

مقاله پژوهشی

بررسی آزمایشگاهی ضریب انتقال حرارت و افت فشار هیبرید نانولوله کربنی-گرافن در مبدل حرارتی صفحه‌ای با صفحات متفاوت

امید رضانی ازغندی، محمد جواد مغربی* و علیرضا تیمورتاش

دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد، مشهد، ایران

تاریخ ثبت اولیه: ۱۴۰۰/۰۱/۲۵، تاریخ دریافت نسخه اصلاح شده: ۱۴۰۰/۰۳/۳۰، تاریخ پذیرش قطعی: ۱۴۰۰/۰۴/۱۰

چکیده

در این مطالعه رفتار انتقال حرارت جابجایی و افت فشار هیبرید گرافن (GNP)-نانولوله کربنی چند جداره (MWCNTs) بر پایه آب دیونیزه در حال عبور از صفحات متفاوت مبدل حرارتی و اشردار (صفحات نوع H، L و M) تحت شار حرارتی ثابت به صورت تجربی مورد ارزیابی قرار گرفته است. به همین منظور به روش غیر کووالانسی به کمک سورفکتانت سدیم دودسیل سولفات (SDS) سوسپانسیون آبی همگن هیبرید در غلظت ۰/۰۱ درصد وزنی تهیه شد که برای تهیه از نانوذرات و سورفکتانت به نسبت ۱ به ۱ استفاده شده است. جهت مورفولوژی هیبرید تصویر میکروسکوپی الکترونی عبوری از سیال تهیه شده صورت پذیرفت. جهت پایداری هیبرید سیال نیز پتانسیل زتا گرفته شد که عدد mV ۳۳/۳۰- می باشد که گواهی بر پایداری نانو سیال تهیه شده است. نتایج استفاده همزمان هیبرید و صفحات مختلف مبدل مشخص گردید که صفحات نوع H دارای بیشترین ضریب انتقال حرارت (نتیجه مثبت) و بیشترین افت فشار است (نتیجه منفی). استفاده از این صفحات باعث شد که دمای خروجی سیال کمترین میزان را نسبت به سایر حالات داشته باشد. صفحات نوع L تقریباً برای سیستم آزمایشگاهی هیبرید-آب و سیستم آزمایشگاهی آب-آب نتایج نزدیک به هم را به دنبال دارند در نتیجه استفاده از نانو سیال مقرون به صرفه نیست. با توجه به نتایج بهینه حالت برای صفحات نوع M و در دبی ۱۰ لیتر بر دقیقه بدست آمد (بیشترین دبی)، زیرا میزان افزایش انتقال حرارت بیشتر از افزایش افت فشار است و این از لحاظ اقتصادی مقرون به صرفه است. کارایی مبدل در این شرایط بیش از ۸۵٪ بدست آمد.

واژه‌های کلیدی: هیبرید، صفحات مبدل، انتقال حرارت، افت فشار.

۱- مقدمه

غلبه بر این چالش ارائه داده‌اند. یک راه مناسب، پراکنده کردن ذره‌های با سایز نانو در سیال پایه و رفع مشکل پایداری آن می‌باشد [۱، ۲]. هر چند که افزودن نانوذرات مختلف به شکل کووالانسی [۲] و غیر کووالانسی [۳] به سیال پایه نظیر آب [۴]، روغن [۵]، اتیلن گلیکول [۶] می‌تواند

راه‌های نوین افزایش انتقال حرارت و بحث انرژی یکی از دغدغه‌ها و چالش‌های محققان در این دهه‌ها بوده است. به این منظور دانشمندان روش‌های متعددی و راه‌های نوینی را برای

* عهده‌دار مکاتبات: محمد جواد مغربی

نشانی: مشهد، دانشگاه فردوسی مشهد، دانشکده مهندسی

تلفن: ۰۵۱-۳۸۸۰۵۰۵۱، دورنگار: ۰۵۱-۳۸۷۶۳۳۰۴، پست الکترونیکی: mjmaghrebi@um.ac.ir

تا از خواص ترموفیزیکی هر نانوذره برای بهبود انتقال حرارت استفاده گردد. اصطلاحاً به این روش هیبرید نانوذره گفته می‌شود [۱۶]. اضافه کردن یک نانوذره به یک سیال پایه باعث بهبود خواص حرارتی می‌گردد ولی اختلاط آن‌ها با یک نانوذره دیگر باعث افزایش چند برابر ضریب هدایت حرارتی نسبت به زمانی که یک نانوذره در سیال پایه استفاده شده می‌گردد [۱۷]. ژوان و همکاران [۱۶] انتقال حرارت جابجایی هیبرید گرافن و دی اکسید تیتانیوم در آب و اتیل گلیکول به صورت تجربی مطالعه کردند. آن‌ها نشان دادند که استفاده از هیبرید به عنوان سیال سرمایشی می‌تواند کمک شایانی در ضریب انتقال حرارت محیط داشته باشد. همچنین بتا کلیو و همکاران [۱۸] از محدود کسانی هستند که روی هیبرید گرافن-نانولوله و اثر هیبرید بر بهبود خواص مکانیکی بررسی‌های انجام داده‌اند.

یکی دیگر از راه‌حل‌های محققان برای بهبود انتقال حرارت، استفاده از مبدل یا همان تبادله‌گر حرارتی است [۱۹]. در این بین مبدل‌های پوسته و لوله و دولوله‌ای بیشترین سهم را به خود اختصاص داده‌اند [۲۰، ۲۱]. ولی امروزه از مبدل‌های حرارتی صفحه‌ای به شکل جوشی [۲۲] و گسکت‌دار [۲۳] به دلیل اشغال فضای کمتر، راندمان بالا، تعمیر و نگهداری ساده، کاهش هدر رفت آب در زمان اسیدشویی و افزایش آشفستگی سیال و به موجب آن بالا بودن ضریب انتقال حرارت بسیار مورد استفاده می‌گردد. مبدل‌های صفحه‌ای و اشتردار یا گسکت‌دار از یک سری صفحات با جنس‌های نظیر استنلس استیل در گریدهای مختلف، تیتانیوم، نیکل و اینکونل بسته به نوع سیال مختلف استفاده شده که بوسیله پرس به فرم و شکل خاصی در می‌آیند. این صفحات بوسیله دوفریم ابتدا و انتهای به کمک گسکت، پیچ‌ها و نازل‌های ورود و خروج سیال در کنار هم قرار می‌گیرند و سیال سرد و گرم یکی در میان از بین دو صفحه عبور می‌کند. به این طریق به شکل غیرمستقیم و تنها از طریق صفحات نازک به ضخامت‌های مختلف نظیر ۰/۵ میلی‌متر تبادل حرارت صورت می‌گیرد. شکل‌های ایجاد شده توسط پرس فرم روی صفحات (نوع

کمک شایانی به صرفه‌جویی در مصرف انرژی و تغییر خواص انتقال حرارت سیالات کند ولی شکل، سایز و نوع نانوذره بکار رفته نیز در پایداری آن‌ها بسیار حائز اهمیت است. افزودن نانوذرات مختلف از قبیل نانوساختارهای فلزی، اکسید فلزی [۷]، نانوساختارهای کربنی [۸، ۹] با هدایت حرارتی بالا و خواص ترموفیزیکی مطلوب به سیال پایه باعث بهبود خواص انتقال حرارت سیال پایه می‌گردد. در ده‌های اخیر دانشمندان و محققان تلاش‌های زیادی جهت تعیین ضریب انتقال حرارت و افت فشار نانوسیالات مختلف انجام داده‌اند. پاک و جو را شاید بتوان گفت اولین کسانی دانست که روی اکسید آلومینیوم و دی اکسید تیتانیوم در سیال پایه آب بررسی انجام دادند و یافتند که با افزایش غلظت حجمی عدد ناسلت و ضریب انتقال حرارت جابجایی افزایش می‌یابد. در این سال‌ها نانوساختارهای کربنی مانند گرافن و نانولوله‌ها به خاطر خواص منحصر بفرد مانند ضریب هدایت و رسانایی بالا بسیار مورد توجه پژوهشگران قرار گرفته است [۲]. همچنین پایدارسازی نانوساختارهای کربنی نظیر گرافن [۱۰]، نانولوله کربنی تک جداره و چند جداره [۱۱، ۱۲] در سیال پایه به روش غیر کوآلانسی با استفاده از سورفکتانت [۱۳، ۱۴] یکی از مناسب‌ترین روش‌ها شناخته شده است. از آنجا که در روش‌های غیر کوآلانسی نیاز نیست برای تشکیل گروه‌های کربوکسیل نانوذره در تماس با اسید قرار گیرد در نتیجه مشکلات نظیر خوردگی، کوتاه شدن دنباله نانولوله و تشکیل پیوندهای غیر مناسب در آن دیده نمی‌شود. همچنین می‌توان گفت که روش‌های کوآلانسی وقت گیر هم می‌باشد هر چند که پایدار بودن نانوسیالات حاصل از روش کوآلانسی به دلیل قوی بودن پیوند بین مولکولی طولانی‌تر می‌باشد ولی با توجه به مشکلات بیان شده اغلب برای نانوساختارهای فلزی و اکسیدهای فلزی و در کاربردهای خاص بیشتر کاربرد دارد [۱۵]. در بیشتر این تحقیقات از یک نانوذره در سیال‌های پایه مختلف به منظور سرمایش و گرمایش استفاده شده است. جدیدترین پژوهش‌ها در زمینه ترکیب چند نانوذره در سیال پایه در حال شکل گرفتن است

در اولتراسونیک پروب دار به قدرت ۸۰۰ W همزده شد. داخل ارلن دیگر همین کار برای نانولوله کربنی چند جداره انجام گردید. در انتها محتویات دو ارلن به هم اضافه و به کمک اولتراسونیک به مدت ۳۰ min همزده تا هیبرید پایدار گرافن-نانولوله سیاه رنگ در انتها شکل بگیرد (شکل ۱).



شکل ۱: هیبرید گرافن-نانولوله کربنی در غلظت وزنی ۰/۰۱.

این کار ۴ مرتبه انجام شد. مورفولوژی هیبرید تهیه شده توسط TEM در شکل ۲ آمده است. در این پژوهش غلظت هیبرید تهیه شده ۰/۰۱ درصد وزنی می باشد. تمام آزمایشات در دمای محیط انجام شد. مقدار پتانسیل زتا برای هیبرید تهیه شده در غلظت مذکور ۳۳/۳۰ mV بدست آمد که گواه پایداری بالای نانوسیال تهیه شده است. اعداد پتانسیل بالاتر از مثبت یا منفی ۳۰ نشان پایداری می باشند این در حالی است که بین ۱۰ تا ۳۰ نسبتاً پایدار و کمتر از آن سیال تهیه شده ناپایدار است. شکل ۳ سیستم آزمایشگاهی ساخته شده به منظور بررسی افت فشار و ضریب انتقال حرارت جابجایی نانوسیال-آب را نشان می دهد (شکل ۳-الف). این شکل دارای دولوپ بسته برای سیال سرد و گرم است. سیال گرم در این تحقیق حاوی هیبرید گرافن-نانولوله چند جداره تهیه شده می باشد که بوسیله دو المنت دمایش قابل تنظیم است. در این پروژه دمای المنت ها ۵۵ °C می باشد. بخش سرمایش هم دارای سیستم سردسازی با توان ۱/۵ HP+ بوده که بتواند آب گرم شده را به دمای ابتدایی برساند.

صفحات H، L و m بر اساس زاویه بوجود آمده روی صفحات (صفحات) روی میزان انتقال حرارت موثر می باشد [۲۴،۲۵] که می توان این قسمت را گپ مطالعات عنوان کرد که تحقیقات کمی روی آن انجام شده است. در این پژوهش با استفاده از سدیم دودسیل سولفات به عنوان سورفکتانت، ابتدا هیبرید نانولوله گرافن-نانولوله کربنی چند جداره در سیال پایه آب پایدار گردید. به کمک ستاپ آزمایشگاهی تهیه شده، نانوسیال درون مبدل حرارتی صفحه ای و اشردار با تنوع صفحات مختلف به حرکت درآمد و برای اولین بار میزان اثرگذاری همزمان شکل صفحات و هیبرید گرافن-نانولوله بر دمای خروجی، انتقال حرارت و افت فشار بررسی گردید. همچنین به بررسی بهترین صفحه با توجه به استفاده از هیبرید و راندمان مبدل پرداخته شد.

۲- فعالیت های تجربی

گرافن به قطر ۳۰-۲۰ میکرون (GNP) و ضخامت در حدود ۴۰ nm و نانولوله کربنی چند جداره (MWCNTs) به قطر ۳۰-۲۰ nm و طول ۱۰-۵ میکرون از شرکت VCN خریداری گردید (از هر کدام ۵ گرم). برای پایداری هیبرید گرافن-نانولوله کربنی در آب دوبار تقطیر شده از سدیم دودسیل سولفات (SDS) استفاده گردید که از داخل کشور تهیه شده بود (۵g). این سورفکتانت دارای گروه های غیرقطبی آبگریز و قطبی آبدوست می باشد در نتیجه به راحتی گروه های آبدوست توسط مولکول های قطبی آب جذب شده در حالی که گروه های آبگریز به جذب بر روی سطح گرافن و نانولوله کربنی چند جداره ادامه می دهد. جهت پایداری از هر یک از نانوذره ها به نسبت ۰/۵ به ۰/۵ وزن شد (برای تهیه از نانوذرات و سورفکتانت به نسبت ۱ به ۱ استفاده شده است). در ابتدا برای پایداری بیشتر سورفکتانت به ارلن حاوی آب دو بار تقطیر شده اضافه گردید و سپس گرافن وزن شده به مجموعه اضافه گردید و به مدت ۱۰ min

نویید برای گردش سیال می باشد. دستگاه اختلاف فشارسنج دیجیتال جهت بررسی افت فشار دوسر مبدل و کنتور و شمارنده جریان برای بررسی دبی سیال از دیگر وسیله های مورد استفاده در این کار آزمایشگاهی است (شکل ۳-ب).

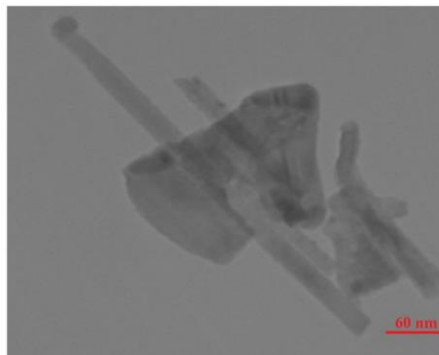
حجم منبع ذخیره گرم و سرد ۱۲۵ لیتر است. مبدل حرارتی صفحه ای بکار رفته مدل ام ۳ با تعداد ۱۱ برگ می باشد که البته می توان صفحات را کم و زیاد کرد. در این پژوهش از ۱۱ صفحه مدل H (High theta)، ۱۱ صفحه L (low theta) و ۱۱ صفحه ترکیب H-L که اصطلاحاً MH-ML بیان می گردد استفاده شده است (شکل ۴).

باید بیان نمود که اغلب صفحات H و L با صفحات با زاویه شورون ۳۰ و ۶۰ درجه اشتباه گرفته می شود زیرا منظور از زاویه شورون ۳۰ درجه، یعنی زاویه بین برآمدگی صفحه و افق و با بتا (β) نمایش داده می شود (شکل ۵). دقت وسیله های اندازه گیری در جدول ۱ آمده است.

جدول ۱: دقت وسیله اندازه گیری مورد استفاده.

دقت	ابزار
۱ °C	دماسنج
۵ mbar	ترمومتر
۱ mm	خط کش

در جدول ۲ جزئیات پارامترهای هندسی مبدل ام ۳ مورد استفاده آمده است. صفحات مورد استفاده H، M و L می باشند. صفحات H دارای زوایای ۶۰ درجه می باشد در حالی که صفحات L دارای زاویه ۳۰ درجه نسبت با سطح افق می باشد. صفحات نوع M نیز از ترکیب صفحات قبلی بدست می آید. مبدل صفحه ای دارای جریان معکوس تک گذر و دارای فریم U شکل می باشد (تمام ورود و خروج های سیال روی فریم جلو است).



شکل ۲: تصویر میکروسکوپ الکترونی عبوری (TEM) هیبرید گرافن-نانولوله کربنی چند جداره.



(الف)



(ب)

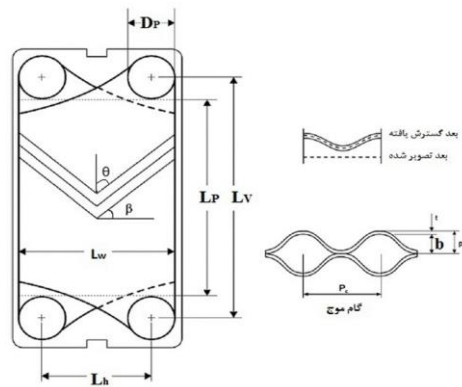
شکل ۳: ستاپ آزمایشگاهی تهیه شده، الف) شمای کلی ستاپ و ب) دستگاه افت فشارسنج دیجیتال نصب شده روی ستاپ آزمایشگاهی.

هر لوپ دارای ۴ دماسنج برند پکنز و ۴ گیج فشار برند پکنز برای بررسی دما و فشار ورود و خروج هر سیال و پمپ برند

سیال سرد و گرم خواص ترموفیزیکی، میزان انتقال حرارت و فشار قابل محاسبه است. از روی دمای میانگین سیال خواص ترموفیزیکی نظیر دانسیته، ظرفیت گرمایی ویژه، ضریب هدایت حرارتی و ویسکوزیته سیال گرم به کمک تئوری اختلاط، رابطه ژوان-روتزل، معادله ماکسول اصلاحی و رابطه برینکمن برای هیبرید و سیال سرد (آب دوبار تقطیر) محاسبه می‌گردد. با محاسبه عدد بی بعد رینولدز و عدد بی بعد پرانتل، عدد بی بعد ناسلت به کمک رابطه ۱ و جدول ۳ بدست می‌آید. با داشتن ناسلت، ضریب انتقال جابجایی محاسبه می‌گردد (رابطه ۲). روابط ۳ و ۴ برای محاسبه افت فشار در پورت و کانال صفحات می‌باشد. افت فشار کل مجموع دو افت فشار پورت و کانال است). ضریب اصطکاک از رابطه ۵ و جدول ۳ و ضریب کلی انتقال حرارت نیز از رابطه ۶ بدست می‌آید [۲۴].



(الف)



(ب)

شکل ۴: الف) صفحات L و H مبدل ام ۳ سری الفالاول (به ترتیب از راست به چپ) و ب) مشخصات هندسی صفحه و زاویه شورون (B).

جدول ۲: مشخصات هندسی مبدل ام ۳ بدون در نظر گرفتن زاویه بنا.

مقدار	پارامتر
۱۱ عدد	تعداد صفحات
۴۲/۹ cm	طول صفحه
۱۲/۵ cm	عرض صفحه
۳۵/۷ cm	فاصله پورت-پورت طولی
۶ cm	فاصله پورت-پورت عرضی
۳۱ mm	پورت (ورود و خروج سیال)
۰/۵ mm	ضخامت صفحات
۰/۳۵۲ m ²	سطح تبادل
۳۳ mm	فاصله فریم تا فریم
۳ mm	گام صفحه

$$NU = C_n Re^n Pr^{1/3} \left(\frac{\mu_{nf}}{\mu_b} \right)^{0.17} \quad (1)$$

$$h = \frac{Nu}{kD_h} \quad (2)$$

$$\Delta p_c = 4f \frac{Leff * Np * G^2 C}{D_E * 2\rho} \left(\frac{\mu_b}{\mu_w} \right)^{-0.017} \quad (3)$$

$$\Delta p_p = 1.4 * N_p * \frac{G_p^2}{2\rho} \quad (4)$$

$$f = \frac{K_p}{Re^m} \quad (5)$$

$$U = \frac{Q}{A * LMTD_h} \quad (6)$$

برای بررسی کارایی مبدل (performance index) نیز از رابطه ۷ استفاده می‌شود. در این رابطه برای بررسی C_{min} از رابطه ۸ استفاده شد:

۳- نتایج و بحث

با توجه به داده‌های خوانده شده از قبیل دبی، دما و فشار برای

جدول ۳: ثابت‌ها برای محاسبه انتقال گرما و افت فشار یک فاز در مبدل صفحه‌ای گسکت‌دار [۲۴].

افت فشار			انتقال گرما			
m	K _p	عدد رینولدز	n	C _n	عدد رینولدز	زاویه شورون β
1 0.589 0.183	50 19.4 2.99	<10 10- 100 >100	0.349 0.663	0.718 0.348	<10 >10	≤30
1 0.625 0.206	47 18.29 1.441	<10 10- 300 >300	0.349 0.558 0.663	0.718 0.400 0.300	10 10- 100 >100	45
1 0.457 0.215	24 3.24 0.76	<40 40- 400 >400	0.362 0.529 0.303	0.562 0.306 0.108	<20 20- 400 >400	60

جدول ۴ در ارتباط با عدم قطعیت ابزار مورد اندازه‌گیری و تکرار آزمایش تهیه شده است. با توجه به اینکه عدم قطعیت کمی با خطا متفاوت است و نیاز است که عدم قطعیت وسیله، آزمایشگر و نتایج حاصل از آن‌ها بررسی گردد.

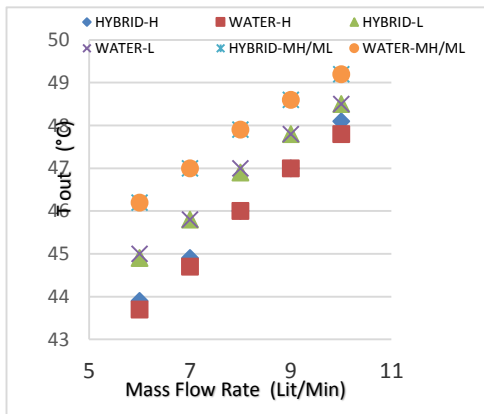
در جدول ۵ عدم قطعیت نتایج نظیر نرخ انتقال حرارت، ضریب انتقال حرارت جابجایی، ضریب اصطکاک، عدد رینولدز و ناسلت آمده است. از آنجا که در تکرار آزمایش از مقدار میانگین استفاده می‌شود و انحراف از مقدار میانگین ممکن است گاهی مثبت و گاهی منفی باشد و متوسط آن‌ها برابر صفر گردد از اختلاف معیار استفاده می‌گردد ولی متداول است که از انحراف معیار که مجذور اختلاف معیار است طبق رابطه ۹ استفاده گردد. برای محاسبه خطای دستگاهی نیز از رابطه ۱۰ استفاده شد (رابطه Beckwith).

$$\sigma = \left(\frac{\sum(x-\bar{x})^2}{n} \right)^{\frac{1}{2}} \quad (9)$$

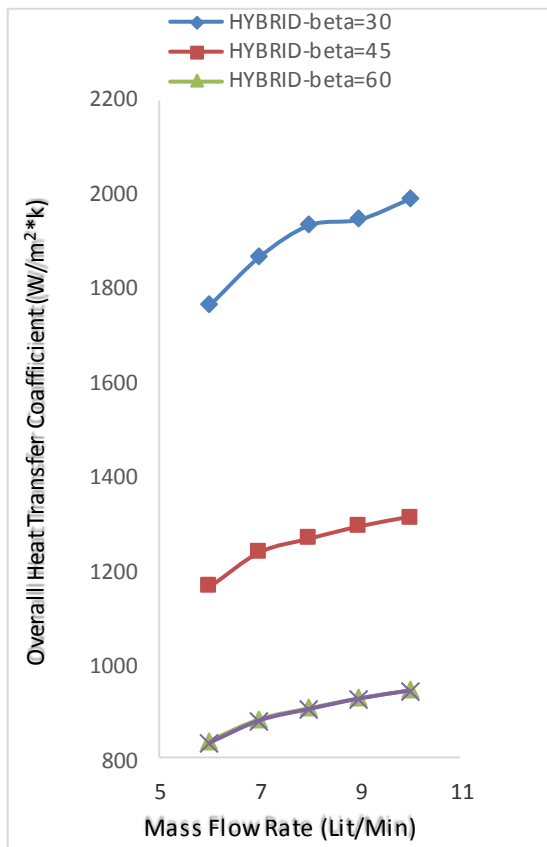
$$\varepsilon = \frac{Q_{nf}}{C_{nf,i_b,i_{min}}} \quad (7)$$

$$C_{min} = \min[m * C_{p,nf}, m * C_{p,b}] \quad (8)$$

در مطالعه حاضر از هیبرید نانوسیال در غلظت ۰/۰۱ وزنی استفاده شده است. دمای المنت‌ها روی ۵۵ °C تنظیم شده است. دمای ورود سیال سرد در این مطالعه ۲۴ °C است. دبی‌ها به صورت حدس و خطا (زمان داده که این میزان از مبدل جریان عبور کند، آنگاه المنت و سیستم سرمایش روشن می‌گردد) قابل تنظیم است. دبی‌های ورودی سیال گرم ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰ Lit/min است. برای تست دستگاه ابتدا برای سیال آب-آب انجام شد و سپس برای سیال هیبرید-آب انجام پذیرفت (آزمایش ۴ مرتبه تکرار شده است). نمودار ۵ دمای خروج سیال گرم با تغییر نوع صفحات بر حسب دبی رسم شده است. دماها بعد از ثابت شدن ثبت شده‌اند.



شکل ۵: نمودار تغییرات دمای خروجی هیبرید بر حسب دبی در غلظت وزنی ۰/۰۱ و دمای ورودی ۵۵ °C.



شکل ۶: نمودار تغییرات ضریب انتقال حرارت کلی بر حسب دبی در غلظت وزنی ۰/۰۱ و دمای ورودی ۵۵ °C.

$$\% \frac{U_x}{x} = \left[\frac{(U_{x1})^2}{x1} + \frac{(U_{x2})^2}{x2} + \dots + \frac{(U_{xn})^2}{xn} \right] \frac{1}{2} \quad (10)$$

در رابطه ۹ ثابت n تعداد اندازه گیری ها و \bar{x} مقدار میانگین آزمایش می باشد. برای عدم قطعیت (uncertainty) آزمایشات نیز از رابطه Kline and McClintock استفاده می شود (رابطه ۱۱) که W_{xn} محدوده خطای اندازه گیری پارامتر X_n می باشد [۱،۲۶]. نتایج حاکی از آن دارد که عدم قطعیت کارایی مبدل نیز کمتر از ۱۰ درصد می باشد.

$$W_x = \left(\left(\frac{\partial x}{\partial x_1} w_{x1} \right)^2 + \left(\frac{\partial x}{\partial x_2} w_{x2} \right)^2 + \dots + \left(\frac{\partial x}{\partial x_n} w_{xn} \right)^2 \right)^{\frac{1}{2}} \quad (11)$$

جدول ۴: عدم قطعیت وسیله و تکرار آزمایش.

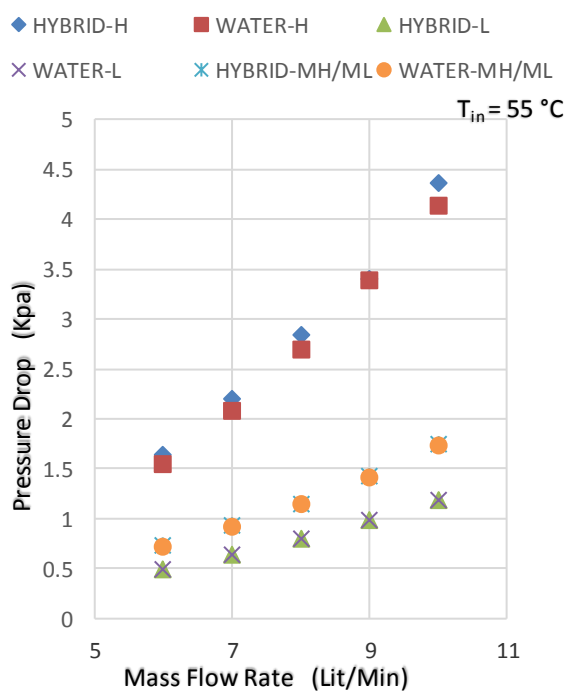
پارامترها	عدم قطعیت تکرار (%)	عدم قطعیت وسیله (%)
دمای هیبرید ورودی (°C)	۲/۵۷	۱/۱۸
دمای هیبرید خروجی (°C)	۱/۷۹	۲/۰۷
دمای آب ورودی (°C)	۵/۸۹	۴/۱۶
دمای آب خروجی (°C)	۱/۶۲	۱/۸۷
دبی هیبرید (Lit/s)	۱/۲۵	زمان=۰/۲۳
		حجم سیال=۱/۴۲
شدت جریان (A)	۱/۳۶	۰/۴۶
اختلاف فشار سمت هیبرید (kPa)	۲/۸۲	۲/۴۰

جدول ۵: عدم قطعیت مربوط به نتایج آزمایش.

نتایج	عدم قطعیت (%)
نرخ انتقال گرما	۲/۲۳
رینولدز	۵/۸۶
ناسلت	۴/۱۰
ضریب جابجایی انتقال حرارت	۶/۱۹
فاکتور اصطکاک	۴/۹۵

افت فشار بر حسب دبی برای نانوسیال و سیال پایه آب ترسیم شده است.

همانطور که از شکل ۷ مشخص است استفاده از صفحات نوع H بیشترین افت فشار را دارد و حتی افت فشار صفحه نوع H وقتی سیستم آب-آب (بدون هیبرید سیال) است بیشتر از زمانی است که از نانوسیال در صفحه نوع M یا L استفاده شده با اینکه زمانی که از نانوسیال استفاده می شود ویسکوزیته نسبت به سیال آب تنها بیشتر شده و این بر افت فشار موثر است ولی دیده می شود که علاوه بر دما، pH، نوع و سایز نانوسیال در مبدل های صفحه ای، نوع صفحات نیز بسیار موثر است.



شکل ۷: نمودار تغییرات افت فشار بر حسب دبی در غلظت وزنی ۰/۰۱ و دمای ورودی ۵۵ °C.

نتایج نشان دادند که صفحات نوع H دارای بیشترین ضریب انتقال حرارت و بیشترین افت فشار می باشند و این یک نتیجه مثبت و یک نتیجه منفی می باشد زیرا زمانی که افت فشار زیاد می گردد باعث می شود که شاید نیاز باشد پمپ عوض گردد و این باعث افزایش هزینه ها می گردد که در صنایع

همانطور که از نتایج مشخص است صفحات نوع H بیشتر از M و L دمای سیال را کاهش می دهند. افزایش دبی باعث افزایش دمای خروجی می شود. همانطور که از نتایج مشخص است حتی زمانی که صفحات H برای سیستم آب-آب بسته شده است از زمانی که نوع M برای هیبرید-آب است دما را بیشتر کاهش می دهد. در نوع L تفاوت چندانی بین سیستم هیبرید-آب و آب-آب وجود ندارد در نتیجه استفاده از هیبرید یا به عبارت دیگر استفاده از نانوسیال در بهبود اختلاف دما موثر نیست. در تمام نتایج زمانی که از صفحات M و H استفاده می گردد، استفاده از هیبرید نانوسیال موثر می باشد در نتیجه زمانی که همزمان از نانو و مبدل حرارتی صفحه ای استفاده می کنیم صفحات با زاویه ۳۰ درجه (L) زیاد اثر چندانی در دمای خروجی سیال ندارد در نتیجه تنها هزینه ها افزایش می یابد. شکل ۶ نمودار ضریب انتقال حرارت بر حسب دبی برای هیبرید نانوسیال تهیه شده برای صفحات مختلف رسم شده است.

همانطور که مشخص است زمانی که از صفحات با زاویه بتا (شکل ۴-ب) یا همان صفحات H تا (مکمل بتا) استفاده می شود ضریب کلی انتقال حرارت بسیار بیشتر از صفحات L می باشد و استفاده از این صفحات بسیار در بهبود انتقال حرارت موثر است. همانطور که برای صفحات L مشخص است استفاده از هیبرید نانوسیال زیاد موثر نیست و شیب دو نمودار بسیار نزدیک به هم است در نتیجه استفاده از هیبرید نانوسیال اقتصادی نمی باشد به عبارت ساده تر استفاده از هیبرید نانوسیال در این صفحات توجیه ندارد. با افزایش دبی در تمام صفحات ضریب انتقال حرارت کلی رو به افزایش است و این نیز به این دلیل افزایش عدد رینولدز و ناسلت می باشد هر چند که با افزایش دبی، فولینگ یا رسوب گذاری روی صفحات بیشتر می گردد چرا که سرعت و برخورد بین مولکولی بیشتر شده و این باعث افزایش رسوب گذاری روی صفحات می گردد و این زمانی که از هیبرید نانوسیال استفاده می شود زودتر مشخص می گردد. شکل ۷ نمودار تغییرات

۴- نتیجه گیری

یکی از مراحل مهم آماده‌سازی هیبرید نانوسیال پایدارسازی آن می‌باشد. در کار حاضر از سدیم دودسیل سولفات که دارای گروه‌های قطبی و غیرقطبی می‌باشد برای پایدارسازی استفاده شد. غلظت تهیه شده ۰/۰۱ درصد وزنی است که از نانوسیالات و سورفکتانت به نسبت ۱ به ۱ استفاده شده است. جهت بررسی پایداری پتانسیل زتا انجام پذیرفت که مشخص گردید عدد زتا پتانسیل بیش از ۳۰- بوده و این نتیجه پایداری بالای روش فوق است. هیبرید آماده شده در سیستم آزمایشگاهی برای صفحات نوع H، L و M مورد بررسی قرار گرفت. تمام آزمایشات برای حالت آب-آب (بدون نانوسیال) هم مورد بررسی قرار گرفت. نتایج مشخص گردید که صفحات نوع H دارای بیشترین افت فشار (نتیجه منفی) و ضریب انتقال حرارت (نتیجه مثبت) می‌باشند. صفحات نوع L دارای کمترین افت فشار و کمترین انتقال حرارت می‌باشند که یک نتیجه مثبت و یک نتیجه منفی پیامد استفاده از این صفحات است. البته از این صفحات زمانی که از نانوسیال هیبرید گرافن-نانولوله استفاده می‌گردد یا سیال آب زیاد در دمای خروجی سیال اثر گذار نیست در نتیجه استفاده از این صفحه مقرون به صرفه نیست. با بررسی همزمان اثر دمای خروجی، افزایش ضریب انتقال حرارت، نداشتن افت فشار بالا و کارایی بالای مبدل مشخص می‌گردد صفحات نوع M بهینه‌ترین حالت باشند که مبدل دارای کارایی بالای ۰/۸۵ می‌باشد. نتایج نشان دادند که هر چه دبی بیشتر می‌گردد این اثر بهبود می‌یابد. در نتیجه افزودن نانوذره‌ها، دما و pH خنثی همیشه پی‌آمد مناسبی ندارد و پارامترهای دیگری چون نوع صفحات بکار گرفته شده و میزان دبی نیز اثر گذار است که کمتر در مبدل‌های صفحه‌ای مورد توجه قرار گرفته است.

مراجع

- [1] L.S. Sundar, M.T. Naik, K.V. Sharma, M.K. Singh, *Experimental Thermal and Fluid Science*, 37, 2012, 65.

بسیار حائز اهمیت است. نایک و همکاران تا زمان این پژوهش تنها پژوهشگرانی هستند که بر روی زاویه صفحات مبدل حرارتی صفحه‌ای برای سیستم روغن-آب آزمایشاتی انجام داده‌اند [۲۵] البته پژوهشگرانی بوده‌اند که روی ساخت هیبرید گرافن-نانولوله پژوهش‌هایی انجام داده‌اند ولی اغلب روی خواص ترموفیزیکی سیال یا استفاده در سایر مبدل‌ها به پژوهش پرداخته‌اند [۱۸، ۲۷]. نایک و همکاران متوجه شدند که صفحات نوع H دارای بیشترین افت فشار و بیشترین ضریب انتقال حرارت می‌باشند این درحالی است که صفحات نوع L کمترین انتقال حرارت و کمترین افت فشار را در بین صفحات دارند. با مقایسه نتایج با آن‌ها می‌شود فهمید که روند نتایج یکسان است و این گواه دیگری بر صحت آزمایشات می‌باشد. کارایی مبدل نیز برای دبی ۱۰ لیتر بر دقیقه برای صفحات نوع H، M و L به ترتیب برابر است با ۰/۹۱، ۰/۸۶ و ۰/۷۷ می‌باشد. با توجه به نتایج برای صفحات L دیده می‌شود که مبدل کارایی بالایی ندارد یا به عبارت دیگر نسبت انتقال حرارت به افت فشار خیلی از عدد ۱ دور است و استفاده از این صفحه به دلیل آشفستگی کم صفحه باعث ایجاد رسوب می‌گردد، در نتیجه گرمای دریافتی در ابتدا مقداری صرف گرم کردن رسوب می‌گردد که نکته مثبتی نمی‌باشد. بطور کلی در مبدل‌های صفحه‌ای مناسب کارایی باید بالای ۰/۸۵ باشد. نتایج همچنین نشان دادند که همیشه استفاده از نانوسیالات باعث بهبود انتقال حرارت نمی‌شوند و گاهی تنها با انتخاب صحیح صفحات مبدل می‌توان به انتقال حرارت مطلوب‌تری دست یافت. با توجه به نتایج بدست آمده در بخش صنعتی پیشنهاد می‌گردد تنها زمانی که مجبور به کاهش بیش از حدی دمای خروجی سیال هستیم از صفحات نوع H استفاده گردد زیرا هزینه‌بردار است و زمانی که افت فشار برای ما مهم می‌باشد فرقی ندارد که از صفحات L با سیال پایه آب استفاده می‌گردد یا از نانوسیال استفاده می‌گردد.

- [15] A. Amiri, R. Sadri, M. Shanbedi, G. Ahmadi, S.N. Kazi, B.T. Chew, M.N. Zubir, *Energy Conversion and Management*, **101**, 2015, 767.
- [16] H.W. Xian, N.A. Sidik, R. Saidur, *International Communications in Heat and Mass Transfer*, **110**, 2020, 104389.
- [17] F.P. Trinh, N.N. Anh, N.T. Hong, P.N. Hong, P.N. Minh, B.H. Thang, *Journal of Molecular Liquids*, **269**, 2018, 343.
- [18] T. Batakliiev, I.P. Doycheva, V. Angelov, V. Gergiev, E. Ivanov, R. Kotsilkova, M. casa, C. Cirillo, R. Adami, M. Samo, P. Ciambelli, *Applied Sciences*, **9**, 2019, 469.
- [19] B. Kumar, S.N. Singh, *Experimental Thermal and Fluid Science*, **87**, 2017, 40.
- [20] J. Albadr, S. Tayal, M. Alasadi, *Case Studies in Thermal Engineering*, **1**, 2013, 38.
- [21] C. Han, L. Zou, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **91**, 2015, 302.
- [22] B. Singh, D.B. Singh, G. Singh, *International Journal of Engineering Research and Development*, **12**, 2016, 15.
- [23] M. Bahiraei, R. Rahmani, A. Yaghoobi, E. Khodabandeh, R. Mashayekhi, M. Amani, *Applied Thermal Engineering*, **133**, 2018, 137.
- [24] F.A. Mota, E.P. Carvalho, M.A. Ravagnani, *Heat Transfer Studies and Applications*, **142**, 2015, 115.
- [25] V.R. Naik, V.K. Matawala, *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, **2**, 2013, 362.
- [26] K.M. Shirvan, M. Mamourian, J.A. Esfahani, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **138**, 2019, 1583.
- [27] A. Caradonna, C. Badini, E. Padovano, M. Pietrolungo, *Materials*, **12**, 2019, 1522.
- [2] M. Shanbedi, A. Amiri, S.Z. Heris, H. Eshghi, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **131**, 2018, 1089.
- [3] M. Shanbedi, S.Z. Heris, A. Maskooki, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **120**, 2015, 1193.
- [4] A.K. Tiwari, P. Ghosh, L. Sarkar, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **89**, 2015, 1110.
- [5] A. Ghaffarkhah, M. Afrand, M. Talebkeikhah, A.A. Sehat, M.K. Moraveji, F. Talebkeikhah, M. Arjmand, *Journal of Molecular Liquids*, **15**, 2020, 112249.
- [6] A. Amiri, M. Shanbedi, M.J. AliAkbarzade, *Journal of Dispersion Science and Technology*, **37**, 2016, 949.
- [7] S.O. Giwa, M. Sharifpur, M. Goodarzi, H. Alsulami, J.P. Meyer, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **6**, 2020, 1.
- [8] F. Jabbari, A. Rajabpour, S. Saedodin, *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*, **135**, 2019, 1787.
- [9] S. Chavan, V. Gumtapure, *Journal of Energy Storage*, **27**, 2020, 101045.
- [10] M. Tabandeh-Khorshid, A. Kumar, E. Omrani, C. Kim, P. Rohatgi, *Composites Part B: Engineering*, **183**, 2020, 107664.
- [11] M. Thakur, D. Gangacharyulu, G. Singh, *International Journal of Engineering Transactions B: Applications*, **30**, 2017, 1223.
- [12] M. Xing, J. Yu, R. Wang, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **88**, 2015, 609.
- [13] A. Amrollahi, A. Rashidi, M. Emami Meibodi, K. Kashefi, *Journal of Experimental Nanoscience*, **4**, 2009, 347.
- [14] M.A. Sabiha, R.M. Mostafizur, R. Saidur, *International Journal of Heat and Mass Transfer*, **93**, 2016, 862.