

به نام خدا



Market Code

توسعه کد عددی برای تحلیل سه بعدی میدان جریان تراکم ناپذیر درون لوله های
مارپیچ

 دانشگاه صنعتی امیرکبیر	امیر ملوندی: کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک	توسعه دهنده:
	امیر ملوندی	تهیه کننده مستند:
۱۳۹۳/۰۵/۲۵		تاریخ تنظیم:

آنچه در این برنامه ارایه گردیده است حل معادلات ناویر-استوکس سه بعدی تراکم ناپذیر درون لوله مارپیچ در دستگاه مختصات منحنی شکل می‌باشد. جریان آرام، تراکم ناپذیر و توسعه یافته بوده و نوع روش عددی در این برنامه، روش تفاضل محدود با دقت مرتبه دوم است. برای جلوگیری از نوسانات عددی مقادیر فشار، از شبکه جابجا شده (Staggered) استفاده شده است. برای رسیدن به حالت توسعه یافته، از شرط مرزی پریودیک در راستای طول لوله استفاده شده است، و مقادیر سرعت بر روی دیواره صفر در نظر گرفته شده است. پارامتر های مورد بررسی عبارتند از : انحنا لوله، پیچش در راستای محور، و عدد رینولدز.

کلمات کلیدی: دینامیک سیالات محاسباتی، شبکه جابجا شده، ناویر استوکس، لوله مارپیچی

فهرست مطالب

۱	مقدمه	۱
۲	راهنمای کاربری	۲
۳	معادلات حاکم	۳
۴	روش عددی	۴
۵	کد	۵
۶	سابروتین Starcalc	۶
۷	سابروتین initial	۷
۸	سابروتین StarBoundary	۸
۹	سابروتین velocityBoundary	۹
۱۰	سابروتین prescalc	۱۰
۱۱	سابروتین pressure	۱۱
۱۲	سابروتین pressureBoundary	۱۲
۱۳	سابروتین Export	۱۳
۱۴	سابروتین coeff	۱۴
۱۵	سابروتین plot	۱۵
۱۶	تابع	۱۶
۱۷	اعتبارسنجی کد	۱۷
۱۸	مراجع	۱۸

میدان جریان و انتقال حرارت درون لوله های انحنا دار^۱ یکی از موضوعات مورد توجه در علوم مهندسی، بخصوص مهندسی مکانیک و شیمی می باشد. این لوله ها دارای کاربرد های فراوانی در مبدل های حرارتی، ترکیب کننده های دارویی، تهویه مطبوع و رآکتور های هسته ای می باشند. جریان درون لوله های انحنا دار دارای الگوهای بسیار پیچیده ای بوده که بدلیل وجود نیرو های گریز از مرکز^۲ می باشد که علاوه بر اینکه سبب افزایش میزان انتقال حرارت در مبدل های حرارتی می شود، حجم مبدل های حرارتی را به صورت چشمگیری کاهش می دهد.

نیرو های گریز از مرکز سبب ایجاد جریان های ثانویه^۳ درون لوله های منحنی شکل می شوند که سبب انحراف قله^۴ پروفیل سرعت از مرکز لوله می شود. این پدیده اولین بار توسط ویلیامز و همکاران [۱] به صورت تجربی مشاهده شد. لازم به توضیح است که جریان های ثانویه جریان هایی هستند که در صفحه ای عمود بر جریان محوری و بدلیل نیروهای گریز از مرکز ناشی از انحنای لوله تولید می شوند. به عبارت دیگر، انحنای لوله سبب ایجاد نیرو های گریز از مرکز شده و این نیروها سبب القای جریان های ثانویه می شوند. آستیس [۲] به صورت تجربی به بررسی الگوهای خطوط جریان درون لوله های منحنی شکل پرداخت و وجود جریان های ثانویه را در صفحه ای عمود بر جریان محوری تایید کرد. سپس، دین [۳] برای اولین بار به صورت تئوری به بررسی میدان جریان در لوله های انحنا دار پرداخت. او نشان داد که برای لوله هایی با انحنای کم^۵، جریان تابعی از یک پارامتر بی بعد می باشد که بعد ها به عدد دین^۶ معروف شد. او همچنین به صورت تئوری نشان داد که جریان های ثانویه حاصل از نیرو های گریز از مرکز سبب ایجاد نواحی گردشی پاد ساعتگرد با نام نواحی دین^۷

^۱ Curved pipes

^۲ Centrifugal forces

^۳ Secondary flow

^۴ peak

^۵ Loosely curved pipe

^۶ Dean number

^۷ Dean Cells

می شوند. او همچنین نشان داد که با افزایش عدد دین، این نواحی بزرگتر می شوند. به عبارت دیگر، افزایش عدد دین سبب تقویت جریان های ثانویه می شوند. از این زمان به بعد، بررسی میدان جریان در لوله های انحنا دار مورد توجه بسیاری از محققین قرار گرفت که در گزارش برگر و همکاران [۴] به صورت کامل مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین می توان به بررسی انتقال حرارت ترکیبی در لوله انحنادار چرخان توسط چن و ژنگ [۵]، اثرات فین در داخل لوله انحنا دار توسط نوبری و فرلی [۶] و بررسی میدان جریان و انتقال حرارت در حال توسعه در بین لوله های خارج از مرکز توسط نوبری و مهریانی [۷] نام برد. اغلب مطالعه های انجام شده در این زمینه به صورت تئوری و یا آزمایشگاهی می باشد و کمتر از یک دهه می باشد که پژوهشگران به بررسی این مسئله به صورت عددی پرداختند.

در همین راستا، ونگ [۸] برای اولین بار به بررسی اثرات پیچش^۱ بر روی جریان داخل لوله های مارپیچ^۲ (لوله های منحنی شکل که دارای گام^۳ می باشند) پرداخت. او با استفاده از روش اغتشاشات^۴، میدان جریان درون لوله های مارپیچ با انحنای پیچش کم را برای روی دستگاه معادلات غیر متعامد مدلسازی نمود و اذعان نمود که اثرات پیچش و انحنای^۵ از مرتبه اول می باشد. از طرف دیگر، جرمانو [۹] در یک گزارش کامل، با استفاده از دستگاه مختصات متعامد، نتایج بدست آمده توسط ونگ را اصلاح کرده و بیان نمود که پیچش دارای اثراتی از مرتبه دوم می باشد حال آنکه تنها انحنا دارای اثراتی از مرتبه اول می باشد. سپس میدان جریان پیرامون لوله های مارپیچ مورد توجه بسیاری از محققین انجام گرفت که از آن جمله می توان به کارهای یانگ و همکاران [۱۰] برای بررسی جریان کاملاً توسعه یافته درون لوله های مارپیچ و یا به کار رابین و کورین [۱۱] برای بررسی مبدل های مارپیچ اشاره نمود.

شایان ذکر است که همانند لوله های منحنی شکل بدون گام، اغلب کارهای انجام شده بر روی لوله های مارپیچ به صورت تجربی (آزمایشگاهی) و یا تئوری (با فرضیات محدود کننده) بوده است و تعداد معده‌دی از پژوهشگران با استفاده از روش های عددی به بررسی میدان جریان و انتقال حرارت درون

^۱ Torsion

^۲ Helical pipe

^۳ Pitch

^۴ Perturbation method

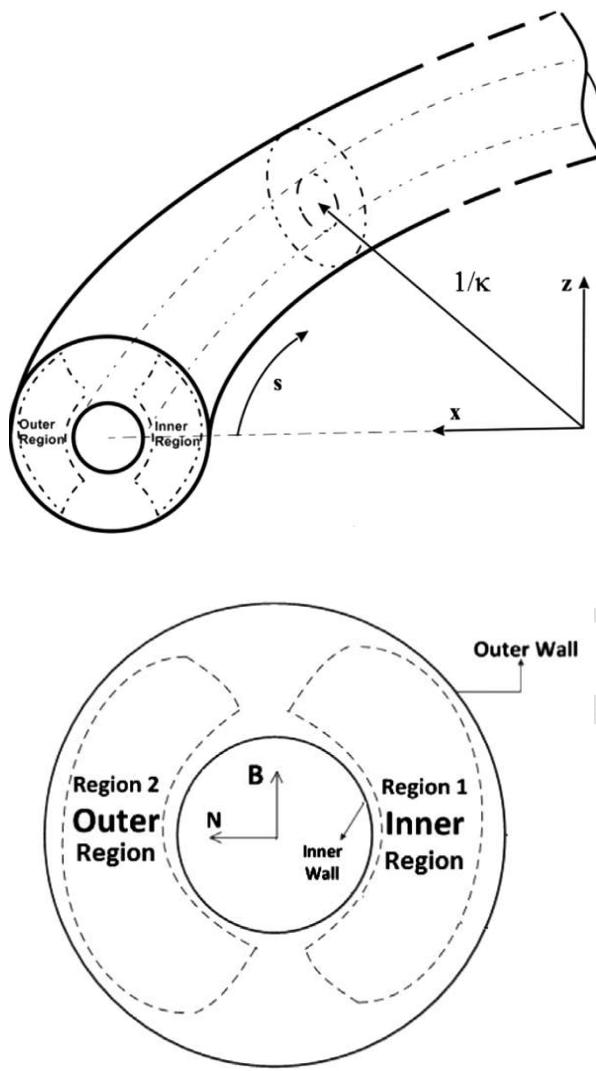
^۵ Curvature

لوله های مارپیچ پرداخته اند. استفاده از روش های عددی دارای این مزیت می باشد که می تواند انواع کمیت های ثانویه شامل گردابه ها، جریان های ثانویه، تنش ها و بسیاری از این موارد را در هر نقطه، خط، و یا صفحه مشاهده نمود که از این حیث می تواند به درک موضوع مورد نظر کمک شایانی نماید. با پیشرفت تکنولوژی و تولید رایانه های پرسرعت، این امکان پیدید آمده است که بتوان درک بهتری نسبت به میدان جریان و انتقال حرارت درون لوله های منحنی شکل دست یافت. به تازگی، نوبتی و ملوندی [۱۲] به بررسی میدان جریان درون لوله های مارپیچ پرداخته اند. آنها نشان دادند که میدان جریان میان دو لوله مارپیچ هم مرکز بسیار پیچیده تر از جریان درون لوله مارپیچ می باشد.

میدان جریان درون لوله های منحنی شکل از توازن میان نیرو های گریز از مرکز، اختلاف فشار و نیروهای اینرسی توسعه می یابد. نیروهای گریز از مرکز و نیروهای شعاعی حاصل از اختلاف فشار که به دلیل انحنای لوله ایجاد می شوند، سبب ایجاد جریان های ثانویه در جهت عمود بر جریان محوری می شوند. جهت نیروهای گریز از مرکز در جهت دیواره خارجی لوله بوده، حال آنکه جهت نیروهای شعاعی حاصل از اختلاف فشار به سمت مرکز انحنا لوله می باشد. در نزدیکی دیواره، مقدار سرعت به دلیل عدم لغش بر روی دیواره کاهش می یابد و در نتیجه نیروهای گریز از مرکز که با توان دوم سرعت نسبت مستقیم دارند نیز کاهش می یابند. بنابراین در نزدیکی دیواره، نیروهای شعاعی حاصل از اختلاف فشار غالب بوده و لذا سبب ایجاد لایه مرزی در نزدیکی دیواره می شود. این لایه مرزی سبب حرکت سیال از ناحیه پر انحنای لوله^۱ به ناحیه کم انحنای لوله^۲ لوله می شود. همچنین به دلیل سرعت زیاد در میانه لوله های انحنادار (دور از دیواره ها)، نیرو های گریز از مرکز غالب بوده و سبب می شوند که جریان سیال از ناحیه کم انحنای لوله به ناحیه پر انحنای لوله وارد شود (شکل ۱).

^۱ Outer Bend

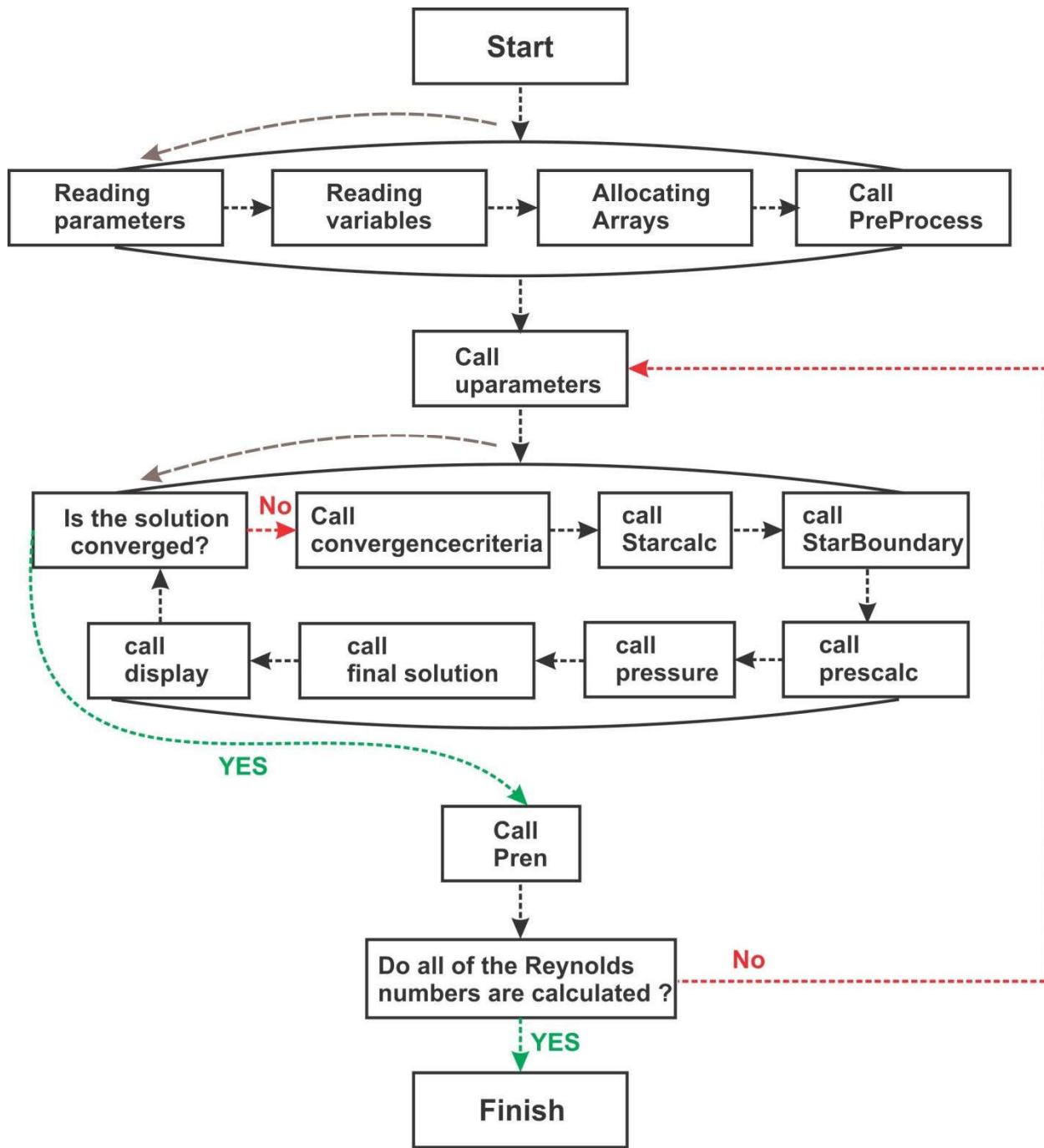
^۲ Inner Bend



شکل ۱: ناحیه های تقسیم شده برای لوله مارپیچ هم مرکز [۱۲].

۲ راهنمای کاربری

این نرم افزار توسط مهندس امیر ملوندی نگارش شده است که به بررسی میدان جریان درون لوله های مارپیچ می پردازد. نسخه حاضر Version: ۱.۰ می باشد. در شکل ۲، فلوچارت و الگوریتم کد حلگر نشان داده شده است تا روند بررسی کد توسط خواننده آسانتر گردد.



شکل ۲: الگوریتم حلگر

در ادامه هر بخش به طور کامل توضیح داده می شود. اما در اینجا قصد داریم تا تنظیمات اولیه را برای اجرای کد معرفی کنیم. بدین منظور، تنظیمات زیر در فایل ها می بايست انجام شود:

Parameters ➤

در این فایل پارامتر های مهم مسئله شامل شبکه، بازه زمانی Dt، انحنا، پیچش، عدد رینولدز، و نسبت شعاع داخلی به خارجی تعیین می شوند. شکل ۳ محتوای این فایل را نشان می دهد.

```
Parameters
I_Re           10          ! Numbers of iterations(I_Re=3 means Re=100,200,300)
Grid_generation 4 40 40    ! Grid in s,r,theta directions respectively
Re             100         ! initial Reynolds number
Dt             0.001       ! time step
RR             0.2          ! radius ratio (Ri/Ro)
ta             0.01         ! Torsion number
ka             0.2          ! curvature number
Prandtl_number 0.7         ! Prandtl number
```

شکل ۳: محتوایات فایل Parameters

در شکل فوق، پارامترها به ترتیب عبارتند از:

I_Re : بیانگر اینست که مسئله برای چند عدد رینولدز حل شود. عدد ۱۰ سبب می شود که مسئله برای ۱۰ رینولدز با اختلاف عدد ۱۰۰ حل شود.

Grid_generation : میزان تقسیم بندی شبکه را در جهات s, r, θ را به ترتیب نشان می دهد. (جهت s در طول لوله می باشد).

Re : اولین عدد رینولدز که در مسئله برای آن حل می شود را تعیین می نماید.

Dt : بازه زمانی حل مسئله را مشخص می کند.

RR : نسبت شعاع داخلی به خارجی می باشد.

ta : پارامتر پیچش می باشد.

ka : پارامتر انحنا می باشد.

نکته قابل توجه اینست که در این مقادیر در ابتدای حل مسئله باید انتخاب شوند و بعد از اجرای برنامه دیگر تغییر این پارامترها به مسئله اعمال نمی شود.

متغیر های مسئله در این فایل قرار دارند و در طول برنامه می توانند تغییر کنند. این پارامترها ضرایب تخفیف معادلات مومنتوم، تصحیح فشار و بازه زمانی Dt می باشد. نمونه ای از این فایل در شکل ۴ نشان داده شده است.

```
| 1  1  1  1      1E-03  10  1
SOR --> P, U, V, W, Dt, Number of iteration for pressure, Pressure Iterate control
```

شکل ۴: محتویات فایل Variables

➤ نمونه اجرا

بعد از اجرای برنامه، به ترتیب فایل های زیر ایجاد می شوند:

Curve.plt .A

در این فایل، شکل لوله مارپیچ به همراه شبکه نشان داده می شود. نمونه ای از این فایل در شکل ۵ نشان داده شده است.

