

به نام خدا



Market Code

شبیه‌سازی جریان تراکم‌پذیر دو بعدی به روش فشرده (شبکه نوع-C)

	ساسان رستگار: مهندسی مکانیک، کارشناسی ارشد	توسعه دهنده:
ساسان رستگار		تهیه کننده مستند:
۹۳ / ۱۲ / ۰۲		تاریخ تنظیم سند:

فهرست مطالب

۴	فصل ۱: راهنمای کاربری
۷	نمونه اجرا
۱۳	فصل ۲: متن اصلی Main
۲۶	فصل ۳: توابع
۲۶	۱-۳ .تابع Geometry
۲۸	۲-۳ .تابع Initial_Condition
۲۹	۳-۳ .تابع timeStep
۳۰	۴-۳ .تابع compactderivative_Xi
۳۱	۵-۳ .تابع compactderivative_Eta
۳۲	۶-۳ .تابع compactderivative
۳۳	۷-۳ .تابع boundaryCond4th
۳۴	۸-۳ .تابع thoMas3DBx
۳۴	۹-۳ .تابع thoMas3DBy
۳۵	۱۰-۳ .تابع DiffEta
۳۶	۱۱-۳ .تابع DiffXi
۳۷	۱۲-۳ .تابع inverse
۳۸	۱۳-۳ .تابع multiply41
۳۸	۱۴-۳ .تابع multiply44
۳۹	۱۵-۳ .تابع thoMas3D
۴۰	فصل ۴: مراجع

چکیده

امروزه توجه بسیاری از محققان علم دینامیک سیالات محاسباتی معطوف به استفاده از روش‌های مرتبه بالا شده است. این دسته از روش‌ها امکان پیش‌بینی خواص جریان در مقیاس‌های کوچک با دقت بالا را در عین استفاده از حافظه کم فراهم می‌آورند. این برنامه شبیه‌سازی عددی جریان تراکم‌پذیر را با استفاده از روش تفاضل محدود فشرده روی شبکه نوع-C ارائه می‌دهد. برای پیش‌روی زمانی، روش خطی‌سازی بیم-وارمینگ به همراه روش ADI به کار گرفته می‌شوند. همچنین، روش تفاضل محدود فشرده مرتبه چهارم برای گسترش سازی مکانی استفاده می‌گردد. شرایط مرزی هم به گونه‌ای تنظیم می‌شوند که دقت کل میدان حل حفظ شود. روش حل به کار گرفته شده غیرصریح است و بنابراین پایداری و همگرایی مناسبی از ویژگی‌های این برنامه است.

کلمات کلیدی: تفاضل محدود، فشرده، جریان تراکم‌پذیر، بیم-وارمینگ، غیرصریح

فصل ۱: راهنمای کاربری

جهت اجرای برنامه لازم است تا برخی تنظیمات اولیه برای کد انجام گیرد. لذا در این بخش به طور خلاصه به این موارد اشاره خواهد شد. لازم به ذکر است این قسمت مخصوص کاربرانی است که فقط می‌خواهند نرم‌افزار را اجرا نموده و استفاده نمایند.

برنامه به گونه‌ای طراحی شده است که کاربر می‌تواند تنظیمات اصلی را در فایل (Constant.h) تغییر دهد. در ابتدای این بخش (Physical value) مقادیر فیزیکی تعیین می‌گردد. این مقادیر در جدول ۱-۱ تعریف شده است.

جدول ۱-۱: تعریف متغیرهای فیزیکی ورودی به برنامه

واحد	تعریف متغیر	متغیر داخل برنامه
بی‌بعد	عدد رینولدز جریان Re	Re
بی‌بعد	نسبت ثابت گازها γ	gama
Kg/(m sec)	ضریب لزجت μ	mu

بی بعد	ماخ ورودی سیال	Ma
بی بعد	عدد پرانتل	Pr
بی بعد	تعیین کننده لزج و یا غیرلزج بودن جریان	ViscousTerm
بی بعد	تعیین کننده فراصوت یا فروصوت بودن جریان	Supersonic

لازم به ذکر است که کمیت ViscousTerm فقط مقادیر ۱ برای جریان لزج و مقدار صفر برای جریان غیرلزج را می‌پذیرد. همچنین کمیت Supersonic تنها مقادیر ۱ برای جریان فراصوت و مقدار صفر برای جریان فروصوت را می‌پذیرد. دقت شود که زمانی که عدد Ma مقدار بزرگتر از یک می‌گیرد جریان فراصوت محسوب می‌شود و در غیراینصورت فروصوت.

در بخش بعدی (Geometry Value) مقادیر مربوط به هندسه و تولید شبکه مطابق

جدول ۰-۲ تنظیم می‌گردد. در فایل (Constant.h) همه موارد مربوط به هندسه وجود دارد.

جدول ۰-۲: تعریف متغیرهای هندسی ورودی به برنامه

واحد	تعریف متغیر	متغیر داخل برنامه
عدد طبیعی	تعداد نقاط در جهت x	iMax
عدد طبیعی	تعداد نقاط در جهت محور y	jMax
-	نام فایل هندسه ورودی به برنامه	CaseStudy

در قسمت بعدی (Convergence Value) پارامترهای مربوط به فرآیند همگرایی برنامه و تعداد تکرار محاسبات طبق

جدول ۰-۳ تعیین می‌گردد. در برنامه دو شرط برای توقف درنظر گرفته شده است. اگر تعداد تکرار حلقه محاسبات اصلی از Loop_Max_Iteration بزرگتر شود، برنامه متوقف می‌شود. همچنین اگر باقیمانده (Residual) محاسبه شده از پارامتر Tolerance کوچکتر شود برنامه متوقف می‌شود. البته در حالت توقف برمبنای تعداد تکرار فعال است. برای فعال کردن حالت دوم باید در بدنه کد تغییر موردنظر را انجام داد. همچنین در هر Loop_Counter_Autosave تکرار، نتایج ذخیره می‌شوند و مقدار خطا و تعداد تکرار در صفحه نمایش چاپ می‌شوند. متغیر CFL نیز پارامتری جهت کنترل بر روی گام زمانی (Time-Step) می‌باشد.

جدول ۰-۳: تعریف متغیرهای مربوط به همگرایی برنامه

واحد	تعریف متغیر	متغیر داخل برنامه
عدد طبیعی	حداکثر تکرار محاسبات	Loop_Max_Iteration
عدد حقیقی ثبت	Courant number	CFL
عدد حقیقی	باقیمانده مورد نیاز جهت توقف حل	Tolerance
عدد طبیعی	تعداد تکرار لازم برای هربار ذخیره نتایج و نمایش خطا	Loop_Counter_Auto save

	و تکرار	
--	---------	--

بهتر است اگر برای تکرار ۱۰۰۰ بار را درنظر دارید عدد ۱۰۰۱ برای متغیر Loop_Max_Iteration در نظر گرفته شود. همچنین برای توقف برنامه بر مبنای باقیمانده، باید در بدنه کد و در قسمت While این گزینه را فعال کرد.

در صورتی که تمامی موارد فوق به صورت صحیح تنظیم شده باشد اکنون برنامه آماده اجرا می‌باشد. پس از اجرا و همگرایی برنامه چندین فایل خروجی تشکیل می‌گردد. فایل مربوط به هندسه و همه متغیرهای متناظر هر نقطه و فایل مربوط به نتایج حل (فشار، چگالی، عدد ماخ و ...) در هر نقطه.

نمونه اجرا

در این بخش به منظور تمرین عملی موارد بالا به یک مثال اشاره می‌شود. این نمونه شامل حل جریان لزج فروصوت حول ایرفویل می‌باشد. مقادیر ورودی به صورت زیر وارد می‌گردد. مرزهای میدان توسط فایل ورودی وارد برنامه می‌گردد و شبکه 35×121 می‌باشد.

#define iMax	121 // 243
#define jMax	35 // 101
#define Re	500.0
#define mu	1.001
#define Pr	0.71
#define Ma	0.85
#define gamma	1.4
#define CFL	0.5
#define Loop_Max_Iteration	10001

```

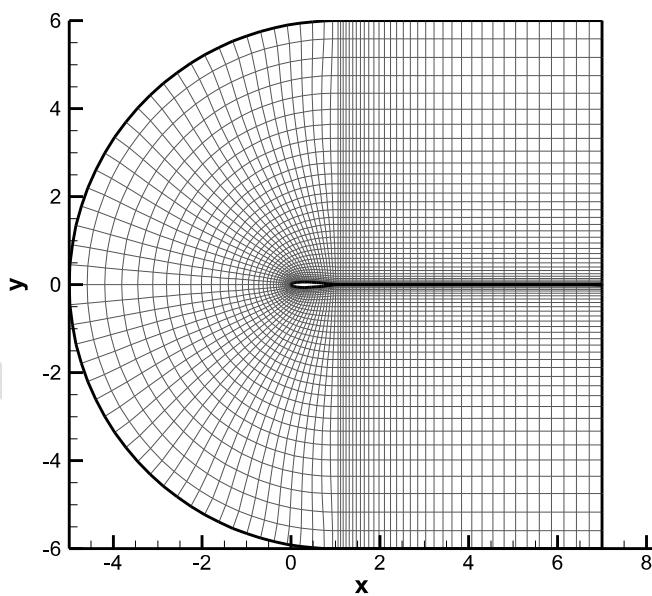
#define Loop_Counter_Autosave      200
//#define Tolerance           1.0e-9

#define CaseStudy          'A' //C-Type; case
A:iMax=121 jMax=35 , case B: iMax=243 jMax=101

#define I_mid            61//122
#define I_in             36//42
#define I_out            86//202

```

نام فایل ورودی هندسه (شکل ۱-۱) اشاره شده در بالا بایستی در دایرکتوری نرمافزار با همان نام موجود باشد.



شکل ۱-۱: هندسه ورودی به برنامه

پس از اجرای برنامه مقادیر اشاره شده در بالا در هر ۲۰۰ تکرار به صورت
چاپ می‌شود. شکل ۱-۲

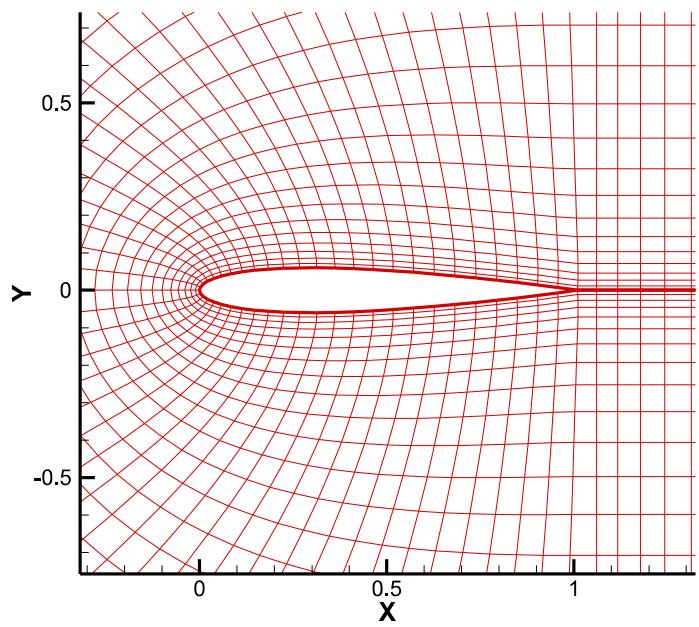
فایل پس از همگرایی و اتمام فرآیند حل نتایج به دست آمده در چند فایل ایجاد می‌گردد.
شامل هندسه و شبکه تولید شده می‌باشد. همچنین متریک‌ها و ژاکوبین تغییرات نیز "outputgrid.plt"
در این فایل ذخیره می‌شوند. در شکل ۱- میدان حل به همراه شبکه تولید شده نمایش داده شده است.
فسردگی شبکه در نزدیکی دیواره ایرفویل مشاهده می‌شود.

```

Initiated
errormax Iteration
0.00407194 0
errormax Iteration
2.74613e-006 200
errormax Iteration
1.82514e-006 400
errormax Iteration
1.30736e-006 600
errormax Iteration
1.02075e-006 800
errormax Iteration
5.19306e-007 1000
errormax Iteration
1.71815e-006 1200
errormax Iteration
8.20149e-007 1400
errormax Iteration
4.51745e-007 1600
errormax Iteration
5.80096e-007 1800
errormax Iteration
1.3655e-006 2000
errormax Iteration
1.1525e-006 2200
errormax Iteration
9.91178e-007 2400
errormax Iteration
1.08031e-006 2600
errormax Iteration
1.11867e-006 2800
errormax Iteration
1.08713e-006 3000
errormax Iteration
9.70659e-007 3200
errormax Iteration
8.62649e-007 3400
errormax Iteration
9.17791e-007 3600
errormax Iteration
1.11018e-006 3800

```

شکل ۰-۲: چاپ مقادیر در حین اجرای برنامه



شکل ۳-۱: هندسه و شبکه تولید شده

علاوه بر هندسه مقادیر فیزیکی کل میدان شامل چگالی، سرعت مولفه x و y ، انرژی، فشار، سرعت و ماح در فایل "output.plt" ذخیره می‌شوند. در شکل‌های زیر توزیع چند پارامتر فیزیکی در میدان نمایش داده می‌شود.