



**زیربرنامه:**

ConMeanFlow\_AUSM3D\_ALE

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **توسعه دهندگان** | علیرضا رضایی |  |
| مجید ولدخانی |  |
| **تهیه کنندگان مستند** | علیرضا رضایی و مجید ولدخانی | |
| **تاییدکنندگان** |  | |
| **تاریخ تنظیم سند** | 29/03/1396 | |
| **شناسه سند** |  | |
| **زبان برنامه‌نویسی** | **Fortran 90/95** | |

1. وظایف

به دلیل حضور ترم سرعت شبکه در معادلات حاکم در روش ALE ، نیاز به آن است تا محاسبه بخش Convection دچار بازنگری گردد. در روش AUSM ALE [1] محاسبه ترم Convection بر اساس تغییراتی که در روش ALE به وجود آمده محاسبه می‌گردد.

1. توضیحات و تئوری

در ابتدا باید ذکر گردد که فرض می‌شود که در اینجا تنها معادلات جریان تراکم پذیر غیر ویسکوز بررسی می‌گردند. ولی از آنجا که چارچوب ALE تغییری در ترم‌های دیفیوژن پدید نمی‌آورد بنابراین می‌توان عنوان کرد که زیر برنامه محاسبه‌ی ترم Convection در معادلات ویسکوز نیز عینا همین است و فرقی ندارد.

معادلات حاکم بر جریان غیرویسکوز تراکم پذیر (معادلات اویلر) در شکل حجم محدود عبارتند از:

(توجه: در روابط حروفی که بصورت Bold نمایش داده می شوند برداری می­باشند.)

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

که:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

و

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

یا به صورت جایگزین می‌توان نوشت:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

در رابطه ‏(1) بردار متغییر‌های Conservative است و F بردار شار غیر ویسکوز می‌باشد. در معادله ‏(3) اولین بخش در بردار شار عبارت است از شار جابجا شده از سطح کنترل وابسته به زمان  که بردار نرمال آن به سمت بیرون با  نشان داده می‌شود. بخش دوم عبارت است از بردار بخش چشمه که برای جریان غیر لزج شامل فشار وارده بر سطح و کار انجام شده بر روی حجم کنترل  می‌باشد. بردار سرعت سیال، بردار سرعت شبکه (سرعت وجوه سطح کنترل) ، چگالی و فشار به ترتیب با ، ،  و  نشان داده شده اند. معادله جایگزین ‏(4) با معرفی مفهوم آنتالپی نهایی  به خواهد آمد:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

باید توجه داشت که در معادله ‏(1) در صورتی که باشد بیانگر دیدگاه لاگرانژی و در صورتی که باشد بیان کننده دیدگاه اویلری می‌باشد. بدلیل کلی بودن این معادله، معادله لاگرانژی-اویلری اختیاری معالات بقا نامیده می­شود.

در این زیر برنامه روش AUSM مورد توجه قرار می‌گیرد. در این روش شار F به دو بخش مجزا تقسیم می‌گردد که هر بخش می‌تواند به صورت upwind در نظر گرفته شده و حل شود. در این ایده شار به دو بخش شار جابجایی  و شار فشاری  تقسیم می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

حال با توجه به تعریف معادله ‏(4) که بر اساس دیدگاه ALE است، وجود دارد:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

که نحوه محاسبه جزء چهارم عبارت است از:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

حال ادامه کار مطابق با روش AUSM معمولی است و تفاوتی ندارد. نحوه محاسبه‌ی بخش convection عبارت است از:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

که:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

و

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

که M برابر است با:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

که عبارت است از عدد ماخ در نقطه مورد محاسبه که بر اساس رابطه ‏(13) محاسبه می‌شود:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

نحوه انتخاب L یا R که اشاره به سلول‌های سمت چپ و راست وجه مورد نظر دارند، به این ترتیب است:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

برای محاسبه بخش فشاری نیز وجود دارد:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

که وجود دارد:

|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

دقت شود که بین p و P تفاوت قائل شود. p فشار سیال و P ترم فشاری است که در روش AUSM جایگزین می‌گردد.

1. بخش‌های زیربرنامه

در این قسمت تمام بخش­های زیربرنامه مطابق با شماره گذاری موجود در برنامه کامپیوتری ارائه شده است.

1. مقدار دهی اولیه صفر به آرایه مربوط به ذخیره بخش جابجایی

از آنجا که محاسبات مربوط به بخش جابجایی هر سلول بر روی وجوه آن انجام می­شود و این مقادیر به آرایه مربوط به هر سلول اضافه می­گردد بنابراین با یک پروسه اضافه کردن مقادیر به مقادیر قبلی مواجه هستیم. به این دلیل باید آرایه مربوط به اینکار در ابتدای زیربرنامه برابر صفر قرار داده شود.

1. محاسبه شار عبوری در وجوه مرزی

در این حلقه از آن‌جا که نحوه ساختار داده‌ها Edge Based می‌باشد، مقادیر شار عبوری از وجوه مرزی به آرایه‌های Convection اضافه می‌گردد. باید یاد آور شد که از آن‌جا که سرعت در وجوه مرزی از قبل تعیین شده و در آرایه‌های WB ریخته شده است نیازی به اعمال روش AUSM ALE در این وجوه نیست. زیرا در واقع آن‌چه که در این روش سعی می‌شود به دست آورده شود یک مقدار تقریبی برای شار عبوری بر روی وجوه است که در صورت دانستن سرعت بر روی صفحات این مقدار به راحتی قابل محاسبه است:

1. مشخص نمودن شماره سلول

این که شار عبوری از وجه فراخوانده شده باید به کدام سلول اضافه شود در این بخش صورت می‌گیرد.

1. مشخص نمودن سرعت در وجوه و ذخیره محلی بردار نرمال

سرعت ، و با استفاده از مقدایر Conservative در مرزها مشخص می‌گردد.

همچنین مولفه­های بردار نرمال بر وجه در آرایه­های محلی ذخیره می­شود.

1. محاسبه‌ی سرعت وجوه

در این بخش به شار سیال عبوری از مرز اشاره دارد و p نیز فشار بر روی وجوه را نشان می‌دهد.

1. محاسبه‌ی شار عبوری از وجوه

بر اساس معادله (4) شار عبوری هر خاصیت در این بخش محاسبه می‌گردد. باید توجه داشت که :

1. اضافه کردن ترم شار عبوری به آرایه Convection

بعد از فراخوانی وجوه مرزی و محاسبه‌ شار عبوری هر خاصیت Conservative ، مقدار محاسبه شده به آرایه‌ی مربوط به سلول آن وجه ریخته می‌شود.

1. حلقه شمارنده وجوه غیر مرزی

در این حلقه وجوه غیر مرزی فراخوانی می‌گردند و از آن‌جا که سرعت بر روی این وجوه مشخص نیست، بنابراین نیاز است که روش AUSM ALE در این قسمت اعمال گردد.

1. مشخص کردن سلول‌های همسایه

با فراخوانی هر وجه و استفاده از آرایه‌ی IDS، شماره سلول‌های سمت چپ و راست آن وجه مشخص می‌گردند.

1. مشخصات هندسی وجه مورد بررسی

مساحت وجه مورد بررسی در متغیر محلی DAA ذخیره می­شود و NXX ، NYYو NZZ نیز به ترتیب نشان دهنده مولفه­های بردار نرمال یکه وجه در جهات X، Y و Z هستند.

1. محاسبه‌ی سرعت صوت

با استفاده از معادله ‏(13) سرعت صوت در سلول‌های مجاور وجه محاسبه می‌گردد. و با استفاده از سرعت صوت و بر اساس معادله ‏(12)، مقدار M در سلول‌های مجاور محاسبه می‌شوند. باید توجه داشت که:

1. محاسبه مقادیر  ، 

با استفاده از روابط ‏(11) و ‏(16) این مقادیر محاسبه می‌گردند.

1. محاسبه مقادیر ، 

با استفاده از روابط ‏(11) و ‏(16) این مقادیر محاسبه می‌گردند.

1. محاسبه  و 

با استفاده از روابط ‏(10) و ‏(15) این مقادیر محاسبه می‌گردند.

1. محاسبه خاصیت‌های Conservative

با استفاده از معادله ‏(14) مقادیر محاسبه می‌گردند.

1. محاسبه بخش‌های جابجایی و فشاری به روش AUSM

بعد از محاسبه بخش‌هایConvection و فشاری که در روش AUSM حاصل می‌گردند، این مقادیر بر اساس معادله ‏(7) محاسبه می‌گردند.

1. افزودن شار محاسبه شده به سلول سمت چپ

شار محاسبه شده به سلول سمت چپ افزوده می‌شود.

1. افزودن شار محاسبه شده به سلول سمت راست

شار محاسبه شده به سلول سمت راست افزوده می‌شود. توجه شود از آن‌جا که بردار نرمال برداری تعریف می‌شود که باید به سمت بیرون حجم کنترل اشاره کند، بنابراین در اینجا مقدار محاسبه شده به صورت منفی افزوده می‌شود. زیرا بردار نرمال برای سلول سمت راست وجه مورد نظر به سمت داخل آن سلول اشاره می‌کند.

.

1. مراجع

[1] R. W. Smith, “AUSM (ALE): a geometrically conservative arbitrary Lagrangian–Eulerian flux splitting scheme,” *Journal of Computational Physics*, vol. 150, no. 1, pp. 268–286, 1999.