

ICHMT2014-XXXX

## مقایسه انتقال حرارت و افت فشار سمت پوسته در مبدل حرارتی پوسته و لوله حاوی نانوسیال آب /

### آلومینا و مبدل حرارتی حاوی آب با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

پویا شاه محمدی<sup>۱</sup>، حسین بیکی<sup>۲</sup>

<sup>۱</sup>دانشجوی کارشناسی ارشد، دانشگاه مهندسی فناوری های نوین قوچان، pouya\_sh65@yahoo.com

<sup>۲</sup>استادیار، دانشگاه مهندسی فناوری های نوین قوچان، hbeiki@qiet.ac.ir

#### چکیده

در پژوهش حاضر به شبیه سازی سه بعدی مقایسه سرعت، انتقال حرارت و افت فشار سیال سمت پوسته در یک مبدل حرارتی پوسته و لوله حاوی نانوسیال آب / آلومینا یک درصد حجمی و آب تحت شرایط جریان آشفته با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی پرداخته شده است. برای رسم و شبکه بندی هندسه مبدل حرارتی مورد نظر از نرم افزار گمبیت نسخه ۲.۲.۳۰ استفاده شده است. در هر مبدل حدود ۱۰۰۰۰۰۰ سلول وجود دارد. برای پردازش هندسه ایجاد شده نیز از نرم افزار انسیس فلونت نسخه ۱۴.۵ استفاده گردید. برای شبیه سازی رفتار حرارتی و رئولوژیکی نانوسیال مذکور از زبان برنامه نویسی سی<sup>۱</sup> در سربرگ تابع تعریف کاربر<sup>۲</sup> استفاده شد. نتایج بدست آمده از نرم افزار نشان دادند که استفاده از نانوسیال باعث افزایش نرخ انتقال حرارت، و کاهش در سرعت و افت فشار سمت پوسته در مقایسه با سیال پایه آب می شوند.

#### واژه های کلیدی

مبدل حرارتی پوسته و لوله، نانوسیال، جریان آشفته، دینامیک سیالات محاسباتی

#### مقدمه

امروزه به دلیل هزینه های بالای انرژی و افزایش آلودگی های زیست محیطی، بهینه سازی مصرف انرژی در صنایع به ضرورتی اجتناب ناپذیر تبدیل شده است. یکی از پرمصرف ترین تجهیزاتی که در صنایع شیمیایی به صورت مستقیم با انرژی سروکار دارند، مبدل های حرارتی می باشند. پس از پیدایش نانوسیالات، بهبود خواص حرارتی سیالات در مبدل های حرارتی، به منظور افزایش نرخ انتقال حرارت، کاهش زمان انتقال حرارت، کاهش ابعاد مبدل و همچنین کاهش مصرف انرژی و به طبع آن کاهش هزینه ها مورد توجه قرار گرفت. تاکنون مطالعات بسیاری در رابطه با خواص حرارتی نانوسیالات صورت گرفته است اما اغلب این مطالعات مبنای آزمایشگاهی دارند و مطالعات عددی و محاسباتی که منجر به شناخت رفتار نانوسیال در جریان آشفته در سمت پوسته باشد موجود نیست.

فرج الهی و همکاران [۱] یک آنالیز آزمایشگاهی برای مطالعه انتقال حرارت نانوسیال در یک مبدل پوسته و لوله تحت جریان آشفته انجام دادند. نتایج نشان می داد که در یک عدد پکلت معین، ویژگی های انتقال حرارت نانوسیال آب / دی اکسید تیتانیوم بالاتر از نانوسیال آب / گاما آلومینا<sup>۲</sup> می باشد در حالی که نانوسیال آب / گاما آلومینا دارای رفتار انتقال حرارت بهتری در غلظت نانوذرات بالاتر می باشند. حق شناس فرد و همکاران [۲] انتقال حرارت نانوسیال اکسید روی در آب را در مبدل حرارتی دو لوله ای و مبدل حرارتی صفحه ای مورد مطالعه قرار دادند. لطفی و همکاران [۳] افزایش انتقال حرارت نانوسیال نانولوله های کربنی چند دیواره در آب را، در یک مبدل حرارتی پوسته و لوله افقی مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که انتقال حرارت در حضور نانولوله های چند دیواره در مقایسه با سیال پایه افزایش یافته است. اختری و همکاران نیز بررسی تجربی و عددی خود را روی نانوسیال آلفا آلومینا<sup>۳</sup> و آب را برای جریان آرام در مبدل حرارتی پوسته و لوله بدون بافل و در مبدل حرارتی دو لوله ای انجام دادند [۴]. تمامی مطالعات انجام شده در این زمینه نشان می دهند که استفاده از نانوذرات باعث بهبود خواص حرارتی سیال پایه می شوند و همچنین میزان انتقال حرارت در مبدل ها را به دلیل افزایش هدایت حرارتی و ضریب انتقال حرارت، افزایش می دهند. در مطالعه حاضر به بررسی و مقایسه میزان انتقال حرارت و افت فشار سمت پوسته در مبدل حرارتی پوسته و لوله حاوی نانوسیال آب / آلومینا و سیال پایه آب تحت جریان آشفته با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی پرداخته ایم. برای این منظور از مبدل حرارتی پوسته و لوله موجود در مرجع [۵] استفاده شده است. مرحله پردازش نیز با استفاده از نرم افزار انسیس فلونت نسخه ۱۴/۵ انجام گرفته است. جدول ۱ اطلاعات هندسی مبدل حرارتی پوسته و لوله را نمایش می دهد.

جدول (۱) - ابعاد مبدل مورد بررسی

پارامتر	مقدار	واحد
قطر پوسته	۹۰	mm

$$\begin{aligned} & \text{Water} \gamma - Al_2O_3 \text{ }^{\alpha} \\ & \alpha - Al_2O_3 \text{ }^{\epsilon} \end{aligned}$$

C<sup>۱</sup>  
User Define Function<sup>۲</sup>

-	کوپل	عایق	بدون لغزش
m	۰/۰۰۱	-	ضخامت دیوار
$^{\circ}K$	۲۹۶	۳۶۳	دمای ورودی
			دما

شرایط انتخاب شده جهت مدلسازی برای گسسته سازی در مدل مذکور، از طرح گسسته سازی مرتبه دوم برای معادلات انرژی و مومنتوم و برای سایر معادلات از طرح گسسته سازی مرتبه اول استفاده شده است. معیارهای همگرایی برای معادلات مختلف در جدول ۳ نمایش داده شده است.

جدول (۳) - باقی مانده های تعیین شده برای نرم افزار

متغیر ها	باقی مانده ها
x-Velocity	$10^{-6}$
y-Velocity	$10^{-6}$
z-velocity	$10^{-6}$
Continuity	$10^{-6}$
K	$10^{-6}$
$\epsilon$	$10^{-6}$
Energy	$10^{-8}$

به دلیل اینکه خواص ترموفیزیکی نانوسیال با دما تغییر می کند، برای بهتر شدن نتایج با استفاده از زبان برنامه نویسی سی برای ویسکوزیته، دانسیته و ضریب هدایت حرارتی موثر نانوسیال، توابع زیر بعنوان تابع ورودی کاربر در نرم افزار تعریف شده اند [۱].

$$\mu_{nf} = \mu_{bf}(1 + 2.5\phi) \quad (1)$$

$$\rho_{nf} = (1 - \phi)\rho_{bf} + \phi\rho_p \quad (2)$$

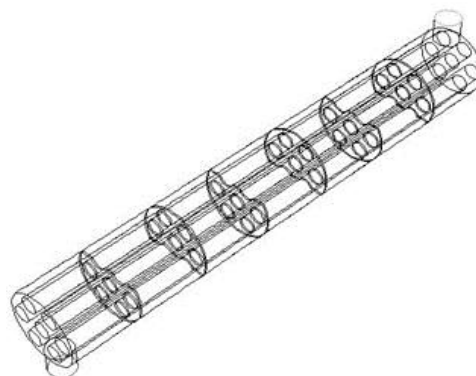
$$k_{nf} = \frac{k_p + 2k_{bf} + 2(k_p - k_{bf})(1 + \beta)^3\phi}{k_p + 2k_{bf} - (k_p - k_{bf})(1 + \beta)^3\phi} k_{bf} \quad (3)$$

برای محاسبه ظرفیت حرارتی نانوسیال نیز از رابطه ژوان و روتزل [۱] استفاده شده است.

قطر خارجی لوله ها	۲۰	mm
فاصله بین لوله ها و آرایش لوله ها	۳۰، مثلثی	mm
طول مبدل	۶۰۰	mm
تعداد لوله ها	۷	-
درصد برش بافل ها	۲۵%	-
فاصله مرکزی بافل ها	۸۶	mm
تعداد بافل ها	۶	-

### مدلسازی

رسم هندسه و شبکه بندی هندسه مبدل حرارتی با استفاده از نرم افزار گمبیت ورژن ۲.۲.۳۰ به صورت سه بعدی رسم و شبکه بندی شده است تا تمامی اطلاعات در همه ابعاد قابل بررسی باشند و مسئله به واقعیت نزدیک تر باشد. برای شبکه بندی حجمی مبدل حرارتی، شبکه های چهار وجهی ترکیبی برای سمت پوسته و شش ضلعی برای سمت لوله ها استفاده شده است. در هر مبدل حدوداً ۱۱۰۰۰۰ سلول وجود دارد. شکل ۱ هندسه رسم شده در نرم افزار گمبیت را نمایش می دهد.



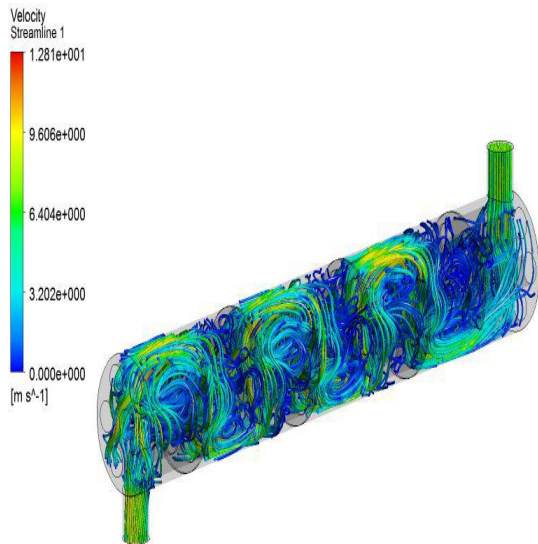
شکل (۱) - هندسه رسم شده در نرم افزار گمبیت

### شرایط مرزی

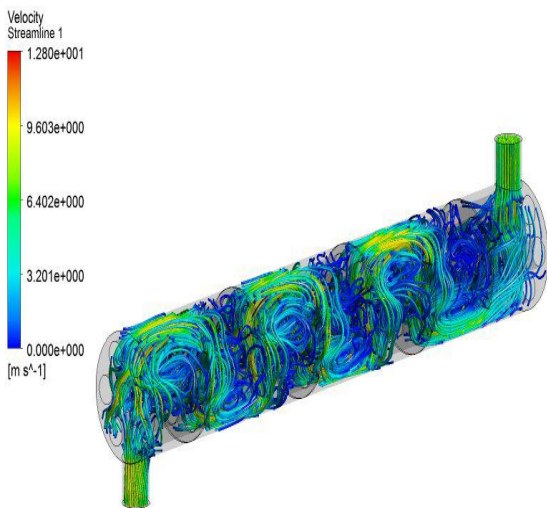
شرایط مرزی براساس نیاز مدل در دینامیک سیالات محاسباتی تعیین می شود. جدول ۲ شرایط مرزی بکار گرفته شده در این مسئله را شرح می دهد.

جدول (۲) - شرایط مرزی مورد استفاده در حل مسئله

واحد	لوله (گرم)	پوسته (سیال سرد)	نوع شرایط مرزی
kg/s	۰/۷	۵	جریان جرمی ورودی
Pa	۰	۰	خروجی فشار

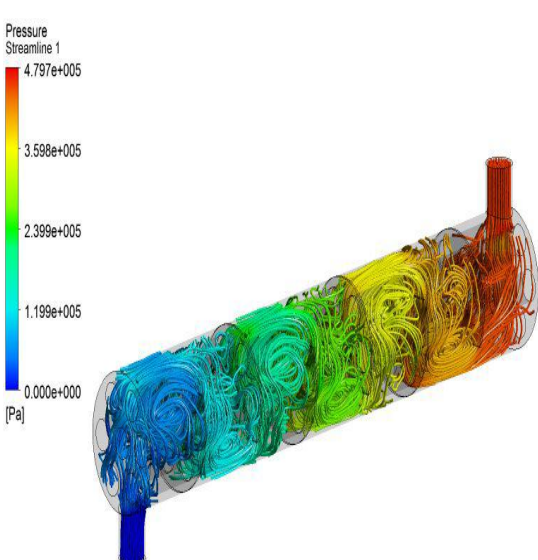


شکل ۱: خطوط جریان سرعت برای سیال عامل آب (m/s)



شکل ۲: خطوط جریان سرعت برای سیال عامل آب/آلومینا (m/s)

همانگونه که از شکل های ۳ و ۴ مشخص است افزایش نانوذره باعث کاهش در افت فشار نسبت به سیال پایه آب شده است.



ANSYS  
R14.5

$$C_{p_{nf}} = \frac{(1 - \phi)(\rho C_p)_{bf} + \phi(\rho C_p)_p}{\rho_{nf}} \quad (4)$$

نانو سیال مورد استفاده در مقاله حاضر آب/ آلومینا یک در صد حجمی می باشد.

### بحث و نتیجه گیری

جدول ۴، نتایج حاصل از نرم افزار انسیس فلونت را نشان می دهد.

جدول (۴) - نتایج حاصل از نرم افزار انسیس فلونت

نوع سیال	دمای سیال	دمای سیال	افت فشار	نرخ انتقال
سمت پوسته	خروجی سمت لوله	خروجی سمت پوسته	[Pa]	حرارت [W]
	[K]	[K]		
آب	۳۰۰/۲۱۹	۳۵۸/۸۷۸	۲۲۸۷۷۴	۸۶۱۷۳
آب/آلومینا	۳۰۰/۳۴۸	۳۵۸/۶۲۹	۲۲۸۵۷۳	۸۸۸۳۳

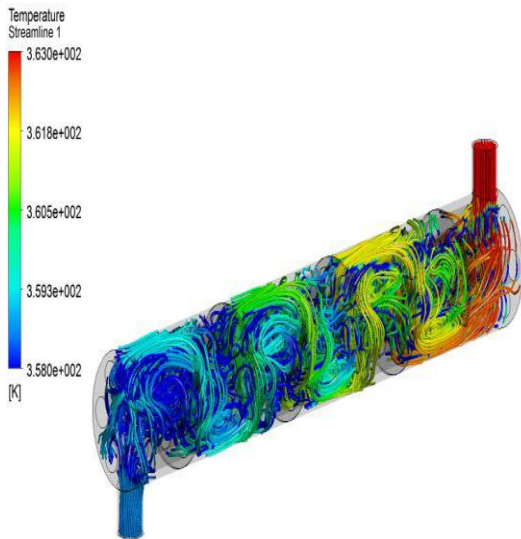
ANSYS  
R14.5

همانگونه که از نتایج مشخص است افزودن مقدار کمی نانوذره آلومینا (۱٪ حجمی) به سیال پایه آب باعث افزایش چشمگیری در نرخ انتقال حرارت می شود از طرفی نیز افت فشار سمت پوسته را نیز کاهش می دهد. افزایش در شار انتقال حرارتی به دلیل افزایش نانوذرات آلومینا می باشد که به خاطر بالا بودن ضریب انتقال حرارت این ماده نسبت به سیال پایه آب می باشد و باعث بهبود خواص حرارتی نانو سیال می شود.

### نتایج گرافیکی

در این بخش نتایج گرافیکی حاصل از نرم افزار انسیس فلونت نشان داده شده است.

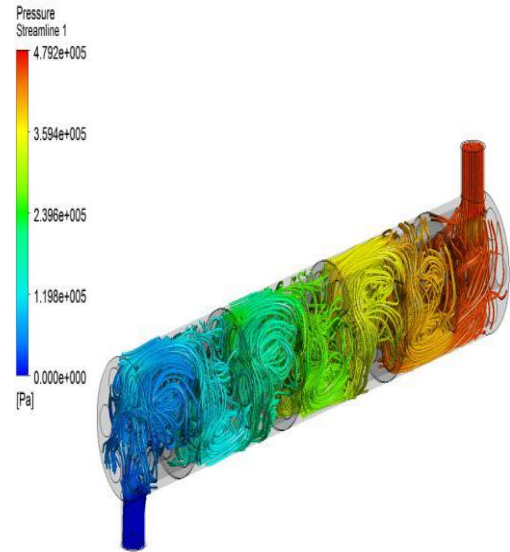
مقایسه کانتور خطوط جریان سرعت برای دو سیال آب و آب/آلومینا نشان می دهد که استفاده از نانوذرات آلومینا در سیال پایه آب باعث کاهش ناچیز سرعت سیال در سمت پوسته گردیده اند و این به سبب افزایش ویسکوزیته نانو سیال نسبت به سیال پایه می باشد



شکل ۶: خطوط جریان دما برای سیال عامل آب / آلومینا ( $^{\circ}K$ )

ANSYS  
R14.5

شکل ۳: خطوط جریان فشار برای سیال عامل آب ( $Pa$ )



شکل ۴: خطوط جریان فشار برای سیال عامل آب / آلومینا ( $Pa$ )

ANSYS  
R14.5

### فهرست علائم

ضریب هدایت حرارتی

$K$

ظرفیت گرمایی ویژه  $\left[ \frac{J}{kg K} \right]$

$C_p$

### علائم یونانی

درصد حجمی نانوذره در سیال

$\phi$

چگالی  $\left[ \frac{kg}{m^3} \right]$

$\rho$

ویسکوزیته

$\mu$

### زیرنویس

نانوسیال

$nf$

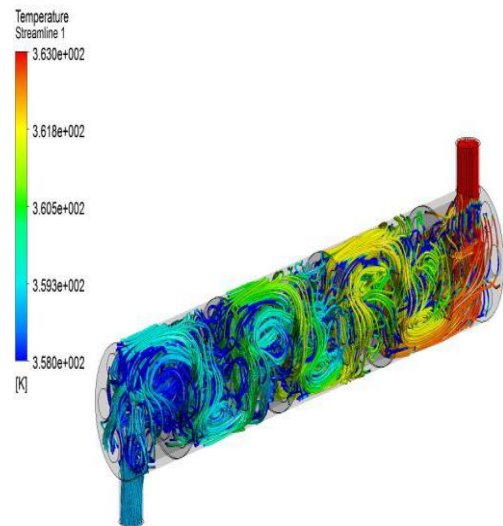
نانوذره

$p$

سیال پایه

$bf$

مطابق انتظار افزودن نانوذره به سیال پایه موجب بهبود خواص حرارتی نانوسیال می شود و همانگونه که از کانتورهای مربوط به دما مشخص است به کارگیری نانوسیال در سمت پوسته باعث کاهش بیشتر دمای خروجی سیال سمت پوسته می شود که این از نظر اقتصادی، زیست محیطی و همچنین صرفه جویی در انرژی کاملاً مقرون به صرفه می باشد.



شکل ۵: خطوط جریان دما برای سیال عامل آب ( $^{\circ}K$ )

ANSYS  
R14.5

### مراجع

- [1] Farajollahi, B., Etemad, S. G., & Hojjat, M. (2010). Heat transfer of nanofluids in a shell and tube heat exchanger. *International Journal of Heat and Mass Transfer*, 53(1), 12-17.

- [5] Ozden, E., & Tari, I. (2010). Shell side CFD analysis of a small shell-and-tube heat exchanger. *Energy Conversion and Management*, 51(5), 1004-1014. In proceedings, A., 1991. "Article title". In Proceedings Title, A. Editor and B. Editor, eds., Vol. 1 of *Series name*, Organization Name, Publisher Name, pp. 1-3. Paper number 1234.
- [6] Help of Ansys Fluent. V.14.5
- [۷] راهنمای جامع انسیس فلونت، تالیف دکتر امید توحیدی، آبان ماه ۱۳۹۲، انتشارات موسسه فرهنگی هنری دیباگران تهران
- [8] Wylie, E. B., & Streeter, V. L. (1978). Fluid transients. *New York, McGraw-Hill International Book Co., 1978. 401 p., 1.*
- [2] Haghshenas, F. M., Talaie, M. R., & Nasr, S. (2011). Numerical and experimental investigation of heat transfer of ZnO/water nanofluid in the concentric tube and plate heat exchangers. *Thermal Science*, 15(1), 183-194.
- [3] Amrollahi, A., Rashidi, A. M., Lotfi, R., Emami Meibodi, M., & Kashefi, K. (2010). Convection heat transfer of functionalized MWNT in aqueous fluids in laminar and turbulent flow at the entrance region. *International Communications in Heat and Mass Transfer*, 37(6), 717-723.
- [4] Akhtari, M., Haghshenasfard, M., & Talaie, M. R. (2013). Numerical and Experimental Investigation of Heat Transfer of  $\alpha$ -Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>/Water Nanofluid in Double Pipe and Shell and Tube Heat Exchangers. *Numerical Heat Transfer, Part A: Applications*, 63(12), 941-958.