نگاهی به جریان سیال در لوله ها

By: F. Samsami

نویسنده : فرزانه صمصامی

سیالات، موادی هستند که شکل ظرفی را که درون آن قرار دارند، به خود می گیرند و لذا برای انتقال آنها، به محیطی واسطه نیاز داریم. این محیط واسطه می تواند یک کاسه باشد در هر بار که کاسه پر می شود میزان مشخصی مایع، مثلاً آب را بصورت گسسته انتقال می دهد و یا اینکه می توان از وسیله ای استفاده کرد که بصورت پیوسته سیال را انتقال دهد.بشر از دیر باز برای انتقال سیالات و یا انتقال انرژی توسط سیال منتقل شده، از لوله ها استفاده می کرده است.لوله ها در طولها، اشکال و اندازه های مختلف بکار می روند.آیا تا به حال به شکل لوله ها دقت کرده اید؟چرا همه یک شکل نیستند؟ زیاد شدن طول یا قطر لوله چه اثری بر روی انتقال سیال و میزان مصرف انرژی خواهد گذاشت؟چرا لوله را بصورت مستقیم بکار می برند؟ اگر لوله را خم کنند و یا حتی بپیچانند، چه تغییری در جریان سیال مشاهده می کنیم؟

گاهی از اوقات لولهٔ حاوی سیال را گرم و یا سرد می کنند و با این عمل، از لوله یک مبادله گر حرارتی می سازند. با توجه به این موضوع، به سؤالات بالا چه پاسخی می توان داد؟

در حقیقت، لوله در اینجا مجرایی است که سیال در داخل آن جریان می یابد و همزمان گرم یا سرد نیز می شود. هنگامیکه سیال لزجی وارد مجرایی می شود، لایه مرزی، در طول دیواره، تشکیل خواهد شد. لایه مرزی بتدریج در کل سطح مقطع مجرا توسعه می یابد و از آن به بعد، به جریان، جریان کاملاً توسعه یافته گفته می شود۱. معمولاً می گویند که اگر طول لوله بلندتر از ۱۰ تا ۲۰ برابر قطر لوله باشد(معمولاً ۱۰ برابر)، آنگاه جریان کاملاً توسعه یافته شده است.

اگر دیواره های مجرا گرم و یا سرد شوند، لایه مرزی گرمایی نیز در طول دیواره مجرا توسعه خواهد یافت. اگر گرمایش یا سرمایش، از ورودی مجرا شروع شود، هم نمودار توزیع سرعت و هم نمودار توزیع دما بصورت همزمان توسعه می یابند. مسئله انتقال گرما در این شرایط، به مسئله طول ورودی هیدرودینامیکی۲ و گرمایی۳ تبدیل می شود که در بر گیرنده چهار حالت مختلف است، بسته به اینکه هر کدام از دو لایه مرزی سرعت و دما در چه وضعیتی بسر می برند، کاملاً توسعه یافته و یا در حال توسعه.

در ناحیه کاملاً توسعه یافته در داخل لوله، عملاً لایه مرزی وجود ندارد چون دو ناحیه مختلف، که یکی با سرعت جریان آزاد و دیگری تحت تاثیر دیواره باشد، وجود نخواهند داشت و در سر تاسر لوله، تمام نواحی تحت تاثیر دیواره قراردارند. از آنجا که لایه مرزی، خودش، مقاومتی در برابر انتقال حرارت است، لذا بیشترین میزان ضریب انتقال حرارت جابجایی در ابتدای لوله، یعنی در جایی که ضخامت لایه مرزی صفر است، مشاهده می شود. مقدار این ضریب به تدریج، همزمان با افزایش ضخامت لایه مرزی و در نتیجه افزایش مقاومت در برابر انتقال حرارت، کاهش می یابد تا به مقدار آن در ناحیه کاملاً توسعه یافته برسد که تقریباً مقداری ثابت است.

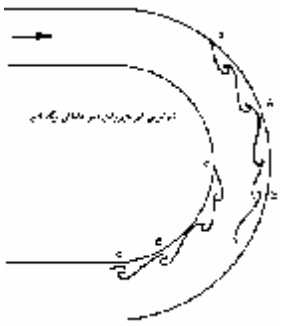
www.fluid.persianblog.com ○ اولین وبلاگ تخصصی در مکانیک سیالات
آزمایشگاه هیدرودینامیک کاربردی دانشگاه علم وصنعت ایران

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

حال اثر تغییر شکلی خاص در لوله را روی ویژگیهای سرعت و انتقال حرارت بررسی می کنیم. کویلهای حلزونی و مارپیچ، لوله های خمیده ای هستند که بعنوان مبادله کنهای گرمای لولهٔ خمیده در کاربردهای مختلف استفاده می شوند، در پیوست مطالبی در مورد این کویلها آورده شده است۴.

بیائید کویلهای مارپیچ یا حلزونی را تحلیل کنیم. سیالی را درون این لوله ها در نظر می گیریم. آنچه در ابتدا نظرمان را به خود جلب می کند، اینست که چون لوله ها بصورت مارپیچ (دایروی) پیچیده شده اند، لذا در اثر حرکت دورانی و محوری، نیرویی به آنها وارد می شود و این خود باعث می شود تا شتاب سیال صفر نشود، حال سؤالی که اینجا مطرح می شود اینست که با وجود این نیرو، آیا جریان داخل مارپیچ، کاملاً توسعه یافته است یا جریانی در حال توسعه است و پروفیل سرعت تغییر می کند. آیا دلیل بیشتر بودن h (ضریب انتقال حرارت جابجایی) در این ناحیه ، نسبت به لوله مستقیم نیز، این است (می دانیم که h در ناحیه کاملاً توسعه یافته کوچکتر از h در ناحیه در حال توسعه است)؟ یا هیچکدام از اینها صحیح نیست و دلیل بزرگتر بودن ضریب انتقال حرارت جابجایی در این ناحیه چیز دیگری است؟

در اولین نگاه، بنظر می رسد که جریان داخل کویل کاملاً توسعه یافته نیست و دلیل بیشتر بودن h نیز همین است. با این حساب،این جمله را چگونه توجیه کنیم که :"داده های محدود راجع به جریان آشفته در حال توسعه، نشان می دهد که جریان، در نیم دور اول کویل کاملاً توسعه می یابد"؟ اگر اینطور باشد پس دلیل افزایش h چیست؟



جریان داخل لوله را در مختصات استوانه ای درنظر بگیرید که دارای سه مؤلفه r,θ,z است. هنگامیکه لوله مستقیم است، سرعت در دو راستای r,θ صفر بوده و فقط در راستای z سرعت داریم : $V_z = V_z(r)$ و هنگامیکه لوله را خمیده یا مارپیچ می کنیم، بدلیل وجود نیروی گریز از مرکز و شتاب حاصل از آن(و سایر مؤلفه های شتاب ایجاد شده)، سرعت مؤلفه دیگری علاوه بر V_z می یابد : V_θ که تابع R شعاع انحناء مارپیچ نیز هست. این مؤلفه جدید سرعت، میل دارد حرکتی گردشی(spiral) به سیال بدهد، یعنی سیال همزمان که در طول لوله به جلو می رود، حول خط مرکزی لوله دوران هم می کند اما علیرغم میلش همیشه موفق به این کار نمی شود. بنابراین نیروی گریز از مرکز عامل توسعه یافته نشدن جریان نخواهد بود بلکه در زمانی که بیشترین اثر را بر روی رژیم جریان بگذارد، آن را به سمت ناپایداری می برد (نا پایداری جریان مصادف است با آشفته شدن آن) و حرکتی گردشی به سیال می دهد و بهر حال، وجود نیروی گریز از مرکز با اینکه جریان در نیم دور اول کویل کاملاً توسعه یافته شود، هیچ منافاتی با هم ندارند.

www.fluid.persianblog.com ○
اولین وبلاگ تخصصی در مکانیک سیالات
آزمایشگاه هیدرودینامیک کاربردی دانشگاه علم وصنعت ایران

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com

باز هم این سؤال باقی ماند که دلیل افزایش h چیست؟ می دانیم که ضریب انتقال حرارت در جریان آشفته و نیز در جریان آشوبناک(chaotic)، بیش از ضریب انتقال حرارت در جریان آرام است، پس هر ابزاری که کمک کند جریان به سمت آشفته شدن و یا آشوبناک شدن پیش رود، باعث افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی می شود، خواه در مورد جریان داخل لوله و خواه در مورد جریان بر روی لوله. وقتی لوله را بصورت مارپیچ در می آوریم، با افزودن یک مؤلفه سرعت که می تواند پایداری جریان را در معرض خطر قرار دهد، جریان را به سمت آشفته شدن(هم در سمت داخل لوله و هم در سمت خارج لوله) پیش برده و باعث افزایش h شده ایم. اینکه کویل ما بصورت افقی یا قائم قرار گیرد نیز بر روی ضریب انتقال حرارت جابجایی ما مؤثر است بخصوص در سمت خارج لوله چون انتقال حرارت باعث تغییر چگالی سیال و ایجاد یک حرکت انتقالی در اثر نیروی ارشمیدس (جابجایی طبیعی) می شود که این حرکت اگر تقویت شده، به سمت توربولان شدن پیش رود و یا روی حرکت کلی جریان تاثیر گذاشته، آنرا به سمت توربولان شدن پیش برد، باعث افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی h می شود.

بحث دیگری که امروزه به منظور افزایش h ، بر همین مبنا مطرح است، بحث استفاده از مبدلهای حرارتی آشوبناک است. به این معنی که برای افزایش ضریب انتقال حرارت و غالباً در کویلها، جریان را آشوبناک می کنند. عقیدهٔ این گروه بر این است که توربولان یا آشفتگی، حالتی خاص از پدیده آشوب یا chaos است که البته همه با این نظر موافق نیستند چون هنوز هیچ حل قطعیی (deterministic) از توربولان در دست نیست و نیز در این جریان میزان تلفات انرژی بالاست، در حالیکه هر مسئلهٔ آشوبناکی، حل قطعی دارد اما چه آشفتگی حالتی خاص از آشوب باشد یا نباشد، آنچه مسلم است و تجربه نیز گواه آنست، اینست که بروز هر دوی این پدیده ها در جریان سیال، باعث افزایش ضریب انتقال حرارت جابجایی می شود.

www.fluid.persianblog.com ○
اولین وبلاگ تخصصی در مکانیک سیالات
آزمایشگاه هیدرودینامیک کاربردی دانشگاه علم و صنعت ایران

منابع :

[۱] بحثهای مطرح شده در جلسه بیستم آزمایشگاه هیدرودینامیک کاربردی، ۱۳۸۳/۷/۲۸

***** بازنشر الکترونیکی مطلب فوق با ذکر نام وبلاگ بلامانع است.**

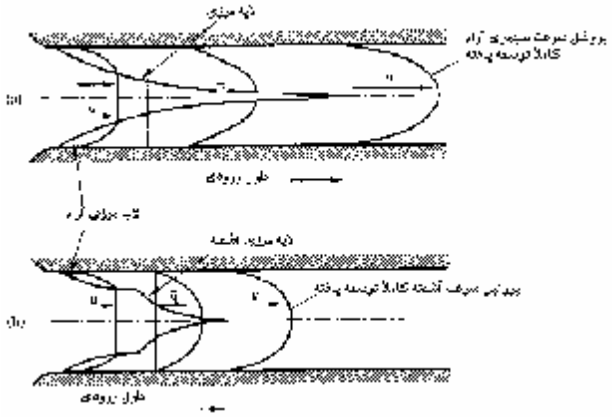
***** بازنشر مکتوب مطالب منوط به اجازه از مدیر وبلاگ می باشد.**

[۱] ضخامت لایه مرزی به تدریج در طول لوله افزایش می یابد و بعد از بهم پیوستن لایه های مرزی اطراف لوله جریان کاملاً توسعه یافته می شود. هرچند بصورت نظری، نزدیک شدن به نمودار توزیع سرعت کاملاً توسعه یافته، به شکل مجانبی است و تعیین محلی معین و دقیق که در آنجا جریان در مجرا کاملاً توسعه یافته است، غیر ممکن می باشد؛ با اینحال برای تمام کاربردهای عملی، طول ورودی هیدرودینامیکی، محدود است.

[۲] به فاصله ای که در طی آن، سرعت، کاملاً توسعه یافته می شود، طول ورودی هیدرو دینامیکی گویند.

[۳] مسافتی که در طی آن نمودار توزیع دما، کاملاً توسعه یافته می شود، طول ورودی گرمایی نامیده می شود.

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com



[۴]به نقل از کتاب مبادله کنهای گرما، تالیف Sadik Kakac & Hongtan Liu، ترجمه دکتر سپهر صنایع ، (صفحات ۱۲۳-۱۲۹) :

"شکل کویلها : یک کویل افقی گفته می شود اگر لوله در هر چرخش تقریباً افقی باشد. اگر محور کویل افقی به میزان ۹۰ درجه بچرخد(بصورتی که لوله در هر چرخش تقریباً در صفحه عمودی قرار گیرد)، به آن کویل قائم گفته می شود.

ضریب اصطکاک کویل : مطالعات تجربی و نظری نشان می دهد که برای عدد رینولدز مشخص، ضرایب اصطکاک لوله کویل شده، بزرگتر از ضرایب اصطکاک در لوله مستقیم می باشند.

انتقال حرارت در لوله خم شده : مطالعات تجربی نشان می دهد که خم، اثری ناچیز بر انتقال گرما در لوله واقع در بالادست آن خم دارد، ولی اثر عمده ای بر انتقال گرما در لوله واقع در پائین دست جریان وجود خواهد داشت. برای جریان آشفته سیال در حال گرمایش در خم ۹۰ درجه، اثر کلی افزایش انتقال گرما در خم و لوله پائین دست آن، معادل با افزایش طول لوله گرم شده به اندازه حدود هشت برابر قطر لوله، برای زانویی می باشد. در جریان آشفته انتقال گرما در لوله پائین دست خم، مستقل از گرمایش در لوله بالادست می باشد.

کویلهای مارپیچ، جریان آشفته(توربولان) : اغلب تحلیلهای جریان آشفته سیال و انتقال گرما در آن، به جریان کاملاً توسعه یافته محدود می شود. داده های محدود راجع به جریان آشفته در حال توسعه، نشان می دهد که جریان، در نیم دور اول کویل کاملاً توسعه می یابد. طول ورودی برای جریان آشفته در حال توسعه، معمولاً کوتاهتر از طول ورودی برای جریان آرام می باشد. اکثر روابط کویل مارپیچ، می توانند برای کویلهای حلزونی استفاده شوند اگر متوسط شعاع انحناء حلزونی R_{ave} در محاسبات استفاده گردد."

PDF created with pdfFactory Pro trial version www.pdffactory.com