

****

**عنوان:**

پیاده سازی کد 3D\_AirFLow\_Turb

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **توسعه دهندگان** | مرتضی نامور |  |
| سامان کاووسی |  |
| علیرضا رضایی |  |
| **تهیه کنندگان مستند** |  | |
| **تاییدکنندگان** | مرتضی نامور | |
| **تاریخ تنظیم سند** | 7/1/1397 | |
| **شناسه سند** | **MC5F001F1** | |
| **زبان برنامه‌نویسی** | **Fortran 90** | |

1. راهنمای کاربری

در این فصل فایل های ورودی و تنظیمات لازم جهت اجرا نمودن برنامه و خروجی های آن آورده می شود. همپچنین نرم افزارهای مورد استفاده برای اجرای برنامه آورده می شود. لازم بذکر است که برنامه حاضر بگونه ای نوشته شده است که کاربر تنظیمات لازم را تنها از طریق فایل های ورودی به برنامه معرفی نماید. اما در مواردی نیز برخی کارها همانند تغییر در ساختار کد باید درون کد انجام شود که در هنگام پیاده سازی این موارد گفته شده است.

* 1. نرم افزارهای مورد نیاز

این برنامه با استفاده از زبان برنامه نویسی فرترن تدوین و از کامپایلر *Intel Parallel Studio XE 2015* در محیط برنامه نویسی *Microsoft visual studio 2012*استفاده شده است. همچنین جهت پس پردازش اطلاعات و مشاهده فایل های خروجی از نرم افزار *Tecplot 360* استفاده گردیده است. بنابراین لازم است تمام این نرم افزارها نصب شده باشد تا امکان اجرای برنامه وجود داشته باشد.

جهت استفاده *بهتر* از مستندات سابروتین ها و کدها باید از نرم افزار *Mocrosoft Word 2007* استفاده شود و برای جلوگیری از بهم ریختگی روابط نرم افزار *Mathtype* باید نصب شده باشد. در اینجا لازم است توصیه اکید گردد که جهت استفاده از مستندات کدها باید *افزونه X* نصب شده باشد. جهت دانلود این افزونه و *نحوه کار با آن* توصیه می شود فیلم آموزشی مربوطه مشاهده شود.

* 1. تنظیمات لازم

توصیه می شود که تمام زیربرنامه ها را از سایت نرم افزار تهیه نمایید و جهت استفاده از کدها از فایل project تهیه شده استفاده کنید چرا که تمام تنظیمات لازم بر روی این project انجام شده است. تنها نکته قابل ذکر در اینجا مربوط به انتخاب بعد آرایه ها می باشد. از آنجا که سعی شده است برنامه به ساده ترین شکل نوشته شود، از بکار بردن دستورات مربوط به اختصاص حافظه[[1]](#footnote-1) بر طبق اطلاعات شبکه صرفنظر شده است. بنابراین در ابتدای برنامه یک پارامتر بنام Dim تعریف شده که مقدار حداکثر بعد آرایه های استفاده شده را تعیین می کند. بهتر است این مقدار برابر تعداد اضلاع یا فیس های شبکه باشد و حداکثر مقدار آن باید در حدی انتخاب شود که Stack برنامه اجازه می دهد.

* 1. فایل‌های ورودی

در این برنامه سعی شده است تمام ورودی های لازم از طریق فایل های ورودی به برنامه معرفی شود. دو فایل ورودی که حاوی مشخصات جریان آزاد و شبکه محاسباتی است، باید برای اجرای برنامه تهیه شده و در پوشه حاوی برنامه اصلی قرار داده شود. فایل حاوی شبکه محاسباتی بنام Mesh.gid می باشد که ساختار آن در مستندات زیربرنامه مربوط به خواندن شبکه بطور کامل گفته شده است. جهت تهیه فایل شبکه می توانید با استفاده از *نرم افزار ReadMshFile* فایل خروجی نرم افزارهای تولید شبکه را به فرمت مورد نیاز این برنامه تبدیل کنید. لازم است توجه شود که شرایط مرزی باید در فایل شبکه، توسط کاربر اعمال شود.

جهت اجرای برنامه لازم است تنظیماتی مطابق با نظر کاربر از طریق فایل ورودی به برنامه معرفی گردد. این تنظیمات (بترتیب) باید در یک فایل به نام Setting.txt تهیه شود. جزئیات کامل این فایل در مستندات زیربرنامه Read\_Setting آورده شده است.

بطور پیش فرض مقدار دهی اولیه بر اساس شرایط جریان آزاد انجام می شود. اما ممکن است کاربر بخواهد مقدار دهی اولیه را بر اساس نتایج قبلی انجام دهد. اینکار باعث می شود کاربر بتواند در هر زمانی اجرای برنامه را متوقف نموده و به انجام برخی اصلاحات بپردازد و سپس اجرای برنامه را مجددا پیگیری نماید. بنابراین در صورتیکه مقدار پارامتر مربوط به اینکار در فایل Setting.txt برابر صفر باشد مقدار دهی در خود برنامه و بر اساس جریان آزاد انجام می گیرد و در غیر اینصورت بر اساس نتایج موجود که در فایل ConservativeVariables.txt وجود دارد، انجام خواهد شد. توجه شود که در صورتیکه برای اولین بار یک مسئله حل می شود باید مقدار پارامتر اشاره شده برابر صفر باشد و در غیر اینصورت برنامه اجرا نخواهد شد.

* 1. فایل‌های خروجی

پس از اجرای برنامه فایل های خروجی Contours.Plt و CP.Plt که بترتیب شامل مقادیر بی بعد جریان در هر کدام از نقاط شبکه و مقدار ضریب فشار در نقاط روی مرز دیوار می باشد، چاپ خواهد شد. در این برنامه به ازای هر 100 گام زمانی یکبار این فایل ها چاپ خواهد شد که این مقدار می تواند بطور دلخواه توسط کاربر از طریق فایل setting.txt به برنامه معرفی شود. جهت مشاهده نمونه این فایل ها به بخش نتایج مراجعه شود. همچنین مقدار باقیمانده های معادله جرم در یک فایل بنام ResMass.Plt چاپ خواهد شد.

همانگونه که قبلا نیز اشاره شد، نتایج مربوط به حل یعنی مقادیر بقایی در فایل ConservativeVariables.txt چاپ خواهد شد تا در ادامه بتوان مقداردهی اولیه را از طریق این فایل انجام داد. برای اطلاعات بیشتر در مورد فایل های خروجی به مستندات زیربرنامه های مربوطه مراجعه نمایید.

* 1. زیربرنامه‌های مورد استفاده

برنامه حاضر بگونه ای تدوین شده است که تمام قسمت های آن بصورت زیربرنامه بوده تا فهم آن راحتتر باشد و بتوان در برنامه های مختلف از این زیربرنامه ها استفاده کرد. برای مثال براحتی می توان بجای روش AUSM از هر نوع دیگری از روش های گسسته سازی بخش جابجایی استفاده نمود.

1. پیاده سازی

در برنامه اصلی پس از تعریف پارامترها و آرایه­های لازم، موارد زیر بترتیب اجرا خواهد شد. لازم بذکر است که شماره گذاری زیر بر اساس شماره گذاری موجود در فایل فرترن برنامه می باشد.

1. معین کردن حدود بالا و پایین اندازه آرایه های عمومی

در این بخش حدود بالا و پایین آرایه های عمومی که در ادامه به آن ها نیاز داریم ازجمله x و y و Nx و Ny و.... معین می شود. لازم به ذکر است آرایه ها و متغیرهای این قسمت مستقل از نوع حل حالت آرام یا آشفته مورد نیاز هستند.

1. معین کردن حدود بالا و پایین اندازه آرایه های مختصِ جریان آرام یا آشفته

در این بخش آرایه هایی که صرفا در حل جریان آرام یا آشفته به آن ها نیازمند هستیم حدود بالا و پایینشان معین می شود. لازم به ذکر است برخی پارامترها مانند Mut و DW و INW تنها در حالت حل جریان آشفته به آن ها نیاز داریم،بنابراین در حالتی که حل جریان آرام مد نظر است نیازی به تخصیص فضای حافظه برای آن ها نیست.

1. معین کردن حدود بالا و پایین اندازه آرایه های مختص حل جریان ناپایا

در این بخش به آرایه هایی که در حل ناپایا به آن ها نیاز داریم حافظه مناسب اختصاص داده می شود.بدیهی است که در حل های پایا می بایست از اختصاص دادن فضای حافظه به آرایه هایی این بخش اجتناب کنیم.

1. خواندن فایل شبکه

در این بخش شبکه محاسباتی خوانده شده و اطلاعات لازم ذخیره می­شود. لازم است توجه شود که شرایط مرزی در این فایل (فایل مربوط به شبکه) باید اعمال گردد .

1. بازخوانی فایل مش ورودی

در این قسمت اطلاعات مش ورودی(**Mesh.Gid**) بازخوانی می شود و در یک فایل که در نرم افزار تیک پلات قابل مشاهده باشد مجددا ذخیره می شود

1. خواندن پارامترهای لازم برای حل معادلات

با توجه به الگوریتم حل اشاره شده، در این بخش اطلاعات لازم برای حل معادلات از کاربر گرفته و ذخیره می­شود.

1. شماره گذاری مجدد اضلاع برای اعمال شرایط مرزی

در این بخش اضلاع غیر مرزی به ابتدای آرایه مربوط به ذخیره اطلاعات اضلاع تشکیل دهنده شبکه منتقل شده و همچنین سایر نواحی شبکه متناسب با شرایط مرزی مربوطه شماره گذاری مجدد می گردد.

1. تشخیص تعداد و شماره اضلاع تشکیل دهنده هر سلول

در اینجا تعداد و شماره اضلاع تشکیل دهنده هر سلول پیدا می شود تا در مراحل بعدی از این اطلاعات استفاده گردد.

1. پیدا کردن شماره نقاط تشکیل دهنده هر سلول

پس از تشخیص تعداد و شماره اضلاع تشکیل دهنده یک سلول نقاط تشکیل دهنده هر سلول پیدا می شود و در هنگام چاپ اطلاعات در فایل های Tecplot از آنها استفاده گردد.

1. محاسبه مساحت سلول ها و مختصات مرکز آنها

در این بخش مساحت و بردارهای عمود بر هر وجه محاسبه شده و در آرایه مربوط به هر وجه ذخیره می­گردد. همچنین حجم و مختصات مرکز سلول­ها محاسبه شده و در آرایه مربوط به هر سلول ذخیره می­گردد.

1. محاسبه فاصله از دیواره

در این بخش کمترین فاصله سلول های محاور به دیواره از این مرز محاسبه می شود. این مقدار در پیاده سازی مدل های توربولانسی مورد استفاده قرار می گیرد.

1. مقداردهی اولیه

در اینجا با فراخوانی زیربرنامه InitMeanFlow3D برخی از آرایه ها و پارامترها که در ادامه مورد استفاه قرار خواهند گرفت، از جمله مقادیر بقایی مقداردهی می شود. باید بخاطر داشت در صورتیکه مقدار پارمتر Inint، که یکی از ورودی های این زیربرنامه می باشد، برابر 1 باشد، مقادیر بقایی با استفاده از فایل ConservativeVariables.txt که در تکرارهای قبل ذخیره شده است، مقداردهی می شود.

1. محاسبه فشار

مقدار فشار توسط رابطه زیر برای هر کدام از سلول ها محاسبه می گردد.



1. محاسبه دما

مقدار دما با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد.



1. تعیین مقدار لزجت مولکولی

مقدار لزجت مولکولی هر کدام از سلول های محاسباتی با استفاده از رابطه زیر محاسبه و در آرایه مربوطه ذخیره می گردد. همانگونه که قبلا اشاره شد، لزجت مولکولی با استفاده از رابطه شبه تجربی ساترلند محاسبه می شود. از آنجا که باید از مقادیر بی بعد شده استفاده گردد بنابرای این رابطه پس از بی بعد سازی بصورت زیر در می آید:



دمای استاتیک نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است:



1. تعیین شرایط مرزی

با فراخوانی زیربرنامه های مربوط به اعمال شرایط مرزی، مقادیر بقایی و همچنین فشار در میانه اضلاع مرزی تعیین و در آرایه مربوطه ذخیره می گردد. این کار قبل از شروع حلقه تکرار مربوط به گام زمانی انجام می گیرد تا مقادیر مربوط به شرایط مرزی مقداردهی اولیه شوند و همچنین از این مقادیر برای محاسبه گام زمانی در بخش های بعدی استفاده گردد.

1. مقداردهی اولیه به برخی متغیرها

در اینجا از مقدار باقیمانده معادله جرم برای اطمینان از همگرایی استفاده شده است. بنابراین پروسه حل تا زمانی ادامه می یابد که مقدار باقیمانده معادله جرم از یک مقدار تعیین شده توسط کاربر بزرگتر باشد. بعلاوه یک شمارنده وجود دارد که تعداد گام های زمانی را شمارش می کند که در اینجا لازم است این مقدار برابر صفر قرار داده شود. همچنین ترم های Naverageو Time که در حل های ناپایا مورد استفاده قرار میگیرند نیز مقدار دهی اولیه می شوند.

1. مقدار دهی اولیه به متغیرهای توربولانسی

در این زیربرنامه با توجه به نوع مدل آشفتگی انتخاب شده توسط کاربر پارامترهای مربوط به متغیرهای آشفتگی مقداردهی اولیه می شوند . بعلاوه ترم های TurbQ و Mut که به ترتیب متغیرهایی مدل توربولانسی و لزجت گردابه ای هستند در حل های آرام در این قسمت غیر فعال شده و مقادیرشان برابر صفر تعریف می شوند

1. شروع حلقه حل معادلات تا ارضا شدن شرط همگرایی

در یک حلقه تکرار تا ارضا شدن شرط همگرایی، حل معادلات انجام می شود. در اینجا از مقدار باقیمانده معادله جرم برای اطمینان از همگرایی استفاده شده است. بنابراین پروسه حل تا زمانی ادامه می یابد که مقدار باقیمانده معادله جرم از یک مقدار تعیین شده توسط کاربر بزرگتر باشد. توجه شود که در اینجا حل حالت پایدار مورد نظر می باشد.

1. بروز رسانی تعداد حلقه های طی شده

با شروع اجرای حلقه تکرار یک واحد به پارامتر نشان دهنده یِ تعداد حلقه های طی شده جهت پروسه حل معادلات اضافه می گردد.

1. مقداردهی به آرایه های مربوط به زمان قبل

در اینجا ابتدا مقادیر بقایی در مقادیر گام زمانی قبل جایگذاری می شود. اینکار برای تعیین مقدار باقیمانده ها انجام می شود.

1. تعیین گام زمانی

در این بخش گام زمانی محلی هر کدام از سلول های شبکه محاسبه می گردد.

1. تعیین کوچکترین گام زمانی

در حل های ناپایا با فعال کردن این بخش می توان کوچکترین گام زمانی را در هر مرحله به زمان کلی طی شده جهت پروسه حل اضافه نمود. در صورت غیر فعال بودن این قسمت کد از گام زمانی محلی محاسبه شده در بخش قبلی بعنوان گام زمانی در ادامه پروسه حل معادلات استفاده می کند.

1. حل معادلات در حلقه مربوط به روش رانگ-کوتا

در یک حلقه به تعداد مراحل رانگ-کوتا معادلات حل خواهند شد.

1. محاسبه ضرائب روش رانگ-کوتا

ضریب هر کدام از مراحل رانگ-کوتا محاسبه می شود و در یک پارامتر محلی ذخیره می گردد.

1. محاسبه مقادیر جابجایی با دقت های مرتبه بالا

جهت بازسازی مقادیر بر روی وجوه و همچنین اعمال محدود کننده به مشتقات برخی پارامتر های جریان نیاز می باشد که این مشتقات با استفاده از قضیه گرین-گوس در مرکز سلول های شبکه محاسبه می شوند. بعلاوه محدود کننده ها بگونه ای اعمال می شوند که ترم‌های بازسازی به نحوی کاهش یابند تا مقادیر خاصیت بر روی وجوه در محدوده ماکزیمم و مینمم مطلقی که مقادیر سلول‌ها مجاور می‌سازند، محدود شوند. در اینجا زیربرنامه Limiter3D مقدار محدود کننده را برای پارامترهای چگالی، سرعت و فشار را محاسبه می کند. در انتها مقادیر جابجایی با دقت بالا توسط روش AUSM محاسبه می شود

1. محاسبه بخش جابجایی

اگر حل با دقت های بالا مد نظر نباشد می توان در این قسمت توسط یکی از روش های AUSM یا اسکالر مقادیر بقایی را محاسبه کرد. بدیهی است که در این حالت نیازی به محدود کننده ها که نوسانات ایجاد شده به واسطه حل های بادقت بالا را کنترل می کنند جهت محاسبه مقادیر بقایی نیست.

1. محاسبه مشتقات در اضلاع

در این بخش مقدار مشتقات مرتبه اول سرعت و دما در اضلاع شبکه جهت محاسبه بخش پخش شوندگی، محاسبه می گردد.

1. محاسبه بخش پخش شوندگی

در این بخش ترم های پخش شوندگی بصورت مرکزی گسسته سازی شده و طی الگریتم رائه شده در این زیربرنامه محاسبه می شوند.

1. محاسبه مقادیر بقایی تمام سلول های شبکه

در یک حلقه تکرار بر روی تمام سلول های شبکه مقادیر بقایی تمام سلول های شبکه محاسبه می گردد.

1. محاسبه فشار

مقدار فشار توسط رابطه زیر برای هر کدام از سلول ها محاسبه می گردد.



1. محاسبه دما

مقدار دما با استفاده از رابطه زیر محاسبه می گردد.



1. تعیین مقدار لزجت مولکولی

مقدار لزجت مولکولی هر کدام از سلول های محاسباتی با استفاده از رابطه زیر محاسبه و در آرایه مربوطه ذخیره می گردد. همانگونه که قبلا اشاره شد، لزجت مولکولی با استفاده از رابطه شبه تجربی ساترلند محاسبه می شود. از آنجا که باید از مقادیر بی بعد شده استفاده گردد بنابرای این رابطه پس از بی بعد سازی بصورت زیر در می آید:



دمای استاتیک نیز از رابطه زیر قابل محاسبه است:



1. تعیین شرایط مرزی

با فراخوانی زیربرنامه های مربوط به اعمال شرط مرزی مقادیر بقایی و همچنین فشار در میانه اضلاع مرزی تعیین و در آرایه مربوطه ذخیره می گردد. در واقع در این قسمت مقادیر مربط به سلول های مرزی به روز رسانی می شوند

1. محاسبه لزجت توربولانسی

در این بخش لزجت گردابه­ای محاسبه می­گردد.همچنین مقادیر بقایی توربولانسی در آرایه جدیدی ذخیره می شود. لازم به ذکر است کد این توانمندی را دارد که برای محاسبه لزجت گردابه ای و بخش نوسانی سرعت از مدل های زیر نیز استفاده کند .

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **SA\_Main3D** | **LES\_DSmag\_Main** | **Prandtl\_Escudier3D** | **KeLB\_Main** |
| **KWSST\_Transition\_Main3D** | **LES\_WALE\_Main** | **KwWilcox\_Main3D** |

1. محاسبه باقیمانده های معادله جرم

با فراخوانی زیربرنامه ResMass مقدار باقیمانده معادله جرم محاسبه می گردد.

1. چاپ نتایج

در تکرار های خاصی نتایج حل جریان در فایل های مربوطه چاپ خواهد شد که این مقدار توسط کاربر تعیین و توسط فایل ورودی به برنامه معرفی می شود. فایل های خروجی این قسمت شامل ضرایب فشار و درگ اصطکاکی هندسه وارد شده و کانتورهای مرتبط با حل جریان می باشد. بعلاوه اگر هندسه ورودی صفحه تخت باشد حل تحلیلی نیز در فایل جداگانه ای آورده شده که جهت صحت سنجی با حل عددی کدتدوین شده می توان از آن استفاده کرد. همچنین فایل ConservativeVariables نیز در خروجی قابل دسترس است، این فایل در صورتی که مقدارInit که از ورودی های مساله می باشد برابر یک باشد مورد استفاده قرار می گیرد.

1. Allocation [↑](#footnote-ref-1)