به نام خدا

Market Code

نرم افزار تحلیل جریان آرام مبتنی بر معادلات ناویر–استوکس تراکم پذیر ناپایا با روشهای $AUSM^{+}$، HLLC، Roe بر روی یک مجرای سه بعدی با شبکه سازمان یافته

توسعه دهندگان:	فرهاد قدک: دکتری هوافضا-آیرودینامیک، دانشیار	
	جواد طهماسبی: کارشناسی ارشد، هوافضا-آیرودینامیک	
	محمدصابر زمانپور: کارشناسی ارشد، مکانیک-تبدیل انرژی	
تهیه کننده مستند:	جواد طهماسبی، محمدصابر زمانپور	
تاریخ تنظیم سند:	۹۳ /۰۴ / ۲۲	

Market Code

فهرست مطالب

۱- چکیده ۱
۲- راهنمای کاربری ۲
نمونه اجرا ۴
۳- متن اصلی Main ۱۲
۴- سابروتین Grid3D ۱۵
۵- سابروتین Volumes ۱۷
۶- سابروتین Initial ۲۰
۷- سابروتین BC ۲۱
۸- سابروتین DeltaTime ۲۳
۹- سابروتین AUSM_Solver ۲۵
AUSM_Solver: Part_1 ..... ۲۵
AUSM_Solver: Part_2 ..... ۲۸
AUSM_Solver: Part_3 ..... ۲۹
AUSM_Solver: Part_4 ..... ۲۹
۱۰-ماژول محاسبه ترم‌های لزج ۳۳
سابروتین Viscous_RHS ۳۴
Viscous_RHS: Part_1 ..... ۳۵
Viscous_RHS: Part_1-1 ..... ۳۶
Viscous_RHS: Part_1-2 ..... ۳۷
Viscous_RHS: Part_1-2 ..... ۳۷
Viscous_RHS: Part_2 ..... ۳۸
Viscous_RHS: Part_2-1 ..... ۳۹
Viscous_RHS: Part_2-2 ..... ۴۰
Viscous_RHS: Part_2-2 ..... ۴۲
Viscous_RHS: Part_3 ..... ۴۳
Viscous_RHS: Part_3-1 ..... ۴۴
Viscous_RHS: Part_3-2 ..... ۴۵
Viscous_RHS: Part_3-3 ..... ۴۶
۱۱-سابروتین Output ۴۸
Convergence: Part_1 ..... ۴۸
Grid: Part_2 ..... ۴۸

Market Code

۴۹.....Physical Data: Part_3
۴۹..... Wall Pressure: Part_4
۴۹..... Wall Mach: Part_5
۵۰.....12-مراجع
۵۱.....۱۳-پیوست یک
۵۱..... HLLC: Part 1
۵۲.....HLLC: Part 1_1
۵۲.....HLLC: part 1_2
۵۲.....HLLC: Part 1_3
۵۲.....HLLC: Part 1_4
۵۳..... HLLC: Part 2
۵۳.....HLLC: Part 2_1
۵۳.....HLLC: Part 2_2
۵۳.....HLLC: Part 2_3
۵۴.....HLLC: Part 2_4
۵۴.....HLLC: Part 2_5
۵۴.....HLLC: Part 2_6
۵۵.....HLLC: Part 2_7
۵۵..... HLLC: Part 3
۵۵.....HLLC: Part 3_1
۵۵.....HLLC: Part 3_2
۵۵.....HLLC: Part 3_3
۵۶.....HLLC: Part 3_4
۵۶.....HLLC: Part 3_5
۵۶.....HLLC: Part 3_6
۵۷.....HLLC: Part 3_7
۵۷..... HLLC: Part 4
۵۷.....HLLC: Part 4_1
۵۸.....HLLC: Part 4_2
۵۸.....HLLC: Part 4_3
۵۸.....HLLC: Part 4_4
۵۸.....HLLC: Part 4_5
۵۹.....HLLC: Part 4_6

Market Code

HLLC: Part 4_7 ..... ۵۹
HLLC: Part 5 ..... ۵۹
۱۴-پیوست دو ۶۱
Roe3D: Part_1 ..... ۶۱
Roe3D: Part 1_1 ..... ۶۱
Roe3D: Part 2_1 ..... ۶۲
Roe3D: Part 1_3 ..... ۶۲
Roe3D: Part 1_4 ..... ۶۲
Roe3D: Part_2 ..... ۶۲
Roe3D: Part 2_1 ..... ۶۳
Roe3D: Part 2_2 ..... ۶۳
Roe3D: Part 2_3 ..... ۶۴
Roe3D: Part 2_4 ..... ۶۴
Roe3D: Part 2_5 ..... ۶۴
Roe3D: Part 2_6 ..... ۶۵
Roe3D: Part 2_7 ..... ۶۵
Roe3D: Part 2_8 ..... ۶۵
Roe3D: Part 2_9 ..... ۶۶
Roe3D: Part 2_10 ..... ۶۶
Roe3D: Part_3 ..... ۶۶
Roe3D_ Part 3_1 ..... ۶۶
Roe3D_ Part 2_2 ..... ۶۷
Roe3D: Part 3_3 ..... ۶۷
Roe3D: Part 3_4 ..... ۶۸
Roe3D: Part 3_5 ..... ۶۸
Roe3D: Part 3_6 ..... ۶۸
Roe3D: Part 3_7 ..... ۶۹
Roe3D: Part 3_8 ..... ۶۹
Roe3D: Part 3_9 ..... ۶۹
Roe3D: Part 3_10 ..... ۷۰
Roe3D: Part_4 ..... ۷۰
Roe3D: Part 4_1 ..... ۷۰
Roe3D: Part 4_2 ..... ۷۱

Market Code

۷۱ ..... Roe3D: Part 4_3
۷۱ ..... Roe3D: Part 4_4
۷۲ ..... Roe3D: Part 4_5
۷۲ ..... Roe3D: Part 4_6
۷۳ ..... Roe3D: Part 4_7
۷۳ ..... Roe3D: Part 4_8
۷۳ ..... Roe3D: Part 4_9
۷۳ ..... Roe3D: Part 4_10
۷۴ ..... Roe3D: Part_5

Market Code

۱- چکیده

آنچه در این برنامه ارایه گردیده است حل معادلات ناویر-استوکس سه بعدی تراکم‌پذیر ناپایا می‌باشد. نوع روش عددی در این برنامه، روش حجم محدود است. برای محاسبه مقادیر فلاکس نیز از سه روش $AUSM^+$، HLLC و Roe با دقت مرتبه یک بهره گرفته شده است. معادلات به صورت صریح حل شده است. در این برنامه شرایط مرزی به گونه‌ای می‌باشد که جریان به صورت پایا در نظر گرفته شده است. این برنامه برای تحلیل جریان‌های داخلی مورد استفاده قرار گرفته و شبکه‌ی تولید شده نیز از نوع شبکه‌ی با سازمان می‌باشد. به دلیل عملکرد خوب این روشها در سرعت‌های پایین، این نرم‌افزار قابلیت آشکار سازی لایه‌مرزی سرعت در نزدیکی دیواره‌ها را در حد بالایی دارا می‌باشد. همچنین با توجه به استفاده از روش صریح، سرعت بالا از دیگر ویژگی‌های این نرم‌افزار می‌باشد.

کلمات کلیدی: معادلات ناویر-استوکس سه بعدی، جریان داخلی، حجم محدود، $AUSM^+$، HLLC، Roe، روش صریح

Market Code

۲- راهنمای کاربری

این نرم افزار توسط دکتر فرهاد قدک و مهندس جواد طهماسبی نگارش شده است. نسخه حاضر Version:1.0 می‌باشد جهت اجرای برنامه لازم است تا برخی تنظیمات اولیه برای نرم‌افزار 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. لذا هیچ اشاره‌ای به محتوای برنامه اعم از سابروتین‌ها و روش حل نشده است.

نرم‌افزار به گونه‌ای طراحی شده است که کاربر می‌تواند کلیه تنظیمات را در متن اصلی برنامه (Main Program) انجام دهد. این بخش با Input Section در برنامه مشخص شده است. در ابتدای این بخش (Physical value) مقادیر فیزیکی تعیین می‌گردد. این مقادیر در جدول۲-۱ تعریف شده است.

جدول۲-۱: تعریف متغیرهای فیزیکی ورودی به برنامه

متغیر داخل برنامه	تعریف متغیر	واحد
T0	دمای سکون ورودی	K
Gama	نسبت ثابت گازها γ	-
Miyou	ضریب لزجت μ	Kg/(m sec)
MachEntrance	ماخ ورودی سیال	-
Pentrance	فشار استاتیک جریان ورودی	N/m^2
Pback	فشار پشت (دهانه خروجی) مجرا	N/m^2
Tstatic	دمای استاتیک جریان ورودی - روابط ترمودینامیکی	K
RhoEntrance	چگالی جریان ورودی یا - روابط ترمودینامیکی	Kg/m^3

Market Code

لازم به توضیح است در صورتی که ضریب لزجت صفر باشد قسمت مربوط به معادلات ناویر-استوکس اجرا نشده و سیال به صورت غیرلزج (معادلات اویلر) تحلیل می‌شود.

در بخش بعدی (Geometry Value) مقادیر مربوط به هندسه و تولید شبکه مطابق جدول۲-۲ تنظیم می‌گردد. دقت شود که Nx ، Ny و Nz در ابتدای برنامه تعیین می‌شود. . نام فایل ورودی و پسوند آن نیز بایستی به زبان لاتین و حداکثر ۳۰ حرف بوده و داخل " " باشد. پارامتر XDense محل فشردگی به صورت درصدی از طول میدان در جهت i بوده و در غالب عددی بین صفر و یک می‌باشد. متغیرهای DsDense، DsDown و DsUp معرف نرخ فشردگی می‌باشد. بازه این متغیرها بزرگ‌تر از صفر و کوچک‌تر مساوی یک می‌باشد. در صورت تنظیم عدد صفر خطا رخ داده و در صورت تنظیم عدد یک شبکه بدون فشردگی خواهد بود.

جدول۲-۲: تعریف متغیرهای هندسی ورودی به برنامه

متغیر داخل برنامه	تعریف متغیر	نوع متغیر
Nx	تعداد سلول‌ها در جهت X	عدد طبیعی
Ny	تعداد سلول‌ها در جهت محور Y	عدد طبیعی
Nz	تعداد سلول‌ها در جهت محور Z	عدد طبیعی
FileName	نام فایل هندسه ورودی به برنامه	حداکثر ۳۰ حرف
N_inputFile	تعداد نقاط موجود در فایل هندسه ورودی	عدد طبیعی
XDense	محل فشردگی شبکه در جهت i	۰≤ عدد ≤۱
DsDense	نرخ فشردگی شبکه در جهت i	۰< عدد ≤۱
DsDown	نرخ فشردگی شبکه در نزدیک دیواره پایین (درجهتj)	۰< عدد ≤۱
DsUp	نرخ فشردگی شبکه در نزدیک دیواره بالا (درجهتj)	۰< عدد ≤۱

Market Code

در قسمت بعدی (Convergence Value) پارامترهای مربوط به فرآیند همگرایی برنامه و تعداد تکرار محاسبات طبق جدول۲-۳ تعیین می‌گردد. در برنامه دو شرط برای توقف در نظر گرفته شده است. اگر لگاریتم باقیمانده (Residual) محاسبه شده از پارامتر Eps کوچک‌تر شود برنامه متوقف می‌شود. همچنین اگر تعداد تکرار حلقه محاسبات اصلی از Ncycle بزرگ‌تر شود، برنامه متوقف می‌شود. متغیر CFL نیز پارامتری جهت کنترل بر روی گام زمانی (Time-Step) می‌باشد.

جدول۲-۳: تعریف متغیرهای مربوط به همگرایی برنامه

متغیر داخل برنامه	تعریف متغیر	نوع متغیر
Ncycle	حداکثر تکرار محاسبات	عدد طبیعی
CFL	Courant number	عدد حقیقی مثبت
Eps	لگاریتم باقیمانده مورد نیاز جهت توقف حل	عدد حقیقی

به منظور مشاهده تعداد تکرار، لگاریتم باقیمانده (Residual) و زمان سپری شده در صفحه اجرای برنامه بایستی متغیر NScreen تعیین گردد. بدین ترتیب به صورت متناوب در تعداد تکرار مشخص شده مقادیر فوق چاپ خواهد.

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. این فایل‌ها شامل نرخ و زمان همگرایی، هندسه و پارامترهای فیزیکی، تغیرات فشار و ماخ جریان بر روی دیواره‌ها خواهد بود که در نمونه اجرا نمایش داده خواهد شد.

نمونه اجرا

در این بخش به منظور تمرین عملی موارد بالا به دو مثال اشاره می‌شود. هر دو نمونه یک نازل سه‌بعدی مافوق صوت بوده که اولی بدون شوک و دومی همراه با شوک می‌باشد. کدها توسط یک رایانه (Pc) با

پردازشگر AMD Phenom™ II X2 550 3.10 GHz اجرا گردیده است. برای مثال اول مقادیر ورودی به صورت زیر وارد می‌گردد. مرزهای میدان توسط فایل ورودی وارد برنامه می‌گردد.

```
NX=70        Ny=50        Nz=50

!            Physical value

T0 = 300D0

Gama  = 1.4D0

Miyou = 1.777D-5

MachEntrance =1.01D0

Pentrance = 5D4

Pback = 1D4

Tstatic =T0/(1D0+(Gama-1D0)/2D0*MachEntrance**2D0)      =249.2

RhoEntrance  = Pentrance/287.05D0/Tstatic                =0.7

!            Geometry Value

FileName="SuperSonicNozzle1.plt"

N_inputFile = 66

XDense = 1D0

DsDense= 1D

DsDown = 0.02D0

DsUp      = DsDown
```

Market Code