

(مطالعه آزمایشگاهی روی خواص فیزیکی، افت فشار و ضریب اصطکاک نانوسیال آب-اکسید آلومینیم در لوله های زبر و صاف)

بهنام حسینی^۱، محمود رضا رحیمی^۲

1- دانشجوی ارشد مهندسی شیمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهر

2- دکتری و مدیر گروه مهندسی شیمی دانشگاه یاسوج

سخنران: بهنام حسینی

چکیده:

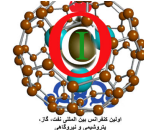
در این مقاله گزارشی از یک مطالعه آزمایشگاهی روی اندازه گیری خواص نانو سیال آب-اکسید آلومینیم، پایداری نانوذرات اکسید آلومینیم در آب و همچنین محاسبه ضریب اصطکاک نانو سیال آب و اکسید آلومینیم در 2 لوله با زبری بالا و یک لوله صاف پرداختیم. در این مقاله ما روی جریان آرام توسعه یافته تمرکز کردیم و از 4 نمونه نانو سیال آب - اکسید آلومینیم با درصدهای وزنی (1، 4، 6، 7٪) استفاده کردیم. با افزایش درصد وزنی ویسکوزیته، دانسیته افزایش پیدا کرد. نتایج نشان داد که با افزایش مقدار نانو ذرات در آب افت فشار و ضریب اصطکاک افزایش یافته است. این مقدار افزایش بین نانو سیال و آب تاثیری زیادی در توان پمپ نمی گذارد و نشان می دهد نانو سیال ها جایگزین خوبی برای سیالات خالص هستند.

واژه های کلیدی: نانو سیال - افت فشار - ضریب اصطکاک - نانو ذره - زبری نسبی

1- آدرس نویسنده اول: یاسوج خیابان باهنر فرعی ششم درب آخر پلاک 4 کدپستی 7591954479

و پست الکترونیک (behnam61_hosseini@yahoo.com)

2- آدرس نویسنده دوم: یاسوج دانشگاه یاسوج دانشکده مهندسی و پست الکترونیک (mrrahimi@mail.yu.ac.ir)



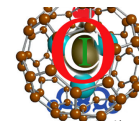
1- مقدمه

سیالات حامل انرژی مثل آب، مایعات معدنی، روغن ها و اتیلن گلیکول نقش حیاتی در بسیاری از فرایندهای صنعتی مثل فرایندهای گرمایشی و سرمایشی، حمل و نقل، فرایندهای شیمیایی و غیره ایفاء می کنند. خواص انتقال حرارتی در این سیالات خیلی بالا نیست و در نتیجه تاثیر منفی در بهبود راندمان انتقال حرارت در مبدلهای حرارتی دارند. همانطور که می دانیم ذرات جامد داری ضریب حرارتی بالاتری نسبت به مایعات هستند و بشر برای بهبود راندمان انتقال حرارت دست به ابتکار جدیدی در علم زد و تلاش کرد سوسپانسیونی از ذرات جامد در سیالات خاص بسازد. سوسپانسیون ها با ذرات معلق در اندازه های میلی و میکرو متری مشکلاتی همچون مسدود کردن کانال ها، ته نشین شدن در سیال، فرسایش شبکه لوله، کاهش در انتقال مومنتم و افزایش افت فشار ایجاد می کرد. [1] علم نانو تکنولوژی راه جدیدی را برای برطرف کردن این مشکلات جلوی پای مهندسی سیالات گذاشت. برای اولین بار چوی در آزمایشگاه ملی آرگون آمریکا استفاده از ذرات نانو متری در سیالات خاص را مطرح نمود و نام نانو سیال را برایش برگزید. بین نانوسیالات و سوسپانسیون های حاوی ذرات میلی و میکرومتری تفاوت های زیادی مشاهده شد. نانو سیالات از پایداری و خواص رئولوژیکی بهتری برخوردار بودند و همچنین موجب انتقال حرارت بالاتری نیز می شدند. [7] در سال های گذشته بسیاری از محققین در کنار خواص انتقال حرارت نانوسیالات به اندازه گیری ضریب ویسکوزیته، ضریب اصطکاک و همچنین میزان افت فشار در سیستم های مختلف پرداخته اند که به صورت مختصر به بررسی آنها می پردازیم:

[3] s. u.s.choi, kyo sik hwang یک مطالعه آزمایشگاهی برای محاسبه ضریب اصطکاک و ضریب انتقال حرارت بر روی نانو سیال آب-اکسید آلومینیم با غلظت های متفاوت و مقایسه آن با آب خالص زمانی که جریان به صورت آرام و توسعه یافته در درون یک لوله مدور انجام دادند. دستگاه آنها که شامل یک لوله استیل با قطر داخلی 18.12mm و طول 2500mm بود. در این تحقیقات مشاهده شد که دیتاهای آزمایشگاهی بدست آمده برای ضریب اصطکاک نانو سیال با فرمول داری برای جریان تک فازی موافقت خوبی دارد. که در نهایت به این نتیجه رسیدند که در شرایط یکسان افت فشار در نانو سیال بسیار نزدیک به مقادیر افت فشار در سیال پایه می باشد و ضریب اصطکاک نانو سیال مطابقت خوبی با مقادیر ضریب اصطکاک در آب خالص دارد.

S.M.Fotukian, M.Nasr Esfahany [4] تحقیقات آزمایشگاهی خود را بر روی نانو سیال اکسید آلومینیم - آب در یک لوله مدور انجام دادند. آنها برای محاسبه دانسیته از فرمول $\rho_{nf} = \rho_{ff}(1 - \phi) + \phi \cdot \rho_{np}$ و برای ویسکوزیته از فرمول $\mu_{nf} = \mu_{ff}(1 + a\phi)$ پیروی کردند. نتایج بدست آمده در تحقیق آنها نشان می داد که بین دیتاهای بدست آمده از آزمایش و فرمول Colebrook مقداری انحراف وجود دارد و همچنین در رینولدز های ثابت افت فشار با افزایش غلظت حجمی نانوذرات در آب افزایش پیدا می کند. افت فشار در نانوسیال اکسید آلومینیم - آب با غلظت 0.135% حجمی با افزایش 30 درصدی در رینولدز 20000 نسبت به آب خالص مشاهده شد. و به این نتیجه رسیدند که با افزایش غلظت ذرات نانو در سیال پایه افت فشار افزایش یافته است.

[5] Tun-ping Teng, Yi-Hsuan Hung در تحقیقات خود بر روی نانو سیال اکسید تیتانیوم - آب در چهار دمای مختلف دانسیته، ویسکوزیته و ضریب اصطکاک را با غلظت های 0.5%، 1% و 1.5% وزنی در لوله ای با زبری نسبی 0.01314 و قطر داخلی 35mm و طول 6m. در حالت جریان آرام توسعه یافته انجام دادند. نتایج بدست آمده از این تحقیق نشان می داد که با بالا رفتن غلظت نانو ذرات در آب ویسکوزیته و دانسیته افزایش یافته و با بالا رفتن دما کاهش پیدا می کردند. افزایش ضریب



اصطکاک در جریان آشفته بین آب و نانوسیال اکسید تیتانیوم-آب خیلی کم بود ولی در جریان آرام بیشتر است. آنها به این نتیجه رسیدند که معادلات قدیمی برای محاسبه ضریب اصطکاک در جریان در لوله مدور نمی توانند معادلات کامل و مورد اطمینانی باشند و انحراف معادلات قدیمی برای ضریب اصطکاک در جریان آرام از 3.55الی 6.17 درصد و برای جریان آشفته از 3.08الی 3.81درصد دیده می شد.

[6]Y.Xuan , Q.Li به صورت آزمایشگاهی انتقال حرارت جابجایی و ویژگی های جریان نانو سیال آب-مس را که در یک لوله مستقیم با فلاکس حرارتی ثابت جریان داشت در شرایط رژیم جریان آرام و متلاطم بررسی کردند. نانو ذرات مس دارای قطر کمتر از 100nm بودند. نتایج آنها نشان داد که ضریب اصطکاک با افزایش غلظت نانو ذرات افزایش یافته است و رابطه ای برای پیش بینی ضریب انتقال حرارت جابجایی نانو سیالات در رژیم های جریان آرام و متلاطم ارائه نمودند.

2- آزمایش:

1-2 تجهیزات آزمایش

سیستم آزمایشگاهی تحقیق ما همانطور که در شکل نشان داده شده است از یک پمپ استیل، یک تانک ذخیره محلول، یک دستگاه دیجیتالی اندازه گیری دبی جریان، دو فشارسنج دیجیتال متصل به کامپیوتر و دو لوله تشکیل شده است. لوله اول با زبری نسبی 0.0854 و قطر داخلی 17mm و طول 1m و لوله دوم، یک لوله شیشه ای کاملاً صاف با قطر داخلی 6.5mm و طول 98cm است. تمامی دیتاهای بدست آمده با استفاده سیستم کامپیوتری ذخیره می شود.



شکل 1

2-2 تهیه مواد آزمایش:

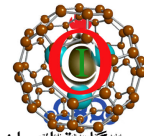
در آزمایش بر روی دستگاه ما از سیال آب خالص و بعد از نانو سیال اکسید آلومینیم - آب استفاده کرده ایم. برای تهیه نانو سیال در غلظت های مختلف ما از دستگاه اولتراسونیک به عنوان لرزنده ما فوق صوت برای پراکنده کردن نانو ذرات اکسید آلومینیم با اندازه 20-25 nm (ساخته شده از شرکت اسپانیایی) استفاده کرده ایم. همانطور که میدانیم نانو ذرات در خواص سطحی، شکل و اندازه با هم متفاوت هستند. ما برای پایداری نانو ذرات در آب، نانو ذره را در طول مدت های مختلف برای غلظت های متفاوت آزمایش کردیم و بهترین نتیجه پایداری را بدست آوردیم. نانو سیال بعد از 4-5 ساعت که درون دستگاه اولتراسونیک بود تا 24 ساعت بعد از بیرون آوردن از دستگاه به صورت پایدار باقی ماند و در مدتی که نانو سیال درون

شکل 2



اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



دستگاه قرار داشت، هر نیم ساعت یک بار ماده را بیرون آورده و بعد از چند بار تکان دادن دوباره درون دستگاه قرار می دادیم تا تمایل ذرات به ته نشین شدن و چسپندگی را از بین ببریم .

3-2 شیوه کار:

آب یا نانوسیال تهیه شده ابتدا درون مخزن تانک ریخته شده و بعد از روشن کردن پمپ به درون لوله ها منتقل می شود. در ابتدا لوله دوم را بسته و فقط لوله اول را مورد آزمایش قرار می دهیم و به همین ترتیب ادامه می دهیم. فشار در ابتدا وانتهای لوله ها اندازه گیری می شود. ما در اینجا به بررسی ضریب اصطکاک در جریان متلاطم می پردازیم و نتایج تجربی خود را با دو مدل Round(1980) و Haaland(1983) مقایسه کردیم. البته بعد از هر آزمایش ما ویسکوزیته نانوسیال را توسط ویسکومتر اندازه گیری کردیم.

4-2 محاسبات:

برای محاسبه رینولدز، دانسیته، ویسکوزیته و ضریب اصطکاک به طرق زیر عمل می شود.

$$P_{nf} = \rho_{Bf}(1 - \phi) + \phi \cdot \rho_{np} \quad (1)$$

$$\mu_{nf} = \mu_{Bf}(1 + a\phi) \quad (2)$$

$$Re_{nf} = \frac{\rho_{nf} v_{nf} d}{\mu_{nf}} \quad (3)$$

$$f_{nf} = \frac{\Delta P D}{L \rho v_{nf}^2} \quad (4)$$

$$\frac{1}{f^2} = -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon/d}{3.7} \right)^{1.11} \right] \quad (5)$$

$$\frac{1}{f^2} = -1.8 \log \left[0.27 \frac{\epsilon}{d} + \frac{6.5}{Re} \right] \quad (6)$$

ϕ : درصد حجمی

d : قطر داخلی لوله

a : ضریب ثابت 2.5×10^{-5} سرعت نانو سیال در لوله

ρ_{nf} : دانسیته نانو سیال

ρ_{Bf} : دانسته سیال پایه

ρ_{np} : دانسته نانو ذره

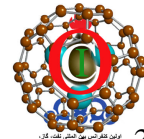
μ_{nf} : ویسکوزیته نانو سیال

μ_{Bf} : ویسکوزیته سیال پایه

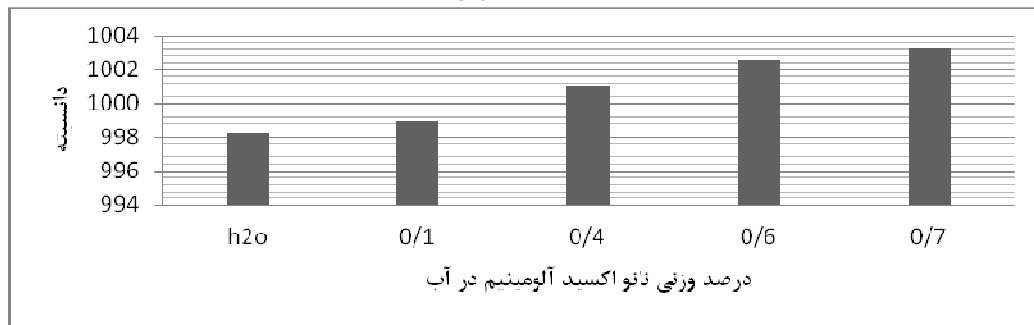
f_{nf} : ضریب اصطکاک نانو سیال

L : طول لوله

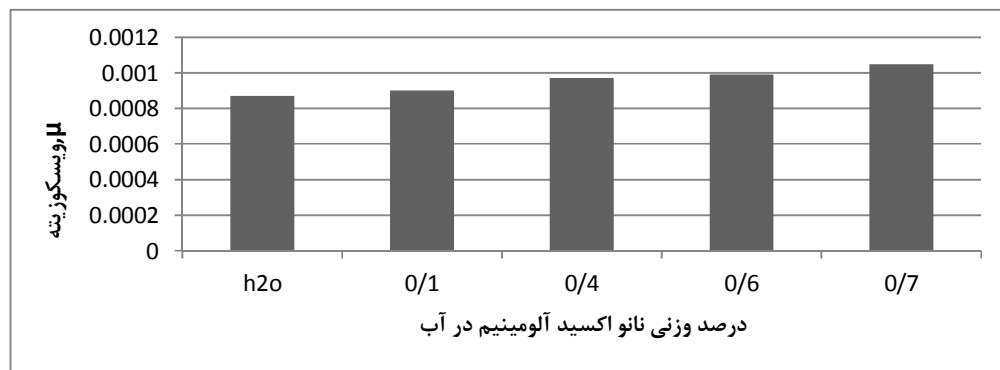
ϵ/d : زبری نسبی



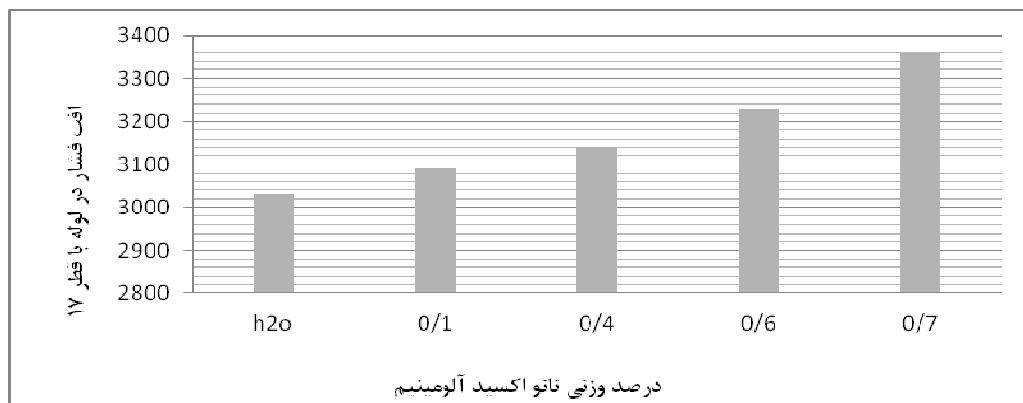
نمودار 1



نمودار 2

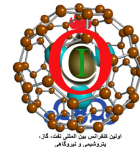


همانطور که در نمودار 1 و 2 پیداست با افزایش غلظت ذرات نانو اکسید آلومینیم در آب مقدار دانسیته و ویسکوزیته افزایش یافته است .

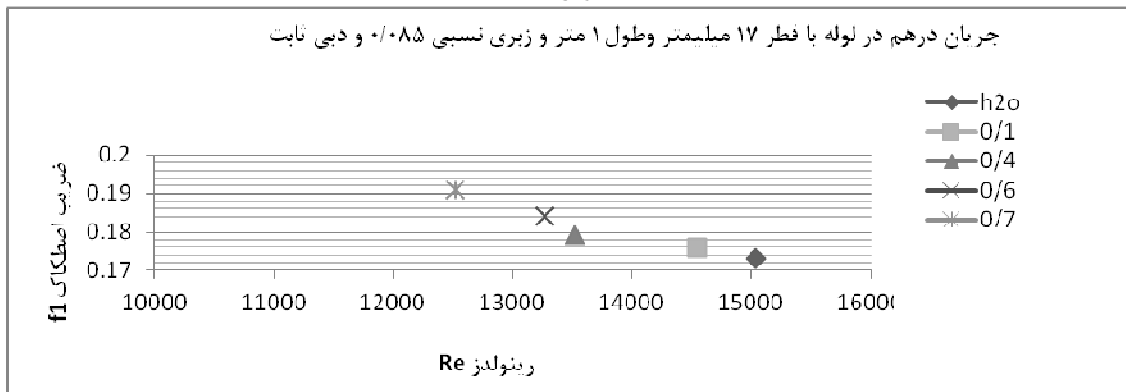


نمودار 3

با اندازه گیری فشار در دونقطه ابتدا و انتهای لوله توسط سنسورهای فشار، مقدار افت فشار را بدست آوردیم که این افت ها تقریباً با افزایش غلظت نانو ذرات اکسید آلومینیم در آب که در نمودار 3 مشخص است افزایش یافت . همانطور که در نمودار شماره 4 مشاهده می کنید نتایج بدست آمده از آزمایش نشان می دهد که در جریان متلاطم در لوله زبر در دبی ثابت مقدار رینولدز با افزایش غلظت نانو ذرات در آب کاهش یافته و در نتیجه افزایش ضریب اصطکاک را مشاهده می کنیم .

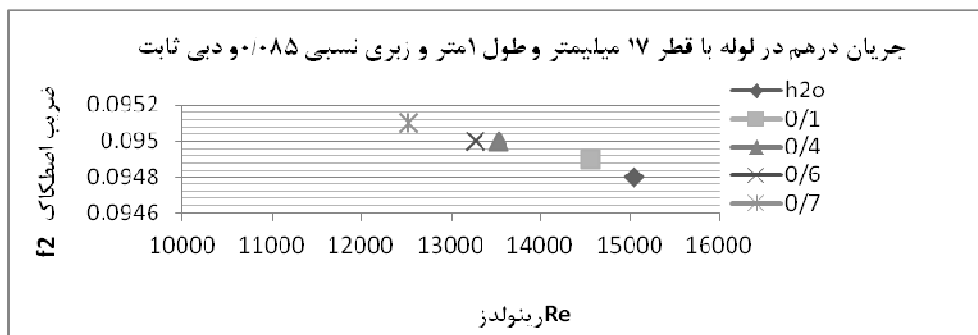


نمودار 4



مقدار F_1 ضریب اصطکاک تجربی بدست آمده از داده های آزمایشگاهی است. معادله تجربی ما $f_{nf} = \frac{\Delta P D}{L \rho V_{nf}^2}$ است. همانطور که در نمودار شماره 5 می بینید ما داده های بدست آمده از آزمایش بر روی لوله زبر را روی معادله

نمودار 5



$$\frac{1}{f^2} = -1.8 \log \left[\frac{6.9}{Re} + \left(\frac{\epsilon/d}{3.7} \right)^{1.11} \right] \text{ Haaland(1983)}$$

Haaland(1983) است.

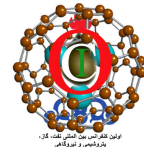
معادله Haaland(1983) افزایش ضریب اصطکاک را با افزایش نانو ذرات اکسید آلومینیم نشان می دهد. نتایج بدست آمده از معادله Haaland(1983) با مقادیر بدست آمده ضریب اصطکاک تجربی اختلاف زیادی دارد که نشان می دهد این معادله برای لوله های با زبری نسبی بالاتر از 0.05 کارساز نیست. ما از معادله Round(1980) استفاده کردیم.

$$\frac{1}{f^2} = -1.8 \log \left[0.27 \frac{\epsilon}{d} + \frac{6.5}{Re} \right]$$

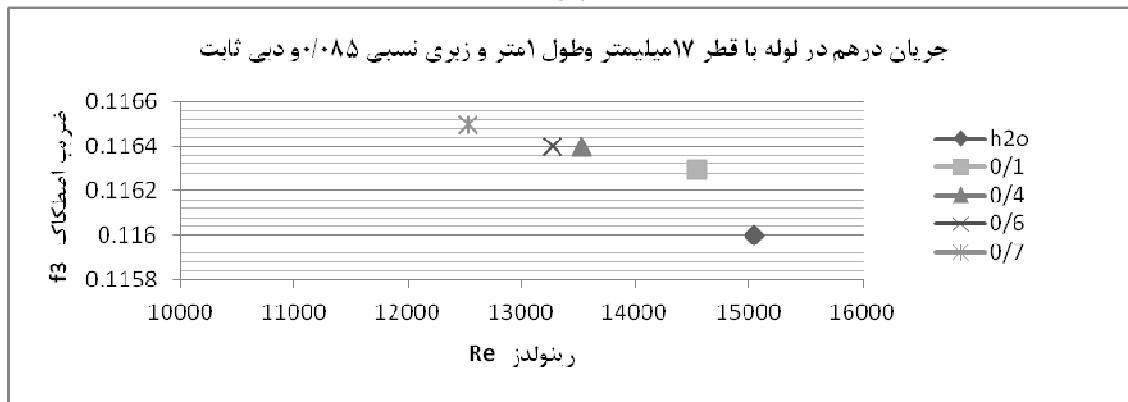
همانطور که در نمودار 6 مشاهده می کنید نتایجی که از معادله Round(1980) بدست آمد نشان می داد که با افزایش غلظت نانو ذرات مقدار ضریب اصطکاک هم کمی افزایش یافته ولی نتایج حاصله با نتایج تجربی اختلاف دارد. از مقایسه دو معادله بالا با معادله تجربی نتیجه گرفتیم که باید معادله ای ارائه دهیم که برای لوله های با زبری نسبی بالاتر از 0.05

کارساز باشد. معادله پیشنهادی ما $\frac{1}{f^2} = -1.8 \log \left[0.54 \frac{\epsilon}{d} + \frac{6.9}{Re} \right]$ است، که از تجزیه و تحلیل دو معادله

Round(1980) و Haaland(1983) بدست آمده است

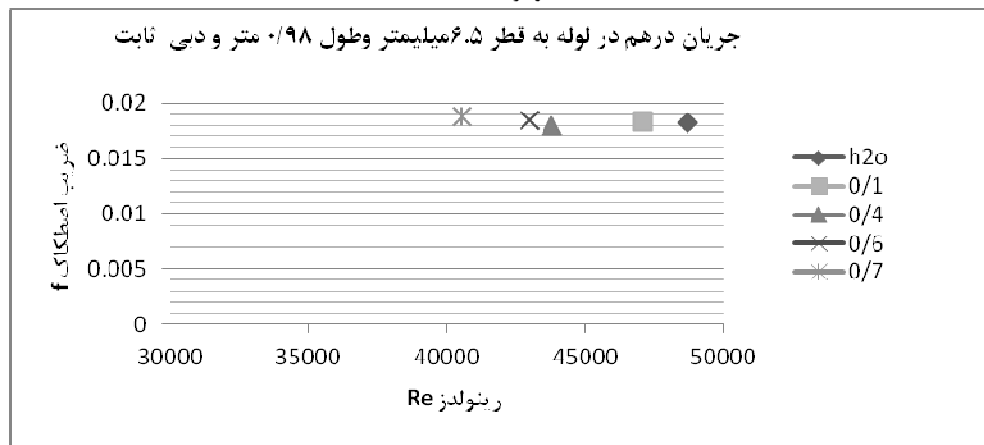


نمودار 6



آزمایش بعد بر روی یک لوله کاملاً صاف انجام شده که نتایج طبق نمودار شماره 7 مشخص و معین است.

نمودار 7



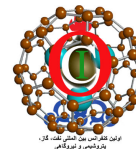
همانطور که در نمودار بالا مشخص است در جریان متلاطم در لوله صاف با وجود این اختلاف بالای عدد رینولدز در آب و نانو سیال آب-اکسید آلومینیم، ضریب اصطکاک آب در مقایسه با ضریب اصطکاک غلظت های متفاوت نانو سیال آب-اکسید آلومینیم کمتر است ولی این مقدار ناچیز است.

نتایج :

- 1- در لوله های زبر با مقدار زبری نسبی بالا تر از 0.05 به یک مدل که از تجزیه و تحلیل دو مدل Round(1980) و Haaland(1983) بود رسیدیم که به دیتاهای تجربی نزدیک است.
- 2- مقدار ضریب اصطکاک نانو سیال آب-اکسید آلومینیم در مقایسه با آب خالص در لوله های صاف اختلاف بسیار ناچیز دارد ولی در لوله های با زبری نسبی بالا این اختلاف بیشتر است.
- 3- افت فشار در طول لوله هر چه قطر لوله کمتر شود بیشتر می شود و این افت فشار با افزایش غلظت ذرات نانو در آب در لوله های باریک با افزایش دبی جریان افزایش قابل توجهی دارد ولی با افزایش قطر لوله این افزایش ناچیز می شود.
- 4- نانو سیالات می توانند جایگزین خوبی به جای سیالات خالص باشند و وجود آنها تاثیر چندانی در توان پمپ ندارد.
- 5- در طول آزمایش پایداری نانو سیالات در طول لوله و همچنین در لحظات پمپاژ تقریباً برقرار بود.

اولین کنفرانس بین المللی نفت، گاز، پتروشیمی و نیروگاهی

مرکز همایش های بین المللی هتل المپیک تهران



مراجع:

کتاب:

- [1] اعتماد، غ.، 1386، نانو سیال محیط جدید انتقال حرارت.، اصفهان: انتشارات ارکان دانش، چاپ اول، ص 204-167
- [2] استریترو، وایلی، بدفورد، 1383، مکانیک سیالات، مشهد: انتشارات اسفند، چاپ چهاردهم، ص 284-247

مقاله:

[3] .K.S Hwang, S.U.S. Choi, **Flow and convective heat transfer characteristics of water – based Al_2O_3 nanofluids in fully developed laminar flow regime**, international journal of heat and mass transfer, (2009), 193 -199

[4] S.M. Fotukian, Nasr Esfahany, **Experimental investigation of turbulent convective heat transfer of dilute Al_2O_3 / Water nanofluid inside a circular tube**, international journal of heat and fluid flow, (2010), 607-616

[5] Tun.ping Teng, Yi. Hsuan Hung, **pressure drop of TiO_2 / Water nanofluid in circular pipes**, particuology, (2011), pp. 486-491

[6] Y.Xuan, Q.Li, **investigation on convective heat transfer and flow features of Nanofluids**, Asme j. heat transfer, (2007), pp.151-155

[7] W.DuangThongsuk, S. Won gwises, **Heat transfer enhancement and pressure drop characteristics of TiO_2 / water nanofluid in a double-tube counter flow heat exchanger**, international journal of heat and mass transfer, (2008), pp. 2059-2067