

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی

مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها

اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله

## بررسی و تحلیل اثر نانو سیال نقره بر مبدل حرارتی لوله ای پره دار به منظور بهبود راندمان حرارتی

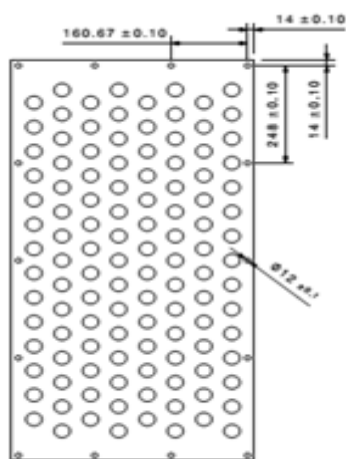
علی احمدی، دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران غرب؛ aliahmadi.mech@gmail.com

علی رجب پور، استادیار مهندسی مکانیک، دانشگاه بین المللی امام خمینی (ره) قزوین؛ a.rajabpour@gmail.com



شکل ۱: مبدل حرارتی لوله ای پره دار

سیال عامل مبدل مورد نظر آب می باشد که در دمای ۲۲ الی ۲۵ درجه سانتی گراد وارد و در دمای ۳۰ الی ۳۲ درجه سانتی گراد با دبی ۴۰ متر مکعب بر ساعت از مبدل خارج می شود. گاز کوره نیز در دمای ۷۵۰ درجه سانتی گراد توسط فنی با دبی ۲۰ الی ۳۲ هزار متر مکعب بر ساعت وارد مبدل مورد نظر می شود.



شکل ۲: صفحات تشکیل دهنده مبدل حرارتی

با توجه به اثرات مثبتی که استفاده از نانو ذرات در افزایش هدایت حرارتی و ضریب انتقال حرارت جابجایی و در نتیجه افزایش کارایی مبدل های حرارتی دارند [۱،۲]، لزوم استفاده از نانو سیالات در مبدل های حرارتی واضح و مبرهن است [۳]. در این تحقیق قصد داریم تا مبدل حرارتی مورد نظر را به کمک نانو سیال نقره با درصد حجمی مختلف جهت امکان سنجی بهبود انتقال حرارت و بازدهی مورد ارزیابی قرار دهیم.

### چکیده

با توجه به پیشرفت‌های اخیر در فناوری نانو، یکی از روش‌های نوین بهبود راندمان مبدل های حرارتی، استفاده از نانوسیال ها می باشد که در دهه گذشته مطالعات تجربی و نظری فراوانی پیرامون آن در مراجع علمی صورت گرفته است. نتایج نشان می دهد که در تمام موارد به کار بردن نانو سیال، انتقال حرارت مبدل حرارتی افزایش نمی یابد و این امر وابسته به شرایط فیزیکی و مرزی مبدل، از جمله ضخامت لوله ها و ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال اطراف لوله ها می باشد. در این تحقیق یک نمونه از مبدل حرارتی لوله ای پره دار که در صنعت تولید ورق های فولادی استفاده می شود، جهت امکان سنجی بهبود انتقال حرارت به کمک نانوسیال نقره مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. با توجه به نتایج حاصله در مبدل حرارتی مورد نظر به علت شرایط محیطی حاکم بر مبدل، استفاده از نانو سیال مورد نظر تاثیری بر راندمان حرارتی مبدل نداشته است. در حقیقت به علت اینکه ضریب انتقال حرارت جابجایی درون لوله بسیار بیشتر از ضریب انتقال حرارت جابجایی بیرون لوله ها می باشد تغییر در سیال درون لوله ها تاثیری بر راندمان حرارتی مبدل نخواهد داشت.

کلمات کلیدی: نانو سیال ؛ مبدل حرارتی لوله ای پره دار ؛ راندمان حرارتی

### مقدمه

مبدل حرارتی لوله ای پره دار مورد نظر که در قسمت خنک کاری کوره قرار دارد جهت کاهش دمای گاز کوره که ترکیبی از گازهای هیدروژن و اکسیژن<sup>۱</sup> با درصد معین می باشد، استفاده می شود. گاز کوره در دمایی بین ۷۰۰ الی ۷۵۰ درجه سانتی گراد وارد مبدل حرارتی شده و پس از گذر از سه مبدل حرارتی به دمایی حدود ۴۰۰ درجه سانتی گراد خواهد رسید. این گاز خنک شده مجدداً جهت انجام فرآیند مورد نظر خود به کمک فن های دمنده باز گردانده خواهد شد. شکل ۱ نمایی از مبدل حرارتی مورد نظر و شکل ۲ صفحات تشکیل دهنده مبدل حرارتی را نشان می دهد.

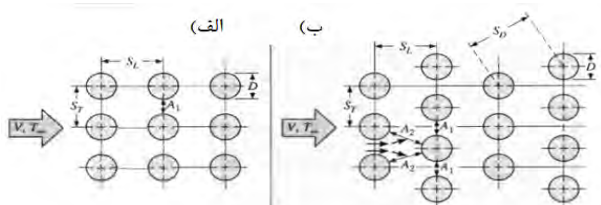
<sup>۱</sup> HNX

$$Nu_D = 1.13 C_1 Re_{D,max}^m P_r^{1/3} \quad (4)$$

که در این رابطه عدد رینولدز از رابطه (۵) بدست می آید.

$$Re_{D,max} = \frac{\rho V_{max} D}{\mu} \quad (5)$$

و  $V_{max}$  به نوع چینش لوله ها در دسته لوله ها ( نوع چینش staggered و یا نوع aligned) و فاصله لوله ها بستگی دارد. که در شکل (۴) نحوه چینش لوله ها نشان داده شده است.



شکل ۴: نحوه چینش لوله ها در مبدل حرارتی الف) aligned- (ب) staggered[۶]

با توجه به شکل (۴) و با توجه به این که نحوه چینش لوله ها در مبدل مورد نظر از نوع staggered می باشد،  $V_{max}$  از رابطه ی (۶) بدست می آید [۶].

$$V_{max} = \frac{S_T}{S_T - D} V \quad (6)$$

با توجه به ابعاد و نحوه چینش لوله ها سرعت ماکزیمم و عدد رینولدز بدست خواهند آمد.

$$V_{max} = 1.694V$$

سرعت سیال در لوله از رابطه (۷) بدست می آید.

$$V = V/A_{in} = (20000 \div 3600) / 0.9843 = 5.644 \text{ (m/s)} \quad (7)$$

در نتیجه سرعت ماکزیمم و عدد رینولدز ماکزیمم برابر خواهد بود با:

$$V_{max} = 1.694 * 5.644 = 9.6 \text{ (m/s)}$$

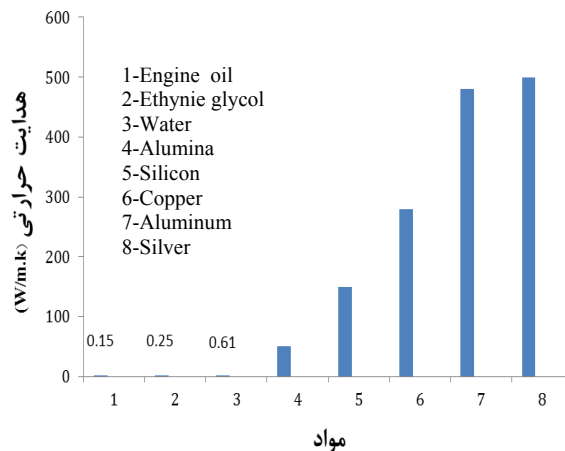
$$Re = V_{max} \cdot D / \nu = 9.6 * (25.4 \cdot 10^{-3}) / 60.742 \cdot 10^{-6} = 4014.356$$

ثوابت  $C_1$  و  $m$  در رابطه گرمیسیون با توجه به ابعاد و نحوه چینش لوله ها برابر هستند با:

$$m = 0.564 \quad C_1 = 0.4562$$

با جایگذاری مقادیر بدست آمده در رابطه عدد ناسلت می توان مقدار مربوط به عدد ناسلت را بدست آورد و با داشتن آن ضریب انتقال حرارت جریان سیال خارج لوله ها را محاسبه کرد.

علت استفاده از نانو ذرات نقره خواص حرارتی به ویژه ضریب هدایت حرارتی بالای این فلز و امکان تولید آسان این نانو سیال در شرکت های دانش بنیان کشور می باشد [۴]. شکل ۳ مقایسه ای است از ضریب هدایت حرارتی چند ماده که گویای بالا بودن ضریب هدایت حرارتی نقره می باشد.



شکل ۳: هدایت حرارتی مواد جامد و مایع در ۳۰۰ کلوین [۵]

با توجه به شرایط ذکر شده برای آب و گاز اطراف مبدل، ظرفیت گرمایی ویژه آب و گاز برابر خواهد بود با:

$$C_{p,water} = 4.179 \text{ (KJ/Kg.K)}$$

$$C_{p,GAS} = 1.087 \text{ (KJ/Kg.K)}$$

در نتیجه گرمای منتقل شده به آب در مبدل برابر خواهد بود با:

$$Q = m C_p (T_{water,out} - T_{water,in}) = 371.43 \text{ KJ} \quad (1)$$

همچنین حداکثر حرارتی که در مبدل قابل انتقال می باشد از اختلاف دمای آب و گاز در ورودی مبدل به دست می آید.

$$Q_{max} = C_{min} (T_{gas,in} - T_{water,in}) = (m c)_{gas} \Delta T = 2251 \text{ KJ} \quad (2)$$

بازده مبدل حرارتی از تقسیم انتقال حرارت واقعی به حداکثر انتقال حرارت ممکن بدست خواهد آمد.

$$\varepsilon = Q / Q_{max} = 0.16 \quad (3)$$

در حقیقت بازدهی مبدل مورد نظر برابر با ۱۶ درصد می باشد.

مقادیر بدست آمده حاصل از نتایج آزمایشات عملی بر مبدل حرارتی می باشد.

### تحلیل مبدل حرارتی به کمک آب و نانو سیال نقره

از آنجایی که جریان خارجی در هر دو حالت استفاده از آب و نانو سیال نقره یکی می باشد در ابتدا به بررسی جریان خارجی در مبدل خواهیم پرداخت. برای جریان روی دسته لوله ها از رابطه گرمیسیون<sup>۱</sup> عدد نوسلت جریان محاسبه می شود [۶].

<sup>1</sup> Grimson

همچنین مقاومت گرمایی رسانشی لوله ی پره دار که از جنس استیل ۳۰۴ می باشد، از رابطه (۱۱) محاسبه می شود [۶].

$$R_{t,cond} = \frac{\ln(r_2/r_1)}{2\pi lk} \quad (11)$$

با توجه به ضریب انتقال حرارت هدایتی استیل مقاومت رسانشی پره ها برابر خواهد بود با:

$$K_{steel304} = 19.8 \text{ w/m-k}$$

$$R_t = \ln(2.4/2.9)/(2\pi * 0.9 * 1.8) = 1.65e-3$$

محاسبه ضریب انتقال حرارت کلی مبدل :

ضریب انتقال حرارت کلی مبدل با صرف نظر از مقاومت تماسی با رابطه (۱۲) قابل محاسبه خواهد بود [۷].

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{(\eta_0 h A)_c} + R_w + \frac{1}{(\eta_0 h A)_h} \quad (12)$$

با جایگذاری مقادیر مورد نظر در رابطه ی (۱۲) خواهیم داشت:

$$\frac{1}{UA} = \frac{1}{66903 * 7.235} + 1.65 * 10^{-3} + \frac{1}{0.623 * 92.956 * 86.6}$$

$$UA = 540.11 \text{ (W/K)}$$

با توجه به روابط (۱۳) و (۱۴) در روش ε-NTU می توان بازده مبدل را محاسبه کرد [۷].

$$NTU = UA/C_{min} = 0.17421 (C_r = 0.06676) \quad (13)$$

$$(14)$$

$$\varepsilon = 1 - \exp(-C_r^{-1} [1 - \exp(-C_r (NTU))])$$

با جایگذاری مقادیر مربوطه بازدهی مبدل برابر با ۰،۱۵۹ خواهد بود که با ۰،۱۶ مقدار بدست آمده از مقادیر واقعی تطابق خوبی خواهد داشت.

$$\varepsilon = 0.159$$

با داشتن بازدهی مبدل و با توجه به روابط (۱)، (۲) و (۳) می توان مقادیر

مربوط به انتقال حرارت واقعی و حداکثر انتقال حرارت صورت گرفته را

محاسبه کرد.

$$\varepsilon = Q/Q_{max} \quad Q = 0.1590 * 2250.7 = 357 \text{ KJ}$$

$$Q_{max} = C_{min}(T_{gas,in} - T_{water,in}) = (\dot{m}c)_{gas} \Delta T = 2250.7 \text{ KJ}$$

با داشتن این مقادیر می توان دمای خروجی گاز از مبدل و دمای آب خارج شده از لوله ها را به وسیله ی رابطه ی (۱۵) بدست آورد.

$$Q = \dot{m}C_p(T_{water,out} - T_{water,in}) = \dot{m}C_p(T_{gas,out} - T_{gas,in}) \quad (15)$$

$$Nu = 1.13 C_1 Re^m Pr^{1/3} = 49.416$$

ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال از رابطه (۸) قابل محاسبه است.

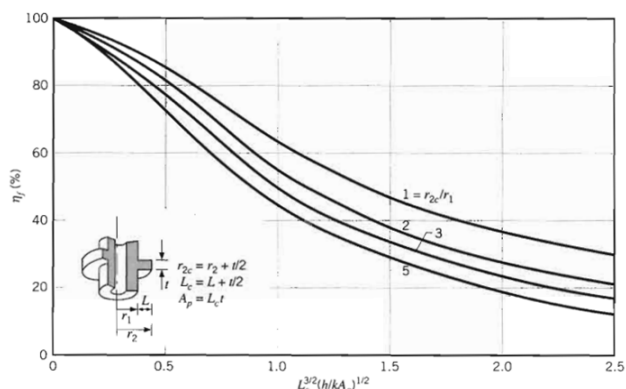
$$h_{out} = \frac{Nu \cdot K}{D} = 92.956 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)} \quad (8)$$

بازدهی پره ها

بازده کلی پره های روی لوله ها از رابطه (۹) حاصل می شود [۶].

$$\eta_0 = 1 - \frac{NA_f}{A_t} (1 - \eta_f) \quad (9)$$

که در آن  $N_f$  از شکل (۵) و مقادیر مربوط به  $A_t$  و  $A_f$  با توجه به ابعاد و اندازه لوله های مبدل بدست می آیند.



شکل ۵: بازدهی پره های حلقوی [۶]

با توجه به شکل فوق و ابعاد و اندازه های مبدل مورد نظر و با توجه به اینکه پره ها از جنس آلومینیوم می باشد خواهیم داشت :

$$\eta_0 = 0.623$$

جریان داخلی گذرنده از مبدل حرارتی

جهت بدست آوردن عدد نوسلت برای جریان داخل لوله ها می توان از رابطه دیتوس - بولتر<sup>۱</sup> استفاده کرد [۷]:

$$Nu_D = 0.023 Re_D^{4/5} Pr^n \quad (10)$$

که در این رابطه برای سرمایش لوله  $n=0.3$  و برای گرمایش لوله  $n=0.4$  می باشد.

در نتیجه عدد ناسلت و ضریب انتقال حرارت جابجایی درون لوله های مبدل برابر خواهد بود با:

$$Nu = 2296$$

$$h_{in} = Nu \cdot K / D = 366903 \text{ (W/m}^2 \cdot \text{K)}$$

<sup>1</sup> Dittus-Boelter

جدول (۳) مقادیر مربوط به کسر حجمی های مختلف از نانو سیال نقره را بر اساس روابط فوق نشان می دهد.

جدول ۳: خواص ترموفیزیکی نانو سیال نقره بر حسب کسر حجمی

خواص نانو سیال	کسر جرمی از نانو سیال نقره				
$(J g^{-1}K^{-1})$					
$\mu$					
درصد افزایش ضریب هدایت حرارتی					

با توجه به مقادیر جدول فوق افزایش هدایت حرارتی نانو سیال نقره نسبت به سیال پایه قابل مشاهده است.

عدد ناسلت برای جریان درهم در نانو سیال ها مطابق با رابطه ی (۲۰) بیان می شود [۱۶، ۱۵].

(۲۰)

$$Nu_{nf} = 0.0059(1.0 + 7.6286 * \phi^{0.6896} Pr_f^{0.001}) Re_{nf}^{0.8238} Pr_{nf}^{0.4}$$

همانند قسمت قبل با داشتن عدد ناسلت می توان ضریب انتقال حرارت جابجایی و سپس ضریب انتقال حرارت کلی مبدل و متعاقبا بازدهی مبدل را محاسبه کرد.

مقادیر بدست آمده برای نانو سیال نقره با درصد حجمی های مختلف در جدول زیر آورده شده اند.

جدول ۴: مقادیر مربوط به ارزیابی مبدل با نانو سیال نقره

خواص انتقال حرارتی نانو سیال	کسر حجمی از نانو سیال نقره و ویسکوزیته دینامیکی مربوطه				
	0.01	0.03	0.05	0.07	0.09
Re	786165	875664	954708	1022490	1077848
Pr	2.25E+00	4.73E+00	4.16E+00	3.52E+00	3.23E+00
Pe	1768872	4140140	3971587	3599164	3481448
Nu	3.02E+03	5.74E+03	6.92E+03	7.79E+03	8.73E+03
h(W/m2K)	91057	183953	231882	279395	330002
UA(w/k)	5.40E+02	5.40E+02	5.41E+02	5.41E+02	5.41E+02
NTU	0.17427	0.17435	0.17436	0.17437	0.17438
$\epsilon$	0.16	0.16	0.16	0.16	0.16
Q(KJ)	355	356	356	357	357
$T_{nanofluid}(k)$	32	34	35	37	39
$T_{gas}(k)$	635.44	635.06	635.02	634.99	634.98

در نتیجه خواهیم داشت:

$$T_{water,out} = 32^{\circ}C$$

$$T_{gas,out} = 635^{\circ}C$$

با مقایسه نتایج حاصله از تحلیل مبدل حرارتی و نتایج واقعی حاصل از آزمایش مبدل تطابق خوبی بین نتایج مشاهده می شود.

بازدهی مبدل در هر دو حالت حدود ۱۶ درصد حاصل شده و همچنین عدد به دست آمده برای دمای آب خارج شده از لوله ها با اعداد آزمایش شده توسط شرکت همخوانی دارد که نشان دهنده صحت محاسبات می باشد. جدول ۲ که مقایسه ی بین مقادیر واقعی و مقادیر حاصل از محاسبات می باشد در حقیقت اعتبار سنجی محاسبت مورد نظر می باشد.

جدول ۲: اعتبار سنجی محاسبات

	$T_{water,out}$	$\epsilon$	Q
نتایج حاصل از آزمایش	30-32 $^{\circ}C$	0.16	371.43 KJ
نتایج حاصل از محاسبات	32 $^{\circ}C$	0.159	357 KJ

تحلیل مبدل حرارتی با نانو سیال نقره

در مطالعه حاضر نانو سیال را نیوتنی و غیر قابل تراکم فرض کرده ایم و خواص فیزیکی آن را نیز ثابت در نظر گرفته ایم. هم چنین به علت استفاده از مدل تک فازی تعادل دمایی برای نانو ذرات و سیال پایه را خواهیم داشت.

روابط بکار رفته در این مطالعه برای خواص نانو سیال به شرح زیر می باشد. چگالی نانو سیال [۹، ۸]:

$$\rho_p = (1 - \phi)\rho_f + \phi\rho_p \quad (16)$$

ظرفیت گرمایی ویژه نانو سیال [۱۱، ۱۰]:

$$(\rho c_p)_{nf} = (1 - \phi)(\rho c_p)_f + \phi(\rho c_p)_p \quad (17)$$

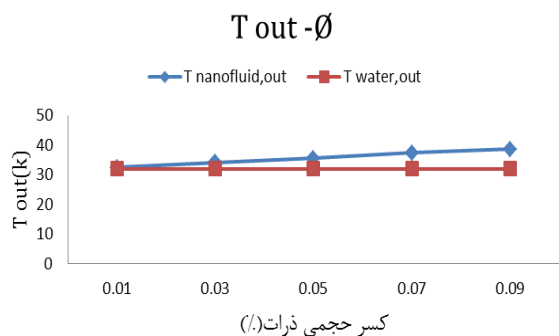
لزجت دینامیکی نانو سیال [۱۳، ۱۲]:

$$\mu_{nf} = \frac{\mu_f}{(1 - \phi)^{2.5}} \quad (18)$$

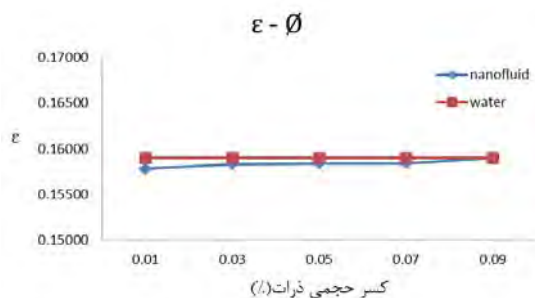
هدایت حرارتی نانو سیال [۱۴]:

$$\frac{k_{nf}}{k_f} = \frac{k_p + (n - 1)k_f - (k_f - k_p)(n - 1)\phi}{k_f + (n - 1)k_f + (k_f - k_p)\phi} \quad (19)$$

با جایگذاری مقادیر فوق در روابط مربوط به نانو سیال نقره در درصد های حجمی مختلف مقادیر مربوط به نانو سیال مورد نظر بدست خواهد آمد.



شکل ۸: دمای خروجی نانو سیال از مبدل



شکل ۹: بازده حرارتی مبدل بر حسب درصد حجمی نانو سیال

**نتیجه گیری**

نتایج حاصل از به کارگیری نانو سیال های مختلف در مبدل های حرارتی تایید کننده خواص ویژه نانو سیال ها در انتقال حرارت می باشد. اما همانطور که در این گزارش نشان داده شده است، در تمام موارد به کار بردن نانو سیال، انتقال حرارت مبدل افزایش نمی یابد و این امر وابسته به شرایط فیزیکی و مرزی مبدل مورد نظر، از جمله ضخامت لوله ها و ضریب انتقال حرارت جابجایی سیال اطراف لوله ها می باشد. در حقیقت به علت اینکه ضریب انتقال حرارت جابجایی درون لوله بسیار بیشتر از ضریب انتقال حرارت جابجایی بیرون لوله ها می باشد تغییر در سیال درون لوله ها تاثیری بر راندمان حرارتی مبدل نخواهد داشت و برای افزایش راندمان حرارتی و انتقال حرارت مبدل باید تغییراتی در بیرون لوله ها ایجاد کرد.

در این تحقیق با دیدی کاربردی، مساله ی افزایش انتقال حرارت مبدل های حرارتی به کمک نانو سیال ها مورد بررسی قرار گرفته است و یک نمونه صنعتی مبدل حرارتی لوله ای پره دار که در صنعت تولید ورق های فولادی استفاده می شود، ارزیابی شده است.

ابتدا این مبدل به کمک سیال آب مورد بررسی قرار گرفته شده و نتایج حاصل با اطلاعات بدست آمده از آزمایش مبدل مورد نظر، اعتبار سنجی شده اند، که تطابق خوبی را نشان می دهند. سپس محاسبات مورد نظر برای نانو سیال نقره با کسر حجمی مختلف انجام شده است، که با توجه به نتایج حاصل، عدم تاثیر کاربرد نانو سیال نقره در افزایش راندمان حرارتی این مبدل قابل مشاهده می باشد.

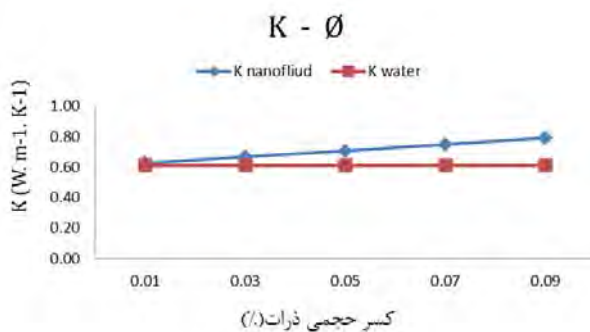
**تشکر و قدردانی**

در خاتمه از زحمات و تلاش های سرکار خانم مرضیه سادات دهقان نیبری در تهیه ی این مقاله، تقدیر و تشکر فراوان را دارم.

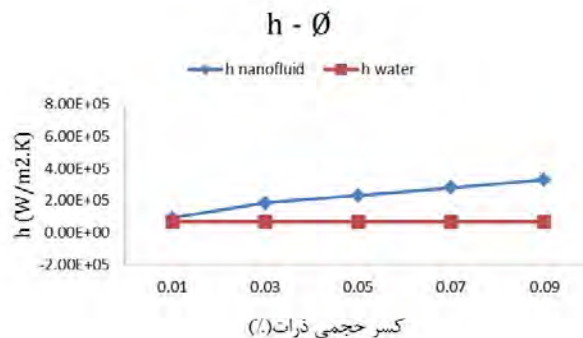
در این تحقیق تمام شرایط مساله در حالت استفاده از نانو سیال نقره با حالت استفاده از آب به عنوان سیال عامل یکسان می باشد. با توجه به مقادیر بدست آمده در جدول فوق برای این نوع خاص از مبدل حرارتی لوله ای پره دار به این نتیجه می رسیم که اگرچه شاهد افزایشی در دمای سیال خروجی از لوله ها بوده ایم اما به کار بردن نانو سیال درون لوله ها تاثیر چندانی بر راندمان حرارتی مبدل نداشته است و علت این امر غالب بودن مقاومت حرارتی گاز اطراف لوله و جدار لوله نسبت به مقاومت گرمایی سیال درون لوله می باشد.

**نتایج**

با توجه به نمودار های ارائه شده در این بخش مشخص می شود که با جایگزینی نانو سیال با آب مقادیر  $k$  و  $h$  مربوط به نانو سیال افزایش قابل ملاحظه ای خواهد داشت. همچنین دمای خروجی نانو سیال افزایش و دمای خروجی گاز کاهش خواهد یافت. اما مقدار گرمای مبادله شده و ضریب انتقال حرارت کلی مبدل و در نتیجه بازدهی آن تغییر قابل ملاحظه ای نداشته است. که این امر به این علت است که ضریب انتقال حرارت گاز بیرون مبدل نسبت به نانو سیال درون مبدل بسیار کمتر می باشد، در نتیجه تاثیر بیشتری بر ضریب انتقال حرارت کلی مبدل خواهد داشت.



شکل ۶: ضریب انتقال حرارت هدایتی نانو سیال



شکل ۷: ضریب انتقال حرارت جابجایی نانو سیال

فهرست علائم

مساحت (  $m^2$  )

گرمای ویژه در فشار ثابت (kJ/kg. K)

نسبت گرمای ویژه حداقل به حداکثر

قطر (m)

آنتالپی (kJ/s)

هدایت حرارتی (W/m. K)

طول (m)

دبی جرمی هوا (kg/s)

عدد ناسلت

عدد پراتنل

انتقال حرارت (J)

شعاع (m)

مقاومت

عدد رینولدز

دما (k)

اختلاف دما (k)

کلی

سرعت (m/s)

علائم یونانی

درصد حجمی

چگالی (kg/m<sup>3</sup>)

لزجت دینامیکی (kg/m.s)

لزجت سینماتیکی (m<sup>2</sup>/s)

بازدهی پره

بازدهی مبدل

زیر نویس ها

ورودی

خروجی

حداقل

حداکثر

نانو سیال

سیال اصلی

گاز

نانو ذره

سمت داغ

سمت سرد

کلی

سیال اصلی

دیواره

مراجع

[1] زینالی هریس، س.، نصر اصفهانی، م.، اعتماد، س. غ. ر.، بررسی پتانسیل نانو سیال بعنوان محیطهای جدید انتقال حرارت. مجله مهندسی شیمی ایران. سال چهاردهم شماره هجدهم، ۱۳۸۴.

[2] ساریجلو، م.، بلوری زاده، ا.، مطالعه عددی جریان نانوسیال و انتقال حرارت در میکروکانال ها، ۱۳۸۵.

[3] دانشمندی، م.، نانو سیال در طراحی مبدل حرارتی با استفاده از سیال در مقیاس نانو متری و شبیه سازی آن در نرم افزار فلونت.

[4] Mohammad Saleh, J., Heyhat, M. M., Rajabpour, A., Enhancement of thermal conductivity of silver nanofluid synthesized by a one-step method with the effect of polyvinylpyrrolidone on thermal behavior, Applied Physics Letter, 2013.

[5] S. M. S. Murshed, K. C. Leong, and C. Yang, Thermophysical and electrokinetic properties of Nanofluids - A critical review. Applied Thermal Engineering, 2008. 28(17-18): pp. 2109-2125.

[6] Incropera, DeWitt, Bergman, Lavine., Fundamentals of Heat and Mass Transfer, Sixth Edition.

[7] کیزیو، م.، لندن، ا. ل.، معتمد اکتسابی، م. ر.، ۱۳۷۱، مبدل های حرارتی فشرده، شرکت رادیاتور ایران.

[8] آهن سازان، ب.، حمیدی، ع. ا.، مروری بر مطالعات تجربی انتقال حرارت جابجایی نانو سیال ها. دومین همایش بین المللی مبدلهای گرمایی در صنعت نفت و انرژی، ۱۳۸۹.

[9] پیغمبرزاده، س. م.، علی دادی، ا.، پیش بینی ضریب رسانش حرارتی نانو سیال ها با استفاده از روابط مختلف اولین کنفرانس بین المللی فناوری نانو، ۱۳۸۹.

[10] زینالی هریس، س.، اعتماد، س. غ. ر.، بررسی انتقال حرارت نانوسیال در داخل لوله، اولین همایش دانشجویی فناوری نانو، ۱۳۸۵.

[11] Rajabpour, A., Yousefi, F., Heyhat, m. m., Gordiz, K., Molecular dynamics simulation of the specific heat capacity of water-cu nanofluids, International Nano Letters, 2013.

[12] امین فرح، فرزندی، ا.، مطلب زاده، ر.، بررسی انتقال حرارت همرفتی در نانو سیال، پانزدهمین کنفرانس سالانه بین المللی مهندسی مکانیک، ۱۳۸۶.

[13] قاسمی، م.، محمدی، ر.، عبدالله زاده، م. ی.، بهبود خنک کاری میکرو کانال ها با استفاده از نانو سیال، ششمین کنفرانس سالانه دانشجویی مهندسی مکانیک، ۱۳۸۷.

[14] نوری، ع.، عزتی، د.، بررسی انتقال حرارت جابجایی اجباری نانو سیال در جریان آرام داخل لوله، ششمین کنفرانس سالانه دانشجویی مهندسی مکانیک، ۱۳۸۷.

[15] Lee, J., Mudawar, I., Assessment of the effectiveness of nanofluids for single-phase and two-phase heat transfer in micro-channels, International Journal of Heat and Mass Transfer, 50, PP.452-463, 2007.

[16] Qiang, L., Yimin, X., Convective heat transfer and flow characteristics of Cu-water nanofluid, Sci. China Ser. E, PP. 408-416, 2002.

A

cp

Cr

D

h

k

l

$\dot{m}$

Nu

Pr

Q

r

R

Re

T

$\Delta T$

U

v

$\square$

$\rho$

$\mu$

$\nu$

$\eta$

$\epsilon$

in

out

min

max

nf

water

gas

p

h

c

t

f

w

# SID



سرویس های ویژه



سرویس ترجمه تخصصی



کارگاه های آموزشی



بلاگ مرکز اطلاعات علمی



سامانه ویراستاری STES



فیلم های آموزشی

## کارگاه های آموزشی مرکز اطلاعات علمی



مقاله نویسی علوم انسانی



اصول تنظیم قراردادها



آموزش مهارت های کاربردی در تدوین و چاپ مقاله