

مدلسازی آزمایشگاهی سیستم انتقال حرارت تیوب رادیولوژی با نانوسیال کربنی چند دیواره و بررسی بهبود ضریب انتقال حرارت

بهروز مرادحاصل^{۱*}، وهاب دهلقی^۲، محمد تقی عیوضی^۳ و مصطفی تقی پور^۳

| اطلاعات مقاله | چکیده |
|--|--|
| <p>واژگان کلیدی: انتقال حرارت، تیوب رادیولوژی، اشعه ایکس، آند، نانوسیال، روغن ترانسفورمر، غلظت وزنی، نانوتیوب کربنی چند دیواره.</p> | <p>تیوب اشعه ایکس، اصلی ترین بخش هر دستگاه رادیولوژی در تولید اشعه ایکس به شمار می آید. یکی از مهمترین مشکلات این تجهیزات، حرارت تولیدی بسیار بالا در آند تیوب در نتیجه برخورد پرتوهای الکترونی پر انرژی بر سطح آن می باشد. نقص در انتقال مناسب این حرارت، تخریب زود هنگام و کاهش عمر تیوب اشعه ایکس را موجب خواهد گردید. با توجه به نقش مهم روغن اطراف تیوب اشعه ایکس بعنوان انتقال دهنده گرمای تولیدی در آند، در این مقاله، برای اولین بار در دنیا روغن مذکور با نانوسیال با درصدهای وزنی مختلف جایگزین و بهبود ضریب انتقال حرارت در شرایط گوناگون مورد بررسی قرار گرفته است. بدین صورت که مدل آزمایشگاهی سیستم حرارتی تیوب اشعه ایکس با استفاده از المنت حرارتی ساخته شده و گرمای مشابه با گرمای تولیدی در آند، با اعمال توان به المنت ایجاد گردید. نانوسیال مورد نیاز نیز از ترکیب نانولوله کربنی چند دیواره و روغن ترانسفورمر در درصدهای وزنی مختلف ساخته و رفتار حرارتی مدل تیوب با استفاده از روغن معمولی مورد استفاده در سیستم های فعلی رادیولوژی و نانوسیال ها مقایسه گردید. نتایج تجربی بدست آمده حاکی از آن است که استفاده از نانوسیال، انتقال حرارت را به نحو چشمگیری بهبود بخشیده است. استفاده از این فناوری نوین در سیستم های رادیولوژی و تجهیزات مشابه علاوه بر حذف فرآیند پیچیده ساخت تیوب مولد اشعه ایکس، کارآئی این نوع تجهیزات را بطور قابل ملاحظه ای افزایش خواهد داد.</p> |

۱- مقدمه

تشخیص و درمان بیماری ها در علوم پزشکی محسوب نمود؛ این در حالی است که تیوب اشعه ایکس، اصلی ترین بخش هر دستگاه رادیولوژی در تولید اشعه ایکس به شمار می آید. یکی از مهمترین مشکلات این تجهیزات، حرارت تولیدی بسیار بالا در آند تیوب، در نتیجه برخورد باریکه الکترونی پر انرژی به سطح آن می باشد. در نتیجه این برخورد، مقدار قابل توجهی از انرژی الکترون های ارسالی از کاتد تیوب به گرما و درصد ناچیزی از آن به

دستگاه های رادیولوژی و تجهیزات مربوط به آن را می توان به عنوان یکی از مهمترین ابزار تصویربرداری در

* پست الکترونیک نویسنده مسئول: roozbeh135@yahoo.com

۱. کارشناس ارشد مهندسی پزشکی، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

۲. استادیار، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه.

۳. دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشکده پزشکی، دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه

۲- ابزارها و روش ها

در این بخش ضمن معرفی نانوتیوب کربنی چند دیواره و روغن ترانسفورمر مورد استفاده در ساخت نانوسیال به بررسی ویژگی های هر کدام از این مواد پرداخته شده است. در ادامه روند ساخت نانوسیال و مدل آزمایشگاهی سیستم حرارتی تیوب اشعه ایکس توضیح داده شده است.

۲-۱- ساخت نانوسیال کربنی چند دیواره

نانوذرات از ده ها یا صدها اتم یا مولکول و با اندازه ها و ریخت شناسی^۱ های مختلف (آمورف، کریستالی، کروی، سوزنی، لوله ای و ...) ساخته شده است [۳-۵].

یک نانولوله، همانطور که از نامش پیداست، یک استوانه‌ی توخالی با قطری در حد نانومتر است. طول هر نانولوله می‌تواند از چند نانومتر تا چند میکرومتر باشد. اگر یک نانولوله‌ی تک دیواره را در نظر بگیریم، با برش دادن دیواره‌ی آن در راستای طول نانولوله، یک صفحه از اتم‌های کربن به نام گرافن به دست می‌آید. طول زیاد نانولوله نسبت به قطر و آب گریز بودن ساختار کربنی فضای خالی درون نانولوله، آن را شبیه به یک لوله یا کپسول می‌کند که می‌تواند برای ذخیره و انتقال استفاده شود. علاوه بر این خواص ارتجاعی نانولوله ها را نباید نادیده گرفت، چون این ویژگی سازگاری بیش از پیش با سیال پایه را نتیجه خواهد داد [۶-۸].

نانولوله های کربنی به دو دسته کلی نانولوله های کربنی تک دیواره و نانولوله های کربنی چند دیواره تقسیم می شوند. چنانچه نانولوله کربنی فقط شامل یک لوله از گرافیت باشد، نانولوله تک دیواره و اگر شامل تعدادی از لوله های متحد المركز باشد، نانولوله چند دیواره نامیده می شود [۹].

تولید اشعه ایکس منجر خواهد گردید. عدم انتقال مناسب حرارت تولیدی در آند، علاوه بر تخریب آن، کاهش عمر تیوب اشعه ایکس و تحمیل هزینه های هنگفتی را به دنبال خواهد داشت [۱]. بهبود ضریب انتقال حرارت تولیدی در آند، علاوه بر ارتقاء کارایی تیوب اشعه ایکس در تابش های مکرر و طولانی مدت، عمر مفید آن را نیز افزایش می دهد.

تکنیک های متنوعی برای انتقال حرارت تولیدی در تیوب اشعه ایکس ابداع گردیده است که می توان ساخت تیوب با تکنولوژی آند دوار و سوپر روتالیکس را نام برد.

هر کدام از این روش ها علاوه بر نیاز به محاسبات و طراحی پیچیده، هزینه های بسیار هنگفتی را به سیستم درمانی تحمیل می نماید.

با توجه به نقش بسیار مهم روغن اطراف تیوب اشعه ایکس به عنوان انتقال دهنده گرمای تولیدی و عدم توجه و تمرکز بر ارتقای این روش در بهبود انتقال حرارت و نیز با توجه به مقالات علمی و عملی بیشمار در خصوص بهبود انتقال حرارت توسط نانوسیالات مختلف، در این مقاله که حاصل طرح پژوهشی است، روغن مذکور با یکی از شاخص ترین نانوسیالات رایج در صنعت و با درصدهای وزنی مختلف جایگزین و ضمن بررسی دقیق بهبود ضریب انتقال حرارت، استفاده از این فناوری بعنوان روشی نو، کارآمد و بهبود دهنده انتقال حرارت تولیدی تیوب اشعه ایکس پیشنهاد گردیده است. در مطالعه تجربی صورت پذیرفته، تقریباً تمامی نانوسیالات ساخته شده، درجه رسانندگی گرمایی بیشتری نسبت به روغن معمولی دارا بودند، که این امر در تمامی آزمایشات و بررسی های صورت گرفته مشهود می باشد. همچنین با افزایش مقدار نانولوله های مورد استفاده در سیال پایه، چگالی و ویسکوزیته تغییر چشمگیری نموده است؛ که خود دلیلی بر تغییرات رفتار گرمایی سیستم مدل تیوب آزمایشگاهی می باشد [۲].

¹ Morphology

و در ادامه با استفاده از جدول اطلاعات چگالی روغن، جرم ۱/۵ لیتر روغن بشرح زیر محاسبه گردید :

$$m = \rho v \rightarrow m_{oil} = 0.87 \times 1500 \quad (2)$$

$$= 1305.86 \text{ gr}$$

و در نتیجه جرم نانوتیوب از رابطه ی بالا محاسبه گردید. با استفاده از یک ترازوی دیجیتالی دقیق، نانوتیوب را وزن نموده و به تدریج و همزمان با هم زدن به ظرف حاوی روغن اضافه گردید. پس از اضافه نمودن نانولوله های کربن به روغن برای پخش این ذرات در روغن بصورت یکنواخت و همگن از دستگاه ارتعاش فرا صوت استفاده گردیده است. برای کنترل افزایش دما در حین فرآیند ترکیب با هدف جلوگیری از تخریب نانوسیال تولیدی، ظرف حاوی سوسپانسیون را در مخلوط آب و یخ و سپس داخل دستگاه التراسونیک قرار می دهیم [۱۶]. دقت در تعیین محدوده تنظیمات فرکانس و مدت زمان ترکیب از اهمیت ویژه ای برخوردار است توجه به این نکته ضروری است که کاربرد انرژی بیش از حد مورد نیاز و افزایش بی دلیل زمان ترکیب سوسپانسیون، از دلایل اصلی تخریب نانولوله های کربنی و بلااستفاده شدن نانوسیال تولیدی می باشد [۱۷-۱۸].

۲-۲- ساخت مدل آزمایشگاهی سیستم حرارتی

تیوب رادیولوژی

همانطور که می دانیم علاوه بر خطرات بیولوژیکی و تاثیرات منفی اشعه ی ایکس بر بدن انسان در صورت عدم رعایت شرایط استاندارد تولید، نیاز به تامین ولتاژی در حدود ده ها کیلوولت برای تولید اشعه ایکس مورد نیاز است که پیاده سازی این شرایط در محیط آزمایشگاهی کار آسانی نیست. با توجه اهمیت بررسی حرارت تولیدی در تیوب و مطالعه نرخ بهبود انتقال حرارت در شرایط متفاوت ، در این پروژه ، مدل آزمایشگاهی سیستم

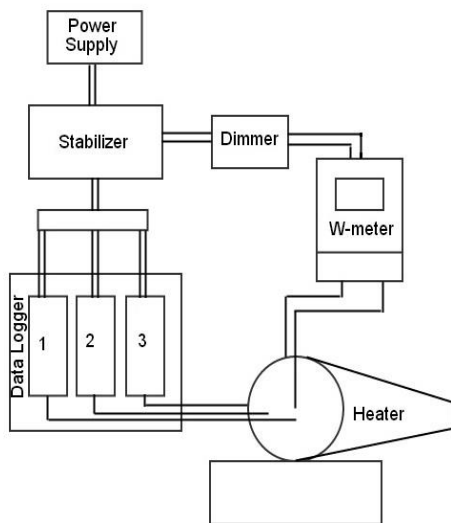
با توجه به تحقیقات مختلف، ثابت شده است که با اضافه کردن نانومواد کربنی به یک سیال، هدایت حرارتی سیال افزایش و انتقال حرارت بهبود می یابد [۱۰].

بطور کلی نانوسیالات به دو روش ساخته می شوند؛ روش تک مرحله ای و روش دو مرحله ای. در روش تک مرحله ای نانوذره تولیدی همزمان در سیال پایه مخلوط شده و نانوسیال تشکیل می شود. اما در روش دو مرحله ای ابتدا نانوذره به صورت جدا تولید گشته و سپس در سیال پایه مورد نظر مخلوط می گردد. روش های فیزیکی متفاوتی برای مخلوط نمودن نانوذرات در سیال عامل پایه وجود دارد که از آن جمله می توان به هم زدن، استفاده از ارتعاش فرا صوت و همگن ساز فشار بالا را نام برد [۱۱]. در این پروژه از روش دو مرحله ای به همراه ارتعاشات فراصوت برای تولید نانوسیال استفاده شده است.

روغن ترانس بخش تصفیه شده روغن معدنی است که از یک قرن پیش در صنعت مورد استفاده قرار می گرفته است. روغن ترانسفورماتور دو وظیفه اساسی بر عهده دارد، اول اینکه بعنوان عایق الکتریکی عمل می نماید و ثانیاً حرارت های ایجاد شده در قسمت های مختلف تیوب اشعه ایکس را به خارج منتقل می کند. با ولتاژ های بسیار بالایی که در تولید اشعه ایکس استفاده می گردد، نیاز به روغن بعنوان عایق الکتریکی و ابزار خنک کنندگی افزایش یافته است.

ساخت نانوسیال با استفاده از روغن نسبت به ساخت نانوسیال با آب آسان تر است و مشکلات رسوب گذاری و ته نشینی کمتری وجود دارد که به علت بزرگتر بودن ملکول های روغن و به وجود آوردن ممانعت فضایی می باشد [۱۲]. با توجه به ظرفیت حجمی مدل ساخته شده، برای انجام هر تست میزان مواد ترکیبی مورد نیاز نانوسیال محاسبه گردید. ابتدا جرم مورد نیاز نانوتیوب از فرمول زیر به دست آمده [۱۳-۱۵].

$$\frac{m_{MWCNT}}{m_{MWCNT} + m_{oil}} = \frac{0.5}{100} \quad (1)$$



شکل ۲- نحوه اتصال مدل تیوب به تجهیزات جانبی

۲-۳- محاسبه ضریب انتقال حرارت

با توجه به رفتار هیتر (سیستم حرارتی تیوب) به صورت شار ثابت و ثبت دمای ترموکوپل‌های مختلف توسط دیتالاگرها، ابتدا به محاسبه شار خالص هیتر می‌پردازیم [۱۹].

شار خالص هیتر برابر است با:

$$\dot{q}_{net} = \dot{q}_{in} - \dot{q}_{lost} \quad (3)$$

توان ورودی هیتر = \dot{q}_{in}

توان تلف شده هیتر = \dot{q}_{lost}

با توجه به عایق بندی مناسب سیستم حرارتی آزمایشگاهی توان تلف شده صفر و در نتیجه شار خالص هیتر برابر با توان ورودی هیتر در نظر گرفته می‌شود [۲۰-۲۳].

$$\dot{q}_{net} = \dot{q}_{in} \quad (4)$$

با در نظر گرفتن توان ورودی اعمالی که با وات متر کنترل می‌گردد، \dot{q}_{net} از رابطه ی (۴) محاسبه می‌شود و شار خالص پوشش آلومینیومی هیتر به راحتی از رابطه زیر به دست می‌آید [۲۰-۲۳].

$$\ddot{q}_{net} = \frac{\dot{q}_{net}}{A_H} \quad (5)$$

A_H مساحت هیتر می‌باشد.

حرارتی تیوب رادیولوژی توسط هیتر^۱ (المنت حرارتی) شبیه سازی گردیده است. تجهیزات مورد نیاز در ساخت مدل آزمایشگاهی تیوب شامل هیتر (مولد حرارت)، پوشش آلومینیومی محافظ تیوب (مرز بین تیوب و روغن)، ترموکوپل (اندازه گیر دما)، مخزن روغن (اطراف پوشش آلومینیومی) و تجهیزات جانبی شامل دیتالاگر (ثبت کننده داده ها)^۲، تثبیت کننده ولتاژ^۳، دیمر^۴ و وات متر می‌باشد. در شکل (۱) تصاویر مربوط به ساخت مدل آزمایشگاهی سیستم حرارتی تیوب اشعه ایکس نشان داده شده است.



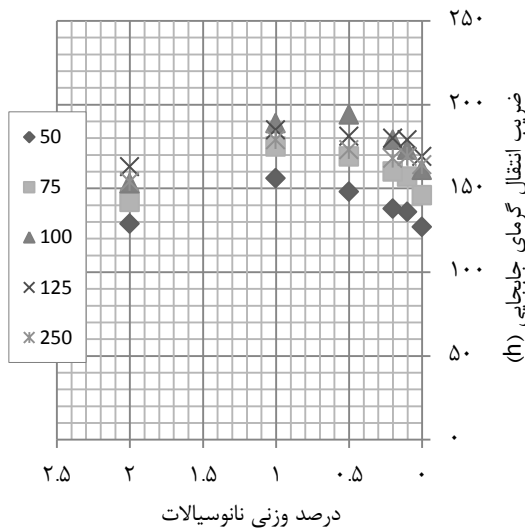
شکل ۱- مراحل ساخت تیوب آزمایشگاهی (المنت (۱)، محافظ آلومینیومی (۲)، محفظه روغن دور تیوب (۳) و ترموکوپل ها (۴))

ثبت کننده داده ها از طریق ارتباط با ترموکوپل‌های متعدد جاگذاری شده در درون پوشش آلومینیومی و روغن، تبدیل حرارت به سیگنال‌های الکتریکی را امکانپذیر و اطلاعات دریافتی را ثبت می‌نماید. این داده‌های باینری توسط برنامه‌های رایانه‌ای محاسبه گر حرارت همچون Fluent مورد تحلیل قرار می‌گیرند.

در شکل (۲) شماتیک نحوه اتصال مدل تیوب به تجهیزات جانبی نشان داده شده است.

- 1 Heater
- 2 Data logger
- 3 Stabilizer
- 4 Dimmer

تغییرات این ضرایب بر اساس درصدهای مختلف وزنی نانوسیالات در شکل ذیل ارائه گردیده است.



شکل ۴- مقایسه ضریب انتقال گرمای جابجایی نانوسیالات در توان های مورد آزمایش بر حسب درصد وزنی

۳- روش مطالعه و نحوه انتخاب آزمایشات

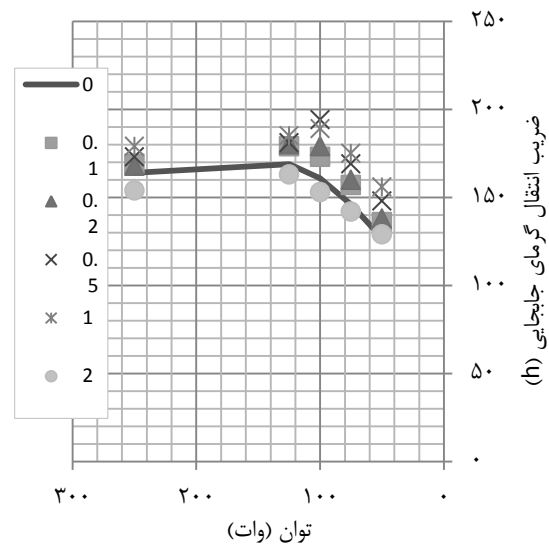
برای انجام مطالعه تجربی و تست های مورد نیاز، ابتدا مدل تیوب ساخته شده را با روغن معمولی و در مراحل بعدی با نانوسیال های مختلف - از نظر درصد وزنی - پر نموده و توان مورد نظر را اعمال نمودیم. توان های مورد آزمایش در این مطالعه ۵۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۲۵ وات می باشد. با توجه به محدودیت و قدرت تحمل حرارت توسط قطعات مختلف مدل آزمایشگاهی مخصوصا عایق ها، اعمال توان بیش از ۱۲۵ وات به سیستم مذکور مشکلات متعددی را برای آن موجب می شود. لذا از اعمال توان در حالت پایدار بیش از ۱۲۵ وات خودداری نموده و فقط در حالت ناپایدار و گذرا و در مدت زمان محدود، توان ۲۵۰ وات به سیستم اعمال شد. در هر مرحله پس از اعمال توان مورد نظر در مدت زمان مورد نیاز تا رسیدن سیستم حرارتی آزمایشگاهی به پایداری و تثبیت دماها در نقاط مختلف، دمای نمایش داده شده توسط دیتالاگرهای مربوط به ترموکوپل های مختلف یادداشت و محاسبه میانگین صورت پذیرفت.

$$A_H = \pi DL \quad (۶)$$

D قطر و L طول تیوب اشعه ی ایکس است. حال می توان ضریب انتقال گرمای جابه جایی طبیعی را به دست آورد [۲۴-۳۰].

$$h = \frac{\dot{q}_{net}}{\bar{T}_H - \bar{T}_F} \quad (۷)$$

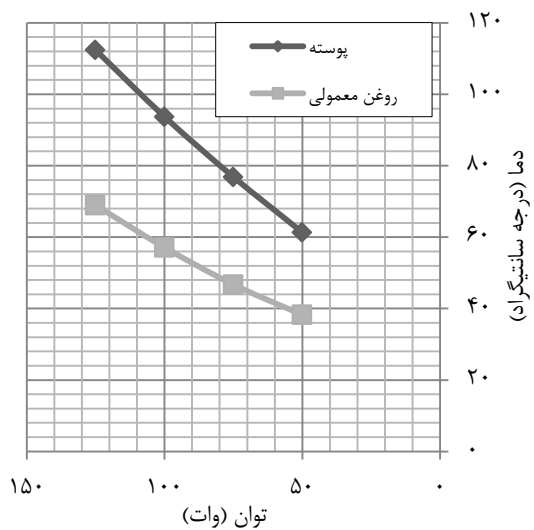
\bar{T}_T دمای متوسط پوشش آلومینیومی و \bar{T}_F دمای متوسط سیال اطراف هیتر است. با جایگزین نمودن اعداد بدست آمده در مطالعات تجربی نانوسیالات درصد وزنی مختلف و جایگزینی در معادلات پیشگفت، ضریب انتقال گرمای جابجایی برای هریک از نانوسیالات با درصدهای وزنی مختلف و روغن معمولی بدست خواهد آمد. این ضرایب بر اساس توان ورودی و نوع سیال، در شکل (۳) نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می گردد نانوسیال ۱ درصد وزنی در توان های معمولی بیشترین ضریب انتقال گرمای جابجایی و نانوسیال ۲ درصد وزنی کمترین ضریب را دارا می باشد.



شکل ۳- مقایسه ضریب انتقال گرمای جابجایی نانوسیالات مختلف بر حسب توان

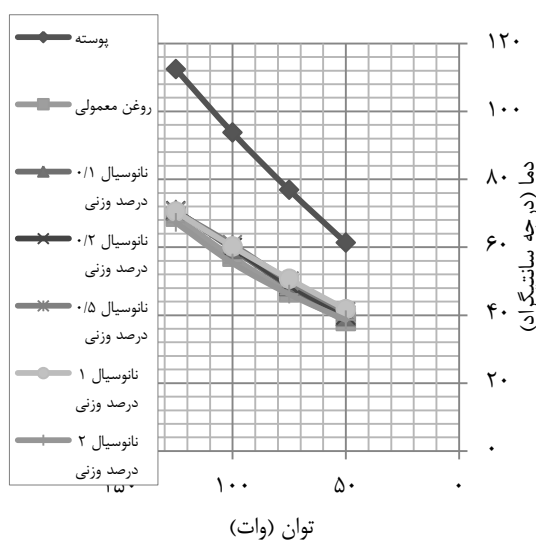
پس از آن ضرایب انتقال گرمای جابجایی به ترتیب توسط روغن معمولی، نانوسیال ۰/۱ درصد وزنی، نانوسیال ۰/۲ درصد وزنی و نانوسیال ۰/۵ درصد وزنی بهبود یافته است. برای بررسی و تحلیل بهتر ضرایب انتقال گرمای جابجایی،

تفکیک پوسته و روغن معمولی نمایش می دهد. اختلاف دمای بین هر دو المان به راحتی قابل مشاهده می باشد.



شکل ۵- اختلاف دمای پوسته با روغن معمولی در توان‌های مختلف

در این مرحله به مطالعه تجربی سیستم حرارتی تیوب آزمایشگاهی با استفاده از نانوسیال ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵، ۱ و ۲ درصد وزنی پرداخته شده است. همانطور که از تصویر ذیل نمایان است خطوط، نشان دهنده دمای ایجاد شده در روغن معمولی و نانوسیالات فوق، بر اساس اعمال توان‌های مختلف می باشد.



شکل ۶- مقایسه دمای پوسته با روغن معمولی و نانوسیالات با درصد‌های وزنی مورد آزمایش در توان‌های مختلف

این مرحله از کار، برای هر توان حدوداً ۱۲۰ دقیقه به طول می انجامد. پس از ثبت داده‌ها به اعمال توان بعدی پرداخته شد.

هدف از مطالعه تجربی انتقال حرارت مدل آزمایشگاهی سیستم حرارتی تیوب اشعه ایکس به هنگام پایداری، دسترسی به نتایج مرتبط با بررسی توانایی نانوسیال در انتقال حرارت در بازه زمانی طولانی در توان‌های مختلف و در نهایت مطالعه ضریب انتقال حرارت و بهبود آن می باشد.

از طرفی چون تیوب‌های اشعه ایکس واقعی، در موارد کاربری بسیاری در توان‌های بسیار بالای اعمالی و در کسری از ثانیه کار می کنند، مطالعه تجربی مدل آزمایشگاهی سیستم حرارتی تیوب در حالت گذرا نیز ضروری می باشد. همانطور که قبلاً توضیح داده شد به سبب محدودیت در عایق بندی سیستم آزمایشگاهی، جهت این قسمت از پروژه، توان مورد نظر ۲۵۰ وات و مدت زمان اعمال آن ۱۵ دقیقه در نظر گرفته شد.

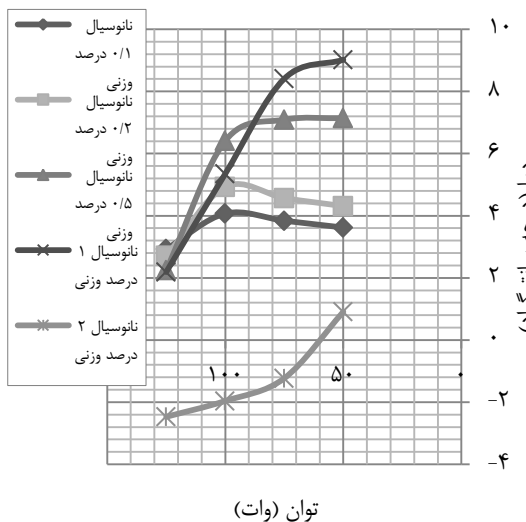
پس از اعمال توان، هر ۵ دقیقه تمامی اعداد نمایش داده شده توسط دیتالاگرها ثبت و بعد از گذشت زمان در نظر گرفته شده، جریان اعمالی قطع و رفتار حرارتی مدل به هنگام خنک شدن نیز، در مدت زمان ۱۵ دقیقه بررسی گردید.

۴- نتایج و بحث

۴-۱- نتایج عددی مطالعات تجربی

ابتدایی ترین مطالعه تجربی برای بررسی کارایی و ضریب بهبود انتقال حرارت دیگر نانوسیالات، بررسی دمای تولیدی در تیوب (پوسته) آزمایشگاهی و روغن معمولی ترانسفورمر می باشد. پس از پر نمودن تیوب آزمایشگاهی از روغن مذکور، اعمال توان‌های مختلف آغاز و در هر مرحله پس از طی زمان لازم، حرارت ایجاد شده در مدل آزمایشگاهی تیوب و روغن داخل آن بررسی و ثبت گردید. شکل ذیل دمای تولیدی در توان‌های مختلف را به

اعمالی ۲/۴۷ درصد کاهش دارد. خطوط دمایی روغن معمولی و نانوسیال ۲ درصد وزنی در بسیاری از نقاط همپوشانی و در برخی نقاط دیگر کاهش چشمگیر درجه حرارت نانوسیال را نسبت به روغن معمولی نشان می دهد و این مساله حاکی از آن است که این نانوسیال، رفتار حرارتی نامناسبی در این سیستم بر جای گذاشته است. برای تحلیل بهتر و مشاهده دقیق تر نرخ تغییرات حرارت تولیدی در تیوب آزمایشگاهی و نانوسیال های درصد وزنی مختلف، شکل ذیل ارائه گردیده است.



شکل ۷ - مقایسه دمای پوسته با روغن معمولی و نانوسیالات مورد آزمایش در توان های مختلف بر حسب درصد بهبود انتقال حرارت

با بررسی انواع نانوسیالات در کنار هم به راحتی می توان نقش هریک را در تغییر حرارت سیال و کاهش اختلاف دمای بین آنها و تیوب آزمایشگاهی مشاهده نمود.

۲-۴- بررسی حالت ناپایدار سیستم حرارتی مدل آزمایشگاهی تیوب اشعه ایکس

همانطور که قبلا توضیح داده شد جهت بررسی و مطالعه تجربی کارایی مدل تیوب آزمایشگاهی در توان های بالا و مدت زمان کوتاه، انجام آزمایش تکمیلی دیگری نیز احساس گردید تا رفتار این سیستم را با نانوسیالات

دمای ایجاد شده در نانوسیال ۰/۱ درصد وزنی، فاصله نزدیکتری به دمای پوسته داشته و از اختلاف دمای کمتری نسبت به روغن معمولی برخوردار است. با بررسی و محاسبه حرارت های ایجاد شده در توان های مختلف، افزایش دمای نانوسیال ۰/۱ درصد وزنی در کمترین توان ۳/۶۲ درصد و در بیشترین توان ۲/۹۳ درصد مشاهده گردید که این موضوع جابجایی حرارتی و بهبود انتقال گرمای تولیدی در تیوب را به نانوسیال ۰/۱ درصد وزنی به خوبی نشان می دهد.

جایگزین نمودن نانوسیال ۰/۲ درصد وزنی مشاهده می گردد دما در تمامی توان ها نسبت به دمای روغن معمولی افزایش داشته است. این افزایش در کمترین توان ۴/۳۱ درصد و در بیشترین توان ۲/۷۱ درصد ثبت گردیده است. نتایج مطالعه تجربی کاربرد نانوسیال ۰/۵ درصد وزنی افزایش دمای نانوسیال در توان های مختلف نسبت به روغن معمولی و کاهش اختلاف دمای بین آن و دمای مدل تیوب آزمایشگاهی می باشد. این تغییر حرارت در کمترین توان، ۷/۱۴ درصد و در بیشترین توان ۲/۲۵ درصد ثبت گردید.

با اعمال توان های مختلف و بررسی رفتار حرارتی نانوسیال ۱ درصد وزنی به این نتیجه دست می یابیم که کاربرد این نانوسیال در سیستم حرارتی تیوب آزمایشگاهی، حرارت نانوسیال را نسبت به روغن معمولی در کمترین توان ۹/۰۲ درصد و در بیشترین آن ۲/۱۹ درصد افزایش خواهد داد و این موضوع از فاصله حرارتی ایجاد شده بین نانوسیال و روغن معمولی و کاهش فاصله حرارتی با تیوب آزمایشگاهی، به راحتی قابل مشاهده می باشد.

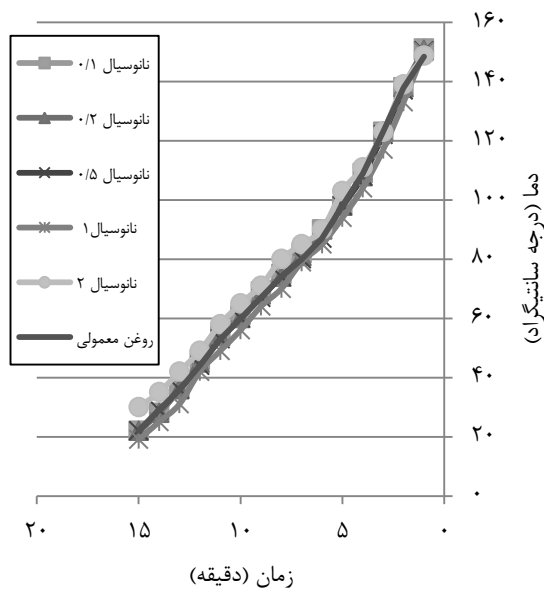
در مرحله پایانی مطالعه تجربی سیستم حرارتی تیوب آزمایشگاهی، به مطالعه رفتار حرارتی نانوسیال ۲ درصد وزنی پرداخته شده است.

با کاربرد این نانوسیال در تیوب آزمایشگاهی و اعمال توان های مختلف مشاهده گردید که دمای نانوسیال در کمترین توان ۰/۹۱ درصد افزایش و در بالاترین توان

بیشتری نسبت به سایر نانوسیالات داشته است و نانوسیال ۲ درصد وزنی، کاهش حرارت کمتری را در نانوسیال نشان می‌دهد؛ که خود بازگو کننده کارایی سیالات مختلف در این آزمایش و با شرایط ذکر شده می‌باشد.

۴-۲-۲- بررسی رفتار ناپایدار سیستم در حالت خنک شدن پس از قطع توان اعمالی

پس از اعمال توان ۲۵۰ وات به مدت ۱۵ دقیقه و بررسی رفتار حرارتی سیستم مدل تیوب آزمایشگاهی، بلافاصله جریان اعمال شده قطع گردید و به مدت مشابه رفتار حرارتی تیوب به هنگام قطع توان و خنک شدن تیوب آزمایشگاهی و سیال مورد استفاده ثبت گردید که نتایج بدست آمده را می‌توان در شکل زیر مشاهده نمود.



شکل ۹ - تغییرات دمای پوسته تیوب بر حسب زمان به هنگام قطع توان و خنک شدن

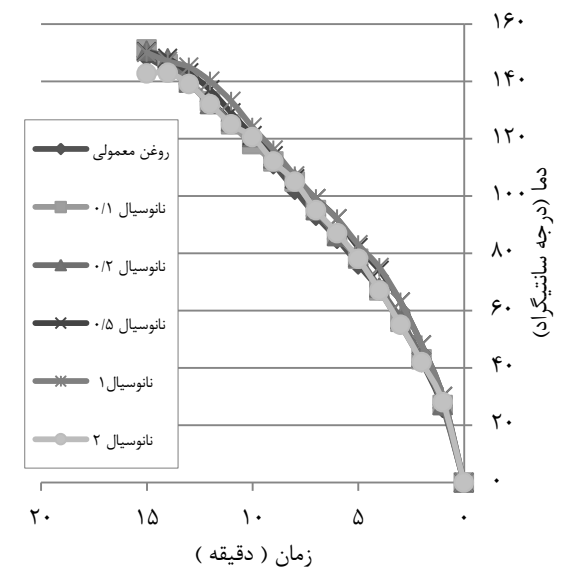
شکل فوق نشانگر تغییرات دمای متوسط تیوب بر حسب زمان برای درصدهای وزنی مختلف نانوسیالات می‌باشد. همانطور که در شکل (۸) مشاهده می‌گردد، دمای متوسط تیوب آزمایشگاهی با گذشت زمان کاهش می‌یابد. این کاهش در مورد نانوسیال ۱ درصد وزنی در

مختلف در توان ۲۵۰ وات و در مدت زمان ۱۵ دقیقه به هنگام اعمال توان و نیز رفتار حرارتی سیستم را در هنگام قطع توان نشان دهد.

۴-۲-۱- بررسی حالت ناپایدار سیستم در هنگام اعمال توان ۲۵۰ وات

پس از پر نمودن تیوب آزمایشگاهی از سیال مورد نظر و اعمال توان مذکور، مشاهده گردید که دمای سیالات مختلف به سرعت و نسبت به زمان تغییر پیدا نمود که این امر، نرخ انتقال حرارت تولیدی در تیوب آزمایشگاهی به سیالات مورد استفاده را بیان می‌نماید.

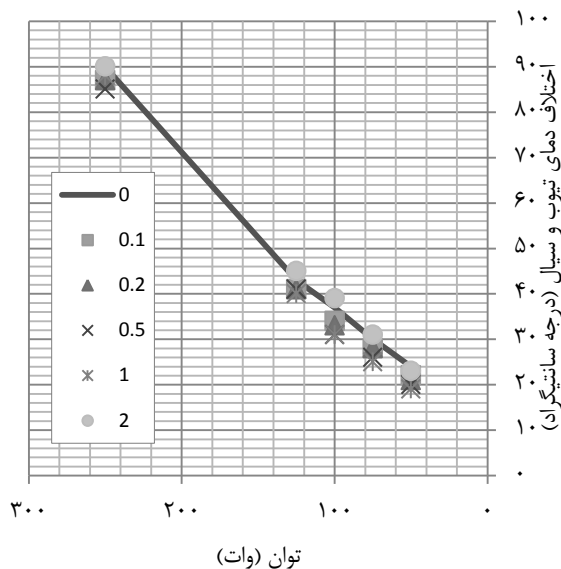
شکل زیر تغییرات دمای نانوسیالات مختلف را بر حسب زمان برای روغن ترانسفورمر و درصدهای وزنی مختلف نانوسیالات نشان می‌دهد.



شکل ۸- تغییر دمای نانوسیالات با درصدهای وزنی مختلف بر حسب زمان در توان ۲۵۰ وات

همانطور که مشاهده می‌گردد دمای نانوسیالات مختلف در دقایق اولیه تقریباً بصورت مشابه افزایش یافته است و در زمان های آتی این اختلاف، به راحتی قابل بررسی و مشاهده است. این شکل نمایانگر این موضوع است که با اعمال توان بالا، نانوسیال ۰/۵ درصد وزنی، افزایش حرارت

این امر نشان از نزدیکی دمای بین این سیالات و تیوب آزمایشگاهی و بهبود نرخ انتقال حرارت آنان دارد. همانطور که قبلا نیز بیان گردید، نانوسیال ۲ درصد وزنی در مقایسه با دیگر نانوسیالات از شرایط مناسبی برخوردار نمی باشد.



شکل ۱۱- اختلاف دمای تیوب با روغن و سیالات مختلف بر حسب توان

شکل فوق نیز مطالب مذکور را از نمایی دیگر و بر اساس مقایسه اختلاف دمای تیوب و سیال در توان های مختلف نشان می دهد. تقریباً در تمامی توان ها، کمترین درجه اختلاف دمای بین تیوب آزمایشگاهی و سیال، مربوط به نانوسیال ۱ درصد وزنی می باشد.

۵- بحث

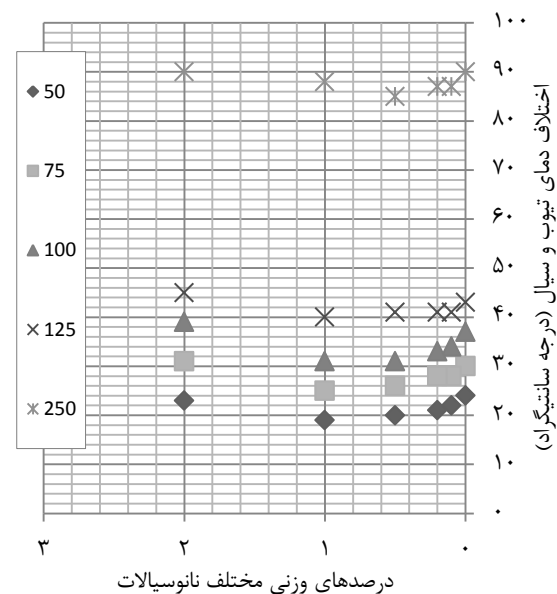
علاوه بر خواص ماکروسکوپیک نانوذرات نسبت به سیال پایه، ظرفیت رسانایی، گرمایی، چگالی، ضریب انبساط حجمی و ویسکوزیته سیال را می توان بعنوان عواملی تاثیرگذار بر رفتار گرمایی نانوسیال برشمرد [۳۱].

در مطالعه تجربی صورت پذیرفته، تقریباً تمامی نانوسیالات ساخته شده، درجه رسانندگی گرمایی بیشتری نسبت به روغن معمولی دارا بودند، که این امر در تمامی

مقایسه با سایر نانوسیالات سریع تر اتفاق می افتد. پس از آن نانوسیال ۰/۵ درصد وزنی و روغن معمولی سریع ترین نرخ خنک شوندگی را دارا می باشند. نانوسیال ۲ درصد وزنی، در این مرحله نیز رفتار خوبی از خود نشان نداد.

۴-۳- بررسی نرخ انتقال حرارت سیستم در حالت پایدار

پس از مطالعه سیستم در حالت پایدار و گذرا و شرح هرکدام از حالات به همراه نتایج بدست آمده جهت جمع بندی مطالب ذکر شده و شفاف سازی نتایج بدست آمده، اختلاف دمای تیوب و سیال را با استفاده از اعداد ثبت شده و با کسر نمودن مقدار حرارت سیال مورد استفاده از حرارت تیوب آزمایشگاهی محاسبه گردید. شکل ذیل نشان دهنده اختلاف دمای تیوب و سیال در توان های مختلف و بر اساس درصدهای وزنی متفاوت می باشد.



شکل ۱۰- اختلاف دمای تیوب با روغن و سیالات مختلف بر حسب درصد غلظت

همانگونه که مشاهده می گردد نانوسیال ۱ درصد وزنی و ۰/۵ درصد وزنی به ترتیب کمترین نرخ اختلاف دمای تیوب و سیال را در توان های مختلف دارا می باشند که

آزمایشات و بررسی های صورت گرفته مشهود می باشد. همچنین با افزایش مقدار نانولوله های مورد استفاده در سیال پایه، چگالی و ویسکوزیته تغییر چشمگیری نموده است؛ که خود دلیلی بر تغییرات رفتار گرمایی سیستم مدل تیوب آزمایشگاهی می باشد. همچنین از مطالعات و نتایج بدست آمده مشخص گردید که علاوه بر خواص مذکور ترموفیزیکی، فاکتورها و عوامل مهم دیگری نیز بر انتقال گرمای جابجایی طبیعی در نانوسیال تاثیرگذار می باشند. از مهمترین این عوامل می توان به مکانیزم جابجایی منتج شده از برهم کنش ذره- سیال اشاره نمود که رابطه مستقیمی با اختلاف دما در نقاط مختلف تیوب و چگونگی پخش نانوذرات در سیال پایه داشته است.

تغییر شکل نانولوله ها به هنگام ترکیب با سیال، تحت اثر امواج فراصوت، جابجایی های تحمیلی بر اساس فازبندی حرارتی و تغییرات فیزیکی و تجمع توده ای آنان به سبب لغزش بین ذرات و سیال که فازهای ساختاری متفاوتی را دارا می باشند، نیز از عوامل دیگری جهت تغییرات رفتار حرارتی نانوسیالات با درصد وزنی مختلف برشمرده می شوند.

در مطالعات تجربی صورت گرفته در خصوص نانوسیال ۰/۱ درصد وزنی، ۰/۲ درصد وزنی و ۰/۵ درصد وزنی مشاهده گردید که با افزایش مقدار نانوذرات در سیال، رفتار حرارتی سیستم مدل آزمایشگاهی تغییر و بهبود یافت؛ گرچه این بهبود را می توان در توان های اولیه و متوسط به خوبی دریافت. با ادامه افزایش مقدار نانولوله در سیال پایه، ضریب گرمای جابجایی کاهش پیدا نمود. در مطالعه سیال ۱ درصد وزنی همانطور که قبلا توضیح داده شد؛ در تمامی توان های اولیه و متوسط، بهترین نرخ انتقال حرارت مشاهده گردید، اما با افزایش توان اعمالی از ضریب انتقال حرارت کاسته شد.

با قبول نانوذرات در سیال پایه به عنوان حامل های حرارتی مناسب [۳۲-۳۵]، می توان نتیجه گرفت که با افزایش غلظت آنان، ریسک توده ای و خوشه ای شدن در

سیال پایه چند برابر و فرصت انتقال حرارت مابین این ذرات و سیال کاهش خواهد پذیرفت؛ که در بررسی خواص نانوسیال ۲ درصد وزنی، موضوع فوق تایید گردید. در نانولوله های چند دیواره، بهبود چشم گیر انتقال حرارت در نانوسیال با غلظت وزنی متناسب نسبت با سیال پایه اتفاق افتاد که با نظریه چوی منطبق و موافق است. در ضمن با مطالعات تجربی انجام شده، می توان رابطه ای خطی بین غلظت نانولوله ها با معکوس قطر آنان پیدا نمود، که به عنوان عامل مهم دیگری در جلوگیری از تجمع و تشکیل کلونی شناخته می شود و به این موضوع که افزایش توان و حرارت تولیدی موجب کاهش فرصت تبادل حرارتی نانولوله ها و سیال پایه خواهد گردید، توجه ویژه نمود.

۶- نتیجه گیری

مهمترین عامل در محدودیت دستگاه های رادیولوژی در تصویربرداری های پیاپی با توان و در زمان های طولانی مدت، گرمای ایجاد شده در تیوب مولد اشعه ایکس و لزوم انتقال آن به محیط خارجی تیوب، با هدف جلوگیری از آسیب رسیدن به سیستم تولیدی اشعه ایکس و تداوم در تصویربرداری می باشد.

از آنجایی که نانوسیالات، قابلیت های زیادی در زمینه بهبود انتقال حرارت از خود نشان داده اند، در این پروژه، بهبود نرخ انتقال حرارت تولیدی در تیوب اشعه ایکس به صورت تجربی و با استفاده از نانولوله کربنی چند دیواره در درصدهای مختلف وزنی بررسی گردیده است.

برای جمع آوری داده های تجربی مورد نیاز جهت محاسبه نرخ انتقال حرارت جابجایی، مدل آزمایشگاهی سیستم حرارتی تیوب رادیولوژی ساخته و ترکیب نانولوله های کربنی چند دیواره با روغن ترانسفورمر به عنوان سیال پایه در غلظت های وزنی ۰/۱، ۰/۲، ۰/۵، ۱ و ۲ درصدی انجام پذیرفت و نهایتا نرخ انتقال گرما در حالت

از نانوذرات با ضریب طول به قطر بیشتر، افزایش انتقال حرارت را در پی خواهد داشت؛ زیرا با افزایش قطر نانولوله ها تنش برشی با سیال پایه افزایش خواهد پذیرفت.

۵. همانطور که در فصل ساخت نانوسیال توضیح داده شد، استفاده از سورفکتانت در زمینه نانوسیال روش دیگری جهت تماس بیشتر نانولوله ها و سیال پایه و بهبود نرخ انتقال حرارت می باشد.

۶. ویسکوزیته پایه در نانوسیال موجب جلوگیری از تغییر سایز رسوب ذرات و تشکیل توده و خوشه ای شدن آنان در سیال و در نهایت افزایش انتقال حرارت خواهد گردید.

۷. استفاده از امواج فراصوت در انرژی و فرکانس مورد نیاز با هدف جلوگیری از تغییر شکل نانولوله ها، جدایی دیواره ها و تخریب آگلومراسیونی نانوسیالات، فاکتور مهم دیگری در بهبود نرخ انتقال حرارت می باشد.

۸. برای دست یافتن به بهترین نرخ انتقال حرارت توسط نانوسیالات درصد وزنی مختلف می بایست توازنی بین رسانایی حرارتی، غلظت و ویسکوزیته با حرارت تولیدی ایجاد نمود؛ که این مهم فرصت تبادل حرارتی بین نانوسیال و منبع تولید حرارت را افزایش خواهد داد.

۹. PH نانوسیال، نقش مهمی را در انتقال حرارت ایفا می نماید، بدین صورت که هرچه PH نانوسیال تولیدی از PH نقطه ایزوالکتریک دورتر باشد تحرک نانوذرات در سیال پایه افزایش یافته و پایداری بالاتری را برای نانوسیال ایجاد خواهد نمود.

۱۰. نتایج آزمایشگاهی بدست آمده در حالت پایدار نشان می دهد که بهترین نرخ انتقال حرارت، مربوط به نانوسیال ۱ درصد وزنی می باشد که از تناسب قابل قبولی از نظر غلظت ذرات با توان

پایدار و گذرا تحت توان های اعمالی مختلف بررسی و نتایج تجربی بدست آمده تحلیل گردید.

خلاصه نتایج و مشاهدات به شرح ذیل می باشد :

۱. از عوامل موثر در انتقال حرارت می توان، جابجایی و تجمع نانولوله ها در سیال پایه را نام برد که بر اساس مشاهدات انجام شده، این عوامل را می توان تابع شرایط ذیل دانست :

۱-۱. افزایش قطر خارجی و طول نانولوله

های کربنی چند دیواره

۱-۲. کاهش ویسکوزیته دینامیکی و

افزایش غلظت فاز مایع

۱-۳. تغییر دائمی حرارت

۲. با توجه به کاربرد درصدهای وزنی مختلف در

آزمایشات انجام شده، نرخ انتقال حرارت تا زمانی که نانولوله در سیال پایه، غلظت مناسبی را دارا بوده، در تماس با یکدیگر پل حرارتی مناسبی را تشکیل داده و در تمامی توان های اعمالی، ضریب انتقال حرارت بهبود یافته و جابجایی حرارتی بین هیتر و نانوسیال به خوبی صورت می پذیرد.

۳. پخش همگن نانوذرات در سیال پایه و قرارگیری مناسب آنان در سیستم حرارتی مدل تیوب، این مهم را گوشزد نمود که قرارگیری نانوذرات در فواصل مختلف با یکدیگر و از المنت حرارتی دلیل دیگری بر تغییر نرخ انتقال حرارت می باشد. این در حالیست که فواصل زیاد بین نانوذرات با یکدیگر و با المنت حرارتی باعث کاهش ضریب انتقال حرارت جابجایی در توان های اعمالی اولیه خواهد گردید. در ضمن چیدمان و توزیع مناسب آنان باعث افزایش سطح مقطع تبادل حرارتی و ظرفیت حرارتی سیال می گردد.

۴. با مطالعه نانولوله های مختلف در درصدهای وزنی متفاوت، این نتیجه بدست آمد که استفاده

- ۲- بررسی ضریب انتقال حرارت همرفتی^۱ در سیستم حرارتی مشابه
- ۳- بررسی رابطه نرخ رسوب گذاری نانوسیالات با درصدهای وزنی مختلف با گذشت زمان
- ۴- اینسرت گذاری تیوب واقعی اشعه ایکس با نانوسیالات آزمایش شده و بررسی عملکرد واقعی آن در دستگاه رادیولوژی

تقدیر و تشکر

یافته های این پژوهش با حمایت مالی دانشگاه علوم پزشکی کرمانشاه حاصل گردیده است. نویسندگان مقاله مراتب قدردانی خود را از جناب آقای دکتر تورج یوسفی استادیار مکانیک دانشگاه رازی کرمانشاه و آقای محمد علی امامی آل آقا به سبب همکاری ارزشمند ایشان اعلام می دارند.

اعمالی برخوردار است. این در حالیست که در توان های اولیه، بهبود نرخ انتقال حرارت تا ۹/۰۲ درصد و در توان های بالا تا ۲/۹۳ درصد مشاهده و ثبت گردید.

۱۱. مطالعات تجربی بدست آمده در حالت گذرا نشان می دهد که به هنگام اعمال توان بالا، نانوسیال با کمترین درصد غلظت وزنی، انتقال حرارت را در دقایق اولیه بصورت مشابه با دیگر نانوسیالات و در دقایق پایانی به بالاترین نرخ، رسانده است. این افزایش در بهترین حالت ۶/۷۵ درصد و در کمترین حالت ۳/۹۷ درصد ثبت گردیده است. اما در حالت قطع توان و خنک شدن مدل تیوب نانوسیال ۱ درصد وزنی، سریع ترین نرخ خنک شوندگی و انتقال حرارت تیوب به سیال معادل ۸/۴۱ درصد بهبود، به خود اختصاص داده است.

۱۲. با در نظر گرفتن کلیه شرایط و تست های انجام شده و بررسی های تجربی صورت گرفته، می توان نانوسیال ۱ درصد وزنی را به عنوان بهبود دهنده ترین نرخ انتقال حرارت و با افزایش توان و حرارت تولیدی نانوسیال ۰/۵ درصد وزنی را معرفی نمود. سایر نانوسیالات با درصدهای غلظت کمتر و بیشتر، همانگونه که توضیح داده شد شرایط مناسبی را در مقایسه با این نانوسیالات ایجاد نمی کنند گرچه خود به تنهایی و در مقایسه با مدهای مختلف توان، بهبود دهنده انتقال حرارت حداکثر تا ۴/۳۱ درصد و حداقل ۱/۴۴ درصد می باشند.

پیشنهاداتی برای ادامه کار

- ۱- ساخت نانوسیالات با سایر نانوذرات و مطالعه بهبود نرخ انتقال حرارت

¹ Convection

مراجع

- [1] Curry, T.S., Dowdey, J.E., Robert E.M. (1990). "Christensen's Physics of Diagnostic Radiology". Lippincott Williams & Wilkins.
- [2] Choi, S.U.S. (1995). "Enhancing thermal conductivity of fluids with nano particles". Eds, American society of mechanical Engineers. New York FED-231/MD-66:99-105.
- [3] Jang, S.P., Choi, S.U.S. (2007). "Effects of various Parameters of Nanofluid thermal conductivity". Vol. 129/617.
- [4] Chon, C.H. and Kihm, K.D. (2001). "Empirical correlation finding the role of temperature and particle size for nanofluid (Al₂O₃) thermal conductivity enhancement". APPLIED PHYSICS LETTERS 87 153107 (2005) management 52 789-793.
- [5] Akbarinia, A., Behzadmehr, A. (2007). "Numerical study of laminar mixed convection of Nanofluid in horizontal curved tubes". Appl. Therm. Eng. 27, 1327-1337.
- [6] Abu-Nada, E. (2008). "Application of Nanofluids for heat transfer enhancement of separated flows encountered in a backward facing step". Int. J. Heat Fluid Flow 29, 242-249.
- [7] Plam, M.S.E.B., Nguyen, S.J., Roy, C.T., Galanis, G.N. (2005). "Heat transfer enhancement by using nanofluids in forced convection flows". Int. j. Heat Fluid Flow 26, 530-546.
- [8] Pak, B.C, Cho, Y.I. (1998). "Hydrodynamic and heat transfer study of dispersed (fluid) with submicron metallic oxide particles".
- [9] Brinkman, H.C. (1952). "The viscosity of concentrated suspensions and solutions". J. Chem. phys. 20 571-581.
- [10] fer, K.K., vafai, K., Lighstone, M. (2003). "Buoyancy-driven heat transfer enhancement in a two-dimensional enclosure utilizing nanofluids". Int. j. Heat mass transfer 46-3639-3653.
- [11] xuan, Y., Roetzel, W. (2000). "Conception for heat transfer correlation of nano fluids". Int. J. Heat mass transfer 43-3701-3707.
- [12] Gosselin, L., da silva, A.K. (2004). "Combined heat transfer and power dissipation optimization of nano fluid flows". Appl. Phys. Lett. 85-4160-4162.
- [13] Cianfrini, M., Massimo, C. (2011). "Natural convection heat transfer of Nanofluids in annular spaces between horizontal concentric cylinders". Applied thermal engineering 31-4055-4063.
- [14] Putra, N., Roetzel, W., Das, S.K. (2003). "Natural convection of Nanofluids". Heat and Mass Trans, 39(8-9) 775-784.
- [15] Wen, D, Ding, Y. (2005). "Formulation of Nanofluids for natural convection heat transfer". Int. J. Heat Fluid Flow 26:855-864.
- [16] Kim, J., Kang, Y.T. and Choi, C.K. (2004). "Analysis of convective instability and heat transfer characteristics of Nanofluids". Phys. Fluids; 16(7):2395-2401.
- [17] Tablot, L., Cheng, R.K., Schefer, R.W. and Willis, D.R. (1980). "Thermophoresis of particles in heated boundary layer". j. Fluid Mech 101:737-758.
- [18] Das, s.K., Choi, S.U.S., Wenhua Y.u., Pradeep, T. (2009). "Nanofluids science".
- [19] Choi, C., Yoo, H.S., Oh, J.M. (2008). "Preparation and heat transfer properties of nano particle- in-transfer oil dispersions as advanced energy efficient coolant current Applied Physics".
- [20] Li, D., Xie, W. and Fang, W. (2011). "Preparation and properties of copper-oil-based Nanofluids". Nanoscale Research Letters.
- [21] Yang, Y., Grulke, E.A., Zhang, Z.G., and Gefei, Wu. (2006). "Thermal and rheological properties of carbon nano tube- in-oil-dispersions". Applied Physics.
- [22] Botha, S.S. (2007). "Synthesis and characterization of Nanofluids for cooling Applications".
- [23] Ho, C.J., Liu, W.K., Chang, Y.S., Lin, C.C. (2010). "Natural convection heat transfer of alumina-water Nanofluid in vertical square enclosures". J, Thermal Sciences 49-1345-1353.

- [24] Hill, H.Mc. (1980). "Numerical heat transfer and fluid flow". New York.
- [25] Corcione, M. (2008). "Empirical correlating equation for predicting the effective thermal conductivity and dynamic viscosity of Nanofluids". Energy conversion.
- [26] Maiga, S.E., Plam, S.J., Nguyen, C.T., Roy, G. (2007). "Effect of uncertainties in physical properties on forced convection heat transfer with Nanofluid". Appl Therm.Eng, 27(1):240-249.
- [27] Abu-Nada, E., Masoud, Z., Hijazi, A. (2008). "Natural convection heat transfer enhancement in horizontal concentric annuli using Nanofluids". International in Heat and Mass Transfer 535-657-665.
- [28] Xie, X., Lee, H., Youn, W., et al. (2003). "Nanofluids containing multiwalled carbon nanotubes and thier enhanced thermal contivities". Journal of Applied physics, Vol.94, No.8.
- [29] Xuan, Y. and Li, Q. (2000). "Heat Transfer Enhancement of Nanofluids". International Journal of Heat and Fluid Flow, pp.58-64.
- [30] Das, S. K., Putra, N., Thiesen, P., Roetzel, W. (2003). "Temperature Dependence of Thermal Conductivity Enhancement for Nanofluids". Journal of Heat Transfer, vol.125, pp.567-574.
- [31] Wen, D., Ding, Y. (2004). "Experimental investigation into convective heat transfer of nanofluids at the entrance region under laminar flow conditions". International Journal of Heat and Mass Transfer, Vol. 47, pp.5181-5188.
- [32] Choi, S.U.S., Wang, X., and Xu, W. (1999). "Thermal Conductivity of Nanoparticel-Fluid Mixture". Journal of Thermo physics and Heat Transfer, Vol.13, No.4, pp.474-480.
- [33] Tsai, C.Y. (2004). "Transformer Oil Applications in Technology". Materials Letters, Vol.58, pp.1461-1465.
- [34] You, S.M., Kim, J.H. and Kim, K.H. (2003). "Effect of Nanoparticles on Critical Heat Flux of Water in Pool Boiling Heat Transfer". Applied Physics Letters, vol.83, no.16, pp.3374-3376.
- [35] Lee, S., Choi, S.U.S., Eastman, J.A. and Lee, S. (1999). "Measuring Thermal Conductivity of Fluids Containing Oxide Nanoparticles". Transaction of ASME, Vol.121, pp.280-289.