به نام خدا

Market Code

نرم افزار تحلیل جریان آرام

مبتنی بر معادلات ناویر–استوکس دوبعدی تراکم پذیر ناپایا با روش های

Roe ،$HLLC$ ،HLL ،$AUSM^{+}$

در جریان داخلی بر روی 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 /۰۵ / ۲۲	

Market Code

فهرست مطالب

۱. چکیده ۱
۲. راهنمای کاربردی ۲
نمونه اجرا ۴
۳. متن اصلی Main ۱۱
۴. سابروتین Grid ۱۴
۵. سابروتین STRCH ۱۶
۶. سابروتین BoundaryStretching ۱۸
۷. سابروتین Spline ۱۹
۸. سابروتین Initial ۲۱
۹. سابروتین BC ۲۲
۱۰. سابروتین Areas ۲۴
۱۱. سابروتین DeltaTime ۲۶
۱۲. سابروتین AUSM ۲۸
AUSM: Part_۱ ..... ۲۸
AUSM: Part_۲ ..... ۳۲
AUSM: Part_۳ ..... ۳۲
۱۳. سابروتین Viscous_RHS ۳۵
Viscous_RHS: Part_۱ ..... ۳۶
Viscous_RHS: Part_۱-۱ ..... ۳۷
Viscous_RHS: Part_۱-۲ ..... ۳۹
Viscous_RHS: Part_۲ ..... ۴۰
Viscous_RHS: Part_۲-۱ ..... ۴۰
Viscous_RHS: Part_۲-۲ ..... ۴۲
Viscous_RHS: Part_۳ ..... ۴۳
Viscous_RHS: Part_۳-۱ ..... ۴۴
Viscous_RHS: Part_۳-۲ ..... ۴۵
Viscous_RHS: Part_۳-۳ ..... ۴۵
۱۴. سابروتین Output ۴۷
output: Part_۱ ..... ۴۷
output: Part_۲ ..... ۴۷
output: Part_۳ ..... ۴۸

Market Code

output: Part_۴ ..... ۴۸
output: Part_۵ ..... ۴۸
output: Part_۶ ..... ۴۸
۱۵. مراجع ۵۰
۱۶. پیوست یک ۵۱
HLL : Part_۱ ..... ۵۶
HLL : Part_۲ ..... ۵۷
HLL : Part_۳ ..... ۵۸
HLL : Part_۴ ..... ۵۸
۱۷. پیوست دو ۶۰
HLLC: Part_۱ ..... ۶۰
HLLC: Part_۲ ..... ۶۱
HLLC: Part_۲-۱ ..... ۶۱
HLLC: Part_۲-۲ ..... ۶۲
HLLC: Part_۲-۳ ..... ۶۲
HLLC: Part_۲-۴ ..... ۶۲
HLLC: Part_۲-۵ ..... ۶۳
HLLC: Part_۲-۶ ..... ۶۳
HLLC: Part_۲-۷ ..... ۶۳
HLLC: Part_۳ ..... ۶۳
HLLC: Part_۳-۱ ..... ۶۴
HLLC: Part_۳-۲ ..... ۶۴
HLLC: Part_۳-۳ ..... ۶۵
HLLC: Part_۳-۴ ..... ۶۵
HLLC: Part_۳-۵ ..... ۶۵
HLLC: Part_۳-۶ ..... ۶۶
HLLC: Part_۳-۷ ..... ۶۶
HLLC: Part_۴ ..... ۶۶
۱۸. پیوست سه ۶۷
Roe۲D: Part_۱ ..... ۶۸
Roe۲D: Part_۲ ..... ۶۸
Roe۲D: Part_۲-۱ ..... ۶۹
Roe۲D: Part_۲-۲ ..... ۶۹

Market Code

Roe۲D: Part_۲-۳ ..... ۶۹
Roe۲D: Part_۲-۴ ..... ۷۰
Roe۲D: Part_۲-۵ ..... ۷۰
Roe۲D: Part_۲-۶ ..... ۷۱
Roe۲D: Part_۲-۷ ..... ۷۱
Roe۲D: Part_۲-۸ ..... ۷۱
Roe۲D: Part_۲-۹ ..... ۷۲
Roe۲D: Part_۲-۱۰ ..... ۷۲
Roe۲D: Part_۳ ..... ۷۲
Roe۲D: Part_۳-۱ ..... ۷۳
Roe۲D: Part_۳-۲ ..... ۷۴
Roe۲D:Part_۳-۳ ..... ۷۴
Roe۲D: Part_۳-۴ ..... ۷۴
Roe۲D:Part_۳-۵ ..... ۷۴
Roe۲D: Part_۳-۶ ..... ۷۵
Roe۲D: Part_۳-۷ ..... ۷۵
Roe۲D: Part_۳-۸ ..... ۷۶
Roe۲D: Part_۳-۹ ..... ۷۶
Roe۲D: Part_۳-۱۰ ..... ۷۶
Roe۲D: Part_۴ ..... ۷۷

Market Code

۱. چکیده

آنچه در این برنامه ارایه گردیده است حل معادلات اویلر (ناویر-استوکس) دو بعدی تراکم‌پذیر ناپایا می‌باشد. نوع روش عددی در این برنامه، روش حجم محدود است. برای محاسبه مقادیر فلاکس نیز از روش های $AUSM^+$، HLL، HLLC، 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 جریان‌های داخلی مورد استفاده قرار گرفته و شبکه‌ی تولید شده نیز از نوع شبکه‌ی باسازمان می‌باشد. به دلیل عملکرد خوب این روش ها 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 دوبعدی، جریان داخلی، حجم محدود، $AUSM^+$، Roe، HLLC، HLL، روش صریح

Market Code

۲. راهنمای کاربردی

این نرم افزار توسط مهندس جواد طهماسبی و دکتر فرهاد قدک نگارش شده است. نسخه حاضر Version:۱.۰ 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
T۰	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 و Ny 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	واحد
Nx	تعداد سلول‌ها در جهت X	عدد طبیعی
Ny	تعداد سلول‌ها در جهت محور Y	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

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

Market Code

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	واحد
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 و پروفیل سرعت در چندین مقطع سیال خواهد بود که در نمونه اجرا نمایش داده خواهد شد.

نمونه اجرا

در این بخش به منظور تمرین عملی موارد بالا به یک مثال اشاره می‌شود. این نمونه شامل یک نازل مافوق صوت همراه با شوک می‌باشد. مقادیر ورودی به صورت زیر وارد می‌گردد. مرزهای میدان توسط فایل ورودی وارد برنامه می‌گردد و شبکه ۴۰*۶۰ می‌باشد.

Nx=۶۰,Ny=۴۰

! Physical value

Market Code

T۰ = ۲۱۲.۵۷

Gama = ۱.۴

!Miyou = ۰

Miyou = ۱.۷۷۷D-۵

MachEntrance =۱.۰۵

Pentrance = ۵D۴

Pback = ۷D۴

Tstatic =T۰/(۱+(Gama-۱)/۲*MachEntrance**۲) =۱۷۴.۲

RhoEntrance = Pentrance/۲۸۷.۰۵/Tstatic =۱

دقت شود به منظور ایجاد شوک بایستی فشار خروجی از ورود بیشتر باشد.

! Geometry Value

FileName="SuperSonicNozzle۱.plt"

N_inputFile = ۶۶

XDense = ۰.۵۲

DsDense= ۰.۱

DsDown = ۰.۱

DsUp = DsDown

Market Code

نام فایل ورودی هندسه (شکل ۲-۱) اشاره شده در بالا بایستی در دایرکتوری نرم‌افزار با همان نام موجود باشد. XDense (با چندین با اجرا) در محل شوک برابر با ۰.۵۲ و با نرخ فشردگی ۰.۱ تنظیم شده است. نرخ فشردگی شبکه در نزدیکی دیواره بالا و پایین نیز ۰.۱ می‌باشد.

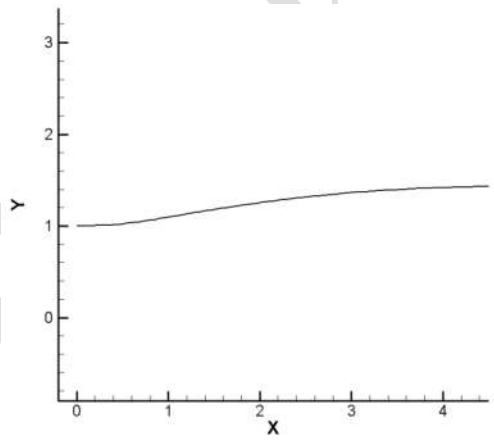
! Convergence Value

Ncycle=۱۰۰۰۰۰۰

CFL = ۰.۵

Eps = -۸

به علت ایجاد شوک و ناپایداری حل مقدار CFL=۰.۵ تنظیم شده است. همچنین شرط همگرایی ۸ مرتبه می‌باشد.



شکل ۲-۱: هندسه ورودی به برنامه

پس از اجرای برنامه مقادیر اشاره شده در بالا در هر ۱۰۰ تکرار به صورت شکل ۲-۲ چاپ می‌شود.

Matlab Code