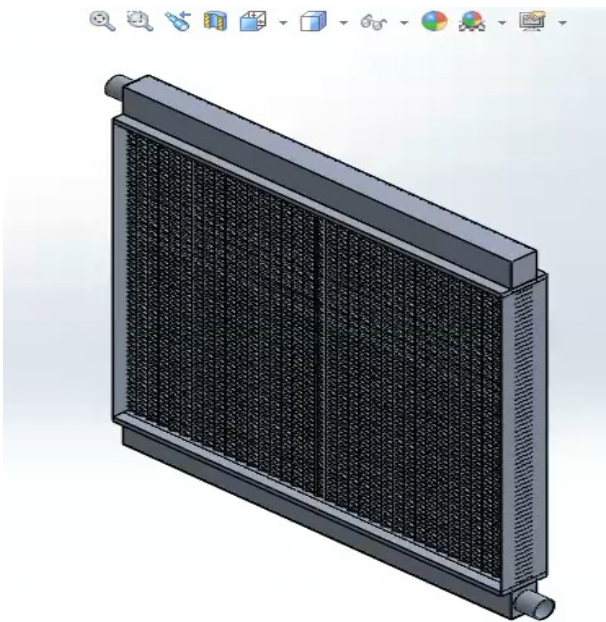
شکل ۱- مدلسازی لوله های انتقال دهنده سیال در رادیاتور



شکل ۵- پره های زیگزاگی مدلسازی شده برای رادیاتور



شکل ۳- پیکربندی لوله های رادیاتور مدلسازی شده



شکل ۶- پیکربندی کامل رادیاتور مدلسازی شده



شکل ۴- مدلسازی مخازن بالا و پایین در این رادیاتور

شود. همچنین، خواص چند برابری هدایت حرارتی فلزاتی نظیر آلومینیوم در مقایسه با مایعات متداول نیز مورد توجه است.

نانوذرات استفاده شده در این تحقیق شامل  $Al_2O_3$  و  $SiC$  در چهار سطح مختلف جرمی شامل  $3\%SiC$ ،  $3\%Al_2O_3 + 2\%SiC$ ،  $4\%Al_2O_3 + 1\%SiC$ ،  $2\%Al_2O_3 + 4\%SiC$ ،  $1\%Al_2O_3 + 4\%SiC$  بودند [۲۱،۲۰]. برای این منظور ابتدا یک فرم کلی برای نصب لوله و پره های خنک کننده رادیاتور و همچنین مخزن ورود و خروج سیال طراحی شد و همچنین

انتقال حرارت جابجایی و افت فشار نانو سیال اثرگذار هستند، شرایط اولیه شبیه سازی شامل دمای ورودی سیال به رادیاتور، فشار انجام آزمایش و سرعت عبور سیال در داخل رادیاتور تعریف شده است. همچنین، نوع و سایز مش بندی برای حل مسأله انتقال حرارت در رادیاتور نیز انتخاب گردیده است [۱۹،۱۸]. پخش کردن نانوذرات در سیال پایه بجای استفاده از سیالات متداول نظیر آب و اتیلن گلیکول باعث بهبود انتقال حرارت و بروز خواص حرارتی و ترموفیزیکی مناسب تر از جمله ویسکوزیته بهتر در سیال پایه می

نانوسیالات بکار رفته در ادامه فرآیند انتقال حرارت در رادیاتور با توجه به مشخصه های ترموفیزیکی شان نظیر چگالی، ضریب هدایت حرارتی و ضریب انتقال حرارتی برای نرم افزار SolidWorks تعریف گردیدند [۲۳،۲۲].

به منظور ساخت نانوسیال هیبریدی از روش همزدن التراسونیک استفاده شد. پس از پراکنده سازی نانوذرات در سیال پایه، خواص نانوسیال هیبریدی شامل ویسکوزیته، چگالی و ضریب انتقال حرارت اندازه گیری شد [۲۴]. نانوسیال سنتز شده در بویلر ریخته شد و جریان سیال در رادیاتور توسط پمپ به حرکت درآمد و دمای سیال ورودی و خروجی رادیاتور اندازه گیری شد و همچنین دمای هوای عبوری از روی پره ها نیز ثبت شد [۲۶،۲۵].

### ۳- نتایج و بحث

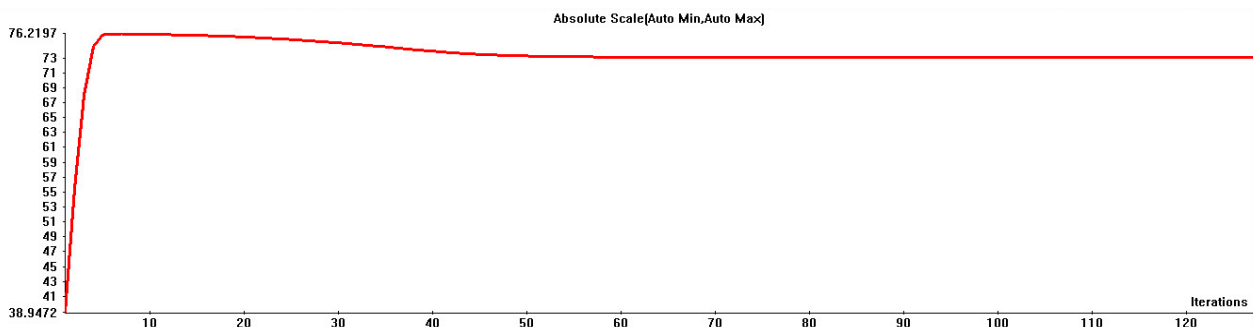
در شکل ۷، نتایج همگرایی برای تخمین دمای خروجی نانوسیال هیبریدی نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است مدل بعد از ۱۵۰ تکرار، به همگرایی در تخمین دمای خروجی نانوسیال هیبریدی رسیده است.

در شکل ۸، مسیر عبور سیال در مجرای داخلی رادیاتور نمایش داده شده است. همچنین تغییرات دما با پالت رنگی در طول مسیر عبور سیال از رادیاتور نشان داده شده است. همانطور که در شکل مشخص است در ورودی رادیاتور بالاترین مقدار دما مشاهده می شود که با عبور سیال داخل رادیاتور، دمای

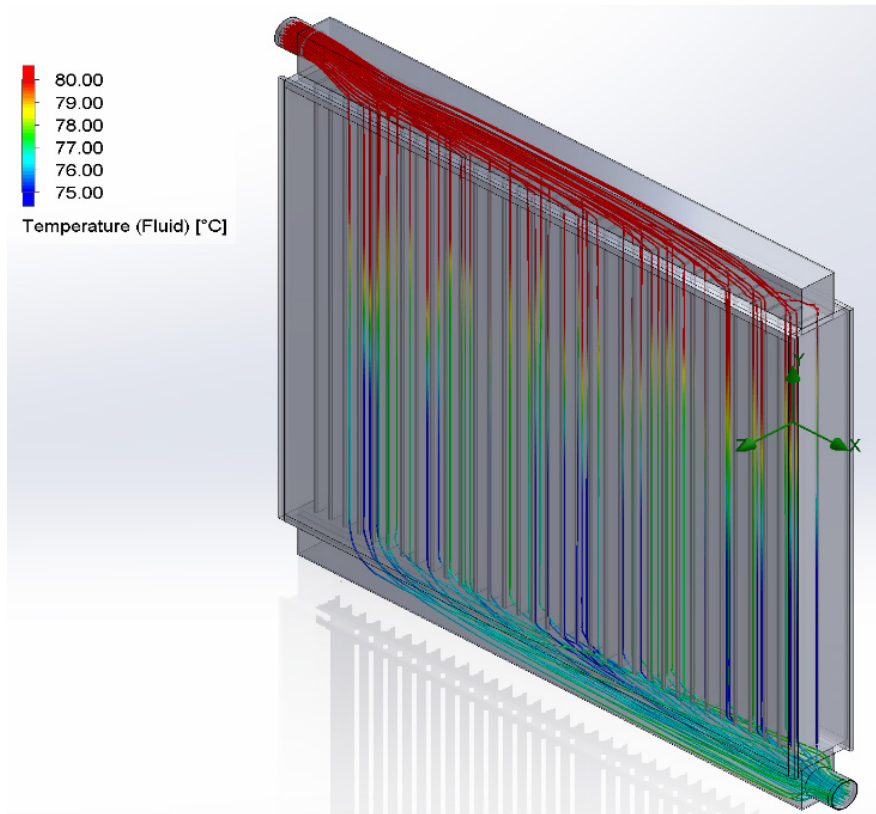
سیال کاهش پیدا کرده است. در شکل ۹، توزیع دما به صورت طولی و عرضی در مقطع رادیاتور در هنگام عبور سیال پایه از آن نمایش داده شده است. بررسی نتایج مدل سازی نشان داد که در حالت استفاده از سیال پایه به عنوان سیال خنک کننده در رادیاتور، دمای هوای خروجی از رادیاتور  $72^{\circ}\text{C}$  بود که در مقایسه با نتایج تجربی  $3/23\%$  کمتر بود. همچنین مقایسه دمای هوای خروجی از پره های رادیاتور نشان داد که میزان دمای مدل سازی شده نسبت به آزمون تجربی  $20/42\%$  کمتر بود. بررسی تغییرات دمایی در مقطع عرضی رادیاتور نشان می دهد که دمای پره ها با دمای هوای برخوردی با آن که  $25^{\circ}\text{C}$  است برابر است اما دمای پره ها بعد از عبور هوا از روی آن، افزایش یافته است.

در شکل ۱۰، تغییرات طولی و عرضی دمایی در رادیاتور به ازای استفاده از نانوسیال هیبریدی با  $1\%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $2\%$   $\text{SiC}$  نشان داده شده است. در این حالت دمای سیال ورودی به رادیاتور  $84^{\circ}\text{C}$  و دمای سیال خروجی از رادیاتور  $72^{\circ}\text{C}$  بود. همچنین دمای هوا بعد از عبور از روی پره های رادیاتور  $29^{\circ}\text{C}$  تخمین زده شده که مقدار آن نسبت به نتایج تجربی  $19/45\%$  کمتر بود. بررسی پالت رنگی به ازای دماهای مختلف نشان می دهد که سیال با عبور از رادیاتور دمای آن کاهش یافته است.

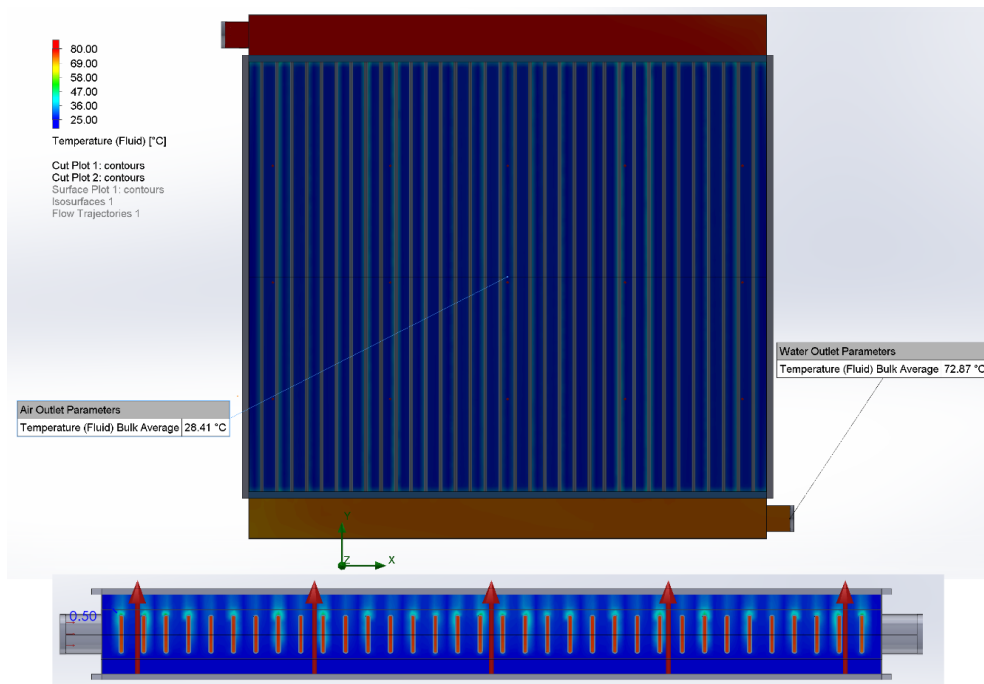
نتایج مدل سازی انتقال حرارت در رادیاتور و همچنین تغییرات طولی و عرضی دمایی در رادیاتور به ازای استفاده از نانوسیال هیبریدی با  $2\%$   $\text{Al}_2\text{O}_3$  و  $3\%$   $\text{SiC}$



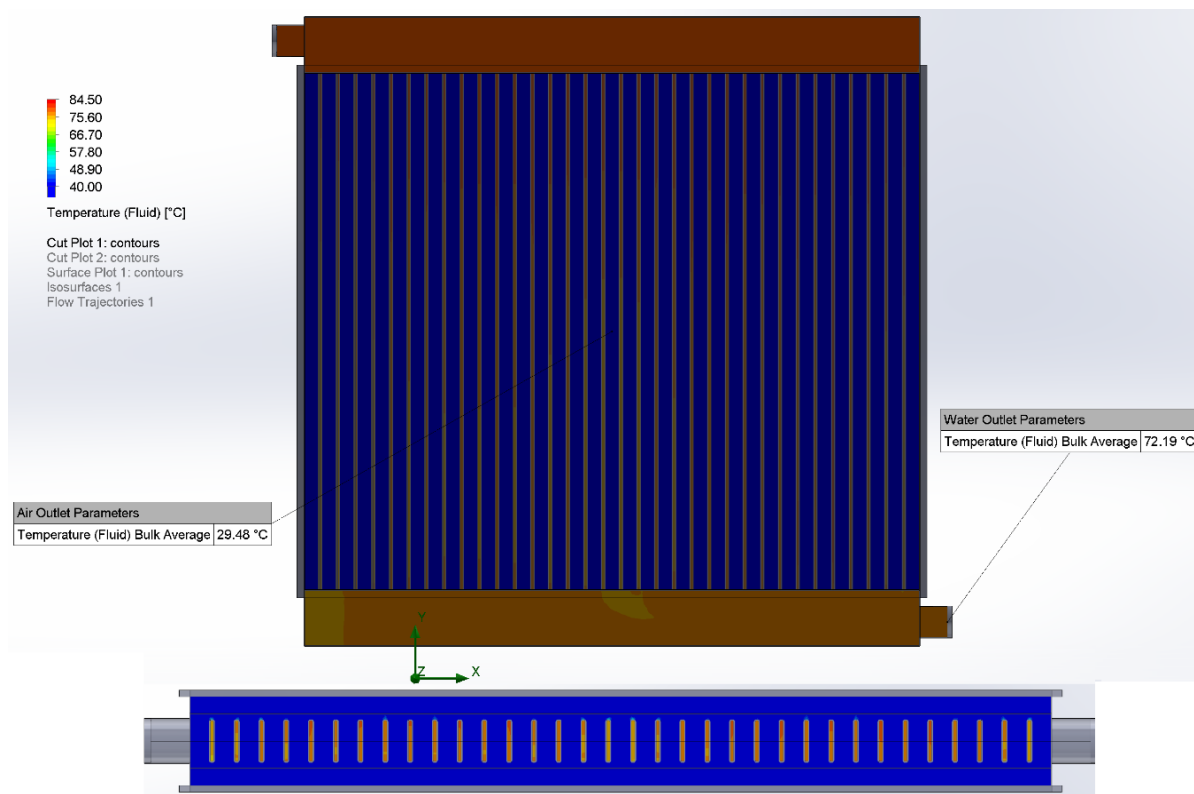
شکل ۷- همگرایی در جوابها برای تخمین دمای خروجی نانوسیال



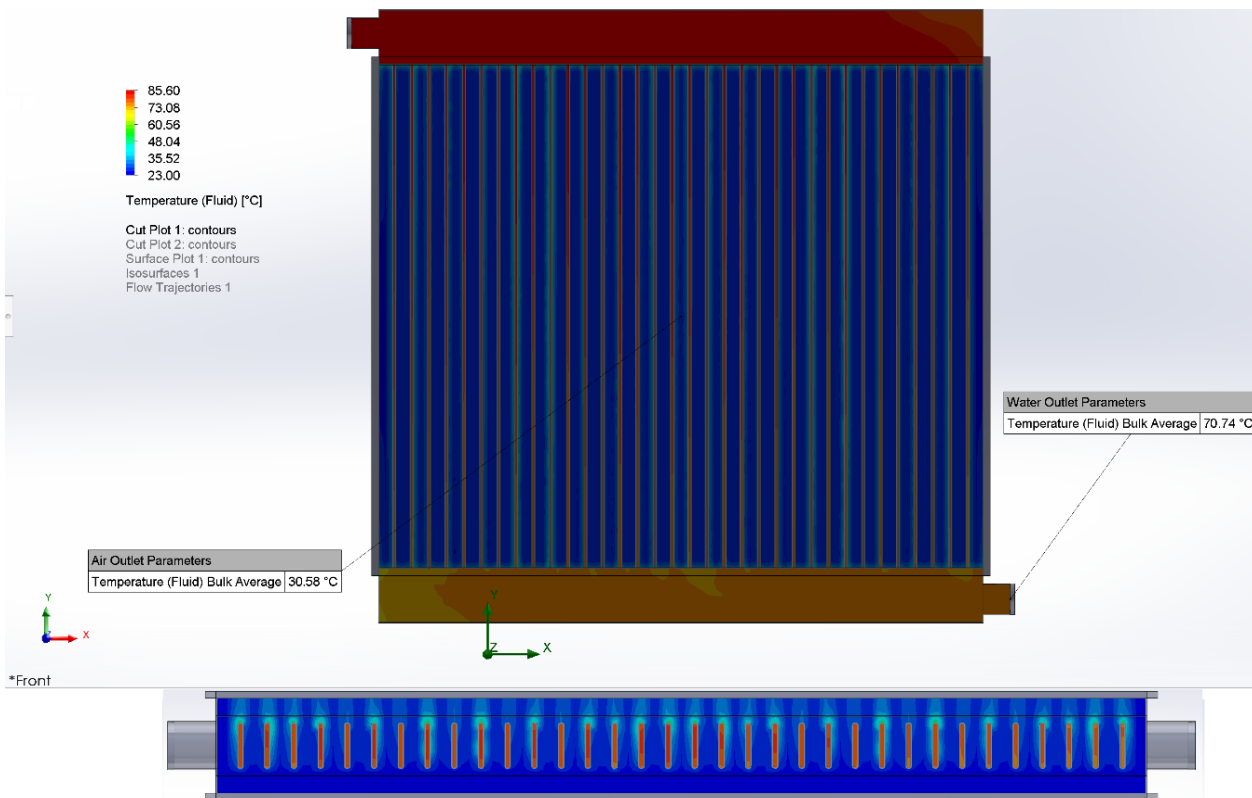
شکل ۸- مسیر عبور سیال در مجرای داخلی رادیاتور



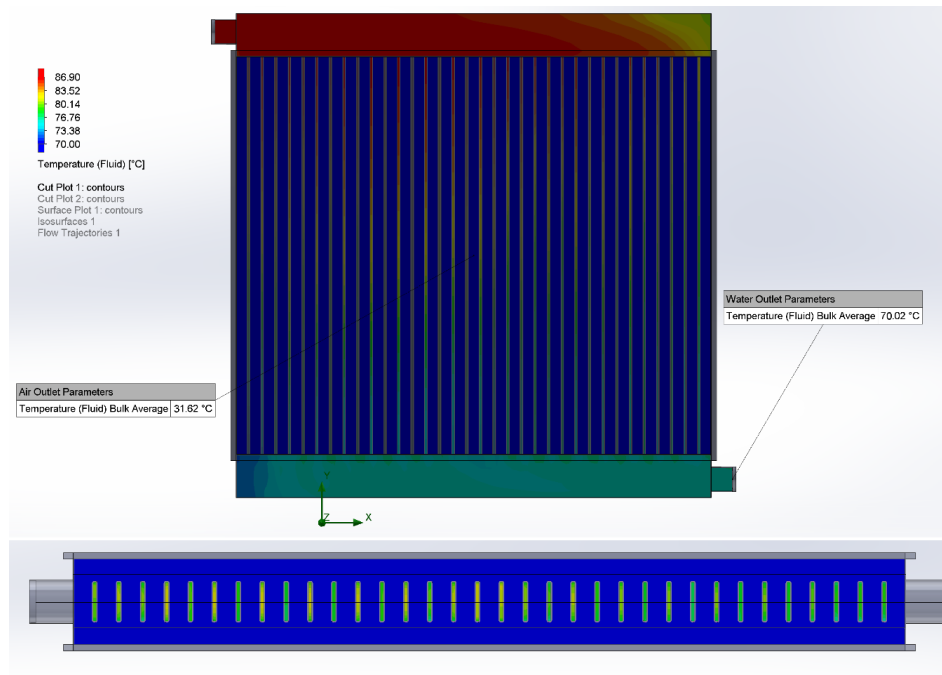
شکل ۹- تغییرات طولی و عرضی دمایی در رادیاتور به ازای سیال پایه



شکل ۱۰- تغییرات طولی و عرضی دمایی در رادیاتور به ازای استفاده از نانوسیال هیبریدی با ۱%  $Al_2O_3$  و ۲%  $SiC$



شکل ۱۱- تغییرات طولی و عرضی دمایی در رادیاتور به ازای استفاده از نانوسیال هیبریدی با ۲%  $Al_2O_3$  و ۲%  $SiC$



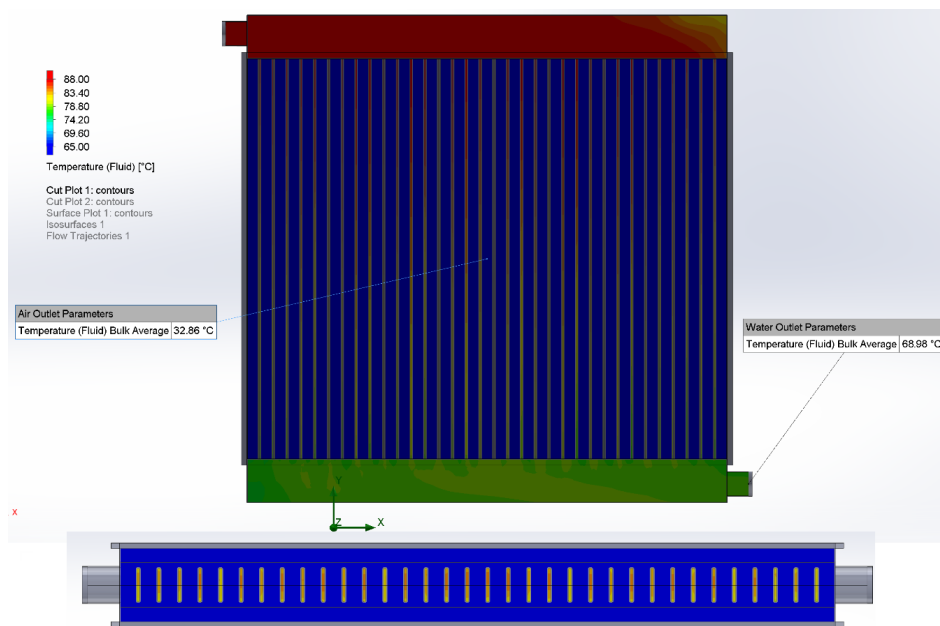
شکل ۱۲- تغییرات طولی و عرضی دمایی در رادیاتور به ازای استفاده از نانوسیال هیبریدی با ۳%  $Al_2O_3$  و ۲% SiC

نانوسیال هیبریدی با ۴٪ جرمی دی اکسید آلومینیوم و ۱٪ جرمی کاربید سیلیسیوم نشان داده شده است. دمای سیال ورودی به رادیاتور در این حالت  $88\text{ }^{\circ}\text{C}$  بود. در این حالت دمای سیال خروجی از رادیاتور و همچنین دمای هوای عبوری از روی رادیاتور به ترتیب  $68/98\text{ }^{\circ}\text{C}$  و  $32/86\text{ }^{\circ}\text{C}$  بود که اختلاف آنها با آزمون تجربی به ترتیب ۶/۴۰٪ و ۲۰/۲۴٪ بود.

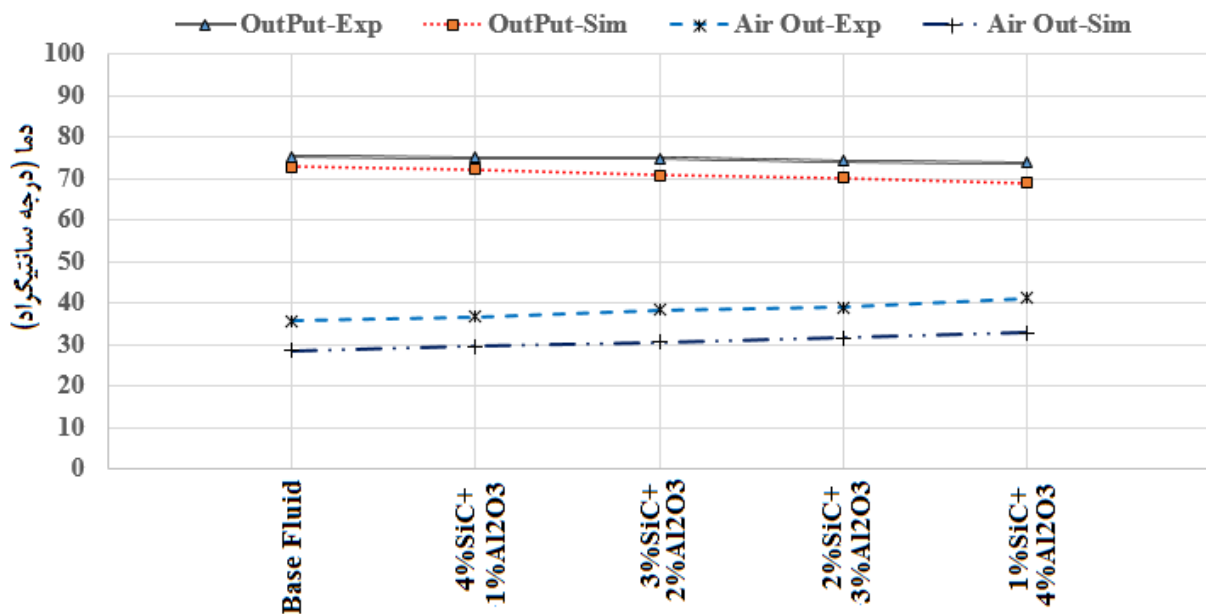
بررسی نتایج مدلسازی نشان داد که با افزوده شدن نانوذرات به سیال پایه، میزان دمای سیال ورودی به رادیاتور افزایش و دمای سیال خروجی از رادیاتور کاهش و دمای هوای عبوری از روی پره های رادیاتور افزایش یافت که با نتایج تجربی در این تحقیق همخوانی دارد. اما اختلاف بین مدلسازی و آزمون تجربی برای دمای هوای عبوری از روی پره های رادیاتور حدود ۲۰٪ بود که این اختلاف زیاد به دلیل عدم کنترل دمای محیط است. در شکل ۱۴، نتایج مدلسازی و آزمون تجربی برای دمای خروجی از رادیاتور و دمای هوای روی پره ها نمایش داده شده است که نشان می دهد همخوانی خوبی بین نتایج مدلسازی و آزمون تجربی وجود دارد.

در شکل ۱۱ نشان داده شده است. در این حالت دمای سیال ورودی به رادیاتور  $60/85\text{ }^{\circ}\text{C}$  بود. میزان دمای سیال خروجی مدلسازی شده از رادیاتور در این حالت  $70/74\text{ }^{\circ}\text{C}$  بود که اختلاف آن با مقادیر آزمون تجربی ۵/۴۳٪ می باشد. از طرفی نتایج مدلسازی نشان داد که دمای هوای عبور از روی پره های رادیاتور  $80/58\text{ }^{\circ}\text{C}$  بود که اختلاف آن نسبت به نتایج آزمون تجربی ۲۰/۱۶٪ مشاهده شد. بررسی پالت عرضی در این مدل نشان می دهد که دمای هوای عبوری از روی پره ها نسبت به سایر مدلها بیشتر است.

در شکل ۱۲، نتایج مدلسازی و همچنین تغییرات طولی و عرضی دمایی در رادیاتور به ازای استفاده از نانوسیال هیبریدی با ۳%  $Al_2O_3$  و ۲% SiC نشان داده شده است. دمای سیال ورودی به رادیاتور در این حالت  $86/90\text{ }^{\circ}\text{C}$  بود. همچنین نتایج مدلسازی نشان داد که دمای سیال خروجی از رادیاتور  $70/02\text{ }^{\circ}\text{C}$  بود که مقدار آن ۵/۴۲٪ نسبت به آزمون تجربی کمتر بود. دمای هوای عبوری از روی رادیاتور هم  $31/62\text{ }^{\circ}\text{C}$  بود که اختلاف آن با آزمون تجربی ۱۸/۷۱٪ بود. در شکل ۱۳، مدل رادیاتور در شرایط استفاده از



شکل ۱۳- تغییرات طولی و عرضی دمایی در رادیاتور به ازای استفاده از نانوسیال هیبریدی با ۴%  $Al_2O_3$  و ۱% SiC



شکل ۱۴- مقایسه نتایج مدلسازی و آزمون تجربی برای دمای خروجی از رادیاتور و دمای هوای عبوری از روی پره های رادیاتور

## ۴- نتیجه گیری

های رادیاتور، قادر است گرما را از نانوسیال جذب کند و منجر به کاهش ۱۲/۸ درصدی دمای نانوسیال شود که نشان از بهبود قابل توجه و چشمگیر در عملکرد رادیاتور می باشد. همچنین شکل ۷ که نتیجه همگرایی و تثبیت دمای خروجی رادیاتور را نشان می دهد مشخص می کند که دمای خروجی

بررسی تغییرات دمایی ایجاد شده بر روی سطح رادیاتور مدلسازی شده و نیز افزودن نانوذرات هیبریدی  $Al_2O_3$  و SiC به سیال پایه نشان داد که در یک دمای آزمایشگاهی، جریان هوا در تماس با پره

برعکس، چگالی پایین باعث کاهش فشار و افزایش سرعت جریان سیال خواهد شد.

بررسی نتایج عملکرد خنک کاری در رادیاتور نیز نشان داد که افزودن ۵٪ نانوذره، فرآیند خنک کاری را به طور چشمگیری بهبود می دهد به طوری که به ازای استفاده از ۴٪ جرمی  $Al_2O_3$  و ۱٪ جرمی SiC کمترین دما در خروجی رادیاتور، بیشترین دما در ورودی رادیاتور و بالاترین دما برای هوای عبوری از روی پره ها مشاهده شد. بررسی و مقایسه نتایج مدلسازی و نتایج آزمون تجربی نشان داد که خطای مدلسازی در تخمین دمای سیال خروجی از رادیاتور به طور متوسط حدود ۵/۵٪ و متوسط خطای مدلسازی دمای هوای عبوری از روی پره های رادیاتور نیز حدود ۱۹٪ بود.

امکان چنین شبیه سازی برای نانومواد دیگر و مدل های مختلف از مدل های حرارتی وجود دارد بدین صورت که نانوذرات هیبریدی دیگر را می توان برای سایر مدل های حرارتی از جمله مدل های حرارتی موجود در نیروگاه ها اعم از نیروگاه های حرارتی و هسته ای نیز شبیه سازی نمود.

این مدلسازی علاوه بر رادیاتور نمونه می تواند برای سایر رادیاتورها از جمله رادیاتور شفاژ که دارای پره های فین-مانند بوده و نیز رادیاتور اتوموبیل قابل تعمیر باشد و مورد استفاده قرار بگیرد. بدینصورت که مطابق همین شبیه سازی که در این تحقیق صورت گرفته هر یک از این نوع از رادیاتورها با توجه به ابعاد و مشخصه های فنی که دارند و با توجه به نوع نانوذره مورد نظر محلول در سیال پایه، قابل مدلسازی بوده که از لحاظ کاربردی در این قبیل صنایع می تواند بسیار سودمند واقع شود.

## تعارض منافع

نویسندگان این مقاله بدین وسیله اعلام می دارند که در ارتباط با انجام، تحلیل، نگارش و انتشار این پژوهش، هیچ گونه تعارض منافع مالی، شخصی، علمی یا سازمانی وجود ندارد.

رادیاتور بر روی دمای  $73/5^{\circ}C$  تثبیت می شود. بررسی نتایج آزمون های تجربی جهت تعیین خواص ترموفیزیکی نیز نشان داد که با افزوده شدن نانوذرات به سیال پایه خنک کننده، میزان ویسکوزیته و چگالی نسبت به سیال پایه افزایش یافت و سبب افزایش چشمگیری در ضریب انتقال حرارت نانوسیال هیبریدی گردید بطوریکه به ازای  $Al_2O_3$  ۴٪ + SiC ۱٪، بیشینه چگالی و ضریب انتقال حرارت مشاهده شد که مقدار آن نسبت به سیال پایه، ۱۶/۰۲٪ افزایش یافت. اما با تغییر درصدهای جرمی نانوذرات در سیال هیبریدی، تغییرات مشاهده شده در ویسکوزیته آنها خیلی کم بود.

همچنین، افزودن ۵٪ جرمی نانوذرات هیبریدی به سیال پایه سبب افزایش قابل توجهی در چگالی نانوذرات شد به طوری که به ازای افزودن ۵٪ جرمی نانوذره به سیال پایه، چگالی نانوسیال هیبریدی به طور متوسط متوسط ۸/۹۲٪ افزایش یافت و بالاترین چگالی نانوسیال هیبریدی به ازای ۴٪ نانوذره دی اکسید آلومینیوم و ۱٪ کاربید سیلیسیم مشاهده شد که بهترین عملکرد برای خنک کاری سیال می باشد. همچنین، بررسی نتایج نشان داد که افزوده شدن نانوذرات به سیال پایه سبب بهبود عملکرد رادیاتور می شود به طوری که با افزوده شدن نانوذرات به سیال پایه، میزان گرمای جذب شده در بویلر افزایش یافت که این موضوع سبب افزایش دمای سیال ورودی به رادیاتور شد. از طرفی با افزوده شدن نانوذرات به سیال پایه، میزان دمای سیال خروجی رادیاتور کاهش یافت. همچنین افزوده شدن نانوذره به سیال پایه سبب افزایش دمای هوای خروجی از روی پره های رادیاتور شد. این نتایج در مدلسازی نیز مشاهده شد که همخوانی مناسب با نتایج تجربی داشت.

چگالی سیال، تأثیر مستقیمی بر فشار و سرعت جریان سیالات در رادیاتورها دارد. چگالی بالا باعث افزایش فشار و کاهش سرعت جریان سیال و

- pp. 367-373, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.ijthermalsci.2004.12.005>
- [11] S.K. Das, S.U. Choi, W. Yu, T. Pradeep, *Nanofluids: science and technology*, John Wiley & Sons, 2007. <https://doi.org/10.1002/9780470180693>
- [12] K. Prashant, R.M. Sarviya, "Recent developments in preparation of nanofluid for heat transfer enhancement in heat exchangers: A review," *Mater. Today Proc. Mater.*, vol. 44, pp. 2356-2361, 2021.
- [13] H.M. Amr, "Investigation for the use of nanofluids as a coolant in a vehicle radiator," *Heat Mass Transf.*, vol. 60, no. 7, pp. 1211-1219, 2024. <https://doi.org/10.1007/s00231-024-03487-8>
- [14] S.A.M. Shirazi, "The assessment of radioisotopes and radiomedicines in the MNSR reactor of Isfahan and obtaining the burnup by applying the obtained information," *APPEEC, IEEE*, pp. 1-4, 2012.
- [15] B. Said, L. Lioua Kolsi, K. Ghachem, M. Almeshaal, C. Maatki, "Advancement of nanofluids in automotive applications during the last few years-a comprehensive review," *J. Therm. Anal.*, vol. 147, no. 14, pp. 7603-7630, 2022. <https://doi.org/10.1007/s10973-021-11088-4>
- [16] M. Muneeshwaran, G. Srinivasan, P. Muthukumar, C.C. Wang, "Role of hybrid-nanofluid in heat transfer enhancement-A review," *ICHMT*, vol. 125, pp. 105341, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.icheatmasstransfer.2021.105341>
- [17] K. Prashant, R.M. Sarviya, "Recent developments in preparation of nanofluid for heat transfer enhancement in heat exchangers: A review," *Mater. Today Proc. Mater.*, vol. 44, pp. 2356-2361, 2021.
- [18] R. Karimi-Boliti, S. Alamdari, M. Mousavi, "The Role of Low Temperature in the Synthesis and Improvement of Photocatalytic Properties of Bi<sub>25</sub>FeO<sub>40</sub> Using Hydrazine," *Nanomeghyas*, vol. 11, no. 2, pp. 80-76, 2024.
- [19] R. Kashapov, A. Ibragimova, R. Pavlov, D. Gabdrakhmanov, N. Kashapova, E. Buriylova, L. Zakharova et al, "Nanocarriers for biomedicine: From lipid formulations to inorganic and hybrid nanoparticles," *Int. J. Mol.*, vol. 22, no. 13, pp. 7055, 2021. <https://doi.org/10.3390/ijms22137055>
- [20] F. Shariatiniya, M. R. Fadavieslam, "The effect of deposition rate aluminum cathode on the performance of organic light emitting diode," *Nanomeghyas*, vol. 10, no. 1, pp. 48-53, 2023. 20.1001.1.24235628.1402.10.1.7.8
- [21] M. Abbood, Y. Alaiwi, A. Jundi, "Numerical Analysis and Design for Thermal Efficiency Optimization using Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> Nanofluids in Shell and Tube Heat Exchangers," *CFDL*, vol. 16, no. 11, pp. 146-160, 2024.
- [1] A.I. Ramadhan, W.H. Azmi, R. Mamat, "Heat transfer characteristics of car radiator using tri-hybrid nanocoolant," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 863, no. 1, pp. 012054, 2020. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/863/1/012054>
- [2] B.T. Diroll, R.D. Schaller, "Experimental Measurement of Particle-to-Particle Heat Transfer in Nanoparticle Solids," *ACS nano*, vol. 19, no. 16, pp. 15698-15706, 2025. <https://doi.org/10.1021/acsnano.4c18541>
- [3] B. Litouche, B. Rebai, K. Mansouri, "Investigating the impact of flow profile on heat transfer in nanofluid flow: a numerical study," *Mechanics*, vol. 30, no. 2, pp. 177-182, 2024. <https://doi.org/10.5755/j02.mech.34638>
- [4] M. Chandrasekar, S. Suresh, A. Chandra Bose, "Experimental investigations and theoretical determination of thermal conductivity and viscosity of Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/water nanofluid," *Exp. Therm. Fluid Sci.*, vol. 34, no. 2, pp. 210-216, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.expthermflusci.2009.10.022>
- [5] B.C. Pak, Y.I. Cho, "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed fluids with submicron metallic oxide particles," *Exp. Heat Transf.*, vol. 11, no. 2, pp. 151-170, 1998. <https://doi.org/10.1080/08916159808946559>
- [6] S. Prabhakar, Z. Said, A. Kumar, S. Nizetic, A. Pandey, A.T. Hoang, Z. Huang et al, "Recent advances in machine learning research for nanofluid-based heat transfer in renewable energy system," *Energy Fuels*, vol. 36, no. 13, pp. 6626-6658, 2022. <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.2c01006>
- [7] L. Yanjiao, J. Zhou, S. Tung, E. Schneider, S. Xi, "A review on development of nanofluid preparation and characterization," *Powder Technol.*, vol. 196, no. 2, pp. 89-101, 2009. <https://doi.org/10.1016/j.powtec.2009.07.025>
- [8] A.G. Olabi, T. Wilberforce, E.T. Sayed, K. Elsaid, S.M. A. Rahman, M.A. Abdelkareem, "Geometrical effect coupled with nanofluid on heat transfer enhancement in heat exchangers," *Int. J. Thermofluids.*, vol. 10, 100072, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.ijft.2021.100072>
- [9] S.A. Mousavi Shirazi, S. Rastayesh, "The comparative investigation and calculation of thermo-neutronic parameters on two gens II and III nuclear reactors with same powers," *fuel*, 100, 60, 2011. <https://doi.org/10.5281/zenodo.1329156>
- [10] S.M.S. Murshed, K.C. Leong, C. Yang, "Enhanced thermal conductivity of TiO<sub>2</sub>-water based nanofluids," *Int. J. Therm. Sci.*, vol. 44, no. 4,

- Jordanian weather conditions,” J. Therm. Anal., vol. 149, no. 9, pp. 3981-3998, 2024. <https://doi.org/10.1007/s10973-024-12961-8>
- [25] S.A. Mousavi Shirazi, A. Taheri, “a New Method for Neutron Capture Therapy (nct) and Related Simulation by MCNP4C Code,” AIP Conf. Proc., vol. 1202, no. 1, pp. 77-83, 2010. <https://doi.org/10.1063/1.3295614>
- [26] M.Q. Alsedrani, T. Girma, “Investigation of the effects of silica nanofluid for enhanced oil recovery applications: CFD Simulation Study,” AJSE, vol. 48, no. 7, pp. 9139-9158, 2023. <https://doi.org/10.1007/s13369-022-07113-9>
- [22] O.C. Мачуга, Т.В. Олянишен, “Using Solidworks Simulation tool for automated design of drying chambers and study of their operation parameters,” Scientific Bulletin of UNFU, vol. 34, no. 2, pp. 109-115, 2024. <https://doi.org/10.36930/40340214>
- [23] V. Kumar, P. Kumar, “Design, analysis, and optimization of thresher machine flywheel using Solidworks simulation,” Mater. Today Proc. Mater., vol. 56, pp. 3651-3655, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.12.348>
- [24] A.O. Otabeh, N. Abu Shaban, R. Manna, O. Ayadi, A. A'saf, F. Lezsovits, “Performance study of parabolic trough solar collector using hybrid nanofluids under