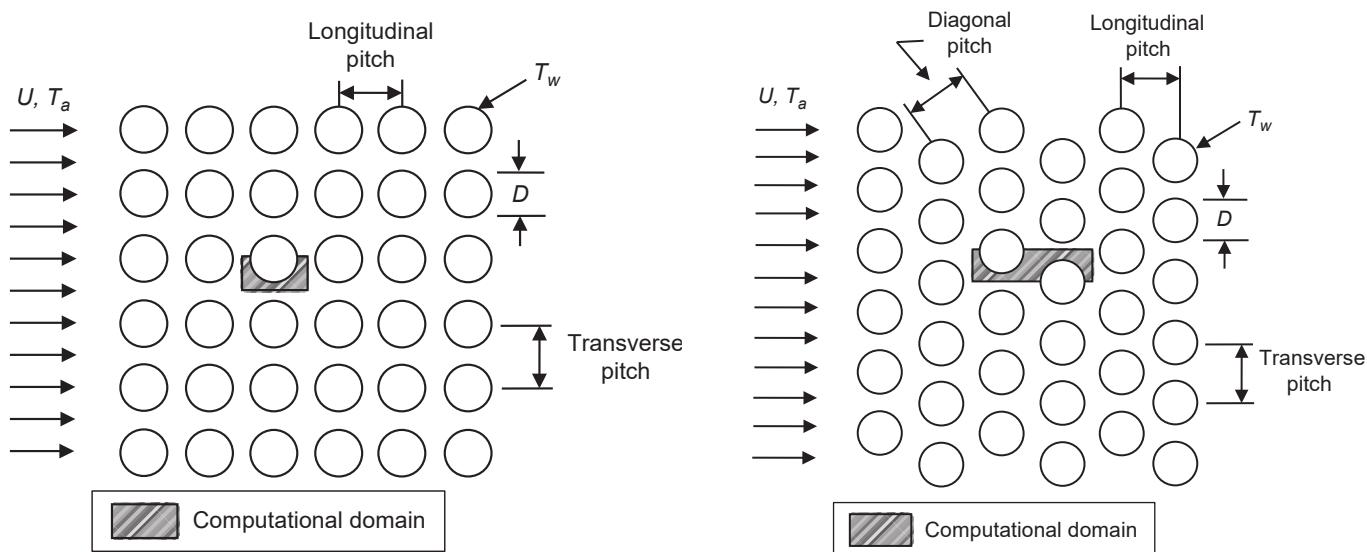


مبدل حرارتی پوسته-لوله

۱. مقدمه:

مبدل‌های حرارتی پوسته-لوله در صنایع مختلف و متعددی به کار گرفته می‌شوند که مولدهای بخار نیروگاهی، سیستم‌های تهویه، صنایع غذایی و پتروشیمی از جمله متعارف‌ترین آن‌ها هستند. یکی از موارد بسیار با اهمیت در طراحی چنین مبدل‌هایی، دستیابی به درک مناسب از انتقال حرارت جریان عرضی سیال پیرامون مجموعه‌ای از لوله‌هاست. یکی از پارامترهای اساسی در عملکرد مبدل نحوه چیدمان مجموعه لوله‌هاست که معمولاً خطی (In-line) یا مثلثی (Staggered) در نظر گرفته می‌شود. شکل ۱، شماتیکی از انواع چیدمان‌ها و پارامترهای هندسی مهم در هر یک را نشان می‌دهد. این پارامترهای هندسی عبارتند از: قطر خارجی لوله، گام طولی^۱، گام عرضی^۲ و گام قطری^۳ (در آرایش مثلثی). در پروژه حاضر، شما به مطالعه اثر آرایش لوله‌های مبدل بر ضریب انتقال حرارت جریان عرضی پیرامون لوله‌ها خواهید پرداخت.



شکل ۱: شماتیک چیدمان لوله‌های مبدل با آرایش‌های مثلثی (تصویر سمت راست) و خطی (تصویر سمت چپ).

¹ Longitudinal pitch

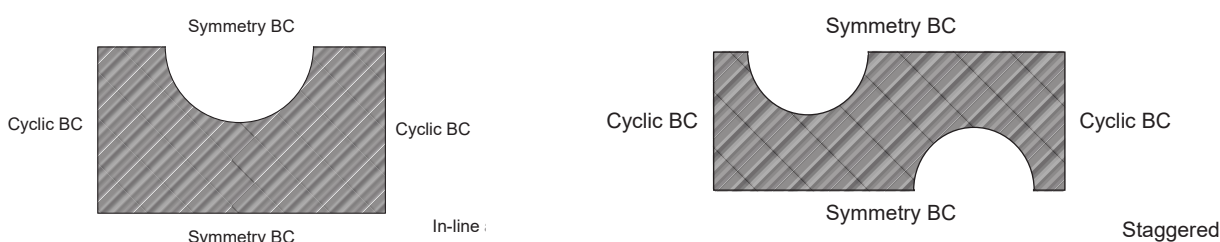
² Transverse pitch

³ Diagonal pitch



۲. تشریح مسئله

برای هریک از آرایش‌های خطی و مثالی، جریان سیال تراکم‌ناپذیر با سرعت U و دمای T_a که بسیار کمتر از دمای سطح لوله‌ها (T_w) است، وارد فضای پیرامون مجموعه لوله‌ها می‌شود. به علت طبیعت تکرار شونده جریان در گذر از هر ردیف به ردیف بعدی، ناحیه‌ی محاسباتی در ردیف‌های میانی می‌تواند با استفاده از شرایط مرزی تقارن و تکرار شونده ساده‌سازی شود. شکل ۲ ناحیه‌ی محاسباتی و شرایط مرزی را برای هریک از چیدمان‌ها تشریح می‌نماید. دقت نمایید که در هر دو حالت، باید شرط مرزی دما ثابت بر سطح لوله‌ها اعمال شود.



شکل ۲: ناحیه محاسباتی و شرایط مرزی در شبیه‌سازی هریک از چیدمان مجموعه لوله‌ها.

جدول ۱: مشخصات هندسی و خواص فیزیکی سیال کاری.

پارامتر	مقدار
قطر لوله D ، بر حسب mm	10
گام طولی p_L ، بر حسب mm	12.5
گام عرضی p_T ، بر حسب mm	12.5
دمای سطح لوله T_w ، بر حسب $^{\circ}C$	70
دبی جرمی جریان $\dot{m}$ ، بر حسب kg/s در واحد طول لوله‌ها	0.01 – 0.4
خواص سیال کاری	
ضریب پخش حرارتی k ، بر حسب W/m.K	0.6
چگالی ρ ، بر حسب kg/m^3	998
گرمای ویژه C_p ، بر حسب J/g.K	4.182
لزجت سینماتیکی ν ، بر حسب m^2/s	1×10^{-6}
عدد پرانتل Pr	7



مشخصات شرایط مرزی و جزئیات هندسی نیز در جدول ۱ ارائه شده است. سیال کاری، آب با خواص فیزیکی ثابت در دمای مرجع 25°C در نظر گرفته شود. برای تحلیل و طراحی مبدل‌ها معمولاً از قطر لوله به عنوان طول مشخصه جریان استفاده می‌شود. در این صورت اعداد رینولدز و نوسلت جریان به صورت زیر تعریف می‌شوند:

$$Nu \equiv \frac{\bar{h}D}{k}, \quad Re_D \equiv \frac{DU_{\max}}{\nu}$$

همان‌گونه که دیده می‌شود سرعت بیشینه، که در کمترین مقطع جریان در فضای پیرامون ردیف لوله‌ها ایجاد می‌شود، به جای سرعت جریان ورودی در تعریف عدد رینولدز استفاده شده است.

۳. خواسته‌ها

۱-۳) با استفاده از یک حلگر حجم محدود، فرایند حل معادلات پایستگی جرم، تکانه خطی و انرژی را برای جریان دو بعدی سیال تراکم‌ناپذیر طبق شرایط مرزی تشریح شده در جدول ۱ و برای هر یک از چیدمان‌ها پیاده‌سازی نمایید. گسسته‌سازی جملات جابه‌جایی باید از طریق روش Upwind مرتبه ۲ صورت پذیرد. نتایج گزارش شده باید پاسخ پایای جریان باشند.

۲-۳) مطالعه شبکه را حداقل با ایجاد چهار سطح شبکه مختلف به هر دو صورت کیفی و کمی اجرا نمایید. توجه داشته باشید که مطالعه کمی باید طبق روش برونیابی توضیح داده شده در کلاس و بر مبنای مراجع [۱، ۲] اجرا شود. همچنین مرتبه دقت روش عددی مورد استفاده را استخراج و گزارش نمایید.

۳-۳) با تغییرات دبی جرمی جریان سیال در بازه مقادیر جدول ۱، جدول تغییرات عدد نوسلت و متوسط ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی بر روی لوله را بر حسب عدد رینولدز در هر دو چیدمان گزارش نمایید. همچنین در آرایش مثلثی، مقادیر متوسط ضریب انتقال حرارت جابه‌جایی را به صورت جداگانه بر روی نیم استوانه چپ و نیم استوانه راست محاسبه نمایید.

۴-۳) خطوط جریان را در هر دو آرایش لوله به ازای دبی جرمی (عدد رینولدز) مختلف رسم نمایید.

۵-۳) نتایج حاصل از حل عددی را با روابط تجربی پیشنهاد شده برای جریان عرضی روی مجموعه لوله مقایسه نمایید.

۶-۳) نمودار تغییرات عدد نوسلت بر حسب عدد رینولدز را بر روی یک نمودار رسم کرده و پیرامون الگوی حاصل بحث نمایید. رابطه‌ی بین عدد رینولدز و نوسلت را از طریق برازش منحنی استخراج کنید.



تذکر: در مورد پروژه به نکات زیر توجه نمایید:

۱. تمامی فرایند پس پردازش نتایج (شامل مواردی همچون رسم نمودارها و خطوط جریان) باید در نرم افزار MATLAB انجام شود. اشکال خروجی باید واضح و دارای کیفیت مناسب باشند.
۲. گزارش پروژه باید در فرمت استاندارد شامل مواردی همچون چکیده، مقدمه، تشریح مسئله و ... باشد. در این گزارش، بایستی به تشریح کامل جزئیات فرایند شبیه سازی و بحث پیرامون نتایج حاصل پرداخته شود.

مراجع

1. Roache, P.J., *Perspective: A Method for Uniform Reporting of Grid Refinement Studies*. Journal of Fluids Engineering, 1994. 116(3): p. 405-413.
2. American Society of Mechanical Engineers, *Standard for Verification and Validation in Computational Fluid Dynamics and Heat Transfer: An American National Standard*. 2009: American Society of Mechanical Engineers.