


به نام خدا



Market Code

آموزش نرم افزار یک بعدی MacCormak

	حسین بهشتی، کارشناسی ارشد حبیب اله خزاعی، کارشناسی ارشد	توسعه دهنده کد:
حسین بهشتی و حبیب اله خزاعی		تهیه کننده مستند:
		تبدیل کننده کد: (از به)
۹۲/۷/۲۲		تاریخ تنظیم:

فهرست مطالب

صفحه	عنوان
۱	فهرست مطالب
۲	فهرست شکل ها
۳	فهرست جدول ها
۴	۱- مقدمه
۵	۲- معرفی متغیرهای نرم افزار
۷	۳- اعمال تنظیمات و ورودی های برنامه
۸	۴- خروجی های نرم افزار
۹	۵- نتایج و اعتبارسنجی
۱۰	۵-۱- حل عددی نازل همگرا-واگرا در حالت بدون شاک
۱۲	۵-۲- حل عددی نازل همگرا-واگرا در حالت با شاک

فهرست شکل‌ها

صفحه	عنوان
۹.....	شکل ۱-۱۱: شماتیک هندسه نازل دوبعدی همگرا-واگرای مورد مطالعه.....
۱۰.....	شکل ۲-۱۱: روند همگرایی تحلیل نازل دوبعدی همگرا-واگرا در حالت بدون شاک.....
۱۱.....	شکل ۳-۱۱: مقایسه نسبت فشار استاتیک به سکون در راستای محور نازل با مقدار تحلیلی در حالت بدون شاک.....
۱۱.....	شکل ۴-۱۱: مقایسه نسبت دمای استاتیک به سکون در راستای محور نازل با مقدار تحلیلی در حالت بدون شاک.....
۱۲.....	شکل ۵-۱۱: مقایسه عدد ماخ در راستای محور نازل با مقدار تحلیلی در حالت بدون شاک.....
۱۳.....	شکل ۶-۱۱: روند همگرایی تحلیل نازل دوبعدی همگرا-واگرا در حالت با شاک.....
۱۴.....	شکل ۷-۱۱: مقایسه نسبت فشار استاتیک به سکون در راستای محور نازل با مقدار تحلیلی در حالت با شاک.....
۱۴.....	شکل ۸-۱۱: مقایسه نسبت دمای استاتیک به سکون در راستای محور نازل با مقدار تحلیلی در حالت با شاک.....
۱۵.....	شکل ۹-۱۱: مقایسه عدد ماخ در راستای محور نازل با مقدار تحلیلی در حالت با شاک.....

فهرست جدول‌ها

صفحه	عنوان
۵	جدول ۱-۲: متغیرهای عددی برنامه به ترتیب حروف الفبا.....
۶	جدول ۲-۲: متغیرهای برداری برنامه (آرایه‌های یک‌بعدی) به ترتیب حروف الفبا.....
۶	جدول ۳-۲: متغیرهای آرایه‌ای دوبعدی برنامه به ترتیب حروف الفبا.....
۷	جدول ۱-۳: متغیرهای ورودی نرم‌افزار به ترتیب حروف الفبا.....

۱- مقدمه

این نرم افزار معادلات اویلر در مختصات یک بعدی و در حالت پایا را برای جریان قابل تراکم به روش عددی مک کورمک^۱ (۱۹۶۹) حل می کند. این روش انتگرال زمانی را در دو مرحله پیش بینی کننده^۲ و تصحیح کننده^۳ انجام می دهد. در این گزارش نحوه استفاده از این نرم افزار شرح داده شده است.

^۱ MacCormak Scheme

^۲ Predictor

^۳ Corrector

۲- معرفی متغیرهای نرم افزار

در جدول ۱-۲، جدول ۲-۲ و جدول ۳-۲ به ترتیب متغیرهای عددی، برداری (آرایه‌های یک‌بعدی) و آرایه‌های دوبعدی که در برنامه مورد استفاده قرار گرفته‌اند؛ به ترتیب حروف الفبا لیست شده است.

جدول ۱-۲: متغیرهای عددی^۱ برنامه به ترتیب حروف الفبا

متغیر	تعریف	واحد
A0	سطح مقطع بحرانی یا گلوگاه نازل ^۲	m ²
Cv	ظرفیت حرارتی ویژه در حجم ثابت ^۳	J/kg.K
Cx	ضریب لزجت مصنوعی ^۴	-
CFL	ضریب گام زمانی	-
Dt	گام زمانی ^۵	s
DX	اندازه شبکه	m
e_t	انرژی داخلی سکون	J/kg
Gamma	نسبت ظرفیت حرارتی	-
H_Hat	مقدار متوسط رو برای انتالپی سکون	J/kg
Iteration	تعداد تکرار حل عددی	-
i_Max	تعداد نقاط شبکه در راستای محور افقی	-
L	طول نازل	m
P_Back	شرط مرزی فشار استاتیک خروجی	Pa
P0In	شرط مرزی فشار سکون ورودی	Pa
PInit	فشار استاتیک اولیه	Pa
R	ثابت گاز	J/kg.K
T0In	شرط مرزی دمای سکون ورودی	K

^۱ Scalar Variables

^۲ Nozzle Throat

^۳ Specific Heat Capacity in Constant Volume

^۴ Artificial Viscosity

^۵ Time Step

متغیر	تعریف	واحد
TInit	دمای استاتیک اولیه	K
uInit	سرعت اولیه	m/s

جدول ۲-۲: متغیرهای برداری^۱ برنامه (آرایه‌های یک‌بعدی) به ترتیب حروف الفبا

متغیر	تعریف	اندازه	واحد
Area	سطح مقطع	iii	m ²
dAdX	تغییرات سطح مقطع در راستای افقی	iii	m
Mach	عدد ماخ	iii	-
P	فشار استاتیک	iii	Pa
PBar	فشار استاتیک در گام زمانی میانی	iii	Pa
Rho	چگالی	iii	kg/m ³
RhoBar	چگالی در گام زمانی میانی	iii	kg/m ³
T	دمای استاتیک	iii	K
TBar	دمای استاتیک در گام زمانی میانی	iii	K
u	سرعت	iii	m/s
uBar	سرعت در گام زمانی میانی	iii	m/s
X	موقعیت در راستای افقی	iii	m

جدول ۳-۲: متغیرهای آرایه‌ای دوبعدی برنامه به ترتیب حروف الفبا

متغیر	تعریف	اندازه	واحد
dQdt	مشتق بردار بقا نسبت به زمان	۳×iii	-
F	بردار شار در جهت افقی	۳×iii	-
FBar	بردار شار در جهت افقی در گام زمانی میانی	۳×iii	-
H	ضریب شکلی	۳×iii	-
HBar	ضریب شکلی در گام زمانی میانی	۳×iii	-
Q	بردار بقا ^۲ نقاط شبکه	۳×iii	-
QBar	بردار بقا در گام زمانی میانی	۳×iii	-

^۱ Vector Variables

^۲ Conservative Vector

۳- اعمال تنظیمات و ورودی‌های برنامه

در جدول ۱-۳ متغیرهای ورودی نرم‌افزار به ترتیب حروف الفبا لیست شده است.

جدول ۱-۳: متغیرهای ورودی نرم‌افزار به ترتیب حروف الفبا

متغیر	تعریف	واحد
CFL	ضریب گام زمانی	-
ConvergenceFN	نام فایل جهت ذخیره روند همگرایی	-
Cx	ضریب لزجت مصنوعی	-
Gamma	نسبت ظرفیت حرارتی	-
Iteration	تعداد تکرار حل عددی	-
i_Max	تعداد نقاط شبکه در راستای محور افقی	-
L	طول نازل	m
P_Back	شرط مرزی فشار استاتیک خروجی	Pa
P0In	شرط مرزی فشار سکون ورودی	Pa
PInit	فشار استاتیک اولیه	Pa
R	ثابت گاز	J/kg.K
ResultFN	نام فایل جهت ذخیره نتایج حل عددی	-
T0In	شرط مرزی دمای سکون ورودی	K
TInit	دمای استاتیک اولیه	K
uInit	سرعت اولیه	m/s

به جز پارامترهای i_Max و Iteration که به دلیل نیاز آن‌ها جهت اختصاص فضا به آرایه‌های دینامیک، در برنامه اصلی مقداردهی شده است؛ باقی پارامترهای قابل تنظیم نرم‌افزار در زیربرنامه‌ای با عنوان SubSettings در فایل Settings.f90 به صورت منظم و دسته‌بندی شده موضوعی، قرار داده شده است. به غیر از موارد ذکر شده در اینجا، جهت استفاده از نرم‌افزار نیاز به تغییر قسمت دیگری در نرم‌افزار نمی‌باشد. هندسه میدان جریان سیال نیز در این زیربرنامه تعریف شده است و روابط مربوط به آن باید در این قسمت نوشته شوند.

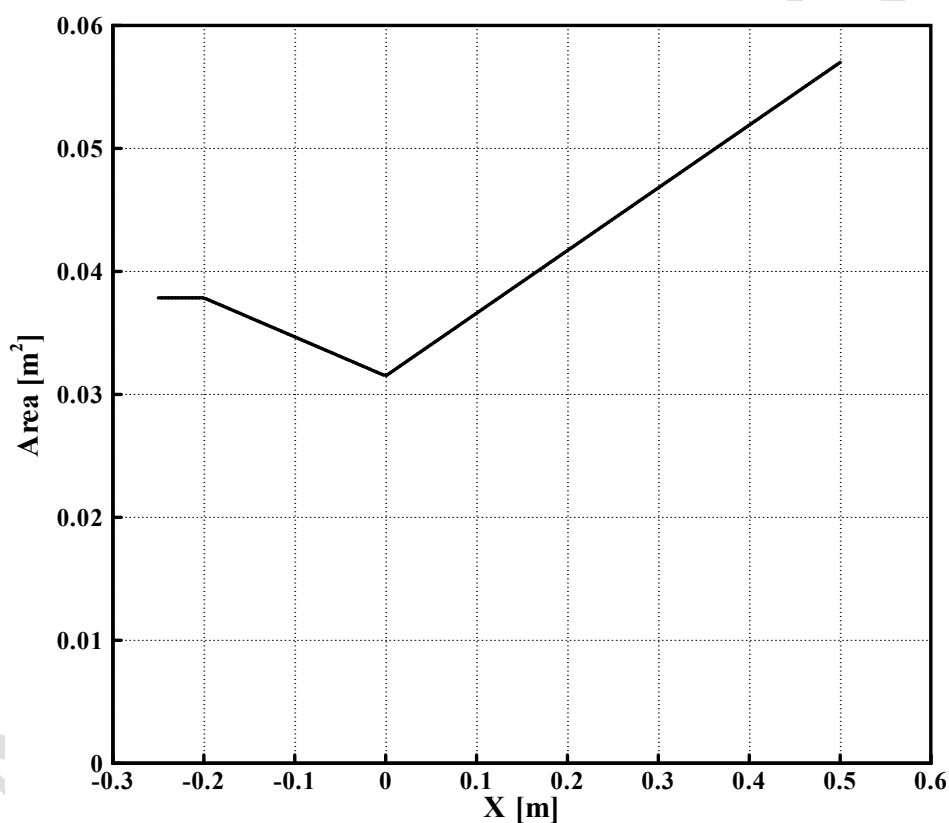
۴- خروجی های نرم افزار

خروجی های نرم افزار دو فایل با نام های تعیین شده در متغیرهای `ConvergenceFN` و `ResultFN` با ساختار نرم افزار تک پلات^۱ می باشد. در فایل دوم روند همگرایی حل عددی ذخیره شده است. در فایل اول نیز نتایج حاصل از حل عددی لحاظ شده است. اطلاعاتی همچون هندسه، عدد ماخ، نسبت فشار استاتیک به سکون، نسبت دمای استاتیک به سکون برای هر دو حل عددی و تحلیلی در فایل نتایج قرار داده شده است. تولید فایل نتایج در زیر برنامه `SubFileGen` در فایل `File.f90` انجام می گیرد. در صورت تغییر هندسه مساله و یا متغیرهایی که کاربر در فایل خروجی به آن نیاز دارد؛ تغییرات لازم باید در این زیر برنامه اعمال گردد.

^۱ TecPlot

۵- نتایج و اعتبارسنجی

جهت حل یک نمونه مساله و اعتبارسنجی نرم افزار یک نازل همگرا-واگرا با هندسه دوبعدی در نظر گرفته شده است. در شکل ۱-۵ شماتیک هندسه نازل مورد مطالعه نشان داده شده است. در امتداد محور آن ۲۰۱ گره با فواصل یکسان تعریف شده است.



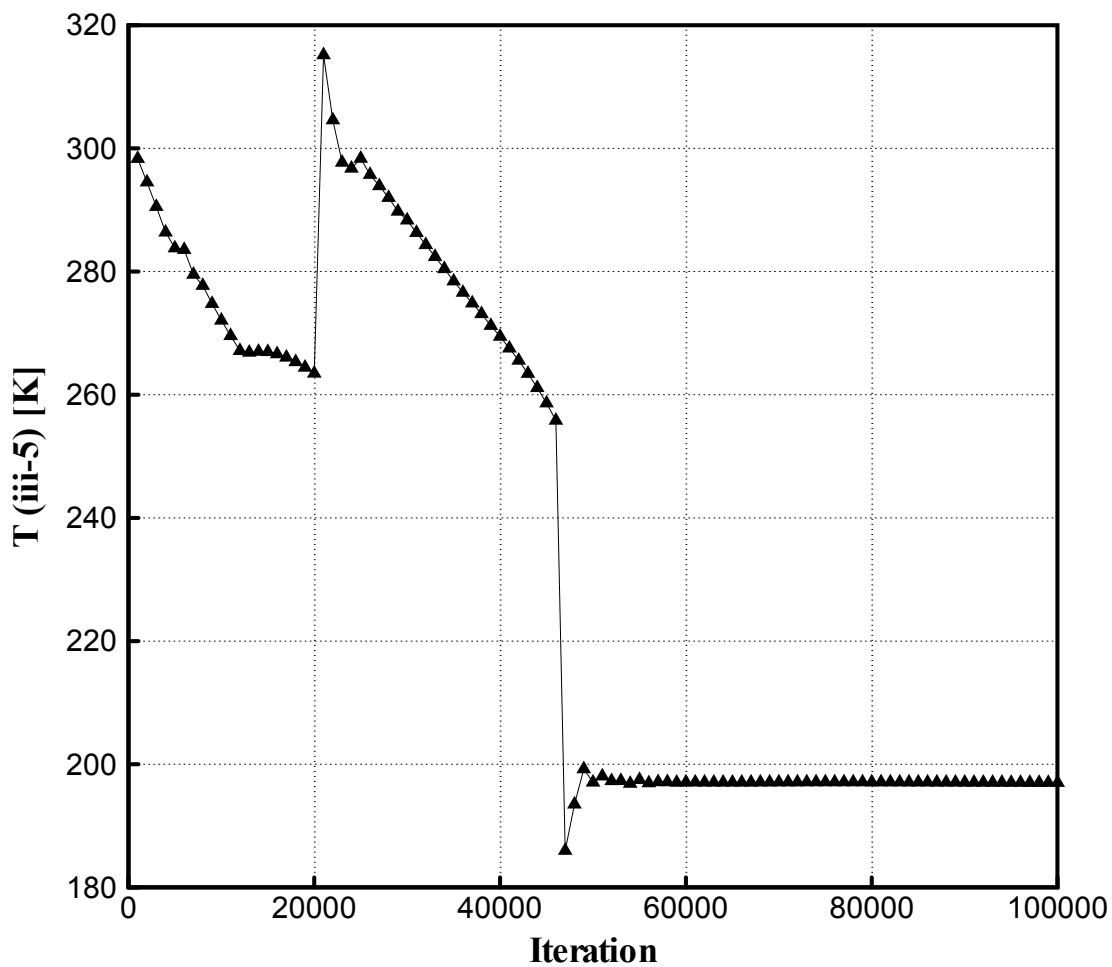
شکل ۱-۵: شماتیک هندسه نازل دوبعدی همگرا-واگرای مورد مطالعه

جهت بررسی و صحت‌سنجی نرم‌افزار، نازل همگرا-واگرا در دو حالت با شاک و بدون شاک قائم در قسمت واگرای نازل تحلیل شده است. در هر دو مساله شرایط ورودی نازل یکسان است. فشار سکون ورودی برابر با 50 kPa و دمای سکون ورودی برابر با 350 K تنظیم شده است.

۵-۱- حل عددی نازل همگرا-واگرا در حالت بدون شاک

به منظور حل عددی نازل همگرا-واگرا در حالت بدون شاک قائم، فشار استاتیک خروجی جهت اعمال در شرط مرزی، مقدار پایین و برابر نصف فشار سکون ورودی نازل، معادل با 25 kPa قرار داده شده است.

در شکل ۲-۵ تغییرات دمای استاتیک نقطه پنجم از انتهای نازل در تکرارهای مختلف حل عددی رسم شده است. همانطور که در این نمودار مشاهده می‌شود؛ حل عددی با سرعت نسبتاً بالایی همگرا شده است.



شکل ۲-۵: روند همگرایی تحلیلی نازل دوبعدی همگرا-واگرا در حالت بدون شاک