



**زیربرنامه:**

ConMeanFlow\_ScalarDiss\_ALE

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **توسعه دهندگان** | مرتضی نامور |  |
| مجید ولدخانی |  |
| **تهیه کنندگان مستند** | مرتضی نامور و مجید ولدخانی | |
| **تاییدکنندگان** |  | |
| **تاریخ تنظیم سند** | 22/02/96 | |
| **شناسه سند** | **MC2F009F1** | |
| **زبان برنامه‌نویسی** | **Fortran 90** | |

1. وظایف

در این زیربرنامه مقدار بخش جابجایی معادلات حاکم از دیدگاه ALE محاسبه می­گردد. گسسته سازی بخش جابجایی بصورت تفاضل مرکزی انجام گرفته است و استهلاک مصنوعی اسکالر جیمسون برای پایداری حل به آن اضافه می­شود.

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.

اگر مرزهای حجم کنترل یعنی *s* را در یک شبکه محاسباتی بصورت گسسته شده ‏شکل (1) در نظر بگیریم، بخش جابجایی بصورت زير محاسبه می­شود:

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

\*

*j=1*

*i*

*j=2*

*j=Nedge*

1. مرزهای گسسته شده یک سلول

در معادلات فوق بالا نویس به معنی بخش­های غیر لزج از معادله کلی ناویر استوکس می باشد یعنی و بردارهای شار غیر لزج می­باشند. در رابطه ‏(1) *j* شمارنده اضلاع حجم کنترل مي‌باشد. ذکر این نکته بسیار حائز اهمیت است که فرض می­شود مقدار *W* در یک حجم کنترل برابر مقدار آن در مرکز حجم کنترل است. همچنین بردارهای*F* و*G* را در دیدگاه ALE می­توان بصورت زیر بازنویسی نمود:

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

که در معادلات فوق متغیرهای و بصورت زیر تعریف می­شوند.

در ادامه بردار سرعت در جهت و بردار سرعت در جهت می­باشد. همچنین و مولفه­های بردار سرعت شبکه (سرعت وجوه سطح کنترل) بترتیب در راستای و می­باشند.

با مقایسه مقادیر *W* با مقادیر *F* و *G* می توان گفت که مقادیر بقایی *W* که در روابط مربوط به *F* و *G* وجود دارند برابر مقدار آنها در مرکز سلول در نظر گرفته شود.

همانطور كه مشاهده مي‌شود براي محاسبة شارها بايد مقادير متغيرهاي جريان بر روي وجوه حجم كنترل محاسبه شود. از طرفي هنگام استفاده از حجم كنترل‌هاي سلول محور، مقدار متغيرهاي جريان در نقاط وسط حجم كنترل ذخيره مي­شوند. بنابراين يكي از مسائل مهم در روش‌هاي حجم محدود نحوة مدل كردن متغيرهاي جريان بر روي وجوه حجم كنترل با استفاده از مقادير موجود در نقاط كنترلي آنها مي­باشد.

با توجه به مطالب گفته شده، لازم است برخی از خواص جریان در وجوه حجم کنترل محاسبه گردد. اگر در معادلات بخش­هاي پخشي[[1]](#footnote-1) وجود داشته باشد (مثل بخش لزج در معادلات ناوير-استوكس) با توجه به ماهيت اين بخش ها مي­توان آنها را بصورت مركزي مدل نمود. اما در مورد بخش جابجايي با توجه به ماهیت این بخش از معادلات، نياز به دقت بيشتر و استفاده از الگوريتم‌هاي پيچيده‌تري مي‌باشد. براي محاسبة خواص روي وجوه دو سلول همسایه بر حسب خواص ذخيره شده در نقاط كنترلي حجم كنترل، دو روش مرسوم مي‌باشد. يك دسته از روش­ها مبتني بر استفاده از اختلاف مركزي بوده و دستة ديگر مبتني بر استفاده از خواص بالادست جريان مي‌باشند.

در روش‌هاي مبتني بر بالادست جريان، با توجه به ماهیت بخش جابجایی از يك گسسته سازي وابسته به جهت جريان استفاده مي‌شود. نکته مشترك اين روش­ها در ارتباط دادن انتشار خواص فيزيكي بر روي خطوط مشخصه و تفاضل معادلات مي‌باشد. اين‌ دیدگاه بدليل داشتن ترم استهلاك ذاتي، از ايجاد نوسانات ناخواسته در ميدان جلوگيري نموده و مانع از رشد آنها مي­شود.

در روش گسسته سازي مركزي كه در اينجا از آن استفاده شده است متغير‌هاي بقايي بر روي وجوه حجم كنترل بصورت زير از ميانگين متغير‌هاي بقايي نقاط كنترلي سلول­هاي مجاور تخمين زده مي­شود:

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

كه در آن *ME* و *NE* نشان‌دهنده سلول اصلی و همسایه یک ضلع تشکیل دهنده شبکه محاسباتی مي‌باشد. اعمال اين روش بر روي يك شبكة منظم، منجر به يك الگوريتم مركزي با دقت مرتبة دوم مي‌شود. با توجه به اينكه اين روش از خانوادة روش­هاي گسسته سازي مركزي مي‌باشد، استفاده از ترم­هاي استهلاك مصنوعي[[2]](#footnote-2) جهت از بين بردن اغتشاشات ايجاد شده در ميدان در هنگام حل معادلات، ضروري مي­باشد.

در اینجا جهت پرهیز از استفاده از دستورهای شرطی و در نتیجه صرفه جویی در زمان محاسبات، با توجه به نوع اضلاع، محاسبات در حلقه­های جداگانه­ای انجام می­شود. برای این منظور اضلاعی که بر روی مرز دیوار، دوردست و غیرمرزی می­باشند در حلقه­های جداگانه­ای محاسبه مقدار بخش جابجایی برای آنها انجام می شود.

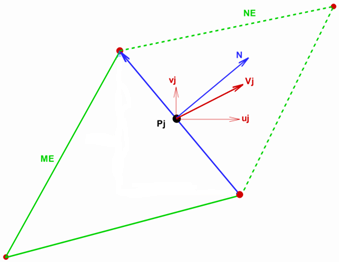
معادله ‏(1) را با استفاده از رابطه ‏(2) می­توان بصورت زیر بازنویسی کرد:

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

در روابط بالا زیرنویس نمایانگر مقدار یک پارامتر در وسط ضلع می­باشد. در اینجا تمام مقادیر بصورت مرکزی محاسبه می­گردد. همانگونه که قبلا نیز اشاره شد زیرنویس نشانگر مقدار آن کمیت در میانه ضلع می­باشد که در اینجا با متوسط گیری از مقادیر دو سلول مجاور هر ضلع محاسبه می­گردد. با توجه به ‏شکل (2) ‏شکل (2)مقدار بخش جابجایی در واقع برابر ضرب داخلی بردار *N* و *Vj* در مقدار اسکالر مقادیر بقایی و فشار در مرکز ضلع می­باشد. بنابراین با توجه به گسسته سازی مرکزی بخش جابجایی، مقادیر روی ضلع از روابط زیر محاسبه می­گردد:

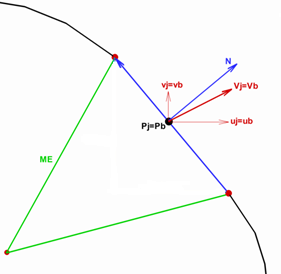
|  |  |
| --- | --- |
|  |  |

در این روابط *ME* و *NE* بترتیب نمایانگر سلول اصلی و همسایه ضلع مورد بررسی می­باشد. با انجام محاسبات مربوط به رابطه ‏(4) در واقع مقدار بخش جابجایی سلول *ME* محاسبه شده است. مقدار این بخش برای سلول *NE* برابر مقدار سلول *ME* ولی با علامت منفی می­باشد که این موضوع بدلیل جهت بردار *N* می­باشد.



1. محاسبه بخش جابجایی در یک ضلع غیر مرزی

از آنجایی که در اضلاعی که بر روی مرز دوردست قرار دارند، مقادیر مورد نیاز در میانه ضلع آنها با استفاده از شرایط مرزی دوردست بدست می­آید، در اینجا مقادیر بدست آمده از شرایط مرزی دوردست بجای مقادیر میانه ضلع قرار داده می­شود. از آنجا که جهت اضلاع همیشه بگونه­ای می­باشد که میدان محاسباتی در طرف چپ قرار دارد، بنابراین مقادیر محاسبه شده برای بخش جابجایی مستقیما برای سلول مجاور آن قرار داده می­شود. ‏شکل (3)‏شکل (3) این موضوع را بهتر نشان می­دهد.

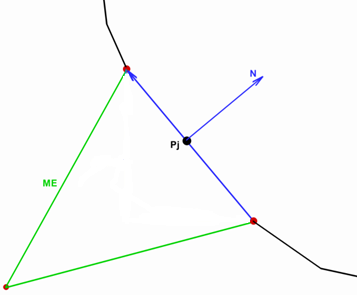


1. محاسبه بخش جابجایی در یک ضلع واقع بر روی مرزی دوردست

از آنجا که اعمال شرایط مرزی دیوار در اینجا اعمال می­شود بنابراین محاسبه بخش جابجایی سلول­های واقع بر روی مرز دیوار با در نظر گرفتن شرایط مرزی دیوار انجام می­گردد. با توجه به شرایط مرزی جریان آرام و فرض آدیاباتیک بودن بر روی مرزهای دیوار، برای سلول های واقع بر روی این نوع مرزها فقط بخش شارهای فشار غیرصفر می­باشد که از رابطه ‏(6) باید محاسبه گردد.

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

در اینجا مقدار فشار در میانه ضلع برابر فشار سلول مجاور آن قرار داده می­شود. همچنین همانند سلول­های واقع بر روی مرز دوردست مقادیر محاسبه شده برای بخش جابجایی مستقیما برای سلول مجاور آن قرار داده می­شود.



1. محاسبه بخش جابجایی در یک ضلع واقع بر روی مرز دیوار
2. بخش‌های زیربرنامه

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

1. مقداردهی اولیه صفر به آرایه مربوط به ذخیره بخش جابجایی

از آنجا که محاسبات مربوط به بخش جابجایی هر سلول بر روی اضلاع 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 بخش جابجایی سلول­های واقع بر روی مرزها

تفاوت محاسبه بخش جابجایی این سلول­ها با سایر سلول­های شبکه در این است که در اینجا با استفاده از شرایط مرزی پارامترهای جریان از قبیل سرعت، فشار و چگالی محاسبه شده است و در این بخش تنها با استفاده از آن­ها مقدار بخش جابجایی محاسبه می­گردد. توجه شود که در اینجا اضلاع مرزی نیز وارد محاسبات شده است اما با توجه به اینکه از شرط مرزی دیوار برای محاسبه سرعت و فشار در این اضلاع استفاده شده، تنها شارهای فشاری مخالف صفر خواهد بود.

1. ذخیره اطلاعات ضلع مورد بررسی در پارمترهای محلی

سلول مجاور ضلع مورد بررسی در پارامترهای محلی ذخیره می­گردد. در اینجا چون سلول همسایه هر کدام از اضلاع مربوط به مرز دیوار برابر صفر است، تنها شماره سلول اصلی ذخیره می­گردد.

1. محاسبه مولفه های سرعت در راستای محورهای مختصات

مقدار مولفه­های سرعت بر روی ضلع مورد بررسی در جهت محورهای مختصات با استفاده از مقادیر محاسبه شده با استفاده از شرایط مرزی در پارامترهای محلی ذخیره می­گردد.

1. محاسبه فشار و بردار سرعت عمود بر ضلع

مقدار بردار سرعت در راستای عمود بر ضلع مورد بررسی، تعیین می­گردد. همچنین مقدار فشار بدست آمده با استفاده از شرایط مرزی در یک پارامتر محلی ذخیره می­گردد.

1. محاسبه شار جابجایی

شار جابجایی در اضلاع مرزی با توجه به رابطه ‏(4) محاسبه و در پارامترهای محلی ذخیره می­گردد.

در رابطه ‏(4)، می­باشد و بیانگر این است که در مسائل شبکه متحرک شار حرکت شبکه از شار سیال عبوری ضلع مورد بررسی کم می­شود.

1. تعیین بخش جابجایی معادلات برای سلول های واقع بر روی مرزها

مقدار بخش جابجایی معادلات برای سلول­های واقع بر روی مرزها با توجه به مقادیر محاسبه شده در بخش قبل، در آرایه­های مربوطه ذخیره می­گردد.

1. محاسبه بخش جابجایی سلول­های غیرمرزی

در اینجا بخش جابجایی سلول­های غیرمرزی محاسبه می­گردد.

1. ذخیره اطلاعات ضلع مورد بررسی در پارمترهای محلی

دو سلول مجاور ضلع مورد بررسی در پارامترهای محلی ذخیره می­گردد.

1. ذخیره بردارهای عمود بر ضلع در پارامترهای محلی

بردارهای عمود بر ضلع در پارامترهای محلی و ذخیره می­شوند و به ترتیب نشان دهنده بردارهای نرمال در جهات X وY هستند.

1. محاسبه مقادیر بقایی و فشار در مرکز ضلع

مقادیر بقایی و فشار با استفاده از یک میانگین گیری از مقادیر دو سلول مجاور ضلع مورد بررسی محاسبه شده و در پارامترهای محلی ذخیره می­گردند.

1. محاسبه مولفه­های سرعت در راستای محورهای مختصات

مقدار مولفه­های سرعت بر روی ضلع مورد بررسی در جهت محورهای مختصات با استفاده از مقادیر محاسبه شده در بخش قبل، تعیین شده و در پارامترهای محلی ذخیره می­گردد.

1. محاسبه بردار شار سیال عبوری از ضلع

مقدار بردار شار سیال عبوری از ضلع در راستای عمود بر ضلع مورد بررسی با استفاده از روابط زیر تعیین می­گردد.

1. محاسبه بردار شار جابجایی

شار جابجایی در ضلع مورد بررسی با توجه به روابط‏(4) محاسبه و در پارامترهای محلی ذخیره می­گردد.

در رابطه ‏(4)، می­باشد و بیانگر این است که در مسائل شبکه متحرک شار حرکت شبکه از شار سیال عبوری ضلع مورد بررسی کم می­شود.

**توجه:** شار حرکت شبکه به صورت رابطه محاسبه می­شود و می­توان به صورت نیز نمایش داد.

1. تعیین بخش جابجایی معادلات برای سلول اصلی

مقدار بخش جابجایی محاسبه شده در بخش قبل (با علامت مثبت) به مقادیر سلول اصلی ضلع مورد بررسی اضافه می­گردد.

1. تعیین بخش جابجایی معادلات برای سلول همسایه

مقدار بخش جابجایی محاسبه شده در بخش قبل (با علامت منفی) به مقادیر سلول همسایه ضلع مورد بررسی اضافه می­گردد. علامت منفی بدلیل اینست که بردار سرعت عمود ضلع مربوط به سلول اصلی محاسبه شده و این مقدار برای سلول همسایه با علامت منفی ظاهر می­شود.

1. محاسبه استهلاک مصنوعی جیمسون

از آنجا که گسسته سازی مرکزی بخش جایجایی باعث ناپایداری در حل عددی می­شود بنابراین در اینجا از اضافه کردن استهلاک مصنوعی جیمسون برای افزایش پایداری استفاده شده است که به این منظور زیربرنامه فراخوانی DisJameson\_ALE Diss فراخوانی می­شود.

1. اضافه کردن استهلاک مصنوعی جیمسون به بخش جابجایی

در یک حلقه تکرار استهلاک مصنوعی جیمسون به بخش جابجایی معادلات اضافه می­شود.

1. Diffusion [↑](#footnote-ref-1)
2. Artificial dissipation [↑](#footnote-ref-2)