

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجربان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



آنالیز عددی میزان تأثیر نصب صفحه ضربه‌گیر بر عدد ناسلت متوسط سمت پوسته ناحیه ورودی یک مبدل حرارتی پوسته و لوله

پیمان محمدیان: کارشناس ارشد تبدیل انرژی، اهواز، ایران، pn.mohammadian@gmail.com

مهدی حمزه‌ای: استادیار گروه مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران، mahdi_hamzei@yahoo.com

شهرام شهروئی: استادیار گروه مکانیک، دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، اهواز، ایران، shahramshahro@yahoo.com

چکیده

در این تحقیق، تأثیر نصب صفحه ضربه‌گیر بر عدد ناسلت سمت پوسته در یک مبدل حرارتی پوسته و لوله عمودی مورد مطالعه قرار گرفته است. مبدل‌های پوسته و لوله به دلایل مختلفی دچار خرابی می‌شوند. نشت از لوله‌ها و نیز شکستگی آنها در نقاط اتصال لوله‌ها با بافل و تیوب شیت، شایع‌ترین نوع این خرابی‌ها می‌باشد. در صنعت برای کاهش این خرابی‌ها در ورودی جریان سیال سمت پوسته یک صفحه ضربه‌گیر نصب می‌شود. به همین منظور برای بررسی تأثیر نصب این صفحه بر عدد ناسلت متوسط سمت پوسته، ناحیه ورودی سمت پوسته یک مبدل حرارتی پوسته و لوله عمودی با ۳۶۱ لوله، به صورت دو مدل سه بعدی مجزا برای حالت‌های با صفحه ضربه‌گیر و بدون آن مدل گردید و شبکه‌بندی این مدل‌ها نیز به صورت کاملاً شش وجهی انجام شد. در تحقیق حاضر، میدان جریان با استفاده از نرم‌افزار فلوئنت برای دو حالت مذکور شبیه‌سازی گردید، که بررسی عدد ناسلت متوسط سمت پوسته، در دو حالت با صفحه و بدون صفحه ضربه‌گیر نشان داد که در حالت با صفحه ضربه‌گیر، در مقایسه با حالت بدون آن، عدد ناسلت، کاهش نسبتاً کمی داشته و همچنین شدت آشفتگی جریان بین لوله‌ها کاهش یافته است.

واژگان کلیدی: مبدل حرارتی پوسته و لوله، شبکه‌بندی شش وجهی، عدد ناسلت، صفحه ضربه‌گیر

۱- مقدمه

بطور کلی مبدل حرارتی به وسیله‌ای گفته می‌شود که انرژی حرارتی را از سیالی به سیال دیگر که دارای دماهای متفاوتی هستند، منتقل می‌کند. امروزه مبدل‌های حرارتی به شکل عمده در زندگی روزمره از جمله در صنعت، به شکل روزافزون مورد استفاده قرار می‌گیرند.

پر کاربردترین و متداول‌ترین نوع مبدل حرارتی در صنایع، مبدل حرارتی پوسته و لوله باشد. این نوع مبدل شامل تعداد زیادی لوله می‌باشد (معمولاً بیش از چند صد عدد) که در یک پوسته استوانه‌ای شکل و در راستای محور لوله بصورت موازی بسته-بندی می‌شوند.

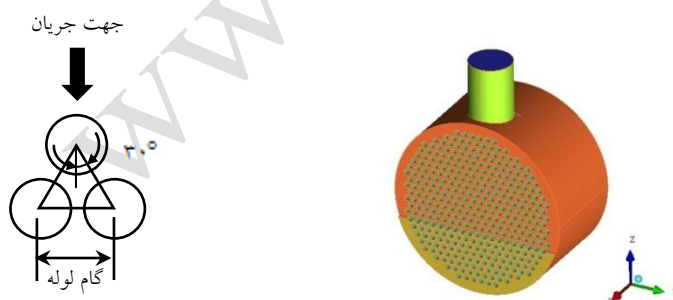
این نوع از مبدل‌ها بصورت وسیعی بعنوان خنک‌کن‌های روغن، کندانسورها، پیش‌گرمکن‌ها در نیروگاه و به عنوان مولدهای بخار در نیروگاه‌های هسته‌ای و نیز در کاربردهای صنایع فرآیندی و شیمیایی استفاده می‌شوند.

نشت از لوله‌ها و نیز شکستگی آنها در نقاط اتصال لوله‌ها به بافل^۱ و تیوب‌شیت^۲، یکی از شایع‌ترین انواع خرابی، در مبدل‌های پوسته و لوله می‌باشد که باعث می‌شود جریان سمت لوله وارد جریان سمت پوسته شده، و در نتیجه عملکرد ضعیف مبدل و آلودگی را به دنبال داشته باشد. امروزه برای کاهش تنش‌های ناشی از جریان سیال سمت پوسته در مبدل‌های در حال سرویس در صنایع، یک صفحه ضربه‌گیر در مسیر ورودی جریان سیال سمت پوسته، نصب می‌گردد.

در این تحقیق، ناحیه ورودی سمت پوسته یک مبدل حرارتی پوسته و لوله عمودی با ۳۶۱ لوله، به صورت دو مدل سه بعدی مجزا (یکی از مدل‌ها با صفحه ضربه‌گیر و دیگری بدون ضربه‌گیر) با استفاده از نرم‌افزار کتیا^۳ مدل‌سازی شد، و با شبیه‌سازی میدان جریان سمت پوسته با استفاده از نرم‌افزار انسیس^۴، اثر نصب صفحه ضربه‌گیر بر جریان سیال سمت پوسته بررسی گردید.

۲- مدل فیزیکی

مدل فیزیکی مورد مطالعه، ناحیه ورودی سمت پوسته یک مبدل حرارتی پوسته و لوله عمودی، با ۳۶۱ لوله است که در شکل ۱ به همراه آرایش قرارگیری لوله‌ها نشان داده شده است. این مدل در دو حالت با صفحه ضربه‌گیر و بدون آن، به صورت سه بعدی مدل‌سازی شده است.



1 Baffle
2 Tubesheet
3 Catia
4 Ansys

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



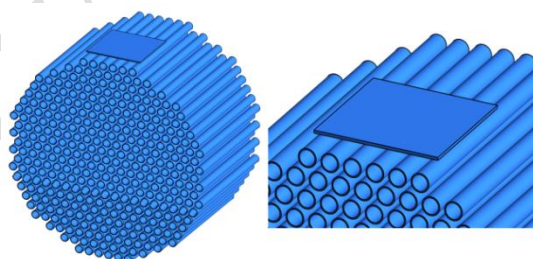
شکل ۱: مدل ناحیه ورودی مبدل حرارتی پوسته و لوله عمودی

آرایش لوله‌ها در این دو مدل به صورت مثلثی با زاویه ۳۰ درجه نسبت به جریان سیال عمود بر آنها می باشد. ابعاد فیزیکی مدل در جدول ۱ ارائه شده است، که این ابعاد در دو مدل کاملاً یکسان است، با این تفاوت که در مدل دوم یک صفحه ضربه گیر به ابعاد $131 \text{ mm} \times 131 \text{ mm}$ نصب شده است.

جدول ۱: ابعاد فیزیکی مدل

اجزاء	اندازه
تعداد لوله‌ها	۳۶۱
قطر خارجی لوله	۱۹/۰۵ میلی‌متر
ضخامت جداره لوله	۱/۲۴۵ میلی‌متر
قطر نازل	۱۳۱ میلی‌متر
ارتفاع نازل	۱۶۵ میلی‌متر
فاصله بافل و تیوب‌شیت	۲۸۷ میلی‌متر
قطر داخلی پوسته	۵۳۰ میلی‌متر
ارتفاع برش بافل	۱۸۲/۵۲ میلی‌متر
درصد برش بافل	٪۳۴
گام لوله	۲۳/۸۱ میلی‌متر

شکل ۲، صفحه ضربه‌گیر قرار داده شده زیر نازل ورودی را نشان داده است.



شکل ۲: صفحه ضربه‌گیر نصب شده در زیر نازل و بالای لوله‌ها

۳- شبکه‌بندی مدل‌ها

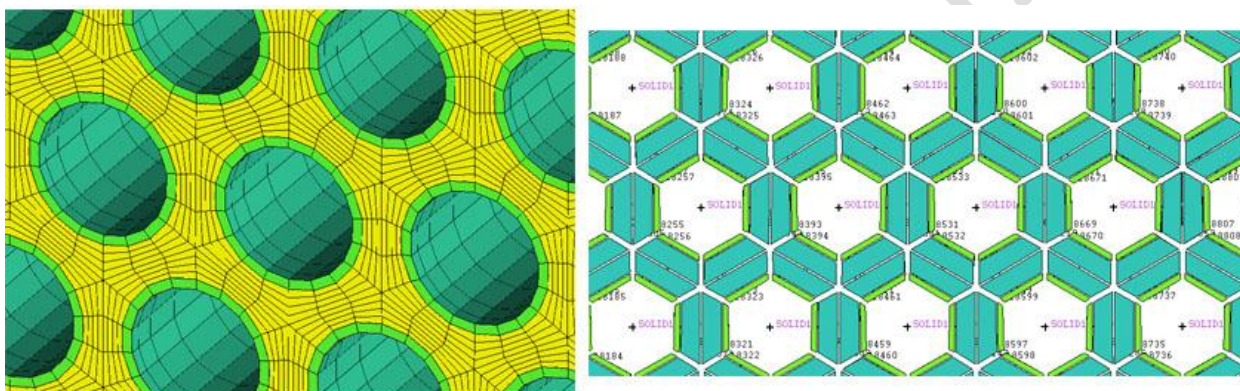
برای شبکه‌بندی مدل‌های موجود از نرم‌افزار انسیس آیس‌سی‌اف‌دی^۱ استفاده شده است که یکی از بهترین نرم‌افزارها در زمینه کاربردهای مهندسی، بویژه دینامیک سیالات محاسباتی است. در این تحقیق، با توجه به حجم زیاد مدل‌های موجود و محدودیت در امکانات

¹ Ansys Icem CFD

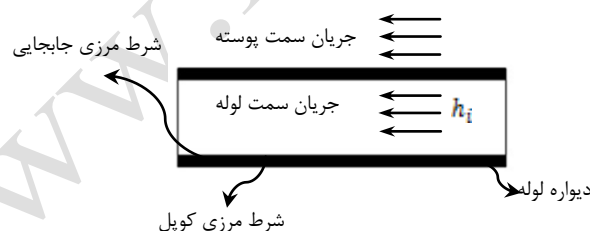
سخت‌افزاری جهت تحلیل آنها، به منظور ایجاد تعداد المان‌های کمتر، تمام حجم مدل‌ها با استفاده از المان‌های^۱ شش‌وجهی^۲ و به روش بلوک‌بندی^۳، شبکه‌بندی شده است (شکل ۳). [۱].

۴- شرایط مرزی

شرایط مرزی اعمال شده بر مدل‌های مورد مطالعه در جدول ۲ ارائه شده است. در این تحلیل عددی سیال سمت پوسته آب و سیال سمت لوله مخلوطی از چند نوع گاز می‌باشد، که خواص فیزیکی آنها در ورودی ثابت فرض شده است. برای حل این مسئله لوله‌ها به صورت توخالی و برای نزدیک شدن به شرایط واقعی، دارای ضخامت در نظر گرفته شده‌اند. در عوض برای سطح داخلی لوله که در تماس مستقیم با سیال سمت لوله است، ضریب انتقال حرارت جابجایی ناشی از جریان سیال، از طریق رابطه ضریب فیلم جابجایی (رابطه ۴) محاسبه و اعمال شده است. شکل ۴، شماتیکی از شرایط مرزی لوله‌ها را از نمای جانبی نشان داده است.



شکل ۳: بلوک‌بندی و شبکه‌بندی به شکل لانه زنبوری



شکل ۴: شرایط مرزی اعمال شده برای لوله‌ها

۴-۱- محاسبه ضریب انتقال حرارت جابجایی سمت لوله

برای بدست آوردن ضریب انتقال حرارت جابجایی، از رابطه ضریب فیلم جابجایی برای سیال درون لوله‌های مبدل حرارتی استفاده شده است. این رابطه بر اساس عدد رینولدز^۱ تغییر می‌کند [۲].

¹ Element

² Hexahedral

³ Blocking



$$\frac{h_i D_i}{k} = 0.023 Re^{0.8} Pr^{0.33} \left(\frac{\mu}{\mu_w} \right)^{0.14} \quad (۴)$$

h_i : ضریب انتقال حرارت جابجایی درون لوله‌ها ($W/(m^2.k)$)

k : قابلیت هدایت حرارتی ($W/(m.k)$)

μ : لزجت ($kg/(m.s)$)

μ_w : لزجت در دمای سطح داخلی لوله‌ها ($kg/(m.s)$)

با توجه به ثابت فرض شدن خواص فیزیکی هر دو سیال، ضریب تصحیح μ/μ_w معادل یک می‌باشد. با جایگذاری پارامترهای تعریف شده فوق در رابطه ۴، نهایتاً ضریب انتقال حرارت جابجایی درون لوله‌ها، $h_i = 88.712$ بدست آمد.

۴-۲- خواص فیزیکی سیالات سمت پوسته و سمت لوله

سیال سمت پوسته آب و سیال سمت لوله مخلوطی از چند نوع گاز می‌باشد، که خواص فیزیکی آنها در ورودی ثابت فرض شده است. خواص فیزیکی این سیالات در جدول ۳ ارائه شده است.

۵- حل عددی

حل عددی این تحقیق با استفاده از نرم‌افزار آنسیس فلونت که یکی از قدیمی‌ترین و مشهورترین نرم‌افزارهای تجاری در زمینه تحلیل‌های دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد، برای دو مدل با صفحه ضربه‌گیر و بدون ضربه‌گیر صورت گرفته است. تنظیمات در نظر گرفته شده برای حل عددی این تحقیق در جدول ۴ نشان داده شده است [۳ و ۴ و ۵ و ۶ و ۷ و ۸].

جدول ۲: شرایط مرزی اعمال شده بر مدل‌های مورد مطالعه

شرایط مرزی	سطوح مرزی
سرعت ورودی (m/s) ۱/۹ و دمای ۳۰۳ درجه کلوین	ورودی
جریان خروجی	خروجی
جابجایی با ضریب ($W/(m^2.k)$) ۸۸/۷۱۲ و دمای ۳۵۳ درجه کلوین	سطح داخلی لوله‌ها
کوپل	سطح خارجی لوله‌ها
عایق	پوسته مبدل
عایق	سطح خارجی بافل
عایق	سطح تیوب شیت
در راستای لوله‌ها و در جهت مخالف جریان خروجی (m/s^2) ۹/۸۱	شتاب گرانش
از پنجره بافل	

جدول ۳: خواص فیزیکی سیال سمت پوسته و سمت لوله

¹ Reynolds

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



ویسیت فیزیکی	علامت	واحد	ویسیت سمت پوسته	ویسیت سمت لوله
چگالی	ρ	kg/m^3	۹۹۵/۶	۲/۷۲۶
گرمای ویژه	C_p	$J/(kg.K)$	۴۱۷۸/۴	۷۷۵/۷۵
هدایت گرمایی	k	$W/(m.K)$	۰/۶۱	۰/۰۱۳
لزجت	μ	$kg/(m.s)$	۰/۰۰۰۷۹۸	$۰/۰۱۳۷ \times ۱۰^{-۳}$

جدول ۴: تنظیمات حل عددی

مدل/رفتار	الگوریتم ^۱
نوع حلگر	حلگر مبتنی بر فشار
حل معادلات سرعت و فشار	سیمپل ^۲
طرح گسسته ساز	بالادست مرتبه اول برای معادلات سرعت و بالادست مرتبه دوم برای معادله انرژی
مدل آشفتگی	$k - \epsilon$ (RNG)
رفتار جریان نزدیک دیواره	تابع دیوار استاندارد ^۳
پارامتر ^۴ آشفتگی	شدت آشفتگی و قطر هیدرولیکی ^۵

۶- نتایج

تحلیل عددی دو مدل مورد مطالعه (مدل بدون صفحه ضربه‌گیر و با صفحه ضربه‌گیر)، طبق تنظیماتی که در جداول ۲، ۳ و ۴ ارائه شد، انجام شده و نتایج به صورت کانتورهای رنگی و نمودار در ادامه ارائه شده است. مقایسه عدد ناسلت^۷ متوسط سمت پوسته برای دو حالت ذکر شده فوق، در نمودار ۱ نشان داده شده است. در این نمودار عدد ناسلت متوسط سمت پوسته بر حسب ۲۵ رینولدز ورودی (برای سرعت‌های ورودی ۰/۱ تا ۲/۵ متر بر ثانیه)، رسم شده است.

¹ Algorithm

² Simple

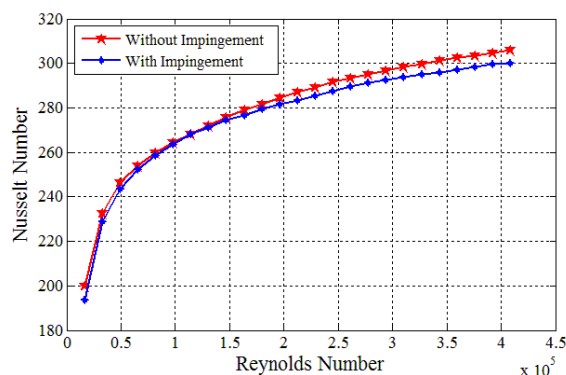
³ Standard

⁴ Parameter

⁵ Intensity and hydraulic diameter

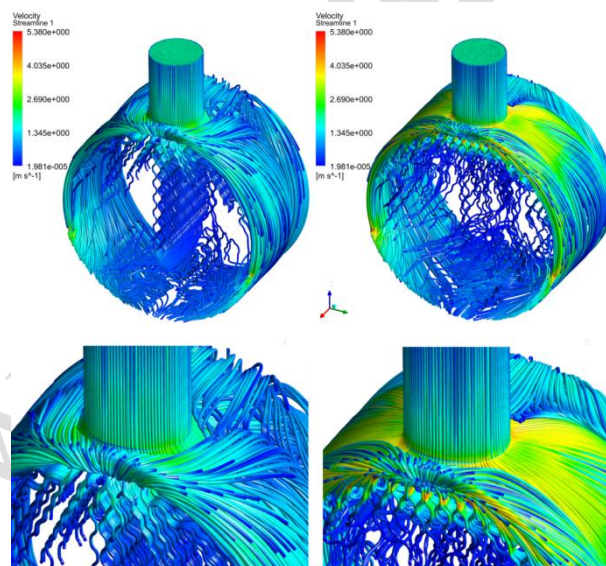
⁶ Contour

⁷ Nusselt



نمودار ۱: عدد ناسلت متوسط سمت پوسته، بر حسب اعداد رینولدز ورودی مختلف برای دو مدل با ضربه گیر و بدون ضربه گیر

همانطور که در نمودار ۱ نشان داده شده است، صفحه ضربه گیر بر عدد ناسلت سمت پوسته و نهایتاً بر ضریب انتقال حرارت جابجایی درون پوسته تأثیر منفی داشته و باعث کاهش عدد ناسلت سمت پوسته به میزان بیش از ۳ درصد شده است. شکل ۶، خطوط جریان سیال سمت پوسته را نشان داده است، که بر اساس سرعت جریان در هر نقطه رنگ بندی شده‌اند.



(ب) مدل بدون ضربه گیر

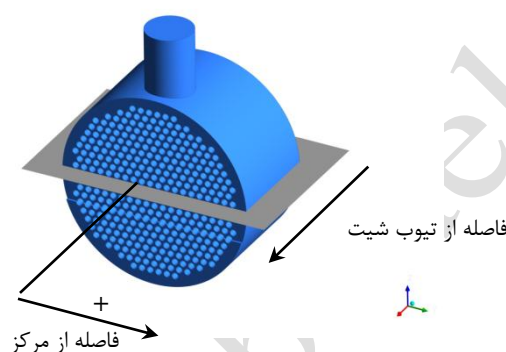
(الف) مدل با ضربه گیر

شکل ۶: خطوط جریان سیال سمت پوسته ناحیه ورودی مبدل حرارتی پوسته و لوله که بر اساس سرعت جریان در هر نقطه رنگ بندی شده‌اند

شکل ۶- (ب) نشان می‌دهد، پس از خروج سیال از نازل، مقداری از سیال در اثر برخورد با لوله‌های ردیف‌های بالاتر مبدل، به اطراف پوسته (اطراف دسته لوله) منحرف می‌شود. همانگونه که در شکل ۶- (الف) واضح است، نصب صفحه ضربه گیر باعث شده

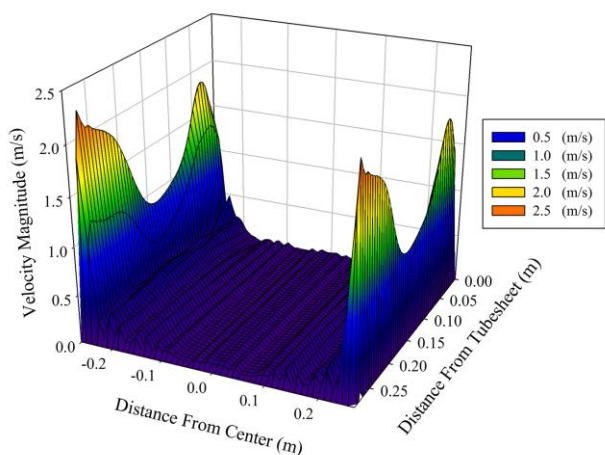
جریان سیال به جای برخورد مستقیم با لوله‌ها، با صفحه ضربه‌گیر برخورد کرده و مقدار زیادی از آن به اطراف دسته لوله منحرف گردد.

برای نمایش دقیق‌تر جزئیات، در قسمت میانی ناحیه ورودی مبدل، مانند شکل ۷ یک صفحه عبور داده شده، که عرض آن بر حسب فاصله از تیوب‌شیت، و طول آن بر حسب فاصله از مرکز مبدل در نظر گرفته شده است. در ادامه، مقادیر سرعت و شدت آشفته‌گی سیال سمت پوسته، در نقاط مختلف این صفحه بر حسب فاصله از تیوب‌شیت و فاصله از مرکز مبدل، روی نمودار سه بعدی نمایش داده شده است.



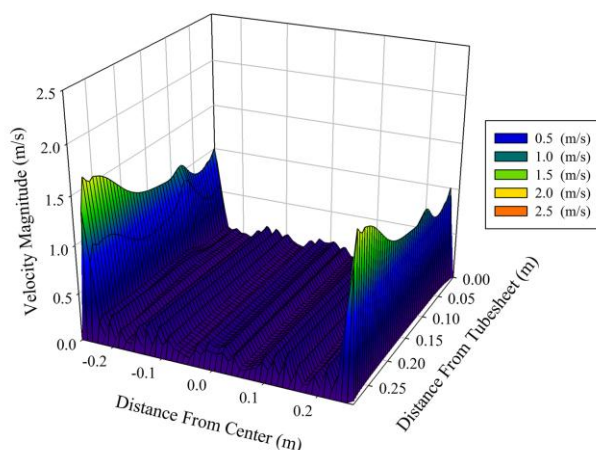
شکل ۷: صفحه عبور داده شده از قسمت میانی ناحیه ورودی مبدل

نمودار ۲، مقادیر سرعت در قسمت میانی مبدل را نشان داده است، که نمودار ۲-الف) مربوط به مدل بدون صفحه ضربه‌گیر، و نمودار ۲-ب) مربوط به مدل با صفحه ضربه‌گیر است.



نمودار ۲-ب): سرعت سیال سمت پوسته روی صفحه میانی مبدل، بر حسب فاصله از تیوب‌شیت و فاصله از خط مرکزی مبدل در مدل با صفحه ضربه‌گیر

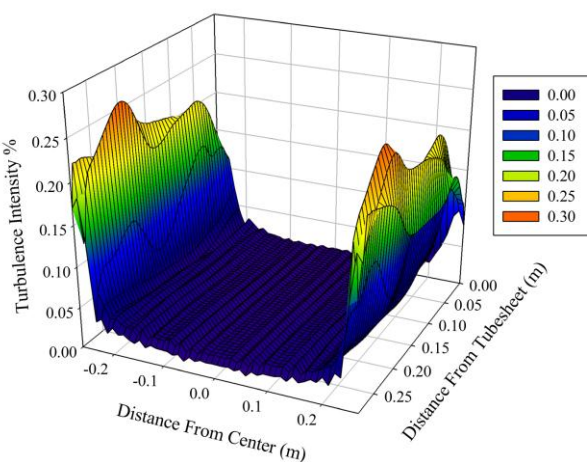
تلفن تهران: ۸۸۶۷۱۶۷۶



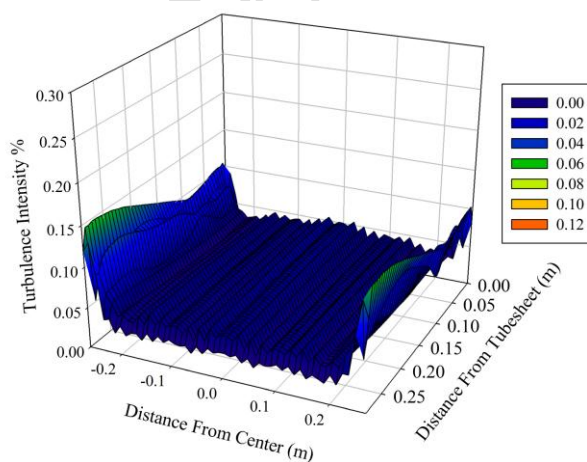
نمودار ۲-الف): سرعت سیال سمت پوسته روی صفحه میانی مبدل، بر حسب فاصله از تیوب‌شیت و فاصله از خط مرکزی مبدل در مدل بدون صفحه ضربه‌گیر

هشتمین همایش مبدلهای گرمایی، دی ۱۳۹۵

همانطور که در نمودار ۲ مشخص گردیده است، سرعت سیال سمت پوسته در مدل با صفحه ضربه‌گیر در اطراف دسته لوله، نسبت به مدل بدون ضربه‌گیر بیشتر است. همانگونه که گفته شد، این ناشی از منحرف شدن سیال سمت پوسته در اثر برخورد مستقیم با صفحه ضربه‌گیر است. در مقابل، سرعت سیال در لابه‌لای لوله‌های مدل بدون ضربه‌گیر، در مقایسه با مدل با ضربه‌گیر بیشتر است که این ناشی از برخورد مستقیم سیال ورودی از نازل، با لوله‌ها و نفوذ به لابه‌لای آنها با سرعت بیشتر است. نمودار ۳، شدت آشفتگی در نقاط مختلف صفحه نشان داده شده در شکل ۷ را نسبت به فاصله از تیوب‌شیت و فاصله از خط مرکز نمایش می‌دهد.



نمودار ۲- (ب): شدت آشفتگی در صفحه میانی مبدل بر حسب فاصله از تیوب‌شیت و فاصله از خط مرکزی مبدل در مدل با صفحه ضربه‌گیر



نمودار ۳- (الف): شدت آشفتگی در صفحه میانی مبدل بر حسب فاصله از تیوب‌شیت و فاصله از خط مرکزی مبدل در مدل بدون صفحه ضربه‌گیر

همانگونه که در نمودار ۳ مشخص شده، در مدل با صفحه ضربه‌گیر شدت آشفتگی در لابه‌لای لوله‌ها کاهش یافته است و در مقابل در اطراف دسته لوله بیشتر شده، که این ناشی از برخورد سیال سمت پوسته با صفحه ضربه‌گیر می‌باشد.

۷- اعتبار سنجی

به منظور بررسی میزان صحت نتایج بدست آمده از تحلیل عددی، این نتایج با نتایج بدست آمده از روش VDI مقایسه شده است. این روش بر اساس اطلاعات تجربی انتقال حرارت و افت فشار در یک دسته لوله ایده‌آل می‌باشد که نهایتاً با اعمال ضرایب تصحیح بر اساس مشخصات مبدل اصلاح می‌شود [۹].

۷-۱- محاسبه عدد ناسلت در روش VDI

برای محاسبه عدد ناسلت متوسط سمت پوسته یک مبدل حرارتی پوسته و لوله (\overline{Nu}_{shell}) در روش VDI، ابتدا عدد ناسلت برای یک دسته لوله با جریان متقاطع (عرضی) محاسبه شده (Nu_{bundle}) و با توجه به تفاوت آن با ساختار جریان درون پوسته یک مبدل، یک ضریب تصحیح (f_W) به شکل زیر در آن اعمال می‌شود [۹].

$$\overline{Nu}_{shell} = f_W Nu_{bundle} \quad (۵)$$

$$f_W = f_G f_L f_B \quad (۶)$$

در رابطه ۶، f_L و f_B به ترتیب ضرایب تصحیح ناشی و تصحیح بایپس^۱ می‌باشند که با توجه به اینکه در مدل‌های مورد مطالعه در نظر گرفته نشده‌اند، برابر یک فرض می‌شوند.

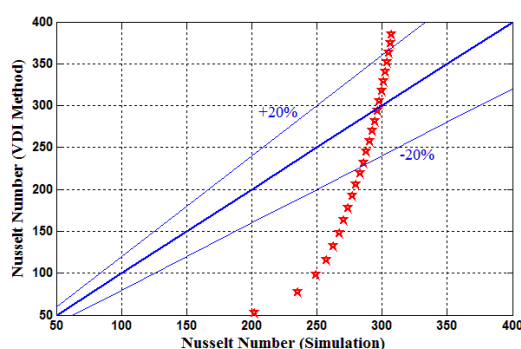
در رابطه ۶ همچنین، f_G ضریب تصحیح هندسی است و میزان انحراف عدد ناسلت متوسط برای یک مبدل حرارتی پوسته و لوله را نسبت به یک دسته لوله واقعی اعمال می‌کند. این انحراف ناشی از تأثیر بافل می‌باشد و به صورت زیر قابل محاسبه است.

$$f_G = 1 - R_G + 0.524 R_G^{0.22} \quad (۷)$$

$$R_G = \frac{n_W}{n_T} \quad (۸)$$

در رابطه ۸، n_W تعداد لوله‌ها در پنجره‌های بالا و پایین بافل و n_T تعداد کل لوله‌های مبدل می‌باشد.

نمودار ۴، مقایسه عدد ناسلت (که معیار محاسبه ضریب انتقال حرارت سمت پوسته است) بدست آمده از نرم‌افزار و عدد ناسلت تجربی (بدست آمده از روش VDI) را نشان می‌دهد.



نمودار ۴: مقایسه عدد ناسلت بدست آمده از فرآیند شبیه‌سازی و روش VDI

همانطور که نمودار ۴ نشان می‌دهد، در اعداد ناسلت پایین (در رینولدزهای ورودی پایین) اختلاف زیادی بین فرآیند تجربی با شبیه‌سازی وجود دارد و در عین حال در اعداد رینولدز بالاتر این دو مقدار به هم نزدیک‌تر شده‌اند.

۷- نتیجه‌گیری

¹ Bypass

مجموعه مقالات هشتمین همایش ملی مبدل گرمایی

دوم دی ماه ۱۳۹۵، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما

۰۹۱۹۷۵۵۶۴۲۴ - (۰۲۱) ۸۸۶۷۱۶۷۶

مجریان: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران و هم اندیشان انرژی کیمیا

ثبت شده در پایگاه استنادی جهان اسلام ISC

www.Mobadel.ir



همانطور که گفته شد عدد ناسلت متوسط سمت پوسته به میزان بیش از ۳ درصد، در اثر نصب صفحه ضربه‌گیر کاهش یافته است. همانطور که در نمودار ۲ مشخص است در اثر نصب صفحه ضربه‌گیر، مقدار زیادی از جریان سیال سمت پوسته به اطراف دسته لوله منحرف شده که عملاً بدون برخورد مستقیم با لوله‌ها از پنجره بافل خارج می‌شود. همچنین در نمودار ۳، که شدت آشفستگی را نشان می‌دهد، واضح است که مقدار آشفستگی در لابه‌لای لوله‌ها کاهش یافته است که این عوامل می‌تواند موجب کاهش عدد ناسلت سمت پوسته گردد.

۸- تشکر و قدردانی

نظر به اینکه، این مقاله مستخرج از پایان‌نامه کارشناسی ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول می‌باشد، بر خود لازم می‌بینم از جناب آقای دکتر مهدی حمزه‌ای به عنوان استاد راهنما، و جناب آقای دکتر شهرام شهروئی به عنوان استاد مشاور کمال قدردانی را داشته باشم.

۹- مراجع

- [1] ANSYS Incorporated, 2013, ANSYS ICEM CFD User's Manual, ANSYS Incorporated.
- [2] Cao, E., 2010, Heat transfer in process engineering, The McGraw-Hill Companies, Inc.
- [3] ANSYS Incorporated, 2013, ANSYS Fluent User's Guide, ANSYS Incorporated.
- [4] ANSYS Incorporated, 2013, ANSYS Fluent Theory Guide, ANSYS Incorporated.
- [5] ANSYS Incorporated, 2006, Introductory FLUENT Training, ANSYS Incorporated.
- [6] Karthik, T. S. D., 2011, Turbulence models and their applications, Department of Mechanical Engineering, IIT Madras.
- [7] صنیعی نژاد، م، ۱۳۸۳، مقدمه‌ای بر مفاهیم جریان‌های آشفته و مدلسازی آنها، ویرایش سوم، www.Hamipaper.ir.
- [8] http://www.cfd-online.com/Wiki/Turbulence_intensity, Turbulence intensity, 2012.
- [9] Verein Deutscher Ingenieure, 2010, VDI Heat Atlas, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 2010.