



**زیربرنامه:**

ConMeanFlow\_CUSP98

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **توسعه دهندگان** | مرتضی نامور |  |
| بهنود جدیری حبیبی | C:\Users\Espinas\Desktop\SABOUR REZOME\University_of_Tehran_logo.svg.png |
| **تهیه کنندگان مستند** | مرتضی نامور، بهنود جدیری حبیبی | |
| **تاییدکنندگان** |  | |
| **تاریخ تنظیم سند** | 01/03/95 | |
| **شناسه سند** | **MC2F068F1** | |
| **زبان برنامه‌نویسی** | **Fortran 90** | |

1. وظایف

در این زیربرنامه مقدار بخش جابجایی معادلات حاکم محاسبه می گردد. گسسته سازی این بخش با استفاده از روشCUSP+ انجام گرفته است. از آنجا که روش HCUSP برای جریان های غیرلزج کارایی بهتری دارد در این زیربرنامه یک پارامتر بنام Phi در نظر گرفته شده است که در صورتیکه بخواهیم آن را برای مسائل غیر لزج بکار ببریم باید مقدار این پارامتر را برابر 1 قرار دهیم و در صورتیکه برای جریان های لزج بکار برده شود باید مقدار آن برابر 0 باشد. البته بطور پیش فرض مقدار Phi برابر صفر قرار داده شده است.

1. توضیحات و تئوری

در علم مکانیک سیالات به دست آوردن میدان سرعت و دما و فشار برای محاسبه برایند نیروهای وارد بر سطوح و ضرایب برا و پسا از اهمیت ویژه ای برخوردار است. برای این کار باید با روش های عددی معادله ناویر استوکس را حل کرده و برای حل آن ترم های تشکیل دهنده این معادله از جمله ترم جابجایی را گسسته سازی کرد. گسسته سازی بخش جابجای معادلات بگونه ای که متناسب با فیزیک جریان باشد، برای بدست آوردن جواب های قابل قبول یکی از مباحث بسیار مهم در شبیه سازی های عددی می باشد. بنابراین در این تحقیق نوع جدید گسسته سازی بخش جابجایی پیاده می شود تا در مسائل مختلف از آن استفاده شود.

تفاوت روش­هاي عددي در نحوه­ي مدل سازي ترم جابجايي خلاصه مي­گردد. بستگي شديد آن به فيزيک جريان دلیل این موضوع مي­باشد بنابراين نحوه­ي مدل سازي بايد به گونه­اي باشد که تا حد امکان فيزيک جريان را در نظر بگيرد. مشکل اساسي در گسسته­سازي جابجايي، محاسبه مقادير شارها از سطوح حجم کنترل و شار جابجايي عبوري از اين مرزها مي­باشد. اگر از شيوه­ي گسسته سازي اختلاف مرکزي براي مدل کردن ترم جابجايي استفاده کنيم مشاهده مي­شود که در برخي از معادلات مانند معادله Diffusion**–**Convection پايا پس از گسسته سازي در ضرايب مربوط به يک سلول و همسايه­هاي آن، مقادير منفي وجود دارد و شرط پايداري که همان مثبت بودن ضرايب است ارضاء نمي­گردد. اين امر در واقع باعث ايجاد پاسخ­هاي نوساني و غير فيزيکي مي­گردد. از سوي ديگر در طرح اختلاف مرکزي اثر تمام همسايه­هاي يک نقطه براي محاسبه شار جابجايي وارد مي­شود که در واقع قدرت تشخيص جهت جريان و فيزيک واقعي مسأله را از روش مي­گيرد.

برای حل جریان های تراکم پذیر در سرعت های حدود صوت حول اجسام از معادلات ناویر-استوکس استفاده می شود. برای داشتن چنین حلی ابتدا معادلات به فرم انتگرالی نوشته شده سپس به کمک طرح تفاضل مرکزی به صورت انفصالی در می آیند. مشکل اساسی در حل این معادلات که به علت پدیده شوک اتفاق می افتد ناپایداری و ناپیوستگی حل است که ناشی از تقریب زدن در هنگام انفصال است. برای رفع این مشکل از طرح های اتلاف مصنوعی استفاده می شود. در این پروژه طرح CUSP معرفی می شود.

با وجودي که روش اختلاف مرکزي از درجه دقت دو و روش بالا دست از درجه دقت يک مي­باشد ولي به دليل اين که روش بالادست کردن فيزيک جريان را بهتر در نظر مي گيرد جواب­هاي قابل قبول­تري به دست مي­دهد. ولي به هر حال اين روش به دليل داشتن دقت درجه يک داراي خاصيت استهلاک مصنوعي مي­باشد يعني در گرفتن گراديان­هاي شديد و تغييرات شديد خواص دچار مشکل مي­باشد و گراديان­ها را مستهلک مي­کند. با توجه به اين محدوديت­ها اين روش نيز روش مناسبي براي مدل ترم جابجايي تشخيص داده مي­شود.

طرح های تفاضل مرکزی برای حل معادلات ناویر-استوکس و اویلر مورد توجه می باشند. چون این نوع طرحهای تفاضلی اتلافات[[1]](#footnote-1) ناچیز دارند لذا اتلافات مصنوعی[[2]](#footnote-2) به معادلات اضافه می گردد که سهم مهمی در دقت حل معادلات ایفا می کنند. به دو منظور لازم است که اتلافات مصنوعی به معادلات تفاضلی حاکم اعمال شود:

1. نخست از بین بردن نوسانات با فرکانس بالا
2. برای پیش بینی بهتر شوک ها

پایه و اساس طرح های انفصالی غیر نوسانی در دو دهه گذشته گذاشته شده است. یکی از اولین طرح های پیشنهادی در این زمینه توسط جیمسون[[3]](#footnote-3) ارائه شد. در این شکل از اتلافات مصنوعی و ترکیبی از جملات اتلافی مرتبه دوم و چهارم وجود دارد که توسط پژوهشگران متعددی مورد استفاده قرار گرفته است.

اساس این طرح بر این فرض استوار است که ابتدا جملات اتلاف مصنوعی مرتبه چهارم در سراسر ناحیه مورد بررسی، برای ممانعت از ناپایداری های غیر خطی اضافه می گردد.[1] این طرح گرچه در آن زمان بسیار موفق بود ولی لزجت مصنوعی نسبتا زیادی به معادلات اضافه می گردد.

در تعیین جملات اتلافی باید بسیار دقت کرد. به ویژه در مواردی که اتلافات فیزیکی نظیر لزجت موجود است، افزودن اتلاف بیش از حد آن ناحیه لزج را آلوده میکند و باعث ایجاد گردیان های تند حتی در ناحیه غیر لزج می شود. بنابراین لازم است که ضرایب اتلافی را در پایین ترین حد ممکن انتخاب کرد تا اندازه آنها آن چنان باشد که فقط بتواند نوسانات را مستهلک کند.[2] بر این اساس جیمسون روش کاسپ را ارائه کرده است.

به طور کلی طرحهای تفاضل مرکزی بر پایه تخمین متقارنی از اطلاعات ذخیره شده در نقاط مجاور سطح سلول می باشد بنابراین̨ این روش جهتی را که اطلاعات از آن جهت به سلول می رسند، در نظر نمی گیرند و از ماهیت هذلولی مسائل صرف نظر می کند.

دسته دوم روشهای بالا دست می باشند. این روش ها بر پایه پخش اطلاعات جریان در امتداد جهات مشخصه در دامنه فیزیکی استوارند. بنابراین این نوع روش ها تطابق خوبی با فیزیک جریان اطلاعات، در سراسر میدان جریان سیال دارند. همچنین طبیعت پخشی این روش ها، آنها را روشهایی قابل اعتماد ساخته است. اما از طرف دیگر روشهای تفاضل بالادست روشهایی پیچیده تری در هنگام برنامه نویسی بوده و نیازمند حافظه بیشتری جهت تعیین سرعت امواج صوتی ( مقادیر ویژه ) که جهت پخش اطلاعات را تعیین می کنند، می باشند. همچنین به علت دارا بودن ماهیت پخشی که دارند احتیاج به استفاده از دقت های مرتبه بالاتر دارند.

سونسن وترکل[[4]](#footnote-4) شکل ماتریس برای جملات اتلافات مصنوعی ارائه کردند که مقدار مناسبی از اتلاف را برای هر منطقه از حل به معادلات اضافه می نمود. ولی با وجود این زمان محاسبات عددی در این حالت بطور قابل ملاحظه ای نسبت به طرح قبلی افزایش یافت.[3]

تاتسومی[[5]](#footnote-5) و جیمسون طرح اتلاف مصنوعی جدیدی به نام کاسپ[[6]](#footnote-6) ارائه کردند که از نظر دقت قابل رقابت با طرح ماتریسی است و در مواردی حتی جوابهای بهتری می دهد و از لحاظ محاسبات و زمان لازم ،حل را زودتر همگرا می نماید.[4]

جهت بیان مفهوم کلی روش CUSP و برای سادگی بیشتر، ابتدا معادلات را برای یک جریان غیرلزج یک بعدی در نظر می گیریم و مفاهیم اصلی این روش آورده خواهد شد. سپس این روش برای حالت دوبعدی توضیح داده می شود. در ادامه در مورد اعمال شبکه بی سازمان بطور مفصل بحث خواهد شد. بعد از به دست آوردن معادلات آنها را با استفاده از روش حجم کنترل و گسسته سازی زمانی صریح حل می نماییم.[5,6,7]

در این طرح سعی شده است ضمن رسیدن به یک جواب قابل قبول از پیچیدگی محاسبات و زمان لازم کاسته شود [4].

* 1. گسسته سازی بخش جابجایی در حالت دو بعدی

در حالت دو بعدي بردار شار از دو مؤلفه در جهاتy و x به صورت زير تشكيل شده است :

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

هر کدام از بخش های این معادله بصورت زیر می باشد:

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

در ادامه بردار سرعت در جهت و بردار سرعت در جهت می باشد. پس از حل معادلات بالا که بوسیله چگالی به همدیگر وابسته شده اند، چهار متغیر بدست خواهد آمد. با استفاده از مقدار انرژی کل و رابطه ‏(11) مقدار فشار در میدان بدست می آید و برای بدست آوردن مقدار دما از معادله گاز کامل استفاده خواهد شد.

در روش حجم محدود اولين قدم براي گسسته سازي معادلات حاكم، انتگرال‌گيري از شكل بقايي معادلات بر روي حجم كنترل می باشد. برای اینکار معادله ‏(2) را در نظر بگیرید. با انتگرال گیری از این رابطه بر روی یک سطح بسته که در اینجا همان سلول محاسباتی می باشد خواهیم داشت:

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

همچنین با استفاده از قضیه گوس می توان انتگرال مکانی روی یک سطح را به انتگرال روی مرزها تبدیل نمود ]10[:

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

توجه شود که علامت منفی بدلیل اینست که باید بردار n به سمت خارج از حجم کنترل باشد. حال اگر بردارهای شار جابجایی و پخش شوندگی را بصورت برداری در نظر بگیریم:

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

بنابراین با استفاده از دو قضیه اشاره شده می توان معادله ‏(1) را بصورت زیر بازنویسی کرد:

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

بخش جابجایی نشان دهندة شار عبوري از مرز‌هاي سلول مي‌باشد. در اینجا نحوه گسسته سازی بخش جابجایی معادلات آورده می شود.

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

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

\*

*j=1*

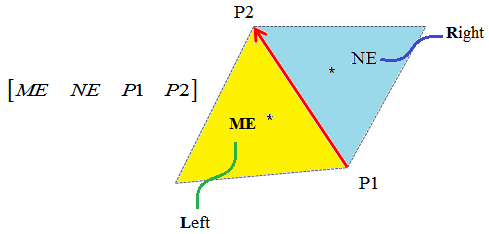
*i*

*j=2*

*j=Nedge*

1. مرزهای گسسته شده یک سلول

در رابطه ‏(8) *j* شمارنده اضلاع حجم کنترل مي‌باشد. ذکر این نکته بسیار حائز اهمیت است که فرض می شود مقادیر بقایی *W* در یک حجم کنترل برابر مقدار آن در مرکز حجم کنترل است. همچنین با توجه به حساسیت و توجه بسیار به ساختار داده ای در هنگام پیاده سازی روش CUSPیکبار دیگر نحوه ذخیره نقاط و همسایه های یک ضلع آورده می شود:



1. سلول های سمت چپ و راست یک ضلع

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

با در نظر گرفتن رابطه ‏(8) می توان بخش جابجایی معادلات را بصورت زیر بازنویسی نمود:

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

* 1. روش CUSP در حالت یک بعدی

در حالت یک بعدی شکل کلی معادلات حاکم بر جریان بصورت زیر است[4] :

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

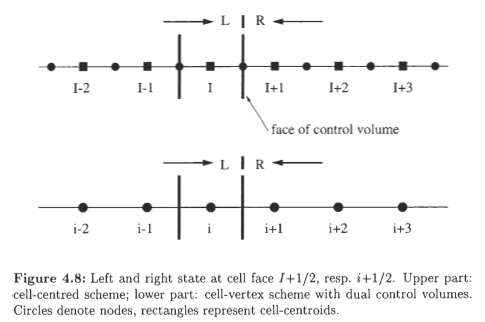
که در آن wمقادیر بقایی و بردار شار می باشد:

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

چگالی، u سرعت، E انرژی کلی، p فشار و H آنتالپی سکون می باشد. اگر نسبت گرمای ویژه باشد و c سرعت صوت، خواهیم داشت:

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

معادله ‏(11) را می توان در شبکه با سازمان یک بعدی به صورت زیر گسسته کرد :



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

که در آن شار عددی بین سلول i و i+1 می باشد و به صورت زیر محاسبه می گردد:

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

بردار شار برای سلول i می باشد و شار اتلافی است که جهت جلوگیری از نوسانات حل به معادله اضافه می گردد.

اساس طرح CUSP ̨ بر پایه جدا کردن جملات فشار در روابط شار جریان می باشد. بنابراین با در نظر گرفتن روابط ‏(12) مقدار بردار به صورت زیر نتیجه می شود :

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

جمله اتلافی این طرح به شکل زیر تعریف می شود :

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

که در اینجا برای ترم دو انتخاب وجود دارد. ترم در اینجا یا به صورت انرژی کلE و یا به صورت آنتالپی کل H بیان می شود. در انتخاب اولی روش ما به صورت () E-CUSP بیان می شود و در حالت دیگر اگر() در نظر گرفته شود روش ما روش H-CUSP نامیده خواهد شد و این روش یرای سیالات غیر لزج بهتر است.

ضریب به صورت زیر است :

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

اگر عدد ماخ به صورت و باشند ضرایب و به شکل زیر نوشته می شوند :

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

که با قرار دادن مقادیر در داریم :

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

در نزدیکی نقاط سکون ضریب باید به شکل زیر اصلاح گردد :

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

که در آن  یک مقدار خیلی کوچک است که در اینجا 0.5 در نظر گرفته شده است که علت آن اینست که در نواحی نزدیک دیواره ضریب را برای بهتر شدن نتایج کد نویسی تصحیح کنیم.

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

از آنجایی که می دانیم ضرایب و β مقادیرشان روی صفحه محاسبه می شود به همین خاطر باید مقادیر و u را روی صفحه ((I+1/2 با استفاده از مقادیر سلول سمت چپ و راست آنها محاسبه کرد. بنابراین خواهیم داشت:

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

* 1. روش CUSPدو بعدی سال 1993 ]9[

در روش CUSP بخش جابجایی معادلات به دو قسمت جمع و تفریق تقسیم می شود که حاصل جمع میانگین جابجایی و فشاری سلول سمت راست و چپ و تفریق ترم اتلافی و اضمحلالی واقع روی صفحه تقسیم می شود. برای اینکار با تقسیم بخش جابجایی بر سرعت صورت می توان عدد ماخ را در این معادلات بوجود آورد. بنابراین می توان معادله را به فرم زیر بازنویسی کرد:

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

که در آن  بصورت زیر تعریف می شود:

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

همان طور که می دانیم از معادله جریان یک ترم شار اتلافی که برای جلوگیری از نوسانات حل به معادله اضافه می شود را به صورت دو بعدی و از کتاب بلازک[[7]](#footnote-7) مستند داریم :

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

که در اینجا I+1/2 در شبکه با سازمان همان مقادیر روی وجه سلول در شبکه بی سازمان می باشد. مقادير ماخ و فشار در مرکز وجوه سلول در شبکه بی سازمان و یا روی صفحه I+1/2 در شبکه با سازمان به دست مي­آيندکه در ادامه توضیح خواهیم داد :

ضرایب و β در جمله شار اتلافی به صورت زیر می باشد:

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

حال برای ضرایب و β می توان تعریف زیر را در نظر گرفت :

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

که در آن  یک مقدار خیلی کوچک است که در اینجا 0.5 در نظر گرفته که علت ان این است که در نواحی نزدیک دیواره ضریب را برای بهتر شدن نتایج کد نویسی تصحیح کنیم.

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

که با قرار دادن مقادیر در داریم :

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

با توجه به اینکه در میانه وجوه حساب می شود بنابراین تمام ضرایب α و β و C و V باید مقادیر انها میانه وجوه حساب شود از طرفی چون ضرایب α و β به مقدار عدد ماخ در میانه وجوه() به همین خاطر باید عدد ماخ را در میانه وجوه با استفاده از ماخ سمت چپ و راست طبق روابط (67) و (69) محاسبه گردد

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

در محاسبه فلاکس­ها منظور از Lهمان سلول سمت چپ يا در واقع همان سلول اصلی و R نشاندهنده سلول سمت راست يا سلولي که در همسايگي سلول اصلی قرار دارد، می باشد.

* 1. روش CUSP سال 1998 ]13[

تفاوت این روش با حالت قبل در تعریف ضرایب و β در جمله شار اتلافی می باشد که به صورت زیر می باشد:

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

از انجایی که می دانیم ضرایب و β مقادیرشان روی صفحه محاسبه می شود به همین خاطر باید مقادیر و V را نیز با استفاده مقادیر سلول سمت چپ و راست مقادیر انها را روی صفحه((I+1/2 محاسبه کرد.

از طرفی هم می دانیم که پس مقادیر ویژه  و  در ضریب β نیز به صورت زیر محاسبه می شود:

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

و نیز با استفاده از Roe average می توان به صورت زیر نوشت و محاسبه کرد :

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

1. بخش‌های زیربرنامه

در این قسمت تمام بخش های زیربرنامه مطابق با شماره گذاری موجود در برنامه کامپیوتری ارائه شده است. توجه شود که اگر بخواهیم جریان غیرلزج را شبیه سازی کنیم، در ابتدای زیربرنامه پارامتر Phi برابر 1 قرار داده می شود و در صورتیکه بخواهیم جریان لزج را حل کنیم این پارامتر برابر 0 قرار داده می شود. که با اینکار بترتیب مدل HCUSP و ECUSP پیاده می شود. از انجا که در بیشتر کاربردها جریان لزج حل می شود بطور پیش فرض مقدار Phi برابر صفر قرار داده شده است.

1. مقداردهی به پارامتر Phi

طبق آنچه که گفته شد این پارامتر مقداردهی می شود.

1. مقداردهی اولیه به آرایه مربوط به ذخیره بخش جابجایی

از آنجا که محاسبات مربوط به بخش جابجایی هر سلول بر روی اضلاع آن انجام می شود و این مقادیر به آرایه مربوط به هر سلول اضافه می گردد 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 سلول های واقع بر روی مرزها

تفاوت محاسبه بخش جابجایی این سلول ها با سایر سلول های شبکه در اینست 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 می گردد. 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 می گردد. در اینجا چون سلول همسایه هر کدام از اضلاع مربوط به مرز دیوار برابر صفر است، تنها شماره سلول اصلی ذخیره می گردد.

1. ذخیره بردارهای عمود و طول ضلع در پارامترهای محلی

جهت محاسبه بخش جابجایی به بردارهای عمود یکه نیاز می باشد برای اینکار باید بردارهای عمود بر طول ضلع تقسیم گردد که در اینجا اینکار انجام می شود. بنابراین بردارهای عمود یکه و همچنین طول ضلع در پارامترهای محلی ذخیره می شوند.

1. محاسبه مولفه های سرعت در راستای محورهای مختصات

مقدار مولفه های 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 می گردد.

1. محاسبه فشار و بردار سرعت عمود بر ضلع

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

1. محاسبه شار جابجایی

شار جابجایی در اضلاع مرزی با توجه به رابطه ‏(26) محاسبه و در پارامترهای محلی ذخیره می گردد.

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

مقدار بخش جابجایی معادلات برای سلول های واقع بر روی مرزها با توجه به مقادیر محاسبه شده در بخش قبل، در آرایه های مربوطه ذخیره می گردد.

1. محاسبه بخش جابجایی سلول های غیرمرزی

در اینجا بخش جابجایی سلول های غیرمرزی محاسبه می گردد.

1. ذخیره اطلاعات ضلع مورد بررسی در پارمترهای محلی

شماره دو سلول مجاور ضلع مورد بررسی در پارامترهای محلی ذخیره می گردد.

1. ذخیره مقادیر بقایی سلول چپ راست در پارامترهای محلی

بدون توضیح.

1. ذخیره مقادیر بقایی سلول سمت راست در پارامترهای محلی

بدون توضیح.

1. محاسبه سرعت صوت و عدد ماخ

سرعت صوت و عدد ماخ در مرکز سلول های سمت چپ و راست ضلع مورد بررسی تعیین می گردد

1. محاسبه سرعت صوت و عدد ماخ

سرعت صوت و عدد ماخ در مرکز سلول های سمت چپ و راست ضلع مورد بررسی تعیین می گردد.

1. محاسبه مقادیر جابجایی در سلول ها

مقدار شار جابجایی طبق رابطه ‏(28) برای سلول سمت چپ و راست محاسبه می گردد.

1. محاسبه مقادیر Roe averages

در اینجا طبق روابط ‏(39) تا ‏(43) مقادیر میانگین روش رو را محاسبه می کنیم

1. محاسبه مقادیر ماخ

حال مقدار ماخ را که با استفاده از سرعت صوت و سرعت روی ضلع بین سلول ها که با استفاده از میانگین گیری روش رو به دست آمده است، محاسبه می کنیم.

1. محاسبه مقادیر ویژه

در اینجا مقادیر ویژه مثبت و منفی را با استفاده از رابطه ‏(38) محاسبه می کنیم.

1. محاسبه مقدار β

حال با استفاده از رابطه ‏(37) مقدار β را محاسبه می کنیم.

1. محاسبه مقدار α

در اینجا نیز با استفاده از رابطه (49) مقدار را به دست می اوریم .

1. محاسبه مقدار ترم شار اتلافی D

حال برای به دست اوردن ترم شار اتلافی با استفاده از رابطه ی (48) و با در نظر گرفتن این که مقدارش E یا H می باشد ترم اتلافی را محاسبه می کنیم.

1. محاسبه شار جابجایی

حال مقدار شار جابجایی طبق رابطه ی (47) محاسبه می گردد.

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 می گردد.

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 می گردد. علامت منفی بدلیل اینست که بردار عمود ضلع مربوط به سلول اصلی محاسبه شده و این مقدار برای سلول همسایه با علامت منفی ظاهر می شود.

.

1. مراجع

[1]Jamson A and Schmidt W. “Some Recent Developments in Numerical Methods for Transonic Flows” , Fenomech 84 Conference Sep. 1984,Stuttgart

[2] N. Hirata, O. M. Faltinsen, Computatoin of Cobblestone Effect With Unsteady Viscus Flow Under a Stern Seal Bag of a SES, Journal of Fluids and Structures (2000) 14, 1053-1069

[3] Swanson R.C. and Turkel E., ”On Central Difference and Upwind Scheme”, Journal of Computational Physics , Vol. 101,1992,pp.292-306

[4]Tatsumi, S.; Martinelli, L.; Jameson, A.: A New High Resolution Scheme

for Compressible Viscous Flow with Shocks. AIAA Paper 95-0466, 1995.

[5] A. Jameson and L. Martinelli, “Multigrid Solution of the Navier-Stokes Equations on Triangular Meshes”, 27th Aerospace Sciences Meeting January 9-12, 1989/Reno, Nevada

[5]- Jamson A. Schmidt W. Turkel E. “Numerical Solution of the Euler Equation by Finite Volume Methods Using Runge –Kutta Time Stepping Scheme”, AIAA paper 81-1259-,AIAA 14th Flude Dynamics and Plasma Dynamics Conference, Alto(1981)

[6]- Jamson A. ,Baker T.J.,” Solution of the Euler Equation for Complex Configuration” , Proc,AIAA 6th computational Fluid Dynamics Conference , pp.293-302,Danvaers(1983)

[7]- Jamson A. ,Baker T.J. and Weatherill N.P. ,”Calculation of Inviscid Transonic Flow over a Complex Aircraft”, AIAA paper 86-0103,AIAA 24th Aerospace Sciences Meeting , Reno(1986)

[8]C. Hirch, Numerical Computation of Internal and External Flows, Vol. 2, Wiely, Newyork 1990

[9]Jameson, A.: Artificial Diffusion, Upwind Biasing, Limiters and their Effect on Accuracy and Multigrid Convergence in Transonic and Hypersonic

Flow. AIAA Paper 93-3559, 1993.

[10]Jameson, A.: Positive Schemes and Shock Modelling for Compressible

Flow. Int. J. Numerical Methods in Fluids, 20 (1995), pp. 743-776.

[11]Jameson, A.: Analysis and Design of Numerical Schemes for Gas DynamicsII: Artificial Diffusion and Discrete Shock Structure. Int. J. ComputationalFluid Dynamics, 5 (1995), pp. 1-38.

[12]Tatsumi, S.; Martinelli, L.; Jameson, A.: A Design, Implementation and

Validation of Flux Limited Schemes for the Solution of the Compressible

Navier-Stokes Equations. AIAA Paper 94-0647, 1994.

[13]Nemec, M.; Zingg, D.W.: Aerodynamic Computations Using the Convective

Upstream Split Pressure Scheme with Local Preconditioning. AIAA

Paper 98-2444, 1998.

[14]Blazek\_J.,\_Computational\_Fluid\_Dynamics\_Principles\_and\_Applications,\_2nd\_ed,\_2005

[15]Thompson Joe F. &Soni Bharat K.&Weatherill Nigel P., “Handbook of Grid Generation” CRC Press LLC, 1999.

[16]Computational Fluid Dynamics For Engineers, Volume II, By: Klause A.

Hoffman, Steve T.Chiang, 2000.

[17]A Survey of Unstructured Mesh Generation Technology, Steven J. Owen

1. Dissipation [↑](#footnote-ref-1)
2. Artificial Dissipation [↑](#footnote-ref-2)
3. Jameson [↑](#footnote-ref-3)
4. Swanson & Turkel [↑](#footnote-ref-4)
5. Tatsumi [↑](#footnote-ref-5)
6. CUSP [↑](#footnote-ref-6)
7. J.Blazek 2005 [↑](#footnote-ref-7)