Archive of SID

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
HVACconf-IRSHRAE-1-67

شبیه سازی انتقال حرارت در یک لوله مارپیچ

مهسا رستم زاده ریگی، دانشجوی کارشناسی مهندسی مکانیک، دانشگاه هرمزگان
احسان عابدینی، استادیار گروه مهندسی مکانیک، دانشگاه هرمزگان

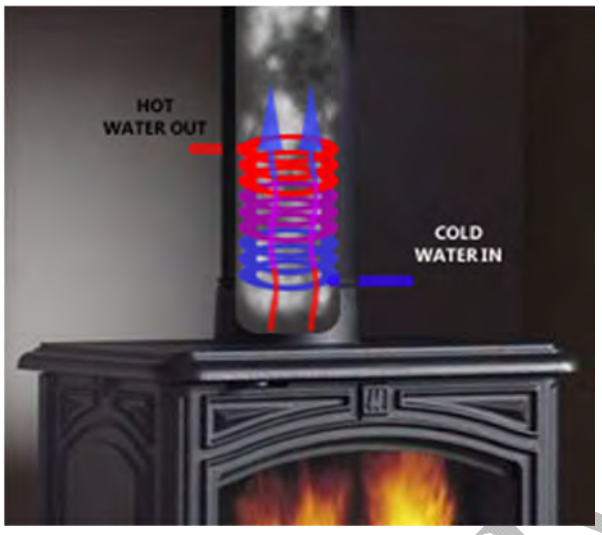
چکیده:

مطالعه حاضر با استفاده از شبیهسازی انتقال حرارت، با رینولدزهای مختلف به بررسی سرعت سیال، تغییرات دمای خروجی، ناسلت متوسط و همچنین انرژی حرارتی دریافتی توسط سیال درون لوله مارپیچمی پردازد و در نهایت انرژی حرارتی دریافتی توسط سیال را با انرژی حرارتی مورد نیاز برای یک خانواده ۴نفره می سنجد.لوله های مارپیچ سطح جانبی بزرگتری نسبت به لوله های مستقیم دارند، همچنین به دلیل داشتن جریان ثانویه در طول خود در شرایط یکسان حرارت بیشتری را نسبت به لوله های مستقیم انتقال می دهند.

واژگان کلیدی: لوله مارپیچ، جریان ثانویه، انتقال حرارت، رینولدز، ناسلت متوسط، دودکش

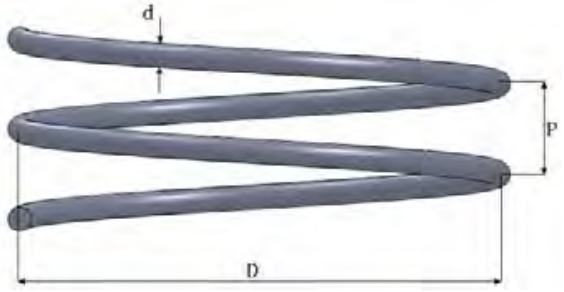
مقدمه:

در این تحقیق لوله مارپیچ در داخل یک دودکش به منظور استفاده بهینه از گرمای تلف شده توسط دودکش، در نظر گرفته میشود. سیال سرد از پایین وارد لوله مارپیچ میشود وانتقال حرارت صورت میگیرد (شکل ۱).



شکل ۱: بیان فیزیکی مساله حاضر

مبدل های مارپیچی از یک یا چند حلقه لوله مارپیچی تشکیل شده اند. که در اینجا d قطر لوله وDقطر حلقه مارپیچ است و p فاصله بین دو حلقه می باشد، شکل۲.



شکل ۲:شماتیکی از لوله مارپیچ

جنس لوله های مارپیچ معمولا از فولاد کربن دار، یا مس وآلیاژهای آن، فولاد زنگ نزن ویا آلومینیوم می باشد. از مبدلهای لوله مارپیچی معمولا در راکتورهای شیمیایی، مخازن

www.Hvacconf.ir

www.SID.ir

Archive of SID

جوششی و سیستم های بازگرمایی استفاده می شودو همچنین در صنایع غذایی، تبرید، تهویه مطبوع و همچنین صنایع دارویی کاربرد فراوانی دارد[۱]. از مزایای استفاده از این مبدلها میتوان به راندمان بالا، مقاومت مکانیکی در برابر انبساط و انقباض و مناسب برای دبی های کم وبارهای حرارتی پایین اشاره کرد. اما به دلیل مارپیچ بودن لوله ها تمیز کردن آنها عملا مشکل است.

تمرکز کار حاضر بر روی انتقال حرارت در لوله های مارپیچ میباشد که در این زمینه مطالعاتی نیز انجام شده است.

مطالعه انجام شده توسط داروید۱۹۷۱ [۲]، نشان می دهد که انتقال حرارت در لوله مارپیچ بیشتر از لوله های مستقیم می باشد که علت آن وجود جریان پیچیدهای درون این نوع لوله ها است. انحنای موجود در لوله مارپیچ باعث ایجاد یک نیروی گریز از مرکز می شود و از طرفی زاویه مارپیچ باعث ایجاد پیچش در سیال می شود. نیروی گریز از مرکز باعث می شود که سیال در قسمت های خارجی لوله دارای سرعت بیشتری نسبت به قسمت های داخلی داشته باشد، این تفاوت در سرعت ها عامل ایجاد یک جریان ثانویه در لوله است که وجود این جریان ثانویه در لوله های مارپیچ باعث می شود که انتقال حرارت بیشتری نسبت به لوله های ساده داشته باشند. رینولدز بحرانی برای تبدیل جریان از حالت آرام به حالت مغشوش نیز با پارامترهایی از لوله مارپیچ توسط اشمیت۱۹۶۷[۳] در قالب فرمولی بیان شده است. در این رابطه r شعاع لوله و R_c شعاع حلقه مارپیچ است.

$$Re=۲۳۰۰[۱+۸,۶(\frac{r}{R_c})^{0.45}]$$

براساس فرمول بالا ما برای اینکه جریانی آرام داشته باشیم، رینولدزهای کمتر از ۱۱۸۸۷ را مورد بررسی قرار می دهیم

$$r/Rc=۰,۲\Longrightarrow$$

$$Re_{cr}=۱۱۸۸۷,۱۶$$

تغییرات ضریب انتقال حرارت لوله های مارپیچی که درون یک مخزن قرار گرفتند را نشاط۱۳۹۱[۴] مورد بررسی قرار داده است. این مخزن دارای سیال سرد ساکن می باشد. او ۲۷ لوله مارپیچ با هندسه های متفاوت را مطالعه کرده است.

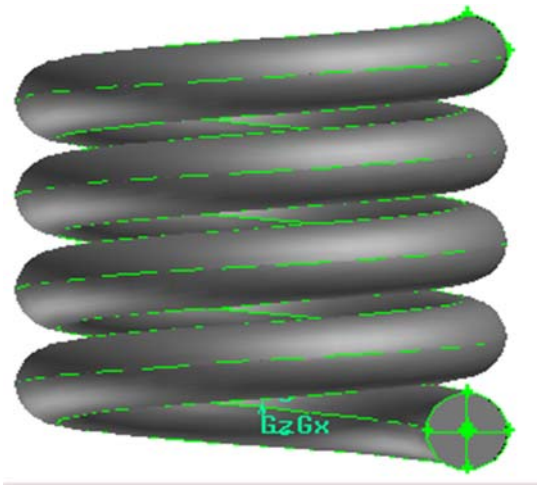
مصطفوی۱۳۹۱[۵] نیز، میزان افزایش انتقال حرارت نانو سیال تحت شرایط مغشوش را مورد بررسی قرار داده است. که با افزایش درصد حجمی نانو سیال انتقال حرارت در آن بیشتر صورت می گیرد.

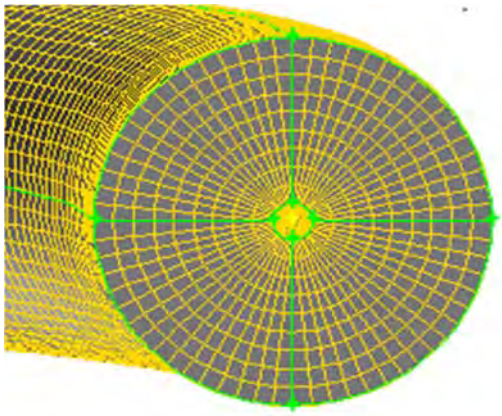
در مقاله حاضر هدف استفاده بهینه از انرژی حرارتی تلف شده در دودکش می باشد که بدین منظور لوله مارپیچ در داخل دودکش در نظر گرفته می شود. با فرض اینکه جریان گازهای دودکش، دمای ثابتی را در اطراف دیواره لوله مارپیچ ایجاد نماید، شبیه سازی انتقال حرارت لوله مارپیچ تحت شرایط دمای ثابت دیواره انجام می شود. این لوله دارای ۴ دور با ارتفاع ۱۰ سانتی متر بوده و قطر لوله ۲ سانتی متر و قطر مارپیچ ۱۰ سانتی متر می باشد. سیال درون لوله آب در نظر گرفته شده است.

برای شبیه سازی هندسه موردنظر از نرم افزار گمبیت نسخه۲,۴,۶ استفاده گردیده. شکل نهایی در این نرم افزار به صورت شکل۳ می باشد. برای حل معادلات حاکم از نرم افزار فلوئنت نسخه ۶,۳,۲۶ استفاده شده است. مرز مشترک با جریان گازهای دودکش، دیواره لوله مارپیچ می باشد که به صورت دیواره با دمای ثابت ۳۶۸ درجه کلوین تعریف شده است. آب با دمای ۳۰۰ درجه کلوین از پایین وارد لوله مارپیچ می شود.نیروی گرانش زمین نیز ۹,۸ در خلاف جهت محور y می باشد. در اینجا مسأله به صورت سه بعدی در نظر گرفته شده است.

www.Hvacconf.ir
www.SID.ir

Archive of SID





شکل ۳:هندسه و شبکه لوله مارپیچ در نرم افزار گمبیت

معادلات حاکم:

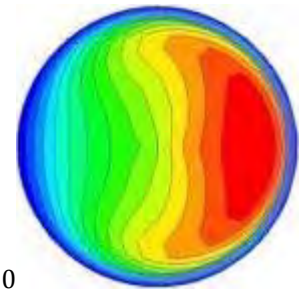
معادلات پیوستگی، مومنتوم و انرژی به ترتیب عبارتند از:

$$۱)\ \frac{\partial P}{\partial t} + \nabla.(\rho V) = 0$$

$$۲)\ \rho\left[\frac{\partial V}{\partial t} + (V.\nabla)V\right] = -\nabla P + \nabla\bar{\bar{\tau}} + \rho\vec{f}$$

$$۳)\ \rho[\frac{\partial h}{\partial t} + \nabla.(hV)] = -\frac{Dp}{Dt} + \nabla.(k\nabla T) + \varphi$$

$$۴)\ \varphi = (\bar{\bar{\tau}}.\nabla)V = \tau_{ij}\frac{\partial V_i}{\partial x_j}$$



Re= 1000

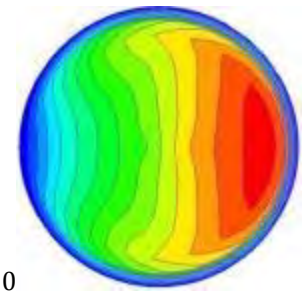
شکل ۴:کانتورهای سرعت سیال درون لوله

در این مطالعه سعی شده است جریان سیال و ناسلت متوسط در داخل لوله مارپیچ و همچنین دمای خروجی و نرخ انتقال حرارت سیال به ازای رینولدزهای مختلف مورد ارزیابی قرار گیرد. ظرفیت حرارتی مورد نیاز برای مصارف خانگی را نیز بررسی خواهیم کرد.

نتایج:

۱.بررسی جریان سیال در طول لوله مارپیچ

در شکل۴ نمایی از سرعت سیال درون لوله مارپیچ را با رینولدزهای مختلف مشاهده می کنید مطابق آنچه که گفته شد دو جریان با سرعت های متفاوت درون لوله مارپیچ قابل مشاهده است که گویای نتایج بدست آمده می باشد.

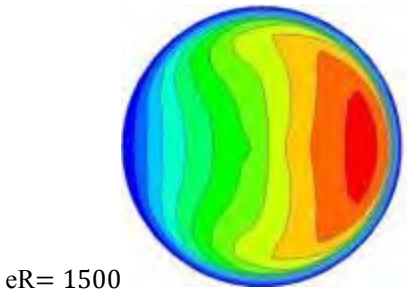


eR= 2000

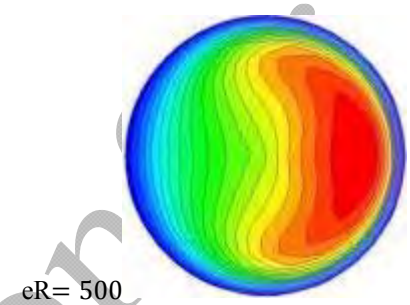
www.Hvacconf.ir
www.SID.ir

Archive of SID

مجموعه مقالات اولین کنفرانس بین المللی تهویه مطبوع و تاسیسات حرارتی و برودتی
۳۱ اردیبهشت ۱۳۹۴، ایران، تهران، مرکز همایش‌های صدا و سیما
مجری: انجمن علمی مهندسی حرارتی و برودتی ایران
HVACconf-IRSHRAE-1-67



eR= 1500



eR= 500

۲. بررسی ناسلت متوسط درون لوله مارپیچ

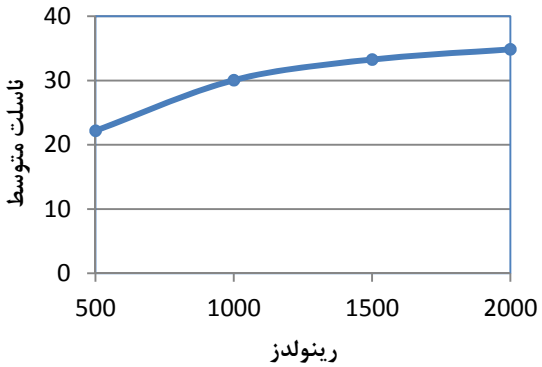
با استفاده از قانون سرمایش نیوتن

$$۵)\ \bar{h} = \frac{q}{A\,\Delta T}$$

و همچنین رابطه

$$۶)\ Nu = \frac{\bar{h}\,D}{k}$$

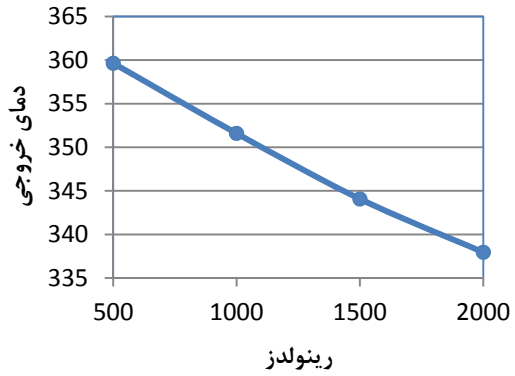
می توان ناسلت متوسط را در طول لوله بدست آورد. همانگونه که شکل۵ نشان می دهد افرایش رینولدز درون لوله، افزایش ناسلت متوسط را در لوله های مارپیچ به دنبال خواهد داشت.



شکل ۵ :تغییرات ناسلت متوسط برحسب رینولدز

۳.دمای خروجی از لوله مارپیچ

با افزایش رینولدز، سرعت سیال درون لوله افزایش می یابد بنابراین مدت زمان برای تبادل حرارت بین سیال و دیواره کمتر می شود در پی آن دمای خروجی با افزایش رینولدز می بایست کاهش یابد این موضوع دال بر صحت تغییرات دمای خروجی بر حسب رینولدز بدست آمده در شکل۶در این شبیه سازی می باشدبه طوری که با تغییر رینولدز از ۵۰۰ تا ۲۰۰۰ دمای خروجی از ۳۵۹,۶۳ به ۳۳۷,۹۵ درجه کلوین کاهش می یابد.



شکل ۶ :تغییرات دمای خروجی برحسب رینولدز

۴. بررسی انتقال حرارت کلی

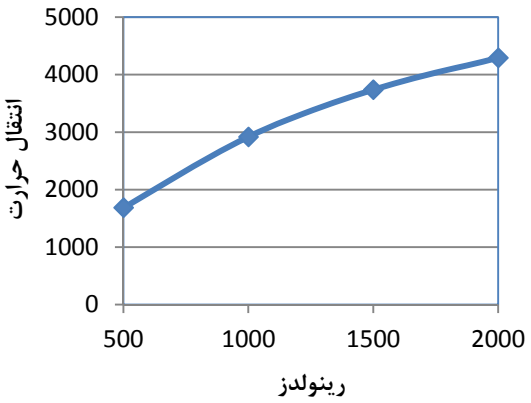
با توجه به رینولدز های مختلف نرخ جریان عبوری سیال نیز متفاوت خواهد بود. با بدست آوردن نرخ جریان عبوری سیال و همچنین داشتن دمای ورودی و خروجی می توان از رابطه

$$۷)\ Q = \dot{m}\, c\Delta T$$

انتقال حرارت کلی را برای رینولدز های مختلف برحسب ژول بر ثانیه بدست آورد.(در اینجا c ثابت وبرابر ۴۱۸۲ ژول بر کیلوگرم-درجه کلوین است). همانگونه که در شکل۷ مشهود است روند تغییرات انتقال حرارت کلی به رینولدز وابسته بوده وبا افزایش رینولدز انتقال حرارت در طول لوله افزایش می یابد.

www.SID.ir

Archive of SID



شکل۷ :تغییرات انتقال حرارت کلی برحسب رینولدز

۵.حال مقدار آب گرم لازم برای مصرف خانگی بررسی می کنیم.مقدار ظرفیت حرارتی مورد نیازبرای مصارف خانگی از رابطه (۷) حساب می کنیم. در اینجا دمای ورودی به ساختمان را ۱۰ درجه سانتی گراد و دمای مورد نیاز برای مصرف خانگی را۵۰ درجه سانتی گراد در نظر می گیریم. مقدار دبی آبگرم مورد نیاز برای مصارف خانگی را با توجه به جدول مصرف روزانه آبگرم در ساختمان های مختلف نوشته شده توسط مقیمان[۶] بدست می آوریم. که برابر با ۰،۰۱۸۷۰۵ کیلوگرم بر ثانیه برای خانواده ۴ نفرهمی باشد. بنابراین برای مقدار ظرفیت حرارتی برای یک خانواده۴ نفره داریم

$$Q = ۳۱۴۲ \ ^{J}/_{S}$$

انرژی حرارتی دریافتی توسط لوله مارپیچ با افزایش رینولدز به مراتب بیشتر ازظرفیت حرارتی مورد نیاز برای خانواده ۴ نفر خواهد بود (شکل۷). بنابراین مبدلمارپیچ ما جوابگوی انرژی حرارتی مورد نیاز می باشد.

نتیجه گیری

انتقال حرارت در یک لوله مارپیچ که در درون دودکش قرار دارد در تحقیق حاضر مورد مطالعه قرار گرفت.با شبیه سازی هندسه موردنظر و حل عددی معادلات حاکم، سرعت سیال در لوله های مارپیچ، تغییرات دمای خروجی وهمچنین ناسلت متوسطو در آخر انتقال حرارت درون لوله مارپیچ به ازای رینولدزهای متفاوت بررسی کردیم. همچنین مقدار ظرفیت گرمایی لازم برای مصرف خانگی به ازای یک خانواده ۴ نفره را ارزیابی نمودیم.

نتایج بدست آمده نشان می دهد که با افزایش رینولدز دمای خروجی کمتر می شود اما ناسلت متوسط و انتقال حرارت درون لوله افزایش می یابد. از مقایسه انرژی حرارتی دریافتی توسط مبدل با انرژی حرارتی مورد نیاز برای خانواده ۴ نفره درمی یابیم که بکار گرفتن لوله مارپیچ با قطر وطول و همچنین رینولدز مناسب یک روش بسیار بهینه برای استفاده از گرمای تلف شده در دودکش هایخانگی و موتورخانه هاست.

مراجع

[1] Shah,R.K., and joshi,S,D,.1987."convective heat transfer in curved pipes. In handbook of single-phase convective heat transfer",wiley, New York.

[2]Darvid,A.N., Smith,K.A., MerilE.W., and Brain, p.L.T., 1971," Effect of secondary fluid motion on laminar –flow heat transfer in helically-coild tubes. AIGHE j, 17:1142-1222

[3] Schmidt, E, F,1971. "The residence time disterbution for ideal laminar flow in a helical tube."GhemEngsci, 26(7):1113-1121

[۴] نشاط اسفهلانی، الهه. سیامک، حسین پور، و رضا، تابع ۱۳۹۱:"*بررسی تغییرات ضریب انتقال حرارت جابجایی آزاد سطح بیرونی لوله های مارپیچ در راستای طولی وشعاعی.*" چهارمین همایش بین المللی مبدل های گرمایی. تهران.

[۵] مصطفوی، صبا. محمد، لایقی. کمال عباسپور ثانی ۱۳۹۱:"*بررسی تاثیر نانو ذرات نقره بر افزایش انتقال حرارت در لوله های مارپیچ.*" چهارمین همایش بین المللی مبدل های گرمایی. تهران.

[۶] مهندسی تهویه مطبوع و حرارت مرکزی، تالیف محمد مقیمان. مشهد، انتشارات دانشگاه فردوسی مشهد،۱۳۸۲.

www.Hvacconf.ir
www.SID.ir