



ساخت نانو سیال پایه آب و اتیلن گلیکول از نانو ساختارهای کربنی و بررسی عملکرد آن در

مبدل های پوسته ولوله

بهنام زلقی^۱، محمد نیکیان^۲، جواد حسن زاده^۳

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، تاکستان، ایران

۲- استادیار، گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، تاکستان، ایران

۳- استادیار، گروه فیزیک، واحد تاکستان، دانشگاه آزاد اسلامی، قزوین، تاکستان، ایران

behnam_zallaghi@yahoo.com

چکیده:

هدف از این تحقیق بررسی نانو ساختارهای کربنی شامل نانو لوله های کربنی، گرافن و هیبرید گرافن- اکسید آهن به منظور به کارگیری در مبدل پوسته- لوله باهدف بهبود انتقال حرارت می باشد. در ابتدا سعی به ساخت نانو سیال پایدار گردیده و خواص ترموفیزیکی نظیر ویسکوزیته و ضریب هدایت حرارتی مورد بررسی قرار داده شده است. با توجه به بررسی های صورت گرفته تغییرات دانسیته نانو سیالات بسیار ناچیز و قابل چشم پوشی می باشد ولی تغییرات ویسکوزیته نانو سیالات با افزایش غلظت نانو سیالات همراه با افزایش چشمگیر می باشد، ولی در غلظت های پایین ذرات افزایش ویسکوزیته نیز قابل چشم پوشی می باشد. با توجه به بررسی های صورت گرفته افزایش ۳۱٪، ۲۰٪ و ۲۶٪ نانو سیال پایه آبی و ۳۸٪، ۲۹٪ و ۳۴٪ نانو سیال پایه اتیلن گلیکول در ضریب هدایت حرارتی در دمای 40 °C به ترتیب برای نانو سیالات نانو لوله کربنی، گرافن و هیبرید گرافن- اکسید آهن گردیده است. در بین نانو سیالات مورد بررسی بیشترین بهبود در ضریب عملکرد مربوط به نانو سیال حاوی ذرات هیبریدی اکسید آهن- گرافن می باشد که در دمای 80 °C، ۲۱٪ و ۱۵٪ بهبود به ترتیب با پایه آب و اتیلن گلیکول حاصل گردیده است.

کلید واژگان: نانو سیال، نانو لوله کربنی، گرافن- آهن، ضریب هدایت حرارتی، ضریب کارایی، مبدل پوسته- لوله

Preparation of Water and Ethylene Glycol Nanofluids from Carbon Nanostructures and Evaluation of its Performance in Shell & Tube Heat Exchangers

Behnam Zallaghi¹, Mohammad Nikian², Javad Hasanzadeh³

1-MSc Student, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Takestan, Iran

2-Assistant Professor, Department of Mechanical Engineering, Islamic Azad University, Takestan, Iran

3-Assistant Professor, Department of Physics, Islamic Azad University, Takestan, Iran

†Corresponding Author Email: behnam_zallaghi@yahoo.com

Abstract:

The aim of this study was to investigate carbon nanostructures, including carbon nanotubes, graphene and graphene- iron oxide hybrid to use in shell & tube heat exchanger in order to improve the heat transfer effect. First try to build a stable nano-fluid and thermo-physical properties such as viscosity and thermal conductivity are examined. According to surveys conducted, nano-fluid density changes is very low and ignorable but However, nano-fluid viscosity changes with increasing concentrations of nano-fluid is associated with a significant increase, but also at low concentrations of particles increase the viscosity is negligible. According to surveys increase of 31%, 20% and 26% in water-based nano-fluid and 38%, 29% and 34% ethylene glycol nano-base fluid in thermal conductivity at 40 °C for carbon nanotubes nano-fluid, graphene and hybrid graphene-oxide is obtained. Among reviewed nano-fluid greatest improvement in the coefficient of performance is in fluids containing nano-particles of iron oxide-graphene hybrid that at 80 °C, 21% and 15%, respectively, based on water and glycol recovery is achieved.

Keywords: Nano fluids, carbon nanotubes, graphene-metal, thermal conductivity, coefficient of efficiency, shell & tube Heat Exchanger

۱- مقدمه

محیط‌های انتقال حرارت معمولاً از سیالاتی مثل آب، اتیلن گلیکول و روغن تشکیل شده است که ضریب هدایت حرارتی پایینی در مقایسه با این نانو ذرات دارند. به عنوان مثال ضریب هدایت حرارتی مس ۷۰۰ برابر هدایت حرارتی آب و ۳۰۰ برابر ضریب هدایت حرارتی روغن‌موتور و یا ضریب هدایت حرارتی اکسید آلومینیم حدود ۶۰ برابر ضریب هدایت حرارتی آب می‌باشد. [۱، ۲]

بنابراین انتظار می‌رود سیالاتی که شامل ذرات ریز معلق ترکیبات فلزی، اکسید فلزی، نانو لوله کربنی، گرافن و یا هیبریدی از این ذرات باشند، در مقایسه با سیالات خالص خواص حرارتی بهتری از خود نشان دهند [۳]. مساحت سطحی بیشتر نانو ذرات شدت انتقال حرارت را از سیال به ذرات در جاهایی که سیال گرم‌تر از نانو ذرات است افزایش می‌دهد و حرارت را از ذرات به سیال در جاهایی که سیال سرد است منتقل می‌کند [۴]. برای انتقال حرارت به وسیله جابجایی باید ذرات به راحتی توسط سیال جابجا شوند. به خاطر مشکلات تکنولوژیکی، مطالعات انجام گرفته در این زمینه بیشتر بررسی سوسپانسیون‌هایی متمرکز بوده که شامل ذرات جامد معلق در حد میلی‌متر و یا حداکثر میکرومتر هستند. ذرات در این مقیاس مشکلات حادی در تجهیزات انتقال حرارت ایجاد می‌کنند. بطوری که این ذرات به سرعت در سیستم ته‌نشین می‌شوند و در هنگام عبور از کانال‌ها کلوخه شده و موجب گرفتگی می‌شوند که در نتیجه افت فشار زیادی را ایجاد می‌کنند. به‌علاوه برخورد این ذرات با یکدیگر و با دیواره سیستم و تجهیزات ایجاد سایس می‌کنند. به صورت تئوریک مشخص شده است هرچقدر ذرات ریزتر باشند، سطح انتقال حرارت آن‌ها بیشتر می‌شود [۵].

نیروگاه‌ها به عنوان یکی از مهم‌ترین مراکز صنعتی کشورها محسوب می‌شود و از حساسیت ویژه‌ای برخوردار می‌باشند. این اهمیت شامل بخش‌های مختلف بکار رفته در آن نظیر توربین، بویلر و مبدل‌ها می‌باشد.

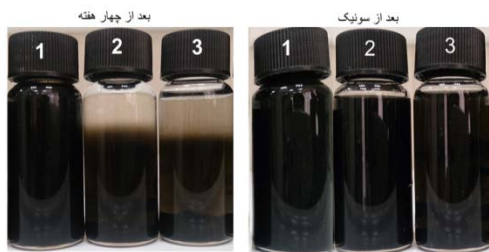
انتقال انرژی حرارتی از یک سیال به سیالی دیگر در صنعت توسط دستگاهی بنام مبدل حرارتی صورت می‌گیرد. در مبدل‌های حرارتی دو سیال با دمای متفاوت وجود دارد که این دستگاه شرایطی را فراهم می‌آورد تا تبادل گرما میان دو سیال برقرار شود. معمولاً مبدل‌های حرارتی به منظور خنک کردن سیال گرم و یا گرم کردن سیال با دمای پایین‌تر و یا هر دو، مورد استفاده قرار می‌گیرند [۶]. مبدل حرارتی از طریق یک سطح واسط موجب انتقال انرژی میان دو سیال می‌شود. با توجه به این‌که نانو ذرات خواص حرارتی سیال را تحت تاثیر

قرار می‌دهد، استفاده از نانو سیالات در مبدل‌های حرارتی می‌تواند بسیار کارآمد و مفید واقع گردد. در پژوهش حاضر نیز با استفاده از نانو ساختارهای کربنی شامل نانو لوله‌های کربنی، گرافن و هیبرید گرافن-اکسید آهن به بررسی عملکرد حرارتی مبدل پوسته و لوله گردیده است.

۲- تحلیل تجربی

۲-۱- پایداری

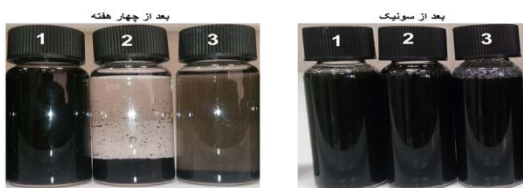
به منظور پایدار سازی نانو ذرات از سه عامل عامل فعال سطحی صمغ عربی، تریتون ایکس-۱۰۰ و CTAB و دستگاه التراسونیک استفاده شده است. برای ساخت نانو سیال ابتدا نانو ذرات و عامل غعال سطحی با نسبت ۱:۱ را وزن نموده، به حجم رسانده و به مدت ۳۰ دقیقه سونیک گردیده است. شکل ۱ تا ۶ نشان دهنده نانو سیال ساخته شده می‌باشد (تنظیمات دستگاه التراسونیک: توان ۱۰۰ وات و ۵ دقیقه زمان کار کرد و ۵ دقیقه زمان استراحت). برای بررسی پایداری نمونه ساخته شده از نمونه با گذر زمان عکس برداری شده است. شکل ۱ نشان دهنده میزان پایداری نانو سیال حاوی نانو لوله‌های کربنی پایه آبی با عوامل فعال سطحی ذکر شده می‌باشد. با استفاده از مواد فعال سطحی صمغ عربی نانو سیال پایدار بوده است و با گذر زمان هیچ‌گونه ته‌نشینی در آن مشاهده نگردیده است. همچنین برای بررسی پایداری نانو سیال ساخته شده از تست زتا پتانسیل^۳ نیز استفاده گردیده است [۶]. محاسبه پتانسیل زتا با استفاده از اثر تفرق نور انجام می‌گردد و در صورتی که پتانسیل زتا بیشتر از ۳۰ میلی ولت و یا کمتر از ۳۰- میلی ولت باشد، نشان از پایداری مناسب ذرات خواهد بود [۷]. شکل ۲ زتا پتانسیل نانو سیال پایه آبی نانو لوله کربنی با صمغ عربی را نشان می‌دهد. همان‌طور که مشاهده می‌شود پیک حاصل در mV5/44- است که نشان دهنده پایداری خوب این نانو سیال می‌باشد.



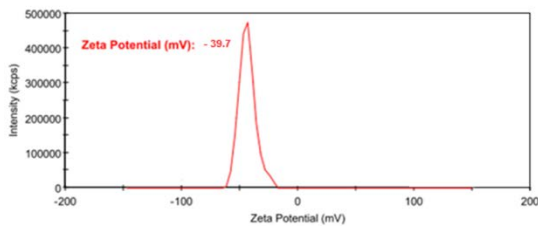
شکل ۱- بررسی میزان پایداری نانو سیال پایه آبی نانو لوله کربنی ساخته شده با عامل فعال سطحی ۱- صمغ عربی ۲- تریتون-ایکس۱۰۰-CTAB

³- zeta potential

می‌باشد که این نشان دهنده پایداری نانو سیال مورد نظر می‌باشد.



شکل ۵ بررسی میزان پایداری نانو سیال پایه آبی گرافن ساخته شده با عامل فعال سطحی ۱-CTAB ۲-تری‌تون-۱۰۰-۳-صمغ عربی

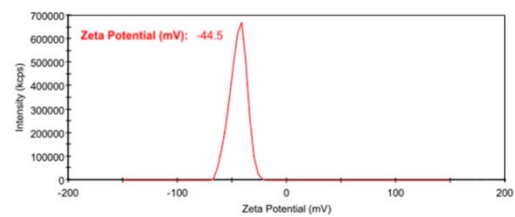


شکل ۶- نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه آبی گرافن با استفاده از عامل فعال سطحی CTAB

شکل ۷ نشان دهنده نانو سیال پایه اتیلن گلیکول حاوی نانو ذرات گرافن می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود نانو سیال نانو سیالات تهیه شده با عامل فعال سطحی صمغ عربی و تری‌تون-۱۰۰-۱۰۰ پایدار نبوده و ته‌نشین گردیده‌اند ولی نانو سیال تهیه شده با عامل سطحی CTAB کاملاً پایدار می‌باشد و با گذر زمان ته‌نشینی مشاهده نگردیده است. شکل ۸ نشان دهنده نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه اتیلن گلیکول گرافن با استفاده از عامل فعال سطحی CTAB می‌باشد. همان‌گونه که نمایان است میزان زتا پتانسیل mV 5/43- می‌باشد که این نشان دهنده پایداری نانو سیال مورد نظر می‌باشد.

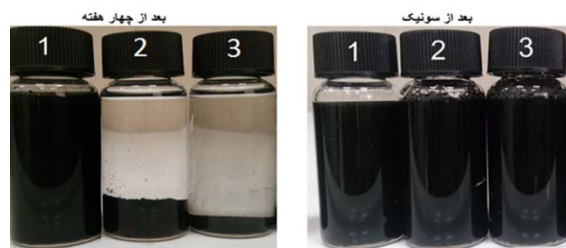


شکل ۷- بررسی میزان پایداری نانو سیال پایه اتیلن گلیکول گرافن ساخته شده با عامل فعال سطحی ۱-CTAB ۲-تری‌تون-۱۰۰-۳-صمغ عربی

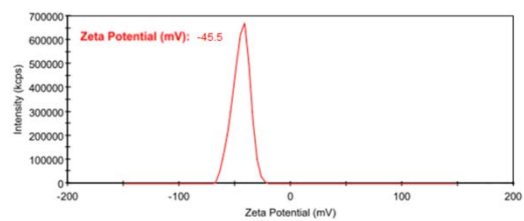


شکل ۸- نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه آبی نانو لوله کربنی با عامل فعال سطحی صمغ عربی

شکل ۹ نشان دهنده میزان پایداری نانو سیال حاوی نانو لوله‌های کربنی پایه اتیلن گلیکول با استفاده از عوامل فعال سطحی می‌باشد. نانو سیال تهیه شده با استفاده از عامل فعال سطحی صمغ عربی کاملاً پایدار می‌باشد و با گذر زمان نیز ته‌نشین نگردیده است. شکل ۱۰ نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه اتیلن گلیکول حاوی نانو لوله کربنی با عامل فعال سطحی صمغ عربی را نشان می‌دهد. پیک حاصل در mV 5/45- است که نشان دهنده پایداری خوب نانو سیال تهیه شده می‌باشد.



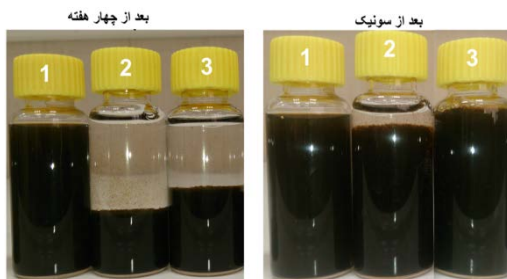
شکل ۹- بررسی میزان پایداری نانو سیال پایه اتیلن گلیکول نانو لوله کربنی ساخته شده با عامل فعال سطحی ۱-صمغ عربی ۲-تری‌تون-۱۰۰-۳-CTAB



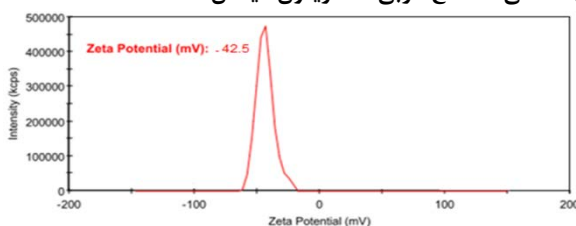
شکل ۱۰- نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه اتیلن گلیکول نانو لوله‌های کربنی با عامل فعال سطحی صمغ عربی

شکل ۱۱ نشان دهنده میزان پایداری نانو سیال پایه آبی حاوی گرافن با عوامل فعال سطحی می‌باشد. نانو سیال تهیه شده با استفاده از عامل فعال سطحی CTAB نانو سیال کاملاً پایدار می‌باشد و هیچ‌گونه ته‌نشینی در آن مشاهده نگردیده است. شکل ۱۲ نشان دهنده نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه آبی گرافن با استفاده از عامل فعال سطحی CTAB می‌باشد. همان‌گونه که نمایان است میزان زتا پتانسیل mV 7/39- است.

شکل ۱۱ نشان دهنده نانو سیال پایه اتیلن گلیکول حاوی ذرات هیبریدی گرافن-اکسید آهن می‌باشد. با توجه به تصویر نانو سیال تهیه شده با عامل فعال سطحی صمغ عربی از پایداری مناسبی برخوردار می‌باشد و با گذر زمان ته‌نشین نگردیده است. همان‌گونه که در تصویر نیز قابل مشاهده می‌باشد نانو سیال تهیه شده با استفاده از عامل فعال سطحی تریتون-۱۰۰ و CTAB ته‌نشین گردیده‌اند. شکل ۱۲ نشان دهنده نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه اتیلن گلیکول هیبرید گرافن-اکسید آهن با استفاده از عامل فعال سطحی صمغ عربی می‌باشد که میزان زتا پتانسیل برابر $-42/5$ mV می‌باشد که این نشان دهنده میزان مناسب پایداری می‌باشد.



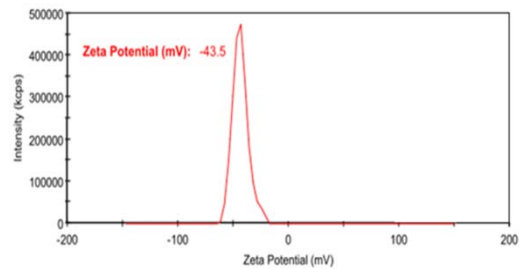
شکل ۱۱- بررسی میزان پایداری نانو سیال پایه اتیلن گلیکول هیبرید گرافن-اکسید آهن ساخته شده با عامل فعال سطحی ۱-صمغ عربی ۲-تریتون-۱۰۰ ۳-CTAB



شکل ۱۲- نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه اتیلن گلیکول هیبرید گرافن-اکسید آهن با استفاده از عامل فعال سطحی صمغ عربی

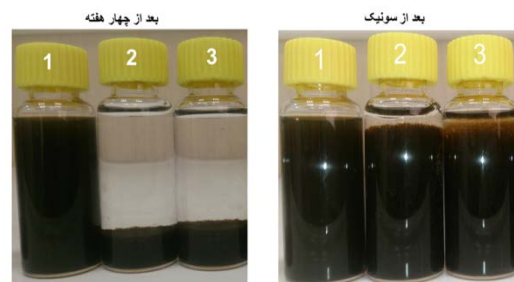
۲-۲- مبدل حرارتی مورد آزمایش

برای بررسی اثر نانو سیالات بر ضریب عملکرد مبدل، نیاز به طراحی سیستم آزمایشگاهی می‌باشد. بدین منظور در تحقیق حاضر یک مبدل حرارتی پوسته-لوله در ابعاد آزمایشگاهی طراحی گردیده است. سیال گرم درون پوسته و سیال سرد درون لوله مبدل جاری می‌گردد. شماتیک مبدل ساخته شده در شکل ۳ نشان داده شده است که لوله درون مبدل به صورت رفت و برگشتی می‌باشد که دارای طول کلی ۱۶۰ سانتیمتر یا به عبارتی طول هر پس آن ۸۰ سانتیمتر و قطر ۱٫۵ سانتیمتر می‌باشد. حجم سیال مورد نیاز برای پرکردن پوسته مبدل ۲ لیتر است. سیال گرم از درون پوسته و سیال سرد از لوله مبدل عبور می‌نماید. برای اینکه بتوان دمای سیال را بالا برد و یا

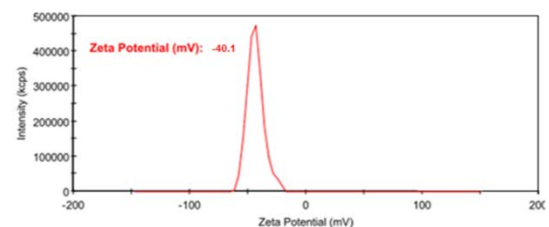


شکل ۸- نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه اتیلن گلیکول گرافن با استفاده از عامل فعال سطحی CTAB

شکل ۹ نشان دهنده اثر عامل فعال سطحی بر پایداری نانو سیال پایه آبی حاوی ذرات هیبریدی گرافن-اکسید آهن می‌باشد. با توجه به آن نانو ذرات با استفاده از عامل فعال سطحی تریتون-۱۰۰ و CTAB کاملاً ناپایدار می‌باشد. بهترین عامل فعال سطحی برای پایداری نانو ذرات هیبریدی گرافن-اکسید آهن، صمغ عربی می‌باشد که با گذر زمان هیچ‌گونه ناپایداری مشاهده نگردیده است. شکل ۱۰ نشان دهنده نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه آبی هیبرید گرافن-اکسید آهن با استفاده از عامل فعال سطحی صمغ عربی می‌باشد که میزان زتا پتانسیل برابر $-40/1$ mV می‌باشد که طبق آن نانو سیال مورد نظر از پایداری مناسب برخوردار می‌باشد.



شکل ۹- بررسی میزان پایداری نانو سیال پایه آبی هیبرید گرافن-اکسید آهن ساخته شده با عامل فعال سطحی ۱-صمغ عربی ۲-تریتون-۱۰۰ ۳-CTAB



شکل ۱۰- نمودار زتا پتانسیل نانو سیال پایه آبی هیبرید گرافن-اکسید آهن با استفاده از عامل فعال سطحی صمغ عربی

اگر مبدل حرارتی به غیر از نوع دو لوله‌ای بکار برده شود انتقال حرارت با اعمال یک ضریب تصحیح F که در یک آرایه دو لوله‌ای با جریان مخالف و درجه حرارت‌های سیال گرم و سرد مشابه وجود دارد محاسبه خواهد شد. معادله انتقال حرارت در این حالت به صورت زیر خواهد بود:

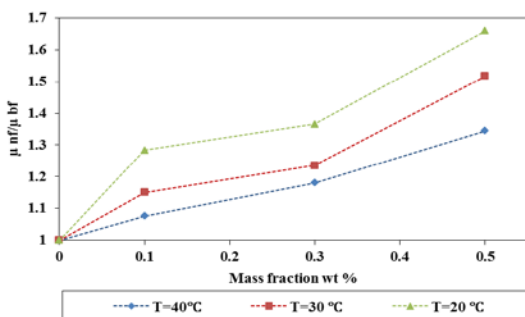
$$\Delta T_{LMTD} = F \cdot \Delta T_{LMTD} \quad (4)$$

$$UA = \frac{Q}{F \cdot \Delta T_{LMTD}} \quad (5)$$

۳- نتایج

۳-۱- ویسکوزیته

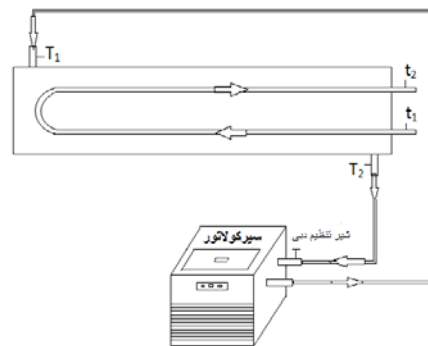
ویسکوزیته نانو سیالات یکی از عوامل کلیدی در استفاده از نانو سیالات می‌باشد زیرا افزایش ویسکوزیته موجب کاهش راندمان و افزایش توان پمپ در سیستم‌ها می‌گردد. به همین دلیل در پژوهش حاضر ویسکوزیته نانو سیالات مورد استفاده را در دماهای 20°C ، 30°C و 40°C و غلظت‌های $0/1$ ، $0/3$ و $0/5$ درصد وزنی ذرات مورد بررسی قرار گرفته است. شکل ۱۴ نشان دهنده تغییرات لزجت نانو لوله‌های کربنی پایه آب با عامل فعال سطحی صمغ عربی در دما و غلظت‌های مختلف می‌باشد. لزجت نانو سیال مورد نظر با افزایش درصد وزنی نانو ذرات افزایش می‌یابد و همچنین با افزایش دما لزجت کاهش می‌یابد. بیشترین افزایش لزجت نانو سیالات حاوی نانو لوله کربنی در غلظت $0/5$ درصد وزنی نانو ذرات و در دمای 20°C می‌باشد که همراه با افزایش 65% در لزجت نسبت به سیال پایه می‌باشد و کمترین تغییر در لزجت در غلظت $0/1$ درصد وزنی ذرات و دمای 40°C می‌باشد که 7% افزایش در لزجت مشاهده گردیده است.



شکل ۱۴ - تغییرات لزجت نانو سیال نانو لوله کربنی پایه آبی برحسب تغییر غلظت ذرات در دماهای 20°C ، 30°C و 40°C

شکل ۱۵ نشان دهنده تغییرات لزجت نانو سیال پایه اتیلن گلیکول حاوی نانو لوله‌های کربنی با عامل فعال سطحی صمغ عربی می‌باشد. با افزایش غلظت و کاهش دما لزجت نانو سیال افزایش می‌یابد

اینکه دمای سیال گرم ورودی به مبدل را ثابت نگه داشت از سیرکولاتور استفاده گردیده است. بدین نحو که نانو سیال را درون سیرکولاتور ریخته و دما را به صورت دلخواه تنظیم گردد، بعد از ثابت شدن دمای سیال درون سیرکولاتور، پمپ سیرکولاتور را روشن نموده تا سیال به درون مبدل پمپ گردد. قابل ذکر است که سیرکولاتور مورد استفاده دارای یک شیر خروجی می‌باشد که با استفاده از آن می‌توان دبی سیال ورودی به مبدل را تغییر داد. سیال سرد ورودی به مبدل را آب شهر انتخاب کرده بدین صورت که با دبی ثابت و به صورت پیوسته وارد لوله مبدل شده و با سیال گرم درون پوسته انتقال حرارت می‌دهد و از مبدل خارج می‌گردد.



شکل ۳۱- طرحی از دستگاه ساخته شده برای تعیین ضریب عملکرد مبدل

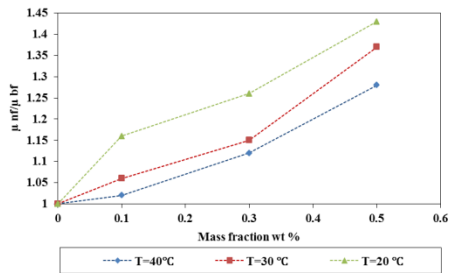
به منظور محاسبه ضریب عملکرد مبدل نیاز به دمای سیال گرم ورودی، سیال گرم خروجی، سیال سرد ورودی و سیال سرد خروجی از مبدل می‌باشد با مشخص بودن دماها و روابط موجود برای بررسی عملکرد مبدل‌های حرارتی، ضریب عملکرد مبدل قابل محاسبه می‌باشد. برای اندازه‌گیری دماهای ورودی و خروجی، از ترموکوپل نوع k مورد استفاده قرار گرفته است.

رابطه (۱) نشان دهنده موازنه انرژی برای سیال سرد و گرم می‌باشد، که فرض شده است میزان گرمایی که سیال گرم در طول مبدل از دست می‌دهد برابر میزان گرمایی است که سیال سرد دریافت می‌نماید و هیچ گونه هدر رفت انرژی وجود ندارد. با استفاده از رابطه (۲) و محاسبه اختلاف دمای لگاریتمی و محاسبه میزان گرمای Q به راحتی می‌توان ضریب عملکرد مبدل را محاسبه نمود.

$$Q = m_{\text{سیال سرد}} (T_{\text{سیال داغ خروجی}} - T_{\text{سیال داغ ورودی}}) = m_{\text{سیال سرد}} (T_1 - T_2) \quad (1)$$

$$Q = U \cdot A \cdot \Delta T_{LMTD} \quad (2)$$

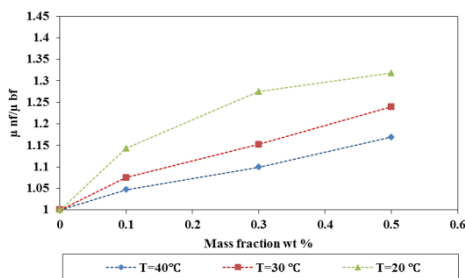
$$UA = \frac{Q}{\Delta T_{LMTD}} \quad (3)$$



شکل ۱۷- تغییرات لزجت نانو سیال پایه اتیلن گلیکول گرافن

برحسب تغییر غلظت ذرات در دماهای ۲۰°C، ۳۰°C و ۴۰°C

شکل ۱۸ نشان دهنده تغییرات لزجت نانو سیال حاوی ذرات هیبرید گرافن- اکسید آهن پایه آب و دما و غلظت می‌باشد. بیشترین افزایش در لزجت نانو سیال مورد نظر در دمای ۲۰°C و غلظت ۰/۵ درصد وزنی ذرات می‌باشد که لزجت تا ۳۱٪ افزایش یافته است. کمترین تغییر در لزجت در غلظت ۰/۱ درصد وزنی و در دمای ۴۰°C می‌باشد که لزجت نسبت به سیال پایه ۴/۷٪ افزایش یافته است.

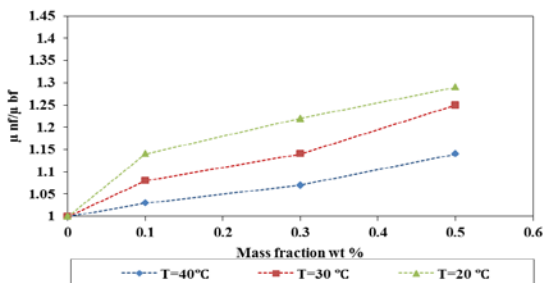


شکل ۱۸- تغییرات لزجت نانو سیال پایه آب هیبرید

گرافن-اکسید آهن برحسب تغییر غلظت ذرات در دماهای

۴۰°C، ۳۰°C، ۲۰°C

شکل ۱۹ نشان دهنده تغییرات لزجت سیال پایه اتیلن گلیکول هیبرید گرافن- اکسید آهن می‌باشد. که بیشترین لزجت در دمای ۲۰°C و غلظت ۰/۵ درصد وزنی می‌باشد که لزجت ۲۹٪ افزایش می‌یابد. کمترین لزجت در دمای ۴۰°C و کمترین غلظت (۰/۱ درصد وزنی) ذرات می‌باشد که موجب افزایش ۳٪ لزجت نسبت به سیال پایه گردیده است.

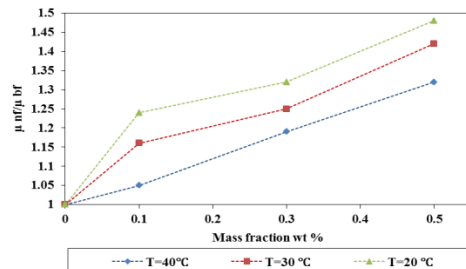


شکل ۱۹ تغییرات لزجت نانو سیال پایه اتیلن گلیکول

هیبرید گرافن-اکسید آهن برحسب تغییر غلظت ذرات در

دماهای ۴۰°C، ۳۰°C، ۲۰°C

که بیشترین افزایش در لزجت در غلظت ۰/۵ درصد وزنی ذرات و دمای ۲۰°C می‌باشد که لزجت ۴۸٪ نسبت به سیال پایه افزایش یافته است و کمترین تغییر در لزجت در غلظت ۰/۱ درصد وزنی ذرات و دمای ۴۰°C می‌باشد که لزجت ۵٪ نسبت به سیال پایه افزایش یافته است.

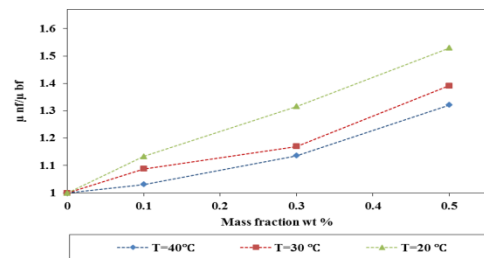


شکل ۱۵- تغییرات لزجت نانو سیال نانو لوله کربنی پایه

اتیلن گلیکول برحسب تغییر غلظت ذرات در دماهای ۲۰°C، ۳۰°C و

۴۰°C

شکل ۱۶ نشان دهنده تغییرات لزجت نانو سیال پایه آب حاوی صفحات گرافن با تغییر غلظت و دما می‌باشد که با استفاده از عامل فعال سطحی CTAB پایدار گردیده‌اند. بیشترین افزایش لزجت در دمای ۲۰°C و غلظت ۰/۵ درصد وزنی می‌باشد که لزجت ۵۲٪ نسبت به سیال پایه افزایش یافته است و کمترین تغییر در لزجت مربوط به غلظت ۰/۱ درصد وزنی و دمای ۴۰°C می‌باشد که لزجت ۳٪ افزایش یافته است.

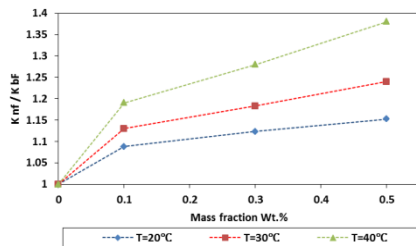


شکل ۱۶- تغییرات لزجت نانو سیال پایه آب گرافن

برحسب تغییر غلظت ذرات در دماهای ۲۰°C، ۳۰°C، ۴۰°C

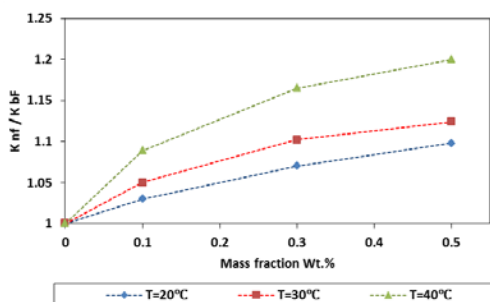
شکل ۱۷ نشان دهنده تغییرات لزجت نانو سیالات پایه اتیلن گلیکول حاوی نانو ذرات گرافن می‌باشد. بیشترین افزایش لزجت ۴۳٪ در کمترین دما و بیشتر غلظت (۲۰°C و غلظت ۰/۵ درصد وزنی ذرات) و کمترین افزایش در لزجت به میزان ۲٪ در بیشترین دما و کمترین غلظت (۴۰°C و غلظت ۰/۱ درصد وزنی ذرات) می‌باشد.

ضریب هدایت حرارتی سیال نسبت به سیال پایه گردیده است که بیشترین افزایش در ضریب هدایت حرارتی در غلظت ۰/۵ درصد وزنی ذرات و دمای 40°C می‌باشد که موجب افزایش ۳۸٪ در ضریب هدایت حرارتی گردیده است و کمترین افزایش در ضریب هدایت حرارتی در غلظت ۰/۱ درصد وزنی در دمای 20°C می‌باشد، که موجب افزایش ۸/۸٪ در ضریب هدایت حرارتی گردیده است.



شکل ۲۱- تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه اتیلن گلیکول نانو لوله‌های با درصد وزنی ذرات در سه دمای سیال

شکل ۲۲ نشان دهنده تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه آبی حاوی صفحات گرافن با عامل فعال سطحی CTAB با تغییرات دما و غلظت ذرات می‌باشد. افزایش دما و غلظت موجب افزایش ضریب هدایت حرارتی نسبت به سیال پایه گردیده است. بیشترین افزایش در دمای 40°C و غلظت ۰/۵ درصد وزنی ذرات می‌باشد که همراه با ۲۰٪ بهبود در ضریب هدایت حرارتی نسبت به سیال پایه گردیده است و کمترین میزان بهبود ۳٪ در 20°C و غلظت ۰/۱ درصد وزنی ذرات می‌باشد.



شکل ۲۲- تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه آبی گرافن با درصد وزنی ذرات در سه دمای سیال

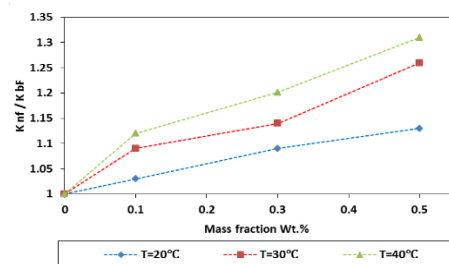
شکل ۲۳ نشان دهنده تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه اتیلن گلیکول گرافن با عامل فعال سطحی CTAB می‌باشد. بیشترین بهبود در ضریب هدایت حرارتی به میزان ۲۹٪ در دمای 40°C و غلظت ۰/۵ درصد وزنی ذرات

با توجه به نتایج حاصل، ویسکوزیته نانو سیال با افزایش غلظت نانو ذرات افزایش می‌یابد. نانو ذرات تمایل زیادی دارند که بر اثر نیروهای واندروالسی به یکدیگر چسبیده، ولی نیروهای الکتروستاتیک که بر اثر عامل فعال سطحی به وجود می‌آیند مانع از چسبیدن ذرات به یکدیگر می‌گردند که این موجب می‌شود ویسکوزیته نانو سیالات در غلظت‌های پایین ذرات نسبت به سیال پایه تغییرات چشمگیری نداشته باشد. ولی زمانی که غلظت ذرات از یک حد می‌گذرد نیروهای واندروالسی بین ذرات بر نیروهای الکتروستاتیک غلبه کرده و ذرات به یکدیگر نزدیک و یا به یکدیگر چسبیده و موجب افزایش مقاومت سیال در مقابل تنش‌های وارد شده می‌گردد و تمایل سیال در مقابل جاری شدن کاهش می‌یابد [۸]. این اثر موجب افزایش ویسکوزیته نانو سیالات می‌گردد.

۳-۲- ضریب هدایت حرارتی

به منظوری اندازه‌گیری ضریب انتقال حرارت نانو سیالات از دستگاه KD2 pro استفاده گردیده است.

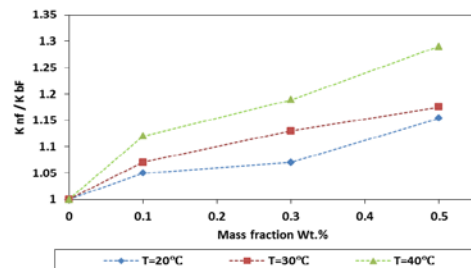
شکل ۲۰ نشان دهنده تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه آبی حاوی نانو لوله‌های کربنی با عامل فعال سطحی صمغ عربی با تغییرات دما و غلظت نانو ذرات می‌باشد. با افزایش درصد وزنی ذرات و افزایش دما ضریب هدایت حرارتی افزایش می‌یابد که بیشترین افزایش در دمای 40°C و غلظت ۰/۵ درصد وزنی ذرات می‌باشد که موجب افزایش ۳۱٪ در ضریب هدایت حرارتی نسبت به سیال پایه گردیده است. کمترین افزایش در ضریب هدایت حرارتی مربوط به غلظت ۰/۱ درصد وزنی ذرات در دمای 20°C می‌باشد که موجب افزایش ۳٪ در ضریب هدایت حرارتی گردیده است.



شکل ۲۰- تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه آبی نانو لوله‌های کربنی با درصد وزنی ذرات در سه دمای سیال

شکل ۲۱ نشان دهنده تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه اتیلن گلیکول حاوی نانو لوله‌های کربنی در دما و غلظت‌های مختلف ذرات می‌باشد. نانو سیال مورد نظر در تمامی دماها و غلظت‌های مورد بررسی موجب افزایش در

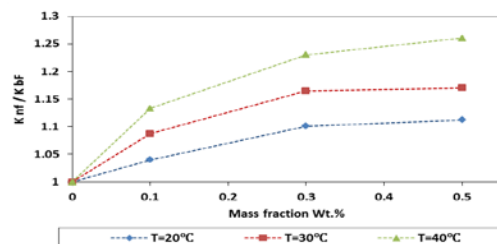
می‌باشد. کمترین بهبود ۵٪ در دمای ۲۰°C و غلظت ۰/۱ درصد وزنی نانو ذرات می‌باشد.



شکل ۲۳- تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه

اتیلن گلیکول گرافن با درصد وزنی نانو ذرات در سه دمای سیال

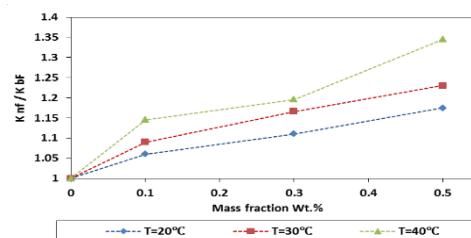
شکل ۲۴ نشان دهنده تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه آب حاوی هیبرید گرافن- اکسید آهن با تغییرات غلظت و دما می‌باشد. بیشترین بهبود در ضریب هدایت حرارتی در دمای ۴۰°C و غلظت ۰/۵ درصد وزنی نانو ذرات می‌باشد که موجب افزایش ۲۶٪ در ضریب هدایت حرارتی نسبت به سیال پایه گردیده است و کمترین بهبود در دمای ۲۰°C و غلظت ۰/۱ درصد وزنی که موجب بهبود ۴٪ در ضریب هدایت حرارتی گردیده است.



شکل ۲۴- تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه

آبی هیبرید گرافن-اکسید آهن با درصد وزنی نانو ذرات در سه دمای سیال

شکل ۲۵ نشان دهنده تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه اتیلن گلیکول هیبرید گرافن- اکسید آهن با تغییرات دما و غلظت ذرات می‌باشد. بیشترین بهبود در ضریب هدایت حرارتی ۳۴٪ نسبت به سیال پایه در غلظت ۰/۵ درصد وزنی و دمای ۴۰°C و کمترین بهبود به میزان ۶٪ در کمترین غلظت و دما (۲۰°C و غلظت ۰/۱ درصد وزنی ذرات) می‌باشد.



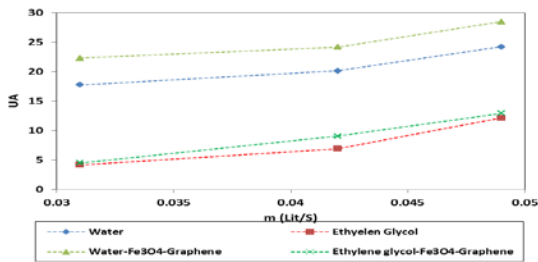
شکل ۲۵ تغییرات ضریب هدایت حرارتی نانو سیال پایه اتیلن گلیکول هیبرید گرافن-اکسید آهن با درصد وزنی نانو ذرات در سه دمای سیال

تغییرات ضریب هدایت حرارتی با دما و غلظت به صورت کاملاً غیرخطی می‌باشد. با افزایش غلظت ذرات و همچنین دما ضریب هدایت حرارتی سیال افزایش می‌یابد. افزایش غلظت ذرات با توجه به بالا بودن ضریب هدایت حرارتی ذرات در حالت جامد، موجب افزایش در ضریب هدایت حرارتی نانو سیال می‌گردد و همچنین افزایش در غلظت ذرات موجب ایجاد شبکه‌ای به هم پیوسته بین ذرات در سطح سیال می‌گردد که موجب می‌شود انتقال انرژی راحت‌تر صورت گیرد افزایش دمای سیال موجب افزایش حرکات براونی ذرات و حرکات تصادفی ذرات در سطح سیال می‌گردد که این اثر نقش بسیار مفیدی در تبادل انرژی در سیال ایفا می‌نماید و حرارت از یک نقطه به نقطه دیگر با سرعت بیشتری منتقل می‌شود.

۳-۳- عملکرد مبدل

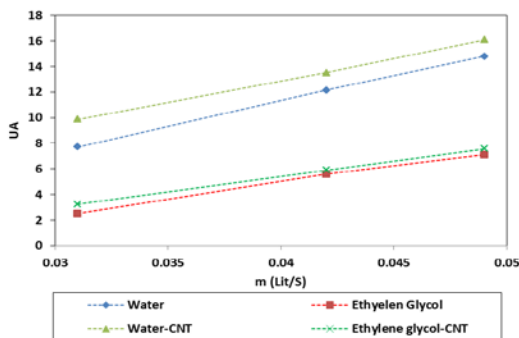
در پژوهش حاضر با استفاده از نانو سیالات سعی به بررسی تغییرات حاصله در مبدل پوسته-لوله گردیده است. تمامی بررسی‌های صورت گرفته در دو دمای ۸۰°C و ۶۰°C سیال گرم ورودی به پوسته مبدل و همچنین سه دبی ۰/۰۳، ۰/۰۴ و ۰/۰۴۵ لیتر بر ثانیه سیال گرم ورودی به پوسته مبدل و با شرایط ثابت سیال سرد ورودی به لوله مبدل در دمای ثابت ۲۳°C و دبی ۰/۰۳ لیتر بر ثانیه مورد بررسی قرار گرفته است. با توجه به اینکه عمده سیالات مورد استفاده در مبدل‌های حرارتی اتیلن گلیکول می‌باشند، در این تحقیق با انتخاب این سیال به عنوان سیال پایه سعی به بررسی اثر نانو سیال گردیده است.

شکل ۲۶ نشان دهنده تغییرات ضریب عملکرد مبدل نانو سیال نانو لوله‌های کربنی پایه آب و اتیلن گلیکول می‌باشد. همان‌گونه که نمایان است با افزایش دبی سیال گرم ورودی، تغییرات ضریب عملکرد مبدل صعودی می‌باشد. استفاده از نانو سیال نانو لوله کربنی در هر دو سیال پایه همراه با بهبود ضریب عملکرد مبدل بوده است ولی میزان بهبود برای نانو سیال پایه آبی بیشتر از نانو سیال پایه اتیلن گلیکول می‌باشد. بیشترین ضریب عملکرد در بیشترین دبی برای نانو سیال پایه آبی مشاهده گردید. به صورت میانگین نانو سیال نانو لوله کربنی موجب افزایش ۲۰٪ و ۱۳/۵٪ به ترتیب برای نانو سیال پایه آبی و اتیلن گلیکول نسبت به سیال پایه گردیده است.



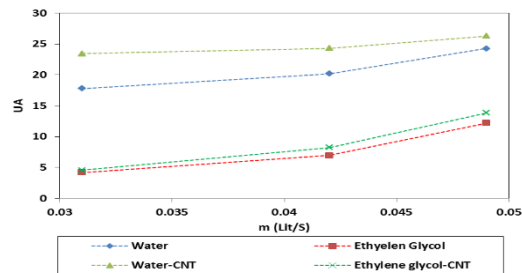
شکل ۲۸- تغییرات ضریب عملکرد مبدل نانو سیال پایه آب و اتیلن گلیکول هیبرید اکسید آهن-گرافن در دمای ثابت ۲۳°C سیال سرد ورودی و دمای ثابت ۸۰°C سیال گرم ورودی به مبدل برحسب تغییرات دبی سیال گرم ورودی به پوسته

شکل‌های ۲۹ تا ۳۱ نشان دهنده تغییرات ضریب عملکرد مبدل با کاهش دمای سیال گرم ورودی به مبدل از ۸۰°C به ۶۰°C می‌باشد. شکل ۲۹ نشان دهنده تغییرات برای نانو سیال نانو لوله کربنی پایه آب و اتیلن گلیکول می‌باشد. همان گونه که قابل مشاهده می‌باشد با کاهش تغییر دمای سیال گرم ورودی به پوسته نیز با افزایش دبی سیال ضریب عملکرد به صورت صعودی تغییر می‌نماید. بیشترین ضریب عملکرد برای نانو سیال پایه آبی و کمترین ضریب عملکرد مربوط به نانو سیال پایه اتیلن گلیکول که به ترتیب موجب افزایش ۱۶٪ و ۱۳٪/۷ نسبت به سیال پایه گردیده است.



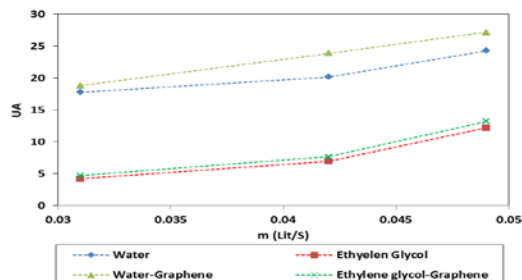
شکل ۲۹ تغییرات ضریب عملکرد مبدل نانو سیال پایه آب و اتیلن گلیکول نانو لوله کربنی در دمای ثابت ۲۳°C سیال سرد ورودی و دمای ثابت ۶۰°C سیال گرم ورودی به مبدل برحسب تغییرات دبی سیال گرم ورودی به پوسته

شکل ۳۰ نشان دهنده تغییرات ضریب عملکرد مبدل با استفاده از نانو سیال گرافن پایه آب و اتیلن گلیکول می‌باشد. همان گونه که نمایان است میزان بهبود با کاهش دمای سیال گرم ورودی به مبدل کاهش یافته است. کمترین بهبود مربوط به نانو سیال پایه اتیلن گلیکول می‌باشد که موجب بهبود ۶٪ و



شکل ۲۶- تغییرات ضریب عملکرد مبدل نانو سیال پایه آب و اتیلن گلیکول نانو لوله کربنی در دمای ثابت ۲۳°C سیال سرد ورودی و دمای ثابت ۸۰°C سیال گرم ورودی به مبدل برحسب تغییرات دبی سیال گرم ورودی به پوسته

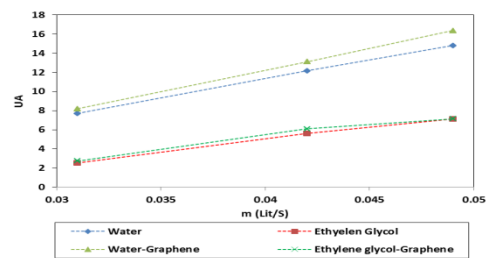
شکل ۲۷ نشان دهنده تغییرات ضریب عملکرد مبدل برای نانو سیال گرافن پایه آبی و اتیلن گلیکول می‌باشد. همان گونه که نمایان است تغییرات به صورت غیرخطی و با افزایش دبی، ضریب عملکرد همراه با افزایش می‌باشد. به صورت میانگین بیشترین ضریب عملکرد برای نانو سیال پایه آبی و به میزان ۱۲٪ و کمترین بهبود نیز برای نانو سیال پایه اتیلن گلیکول که به صورت میانگین موجب افزایش ۱۰٪ در ضریب عملکرد مبدل نسبت به سیال پایه گردیده است.



شکل ۲۷- تغییرات ضریب عملکرد مبدل نانو سیال پایه آب و اتیلن گلیکول گرافن در دمای ثابت ۲۳°C سیال سرد ورودی و دمای ثابت ۸۰°C سیال گرم ورودی به مبدل برحسب تغییرات دبی سیال گرم ورودی به پوسته

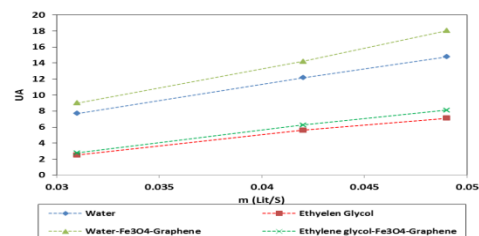
شکل ۲۸ نشان دهنده تغییرات ضریب عملکرد پایه آب و اتیلن گلیکول نانو سیال هیبرید گرافن-اکسید آهن می‌باشد. که تغییرات به صورت غیرخطی و بیشترین بهبود به صورت میانگین به میزان ۲۱٪ و کمترین بهبود ۱۵٪ برای نانو سیالات پایه آب و اتیلن گلیکول مشاهده گردیده است.

بیشترین مربوط به نانو سیال پایه آبی می باشد که موجب بهبود ۸٪ گردیده است.



شکل ۳۰ - تغییرات ضریب عملکرد مبدل نانو سیال پایه آب و اتیلن گلیکول گرافن در دمای ثابت ۲۳°C سیال سرد ورودی و دمای ثابت ۶۰°C سیال گرم ورودی به مبدل برحسب تغییرات دبی سیال گرم ورودی به پوسته

شکل ۳۱ نشان دهنده تغییرات ضریب عملکرد مبدل برای نانو سیال هیبریدی گرافن-اکسید آهن می باشد. با تغییر دبی سیال گرم ورودی به مبدل ضریب عملکرد به صورت صعودی تغییر می نماید. به صورت میانگین موجب بهبود ۱۸٪ و ۱۲٪ به ترتیب برای نانو سیال پایه آب و اتیلن گلیکول در ضریب عملکرد مبدل نسبت به سیال پایه گردیده است.



شکل ۳۱ - تغییرات ضریب عملکرد مبدل نانو سیال پایه آب و اتیلن گلیکول هیبرید اکسید آهن-گرافن در دمای ثابت ۲۳°C سیال سرد ورودی و دمای ثابت ۶۰°C سیال گرم ورودی به مبدل برحسب تغییرات دبی سیال گرم ورودی به پوسته

همان گونه که از بررسی های صورت گرفته نمایان است با کاهش دمای سیال گرم ورودی به پوسته مبدل ضریب عملکرد مبدل کاهش می یابد. هرچه دمای سیال گرم ورودی به مبدل کاهش یابد میزان اختلاف دمای سیال درون پوسته و لوله کاهش می یابد، که این موجب کاهش پتانسیل انتقال حرارت یا به عبارتی نیروی محرکه می گردد. با کاهش پتانسیل انتقال حرارت، گرما به خوبی بین سیال درون لوله و پوسته منتقل نمی شود و موجب کاهش ضریب عملکرد مبدل با کاهش دما می گردد. همان گونه که از تمامی نتایج مشخص است استفاده از نانو سیالات موجب افزایش ضریب عملکرد مبدل نسبت به

سیال پایه گردیده است. نانو ذرات موجب بهبود خواص حرارتی سیال می گردد و موجب کاهش اختلاف دما بین لایه های سیال می شود. با مقایسه اثر نانو سیالات با افزایش دما میزان بهبود افزایش می یابد. با توجه به مکانیزم های غالب در نانو سیالات برای بهبود حرارتی با افزایش دما حرکات براونی نانو ذرات و همچنین حرکات تصادفی نانو ذرات افزایش می یابد که این موجب می گردد حرارت به خوبی بین لایه های سیال منتقل گردد [۹]. افزایش دبی سیال موجب افزایش درهمی جریان و همچنین حرکات تصادفی و حرکات براونی و افزایش ضریب انتقال حرارت می گردد به همین دلیل با افزایش دبی سیال درون پوسته مبدل ضریب عملکرد مبدل به صورت صعودی تغییر می نماید.

۴ - نتیجه گیری

با استفاده نانو لوله کربنی، گرافن، و هیبرید گرافن-اکسید آهن به استناد بررسی های صورت گرفته نانو سیالات بسیار پایداری تهیه شدند که می توانند به مدت طولانی بدون هیچ گونه ته نشینی پایدار باقی بمانند. تغییرات چگالی نانو سیالات نسبت

به سیال پایه مورد بررسی قرار گرفت، که طبق نتایج به دست آمده تغییرات چگالی بسیار ناچیز می باشد و کاملاً قابل چشم پوشی می باشد. تغییرات لزجت نانو سیالات نسبت به سیال پایه قابل توجه می باشد. طبق بررسی های صورت گرفته لزجت نانو سیالات وابستگی زیادی به دما و غلظت نانو ذرات دارند. بدین صورت که با کاهش دما و افزایش غلظت، لزجت نانو سیالات افزایش می یابد. افزایش لزجت نانو سیالات در غلظت های پایین نانو ذرات قابل چشم پوشی می باشد به همین دلیل در پژوهش حاضر غلظت انتخابی ۰/۱ درصد وزنی می باشد. اثر نانو ذرات بر روی ضریب انتقال حرارت هدایتی مورد بررسی قرار گرفت که استفاده از نانو سیالات موجب بهبود ۳۱٪، ۲۰٪ و ۲۶٪ نانو سیال پایه آبی و ۳۸٪، ۲۹٪ و ۳۴٪ نانو سیال پایه اتیلن گلیکول در ضریب هدایت حرارتی در دمای ۴۰°C به ترتیب برای نانو سیالات نانو لوله کربنی، گرافن و هیبرید گرافن-اکسید آهن گردیده است.

طبق بررسی های صورت گرفته نانو سیالات هر یک به نوبه خود موجب بهبود ضریب کارایی مبدل حرارتی پوسته-لوله گردیده است و همچنین با تغییر سیال اثرات متفاوتی مشاهده گردید. نانو سیالات پایه اتیلن گلیکول دارای ضریب کارایی پایین تری نسبت به نانو سیالات پایه آبی دارا می باشند. به صورت میانگین نانو سیالات مورد بررسی موجب بهبود ۲۱٪، ۱۲٪ و ۲۰٪ در دمای ۸۰°C، ۱۸٪، ۸٪ و ۱۶٪ در دمای

ورودی به مبدل به ترتیب برای نانو سیالات پایه اتیلن گلیکول هیبرید آهن-گرافن، گرافن و نانو لوله‌های کربنی گردیده است.

۶۰°C سیال گرم ورودی به مبدل به ترتیب برای نانو سیالات پایه آبی هیبرید آهن-گرافن، گرافن و نانو لوله‌های کربنی گردیده است. همچنین موجب بهبود ۱۵٪، ۱۰٪ و ۱۳٪ در دمای ۸۰°C و ۱۲٪، ۶٪ و ۱۳٪ در دمای ۶۰°C سیال گرم

۵- مراجع

1. S. Lee, S.-S. Choi, S. Li, and, and J. Eastman, "Measuring thermal conductivity of fluids containing oxide nanoparticles," *Journal of Heat Transfer*, vol. 121, pp. 280-289, 1999.
2. Y. Xuan and Q. Li, "Investigation on convective heat transfer and flow features of nanofluids," *Journal of Heat transfer*, vol. 125, pp. 151-155, 2003.
3. K. Bui, H. M. Duong, A. Striolo, and D. V. Papavassiliou, "Effective heat transfer properties of graphene sheet nanocomposites and comparison to carbon nanotube nanocomposites," *The Journal of Physical Chemistry C*, vol. 115, pp. 3872-3880, 2011.
4. S. Chol, "Enhancing thermal conductivity of fluids with nanoparticles," *ASME-Publications-Fed*, vol. 231, pp. 99-106, 1995.
5. W. Duangthongsuk and S. Wongwises, "Heat Transfer and Pressure Drop in a Pin Fin Heat Sink Using Nanofluids as Coolant," in *Advanced Materials Research*, 2015, pp. 253-258.
6. K. Nakaso, H. Mitani, and J. Fukai, "Convection heat transfer in a shell-and-tube heat exchanger using sheet fins for effective utilization of energy," *International Journal of Heat and Mass Transfer*, vol. 82, pp. 581-587, 2015.
7. K. Y. Leong, I. Che Ibrahim, N. H. Amer, and M. Risby, "Thermal Conductivity of Carbon Nanotube Based Nanofluids as Heat Transfer Fluids," in *Applied Mechanics and Materials*, 2016, pp. 29-33.
8. S. S. Murshed, S.-H. Tan, and N.-T. Nguyen, "Temperature dependence of interfacial properties and viscosity of nanofluids for droplet-based microfluidics," *Journal of Physics D: Applied Physics*, vol. 41, p. 085502, 2008.
9. M. Sheikholeslami and D. D. Ganji, "Nanofluid flow and heat transfer between parallel plates considering Brownian motion using DTM," *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*, vol. 283, pp. 651-663, 2015.