

Research Article

Agricultural Engineering., 45(3) (2022) 247-260  
DOI: 10.22055/AGEN.2023.42290.1648

ISSN (P): 2588-526X  
ISSN (E): 2588-5944

## Simulation of greenhouse floor heating and investigating the effect of nanofluids in it

M. Baghbanian<sup>1</sup>, Sh. Ghavami Jolandan<sup>2\*</sup>, S.M. Safieddin Ardebili<sup>3</sup> and S.M. Sajadiye<sup>4</sup>

1. Master of Science, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
2. Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
3. Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran
4. Assistant professor, Department of Biosystems Engineering, Faculty of Agriculture, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran

Received: 27 August 2022

Accepted: 4 November 2022

### Abstract

**Introduction:** In recent years, underground heating systems are one of the cleanest and best types of heating systems which these techniques have been used in many greenhouses. In this method, a source of thermal energy, which is often a gas or diesel, is used to heat the fluid. Then, the heated fluid is transferred to the entire greenhouse through the pipe networks that are placed on the floor of the greenhouses and under the soil, and creates a pleasant heat. During the cold months of the year, having a proper heating system for the greenhouse is essential. A standard greenhouse heating system could improve the temperature inside the greenhouse and spread it evenly on the entire surface of the greenhouse and finally, it is very effective on the growth and quality of plants and products in all months of the year. Today, fluids play a very important role in industry, especially in heating systems. Common fluids such as water, ethylene glycol and motor oil have a limited conductivity coefficient. Therefore, using the above-mentioned fluids at high temperatures causes heat transfer problems. Nanofluids consist of very small particles (usually less than 400 nm) dispersed in a base fluid. The conducted research shows that due to the high thermal conductivity of nanofluids compared to common fluids, in the future nanofluids will become a new type of fluid used in advanced heat transfer for engineering applications. Therefore, according to the importance of this topic, in this research, the heating system of the greenhouse floor is simulated and analyzed using CFD technique.

**Materials and Methods:** In this research, in order to simplify the process of simulation, the inhomogeneity in the fluid flow is ignored and the single-phase flow is considered. In order to investigate the effect of each of the nanofluids on the fluid behavior and heat transfer of the pyramidal greenhouse, analysis and simulation of the greenhouse was performed based on three-dimensional computational fluid dynamics. First, the geometry of the control volume of a



greenhouse was designed in Solidwork software, and in order to check the simulation, a pyramidal geometry was considered. The boundary conditions for the coldest day and night temperature in the year were extracted according to the environmental conditions by measuring the data of temperature, humidity and air flow. Two parameters of pressure drop value and Nusselt number were selected as target parameters in this research. The flow friction coefficient in the floor heating section was calculated through the pressure drop along the section and its hydraulic diameter. Single-phase fluid pressure drop in all pipes inside the thermal cycle was modeled in this section. Finally, the parametric analysis of the results and the comparison of the heating efficiency of the greenhouse floor for two types of nanofluid alumina and titanium dioxide in volume percentages of 1%, 2% and 3% were used. Besides, the effect of the mentioned parameters on the Nusselt number and in the flow of floor heating was investigated.

**Results and Discussion:** Based on the obtained results, it was concluded that an increase in Reynolds number in all volume percentages leads to an increase in Nusselt number and alumina nanofluid has a higher Nusselt number than titanium dioxide nanofluid. Also, in both nanofluids assuming a constant inlet temperature of 40 and a diameter of nanoparticles of 5 nm, the Nusselt number also increased with an increase in the volume percentage of particles at a constant Reynolds number. According to the results obtained with the increase in the diameter of nanoparticles, the Nusselt number decreased for both alumina and titanium dioxide nanofluids, which is greater for titanium dioxide nanofluids. Considering the findings related to the pressure drop, with the increase in the volume percentage of nanoparticles in both nanofluids, the pressure drop increased, and this drop is more severe in the alumina nanofluid, and it could be attributed to the higher density and viscosity of the alumina nanofluid compared to the titanium dioxide nanofluid. The results related to the pressure drop showed that, with the increase in the volume percentage of nanoparticles in both nanofluids, the pressure drop increased, and this drop is more intense in the alumina nanofluid and this factor is attributed to the higher density and viscosity of alumina nanofluid compared to titanium dioxide nanofluid. On the other hand, the increase in Reynolds number in both nanofluids has resulted in an increase in pressure drop. The results related to the changes in the friction coefficient in terms of Reynolds number in different volume percentages show that the coefficient decreases with the increase in Reynolds number, and these changes are more intense at lower Reynolds numbers. By comparing the performance coefficient between alumina nanofluid and titanium dioxide nanofluid, it can be concluded that the average value of this coefficient is 14% higher than other nanofluids for alumina nanofluid. But, the sensitivity of the performance coefficient of titanium dioxide nanofluid compared to alumina nanofluid is more intense to the changes of Reynolds number.

**Conclusion** Due to the production of greenhouse products in all seasons and the necessity of precise greenhouse control, it can be concluded that dealing with new and advanced methods in the management and optimization of the country's greenhouses is importance. The results of the present research show the fact that the simulation of heating from the greenhouse floor and its various aspects can be a suitable measure to check the uniformity and proper distribution of heat inside the greenhouse. In order to improve the efficiency of thermal equipment, using nanofluids with higher thermal ability is essential. Besides, comparing the performance coefficient of the system due to the use of nanofluids indicated the high efficiency of the use of nanofluids in comparison with pure water in the greenhouse floor heating system.

**Key words:** *Simulation, greenhouse, underfloor heating, nanofluid, computational fluid dynamics (CFD)*

## شبیه سازی گرمایش از کف گلخانه و بررسی اثر نانوسیال در آن

محمود باغبانیان<sup>۱</sup>، شعبان قوامی جولدندان<sup>۲\*</sup>، سید محمد صفی الدین اردبیلی<sup>۳</sup> و سید مجید سجادی<sup>۴</sup>

- ۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک بیوسیستم، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران  
 ۲- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران  
 ۳- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران  
 ۴- استادیار گروه مهندسی بیوسیستم، دانشکده کشاورزی، دانشگاه شهید چمران اهواز، اهواز، ایران

چکیده	تاریخچه مقاله
یکی از عوامل موثر در رشد گیاهان، وجود دمای مناسب و یکنواخت در گلخانه ها می باشد لذا به منظور دستیابی به این مهم و صرفه جویی در مصرف انرژی، استفاده از نانوسیالات و بهینه سازی سیستم های گرمایشی می تواند جایگزین مناسبی برای سیستم های گرمایشی پرمصرف و غیر یکنواخت باشد. برای این منظور در این تحقیق از پیکربندی گرمایش از کف و کاربرد نانوسیال برای گلخانه استفاده شده است. ابتدا هندسه ی حجم کنترل یک گلخانه در نرم افزار سالیدورک طراحی و به منظور بررسی شبیه سازی، هندسه ی هرمی شکل برای آن در نظر گرفته شد. شرایط مرزی برای سردترین دمای شبانه روز در سال با توجه به شرایط محیطی با اندازه گیری داده های دما، رطوبت و جریان هوا استخراج گردید. تحلیل پارامتریک نتایج برای دو نوع نانوسیال آلومینا و دی اکسید تیتانیوم در درصدهای حجمی ۱، ۲ و ۳ درصد صورت پذیرفت و تاثیر پارامترهای مذکور بر عدد ناسلت و در جریان گرمایش از کف مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان داد که نانوسیال آلومینا نسبت به نانوسیال دی اکسید تیتانیوم دارای عدد ناسلت بیشتری بوده و افزایش قطر نانوذرات تاثیر منفی بر مقدار عدد ناسلت دارد. همچنین با مقایسه ی ضریب عملکرد <i>PEC</i> گرمایش از کف گلخانه ی هرمی شکل بین نانوسیال آلومینا و نانوسیال دی اکسید تیتانیوم مشاهده می شود که متوسط مقدار این ضریب برای نانوسیال آلومینا ۱۴ درصد بیشتر است.	تاریخ دریافت: ۱۴۰۱/۰۶/۰۵ تاریخ پذیرش: ۱۴۰۱/۰۸/۱۳
	<b>کلمات کلیدی:</b> شبیه سازی، گلخانه، گرمایش از کف، نانوسیال، دینامیک سیالات محاسباتی
	* عهده دار مکاتبات Email: s.ghavami@scu.ac.ir

## مقدمه

در سال‌های اخیر اهمیت تغذیه سالم بیش از گذشته مورد توجه قرار گرفته و نیاز به میوه‌ها و سبزیجات در چهار فصل سال باعث افزایش گلخانه‌ها در سطح دنیا شده است. از طرفی وجود یک سیستم گرمایشی برای محیط داخلی گلخانه که بتواند دمای یکنواختی در تمام نقاط گلخانه فراهم کند، یک امر ضروریست. گرمایش از کف گلخانه روشی است که اخیراً برای گرم کردن فضای گلخانه مورد استفاده قرار گرفته است در این روش از لوله‌های آب استفاده می‌شود که در کف مکان مورد نظر به صورت مستقیم نصب می‌شوند. این سیستم گرمایشی همانند سیستم‌های گرمایشی دیگر از مزایا و معایبی برخوردار است. به عنوان مثال عدم ایجاد آلودگی‌های ناشی از سوخت انرژی در فضای گلخانه، ایجاد دمای متعادل و یکنواخت، صرفه جویی در مصرف انرژی و قابلیت اجرا در دیوارها و سقف و عدم انتشار گاز منوکسید کربن در داخل گلخانه، تنها چند مورد از مزایای نصب سیستم گرمایش از کف گلخانه هستند. امروزه سیال‌ها نقش بسیار مهمی را در سیستم‌های گرمایش در صنعت ایفا می‌کنند. سیال‌های رایج همانند آب، اتیلن گلیکول و روغن موتور دارای ضریب هدایت محدودی هستند بنابراین در صنعت امروز استفاده از آنها به تنهایی که حرارت تولیدی در واحد سطح تجهیزات افزایش بسزایی یافته، انتقال حرارت را با چالش مواجه میکند. نانوسیال‌ها متشکل از ذرات بسیار ریزی (معمولاً کمتر از ۴۰۰ نانومتر) هستند که در سیال پایه پراکنده شده‌اند. نخستین مشاهده‌ها از افزایش هدایت حرارتی سیالات شامل ذرات جامد با اندازه‌ی کوچکتر از میکرون، توسط ماسودا و همکاران<sup>۱</sup> گزارش شد (۷). عنوان نانوسیال نخستین بار توسط بونجیورنو<sup>۲</sup> جهت مشخص کردن مخلوطی متشکل از نانو ذرات که درون سیال پایه پخش شده‌اند، پیشنهاد گردید (۲). پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که به علت زیاد بودن هدایت حرارتی نانو سیالات نسبت به سیال‌های رایج مورد استفاده مانند آب، اتیلن گلیکول و روغن، امکان استفاده از

این نانو سیال‌ها در کاربردهای حرارتی را دو چندان می‌کند. هدف این پژوهش بررسی جریان و انتقال حرارت نانو و ترکیبی از آنها بر روی انتقال حرارت و خواص جریان سیال در گرمایش از کف یک گلخانه‌ی هرمی می‌باشد. تاکنون تحقیقات بسیاری در زمینه شبیه سازی گلخانه و کاربرد نانوسیال در انتقال حرارت توسط محققین دنیا صورت گرفته است. به عنوان مثال چوپکار و همکاران<sup>۳</sup> اثر اندازه ذرات را بر روی هدایت حرارتی نانوسیال با سیال پایه آب و اتیلن گلیکول و نانوذرات  $Ag_2Al$  و  $Al_2Cu$  با اندازه‌های مختلف بین ۳۰ تا ۱۲۰ نانومتر را مورد مطالعه قرار دادند. آنها مشاهده کردند که برای هر چهار نوع از این نانوسیالات با کاهش اندازه نانو ذرات هدایت حرارتی افزایش می‌یابد (۳). مینستا و همکاران<sup>۴</sup> ضریب هدایت حرارتی نانوسیال  $H_2O-Al_2O_3$  را اندازه گیری کردند. در این تحقیق ذراتی با دو قطر متفاوت ۳۶ و ۴۷ نانومتر مورد استفاده قرار گرفته است. آن‌ها مشاهده کردند که افزایش هدایت حرارتی برای هر دو نوع نانوذرات و در دمای اتاق به هم نزدیک است. در صورتی که در دماهای بالاتر نانوسیال  $Al_2O_3-H_2O$  با نانوذرات کوچکتر افزایش بیشتری را در هدایت حرارتی نمایان می‌کند (۹). اتونی و همکاران<sup>۵</sup> نیز به صورت تجربی هر دو عملکرد ذوب و انجماد برای نانوسیال آلومینا را که در پوسته‌های کروی محبوس بودند برای گرمایش یک گلخانه مطالعه نمودند. در این مطالعه سیال عامل هوا در نظر گرفته شده بود (۴). مطالعات بسیاری نیز در موضوع کپسول‌های شامل ماده تغییر فاز دهنده و نانوسیال آلومینا انجام پذیرفته است. در این گستره از پژوهش‌ها که به صورت عملی نیز انجام گرفته‌اند، مواد نانوسیال داخل کپسول‌هایی تزریق و به همین صورت استفاده می‌شوند. جنس این کپسول‌ها فلزی یا پلاستیکی است (۸). لانه<sup>۶</sup> بیشتر از ۲۰۰ نوع ماده ذخیره کننده گرما از طریق تغییر فاز نانوسیالات را شناسایی کرده‌اند که در دمای ۱۰ الی ۹۰ درجه سلسیوس ذوب می‌شوند و برای

3- Chopkar *et al.*4- Minsta *et al.*5- Ettouney *et al.*

6- Lane

1- Masuda *et al.*

2- Buongiorno

پروفیل سرعت یکنواخت در نظر گرفته می‌شود. به منظور ارزیابی میدان فشار، الگوریتم کوپل شده‌ی بین سرعت-فشار SIMPLE<sup>۳</sup> انتخاب شده است. جدول ۱ متغیرهای مستقل و سطوح مورد استفاده در این کار پژوهشی را نشان می‌دهد. دو پارامتر مهم یعنی مقدار افت فشار و عدد ناسلت به عنوان پارامترهای هدف در این تحقیق انتخاب شده‌اند. ضریب اصطکاک جریان در مقطع گرمایش از کف  $f$  از طریق افت فشار  $\Delta P$  در طول مقطع  $L$ ، با قطر هیدرولیکی  $D_h$  از رابطه‌ی زیر قابل دستیابی است:

$$f = \frac{\Delta P}{0.5\rho u^2} \frac{L}{D_h} \quad (1)$$

عدد ناسلت میانگین نیز عبارتست از:

$$Nu = \frac{hD_h}{k_f} \quad (2)$$

از آنجایی که تحلیل دمای لوله‌ی حامل جریان نانوسیال بر ضریب عملکرد سیستم‌های مختلف تاثیر می‌گذارد، افزایش دمای خروجی سیال  $T_c$  (که در واقع متناسب با افزایش عدد ناسلت کانال  $Nu_c$  می‌باشد) به عنوان هدف اول طراحی انتخاب گردید. برای بدست آوردن نقاط طراحی در مسائل مرتبط با تحلیل پارامتریک، نیاز به تحلیل اجزای محدود جریان در گلخانه خواهد بود. مطابق با شکل ۱، هندسه در نرم‌افزار سالیدورکس<sup>۴</sup> ترسیم و بر اساس روند شبیه‌سازی، در نرم‌افزار انسیس فلونت شبیه‌سازی شده است (اشکال ۲ و ۳). در ورودی گلخانه، جریان با سرعت یکنواخت و دمای ثابت ۳۱۳ درجه‌ی کلونین (۴۰ درجه‌ی سانتیگراد) وارد کانال می‌شود. طول گلخانه به اندازه‌ی کافی طولانی است و شرایط خروجی به طور کامل توسعه یافته است و مشتقات محوری در آن صفر در نظر گرفته می‌شود.

افت فشار سیال تک‌فازی<sup>۵</sup> در تمامی لوله‌های داخل چرخه‌ی حرارتی (مثلا لوله‌های کانال حرارتی گرمایش از کف و لوله‌های اتصال دهنده) در این بخش مدل شده‌اند. در

ذخیره‌ی انرژی مورد استفاده قرار می‌گیرند (۶). بیک و همکاران<sup>۱</sup> درباره اثر نانوذرات بر روی هدایت حرارتی، مطالعاتی را روی نانوسیال آب- و اتیلن گلیکول- و با نانوذراتی به قطر ۸ تا ۲۸۲ نانومتر انجام دادند. آن‌ها از روش سیم داغ در دمای اتاق برای اندازه‌گیری هدایت گرمایی استفاده کردند. آنها مشاهده کردند که با درصد حجمی ثابت نانوذرات، نسبت هدایت حرارتی با کاهش اندازه ذرات افزایش می‌یابد. این اثرات برای نانوسیالاتی با ذرات کوچکتر از ۵۰ نانومتر بیان شده است (۱). ژو و همکاران<sup>۲</sup> هدایت گرمایی نانوسیالات آب-SiC را با دو نوع از نانوذرات، کرومی با قطر متوسط ۲۶ نانومتر و لوله‌ای با قطر متوسط ۶۰۰ نانومتر را مورد بررسی قرار دادند و دریافتند که ۴/۲ درصد حجمی از نانوذرات کرومی در سیال پایه باعث افزایش ۱۵/۸ درصدی هدایت حرارتی می‌شود. در حالی که نانوسیال با ۴ درصد حجمی نانوذرات لوله‌ای باعث افزایش ۲۲/۹ درصدی هدایت حرارتی می‌شود (۱۰). همانطوری که با دقت در مطالعات پیشین مشاهده می‌شود، در هیچ یک از این مطالعات، تحلیل عددی تاثیر استفاده از گرمایش از کف حامل نانوسیال آلومینا و دی‌اکسید تیتانیوم برای فصول سرد و تحلیل جامع و پارامتریک سیستم گرمایش اجرا نشده است و در این تحقیق به این موضوع پرداخته خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

در این تحقیق به منظور ساده سازی استخراج نتایج، از ناهمگنی در جریان سیال صرف‌نظر شده و جریان تک‌فازی در نظر گرفته شده است. جهت بررسی تاثیر هر یک از نانوسیالات بر رفتار سیالاتی و انتقال حرارتی گلخانه هرمی شکل، تحلیل و شبیه‌سازی گلخانه بر مبنای دینامیک سیالات محاسباتی سه‌بعدی اجرا شده است. روند تحلیل در نرم‌افزار فلونت به این ترتیب است که معادلات ناویر استوکس مستقل از زمان و فرمولاسیون مدل آشفستگی در جریان به صورت اجزای محدود حل می‌شوند. در مجرای ورودی گلخانه،

3- Semi Implicit Method for Pressure Linked Equations

4- solidworks

5- Single-Phase

1- Beck *et al.*

2- Xie *et al.*

باغبانیان و همکاران: شبیه سازی گرمایش از کف...

عدد بی بعد رینولدز در رابطه‌ی مرتبط با اصطکاک به صورت رابطه ۷ حاصل می‌شود:

$$Re_{D_{in}} = \frac{Gr_{D_{in}}}{\mu_{tp}} \quad (۷)$$

با توجه به داده‌های هواشناسی در دو سال اخیر سردترین دما در شبانه روز اهواز استخراج شده و شبیه سازی صورت گرفته بر اساس این داده ها انجام شده است. شرایط دمایی در ۹ نقطه از گلخانه بررسی شده که در شکل ۴ نمایش داده شده است.

### نتایج و بحث

بررسی اثر عدد رینولدز بر عدد ناسلت یا نرخ انتقال حرارت در اشکال ۵ و ۶، تغییرات عدد ناسلت در درصدهای حجمی مختلف بر حسب عدد رینولدز در گرمایش از کف گلخانه‌ی هرمی شکل ترسیم شده است. با تحلیل شکل مشاهده می‌شود که افزایش عدد رینولدز در کلیه‌ی درصدهای حجمی، افزایش عدد ناسلت را در پی دارد. همچنین نانوسیال آلومینا نسبت به نانوسیال دی‌اکسید تیتانیوم دارای عدد ناسلت بیشتری خواهد بود. از طرفی در هر دو نانوسیال با فرض ثابت بودن دمای ورودی ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد و قطر نانوذرات ۵ نانومتر، با افزایش درصد حجمی ذرات در رینولدز ثابت، عدد ناسلت نیز افزایش خواهد داشت. به عنوان مثال در عدد رینولدز ۱۰۰ با افزایش درصد حجمی ۱ درصدی به آب خالص، برای نانوسیال آلومینا، عدد ناسلت ۱/۲ برابر و برای نانوسیال دی‌اکسید تیتانیوم ۱/۲۵ برابر خواهد شد.

کف، افت فشار سیال درون کانال حرارتی گرمایش از کف در حالت تک‌فازی  $\Delta P_{tp}$ ، ناشی از افت فشار مومنتوم (ناشی از تغییرات انرژی جنبشی سیال)  $\Delta P_{mom}$  و افت فشار اصطکاکی درون کانال  $\Delta P_{frict}$  صاف از رابطه‌ی ۳ نتیجه می‌گردد:

$$\Delta P_{TP} = \Delta P_{mom} + \Delta P_{frict-TP} \quad (۳)$$

در رابطه ۳، افت فشار ناشی از اصطکاک کانال به صورت معادلات زیر بیان می‌شود (۵):

$$\Delta P_{frict-TP} = 2f_{tp} \frac{L}{D_{in}} \frac{G_r^2}{\rho_H} \quad (۴)$$

در رابطه ۴،  $G_r$  شار جرمی نانوسیال،  $L$  طول کانال،  $\rho_H$  و  $f_{tp}$  نیز به ترتیب چگالی همگن و ضریب اصطکاک سیال است. ضریب اصطکاک برای کانال صاف و شار جرمی سیال (تقسیم دبی بر مساحت سطح مقطع کانال) از روابط زیر بدست می‌آید.

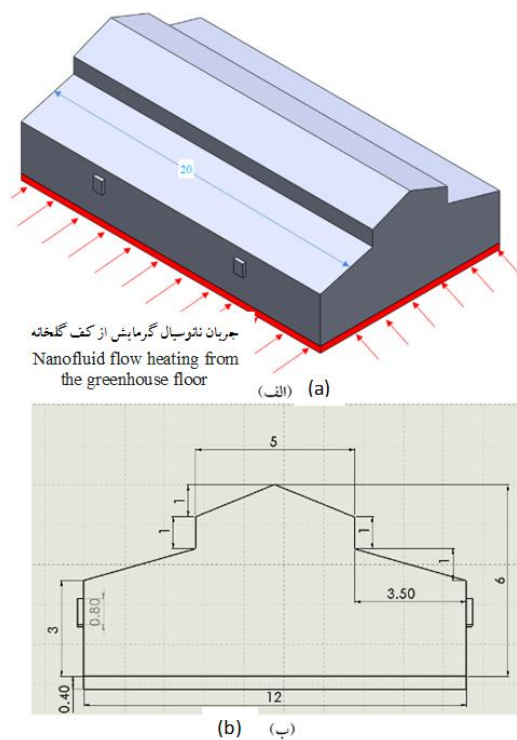
$$f_{tp} = [0.79 \ln(Re_{D_{in}}) - 1.64]^{-2} \quad (۵)$$

$$G_r = \frac{4\dot{m}_r}{\pi D_{in}^2} \quad (۶)$$

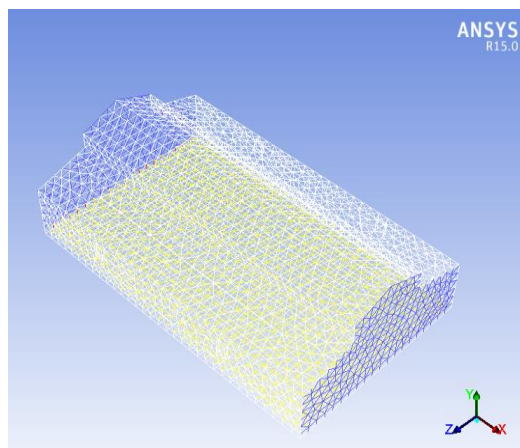
جدول (۱) عوامل مستقل مورد استفاده و سطوح آنها

Table (1) Independent parameters and their corresponding levels

عوامل مستقل Independent parameters	سطوح عوامل Parameter levels					
	1	2	3	4	5	6
عدد رینولدز (Reynolds number)	50	100	150	200	250	300
قطر نانوسیال (Nanofluid diameter)	5	10	15	20	25	30
درصد حجمی نانوسیال (Volume percentage of nanofluid)	0	1	2	3	-	-

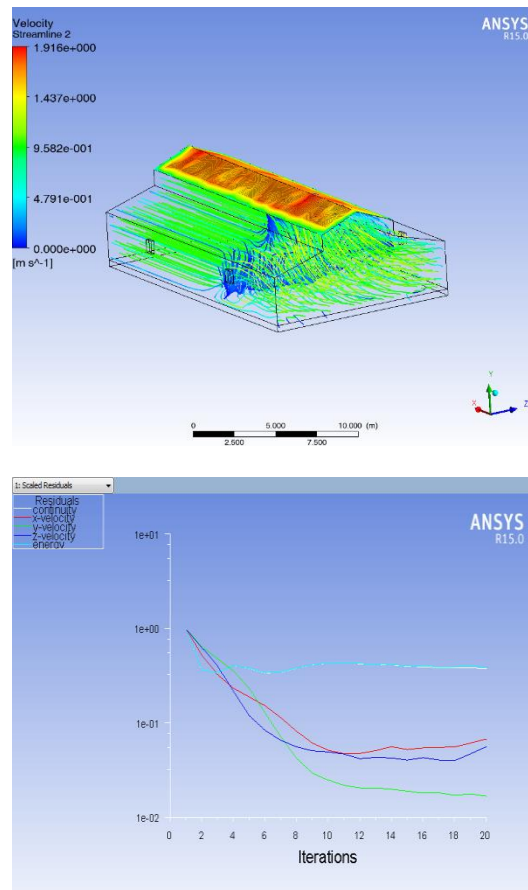


شکل (۱) (a) طرح گلخانه، (b) ابعاد (بر حسب متر) گلخانه‌ی هرمی شکل در نرم‌افزار Solidworks  
Figure (1) (a) greenhouse plan, (b) Pyramid greenhouse dimensions (m) in Solidworks software

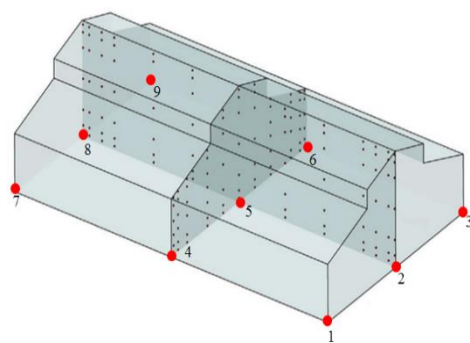


شکل (۲) مدل مش‌بندی شده‌ی گلخانه‌ی هرمی شکل در نرم‌افزار آنسیس فلوئنت  
Figure (2) Meshed model of a pyramidal greenhouse in Ansys Fluent software

باغبانان و همکاران: شبیه سازی گرمایش از کف...

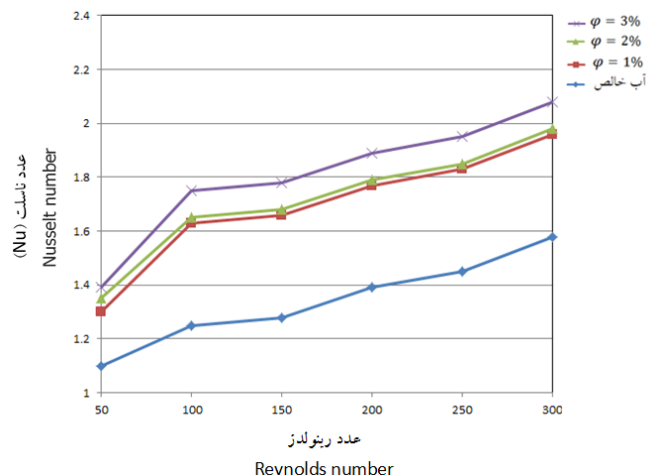


شکل (۳) تحلیل CFD جریان گرمایش از کف گلخانه‌ی هرمی شکل در نرم‌افزار آنسیس فلونت  
Figure (3) CFD analysis of heating flow from the floor of a pyramid-shaped greenhouse in Ansys  
Fluent software



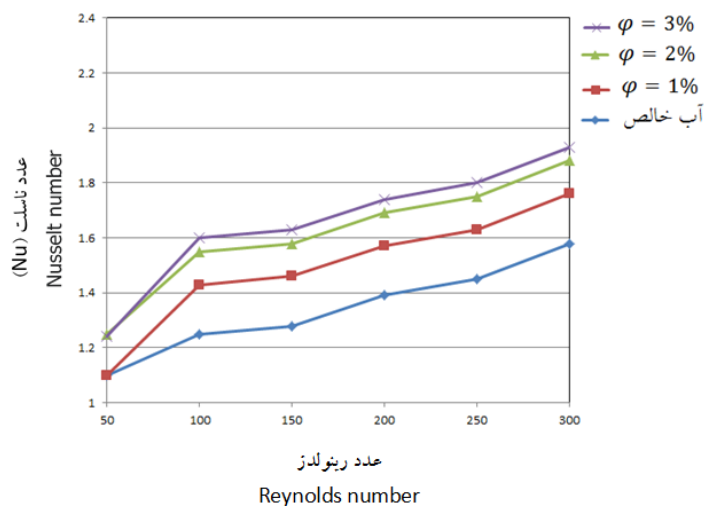
شکل (۴) مقاطع انتخابی از گلخانه برای مقایسه‌ی نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی  
Figure (4) Selected sections from the greenhouse to compare the numerical results with the  
laboratory results





شکل (۵) تغییرات عدد ناسلت متوسط نانوسیال آلومینا بر حسب عدد رینولدز در درصدهای حجمی متفاوت در دمای ورودی ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد و قطر ذرات ۵ نانومتر

Figure (5) Variations of average Nusselt number of alumina nanofluid in terms of Reynolds number in different volume percentages at inlet temperature of 40 degrees Celsius and particle diameter of 5 nm.



شکل (۶) تغییرات عدد ناسلت متوسط نانوسیال دی اکسید تیتانیوم بر حسب عدد رینولدز در درصدهای حجمی متفاوت در دمای ورودی ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد و قطر ذرات ۵ نانومتر

Figure (6) Variations of average Nusselt number of titanium dioxide nanofluid in terms of Reynolds number in different volume percentages at the inlet temperature of 40 degrees Celsius and particle diameter of 5 nm.

بررسی اثر قطر نانوذرات بر عدد ناسلت

افزایش قطر نانوذرات، عدد ناسلت برای هر دو نانوسیال آلومینا و دی اکسید تیتانیوم کاهش خواهد یافت که این کاهش برای نانوسیال دی اکسید تیتانیوم بیشتر است. بنظر می‌رسد افزایش قطر نانوذرات که کاهش ضریب اختلاط بین دو نانوذرات و سیال پایه را در پی خواهد داشت، عامل

در اشکال ۷ و ۸، ترسیمی از تاثیر قطر نانوذرات در درصدهای حجمی مختلف بر عدد ناسلت در دمای ورودی ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد و رینولدز ۱۰۰ برای گرمایش از کف گلخانه‌ی هرمی شکل ترسیم شده است. نتایج نشان می‌دهد با

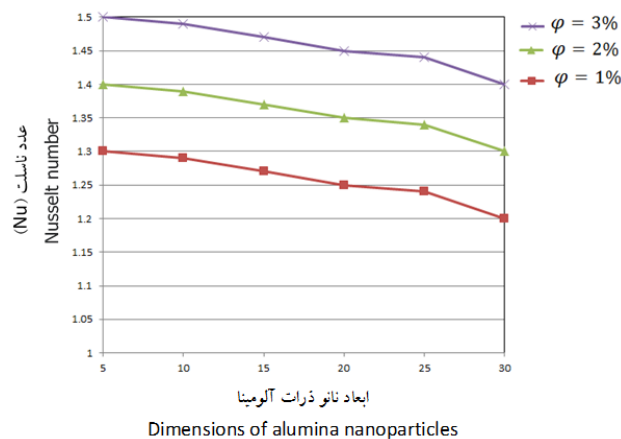
باغبانیان و همکاران: شبیه سازی گرمایش از کف...

دی اکسید تیتانیوم نسبت داده می شود. از طرفی افزایش عدد رینولدز در هر دو نانوسیال افزایش افت فشار را در پی داشته است. همچنین نتایج مرتبط با تغییرات ضریب اصطکاک بر حسب عدد رینولدز در درصدهای حجمی مختلف برای نانوسیالات آلومینا و دی اکسید تیتانیوم در شکل های ۱۱ و ۱۲ ترسیم شده است. نتایج خبر از کاهش ضریب اصطکاک با افزایش عدد رینولدز دارد که این تغییرات در رینولدزهای پایین تر، شدیدتر خواهد بود. این امر به نسبت معکوس بین ضریب اصطکاک و سرعت جریان سیال نسبت داده می شود. همچنین نتایج حاصل شده نشان می دهند که ضریب اصطکاک در جریان حامل نانوذرات دی اکسید تیتانیوم نسبت به نانوذرات آلومینا حساسیت کمتری نسبت به تغییرات عدد رینولدز خواهد داشت. در کلیه نمودارها با افزایش درصد حجمی نانوذرات، ضریب اصطکاک نیز افزایش خواهد یافت.

کاهش عدد ناسلت در این تحلیل شده است که این عدم اختلاط در نانوذرات تیتانیوم شدیدتر می باشد. از طرفی در قطر نانوذرات ثابت، با افزایش درصد حجمی نانوذرات، عدد ناسلت نیز افزایش خواهد یافت که این امر موید نتایج بخش قبلی خواهد بود.

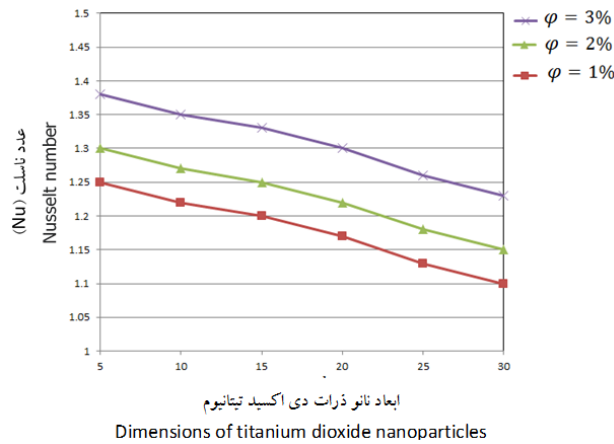
#### بررسی پارامترهای خواص نانوسیال بر افت فشار و ضریب اصطکاک

نتایج مرتبط با افت فشار در گرمایش از کف گلخانه‌ای هرمی شکل در شکل ۹ و ۱۰ برای دو نانوسیال آلومینا و دی اکسید تیتانیوم در دمای ورودی ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد و قطر ۵ نانومتر برای ذرات ترسیم شده است. همانطوری که از نتایج مشخص است، با افزایش درصد حجمی نانوذرات در هر دو نانوسیال، افت فشار افزایش خواهد یافت، که این افت در نانوسیال آلومینا شدیدتر می باشد که این عامل به بالاتر بودن چگالی و لزجت نانوسیال آلومینا نسبت به نانوسیال



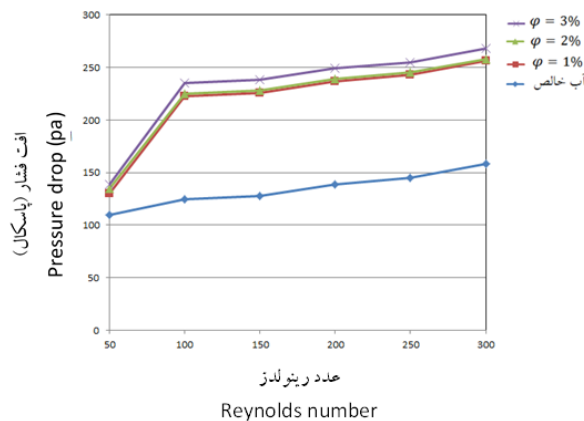
شکل (۷) تغییرات عدد ناسلت متوسط نانوسیال بر حسب ابعاد نانوذرات آلومینا در درصدهای حجمی متفاوت ناسلت در دمای ورودی ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد و رینولدز ۱۰۰

Figure (7) Variations of average Nusselt number of nanofluid according to the dimensions of alumina nanoparticles in different Nusselt volume percentages at the inlet temperature of 40 degrees Celsius and Reynolds number of 100



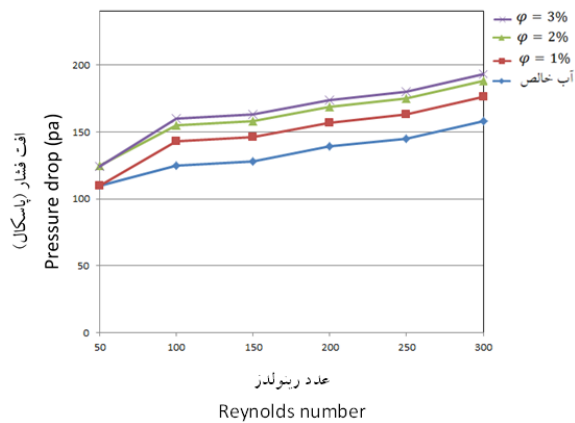
شکل (۸) تغییرات عدد ناسلت متوسط نانوسیال بر حسب ابعاد نانوذرات دی اکسید تیتانیوم در درصدهای حجمی متفاوت ناسلت در دمای ورودی ۴۰ درجه‌ی سانتیگراد و رینولدز ۱۰۰

Figure (8) Variations of average Nusselt number of nanofluids according to the dimensions of titanium dioxide nanoparticles in different Nusselt volume percentages at the inlet temperature of 40 degrees Celsius and Reynolds number of 100



شکل (۹) تغییرات افت فشار نانوسیال آلومینا بر حسب عدد رینولدز در درصدهای حجمی متفاوت

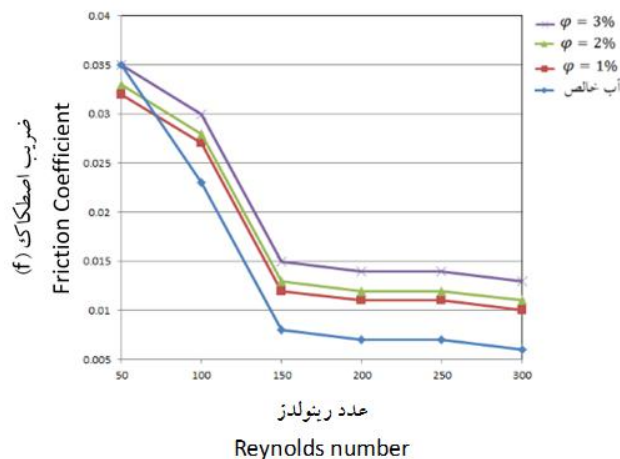
Figure (9) Changes in pressure drop of alumina nanofluid in terms of Reynolds number in different volume percentages



شکل (۱۰) تغییرات افت فشار نانوسیال دی اکسید تیتانیوم بر حسب عدد رینولدز در درصدهای حجمی متفاوت

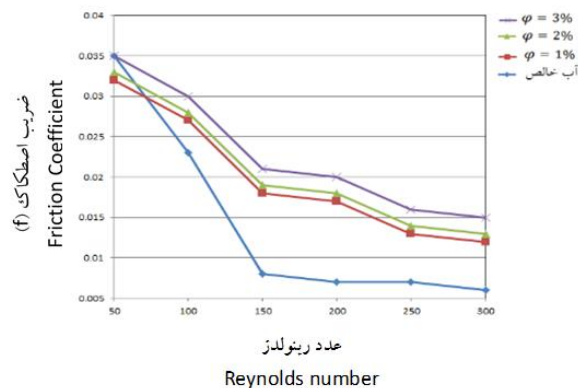
Figure (10) Changes in pressure drop of titanium dioxide nanofluid according to Reynolds number in different volume percentages

باغبانیان و همکاران: شبیه سازی گرمایش از کف...



شکل (۱۱) تغییرات ضریب اصطکاک نانوسیال آلومینا بر حسب عدد رینولدز در درصد های حجمی متفاوت

Figure (11) Changes in the friction coefficient of alumina nanofluid in terms of Reynolds number in different volume percentages



شکل (۱۲) تغییرات ضریب اصطکاک نانوسیال دی اکسید تیتانیوم بر حسب عدد رینولدز در درصد های حجمی متفاوت

Figure (12) Changes in the coefficient of friction of titanium dioxide nanofluid in terms of Reynolds number in different volume percentages

در شکل های ۱۳ و ۱۴، نتایج تحلیل عددی شاخص ارزیابی عملکرد جریان دو نانوسیال تحت بررسی در رینولدزهای مختلف در دمای ورودی ۴۰ درجه سانتیگراد و قطر ۵ نانومتر برای ذرات ترسیم شده است. نتایج نشان می دهد که افزایش عدد رینولدز در هر دو جریان نانوسیال، افزایش شاخص ارزیابی عملکرد گرمایش از کف گلخانه ای هرمی شکل را در پی خواهد داشت. از طرفی در یک رینولدز ثابت، افزایش کسر حجمی نانوذرات موجب افزایش ضریب  $PEC$  می شود، هر چند این افزایش برای درصد حجمی ۳ درصد نسبت به درصد حجمی ۲ درصد برای نانوسیال آلومینا به چشم

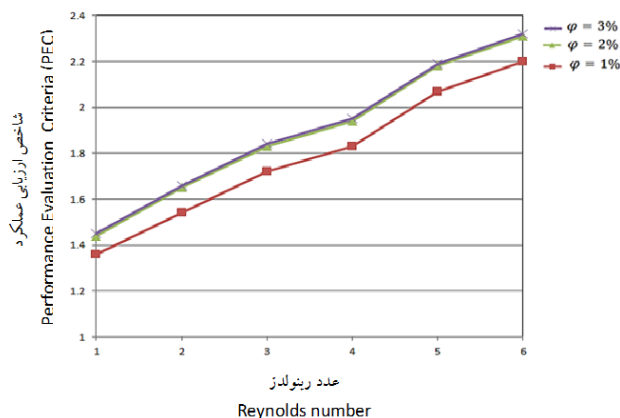
### بررسی پارامترهای خواص نانوسیال بر شاخص ارزیابی عملکرد گرمایش از کف گلخانه ای هرمی شکل

در این بخش ضریبی به نام شاخص ارزیابی عملکرد<sup>۱</sup> در گرمایش از کف گلخانه ای هرمی شکل طبق رابطه ۸ تعریف می شود که می تواند به صورت همزمان ضریب اصطکاک و عدد ناسلت را در تحلیل های مقایسه ای لحاظ کند:

$$PEC = \frac{Nu}{Nu_b} \left( \frac{f}{f_b} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (8)$$

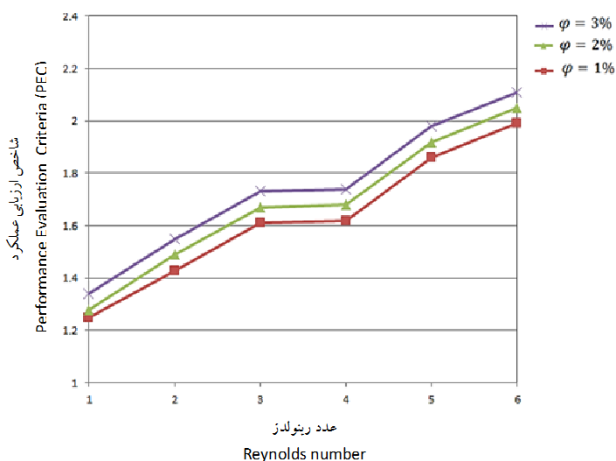
مقدار این ضریب برای نانوسیال آلومینا ۱۴ درصد بیشتر است. از طرفی حساسیت ضریب  $PEC$  نانوسیال دی اکسید تیتانیوم نسبت به نانوسیال آلومینا نسبت به تغییرات عدد رینولدز شدیدتر است.

نمی خورد. این نتیجه به این معناست که افزایش درصد نانوذرات آلومینا به بیش از ۳ درصد حجمی، تاثیر چندانی بر ارتقای شاخص ارزیابی عملکرد نخواهد داشت. با مقایسه ی ضریب  $PEC$  بین نانوسیال آلومینا و نانوسیال دی اکسید تیتانیوم مشاهده می شود که متوسط



شکل (۱۳) تغییرات شاخص ارزیابی عملکرد (PEC) برای نانوسیال آلومینا بر حسب عدد رینولدز در درصدهای حجمی متفاوت

Figure (13) Variations of Performance evaluation Criteria (PEC) for alumina nanofluid in terms of Reynolds number in different volume percentages



شکل (۱۴) تغییرات شاخص ارزیابی عملکرد (PEC) برای نانوسیال دی اکسید تیتانیوم بر حسب عدد رینولدز در درصدهای حجمی متفاوت

Figure (14) Variations of performance evaluation Criteria (PEC) for titanium dioxide nanofluid in terms of Reynolds number in different volume percentages

### نتیجه گیری

مناسب حرارت داخل گلخانه باشد و به منظور بهبود راندمان تجهیزات حرارتی، استفاده از نانوسیالات با توانایی حرارتی بیشتر بسیار حایز اهمیت می باشد. همچنین مقایسه ضریب عملکرد سیستم در اثر استفاده از نانوسیال، نشان از کارایی بالای استفاده از نانوسیالات مورد بررسی نسبت به آب خالص در سیستم گرمایش از کف گلخانه دارد.

بدلیل تولید محصولات گلخانه ای در تمام فصول و ضرورت کنترل دقیق گلخانه، می توان نتیجه گرفت که پرداختن به روش های نوین و پیشرفته در مدیریت و بهینه سازی گلخانه های کشور از اهمیت ویژه ای برخوردار است. نتایج تحقیق حاضر بیانگر این واقعیت است که شبیه سازی گرمایش از کف گلخانه و بررسی جوانب مختلف آن، می تواند معیاری مناسب برای بررسی یکنواخت بودن و توزیع

### References

1. Beck, M., Yuan, Y., Warriar, P., and Teja, A., 2009, "The Effect of Particle Size on the Thermal Conductivity of Alumina Nanofluids," J. Nanopart. Res., 11(5), pp. 1129-1136.
2. Buongiorno, J. 2006. Convective transport in nanofluids ASME Transactions. Journal of Heat Transfer, 128: 240-250.
3. Chopkar, M., Sudarshan, S., Das, P., and Manna, I. 2008. "Effect of Particle Size on Thermal Conductivity of Nanofluid," Metall. Mater. Trans. A, 39: 1535-1542.
4. Ettouney, H., El-Dessouky H., and Al-Ali A. 2018. Heat transfer during phase change of paraffin wax stored in spherical shells. ASME J. Solar Energy Engineering, 127: 357-365.
5. Kotas, T. J. 1985. ,The Exergy Method of Thermal Plant Analysis. Butterworths, London, U.K. pp.197.
6. Lane G. A. 2019. Low temperature heat storage with phase change materials. Int. J. Ambient Energy, 1: 155- 168.
7. Masuda, H., Ebata, A., Teramae, K., and Hishinuma, N. 1993. "Alteration of Thermal Conductivity and Viscosity of Liquid by Dispersing Ultra-Fine Particles (Dispersion of  $\gamma$ - , and Ultra-Fine Particles)," NetsuBussei, 4: 227-233.
8. Mehling H., and Cabeza L. F. 2017. Heat and cold storage with PCM: an up to date introduction into basics and applications, Illustrated Eddition. Springer.
9. Mintsu, H. A., Roy, G., Nguyen, C. T., and Doucet, D. 2009. "New Temperature Dependen Thermal Conductivity Data for Water-Base Nanofluids," Int. J. Therm. Sci., 48: 363-371.
10. Xie, H., Wang, J., Xi, T., and Liu, Y., 2002, "Thermal Conductivity of Suspensions Containing Nanosized SiC Particles," Int. J Thermophys. , 23(2), pp. 571-580.