



**زیربرنامه:**

GradFace3D

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **توسعه دهندگان** | مرتضی نامور |  |
| **تهیه کنندگان مستند** | مرتضی نامور | |
| **تاییدکنندگان** | مرتضی نامور | |
| **تاریخ تنظیم سند** | 22/2/1394 | |
| **شناسه سند** | **MCF023F1** | |
| **زبان برنامه‌نویسی** | **Fortran 90** | |

1. وظایف

در این زیربرنامه مشتقات مرتبه اول هر متغیر ورودی (به طور مثال سرعت­ها در سه جهت، دما یا مقادیر توربولانسی k وw) بر روی وجوه مرزی و غیر مرزی محاسبه می­شود. در همین راستا، حجم و مساحت وجوه سلول مجازی در زیر برنامه­ی دیگر به طور جداگانه محاسبه می­شود.

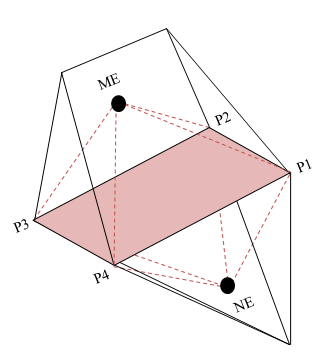
1. توضیحات و تئوری­ها

در این قسمت، گرادیان­های متغیرهای ورودی با استفاده از قضیه Green-Gause بر روی وجوه حساب می­شود.

با توجه به این قضیه، گرادیان مرتبه اول هر مقدار اسکالر U بر روی وجه با انتگرال زیر تقریب زده می­شود:

1. 

که  حجم سلول مجازی در اطراف هر کدام از وجوه می­باشد . همانطور که در ‏شکل (1) واضح است، نقاط این حجم کنترل شامل چهار نقطه وجه مربوطه و مرکز سلول­های مجاور و سلول همسایه می­باشد. اضلاع حجم کنترل مجازی در این شکل با خطوط نقطه­چین مشخص شده است.  و به ترتیب معرف بردار نرمال و مساحت هر کدام از وجوه حجم کنترل مجازی است.

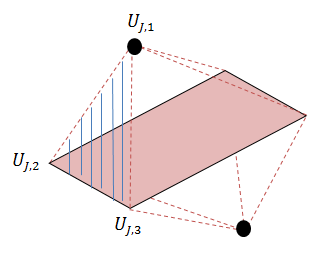


1. یک حجم کنترل فرضی در اطراف یک وجه

بارس و جپرسون [[1](file:///E:\afra\AUSM3D-Air%20Flow\AUSM3D-AirFow%20Sub%20Docs\MC2F023F1_VelTemp_GradFace3D.docx#_ENREF_1)]یک مدل گسسته سازی خاصی برای رابطه ‏(1) بر اساس روش المان محدود گلرگین در ابعاد دو بعدی گزارش کردند. بعد از آن، این مدل گسسته سازی در ابعاد سه­بعدی توسط پارس و چپرسون گسترش یافت[[2](file:///E:\afra\AUSM3D-Air%20Flow\AUSM3D-AirFow%20Sub%20Docs\MC2F023F1_VelTemp_GradFace3D.docx#_ENREF_2)]. آنها رابطه ‏(1) را برای شبکه­های سه بعدی که ضلع محور هستند، گسسته کردند. طبق مدل آنها رابطه ‏(1) به شکل زیر گسسته می­شود:

1. 

که  نشانگر تعداد وجه­های سلول مجازی می­باشد.  ، و  مقدار متغیر مورد بررسی بر روی هر یک از نقاط تشکیل دهنده وجوه مجازی می­باشد که در شکل (2) به وضوح نشان داده شده است.



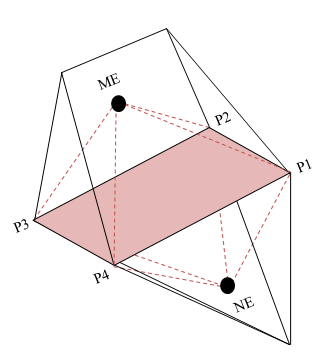
1. جاروب کردن هریک از وجوه سلول مجازی

همانطور که واضح است در هر وجه سلول مجازی، یکی از نقاط، مرکز سلول اصلی یا همسایه بوده و دو نقطه­ی دیگر متعلق به وجه مربوطه می­باشد. نکته ی دیگری که باید در این زیر برنامه مورد توجه قرار گیرد، نحوه ذخیره اطلاعات نقاط وجوه سلول مجازی می­باشد. همانطور که قبلا گفته شده است، نقاط تشکیل دهنده وجوه اصلی به ترتیبی خاص ذخیره شده اند که با حرکت انگشتان دست راست از نقطه اول تا نقطه پایانی، جهت شصت دست به سمت بیرون سلول باشد. با توجه به این ترتیب نقاط، مساحت، بردار عمود بر وجوه و همچنین حجم هر سلول در زیر برنامه­های مربوطه استخراج می­شود. مقادیر هندسی ذکر شده نیز برای سلول مجازی باید محاسبه شوند. لذا در این زیر برنامه به جهت ایجاد امکان استفاده از زیر برنامه­های قبلی برای محاسبه پارامترهای هندسی سلول مجازی، نقاط هر یک از وجوه سلول مجازی باید طبق فرم گفته شده در بالا مرتب شوند.

به طور مثال برای سلول مجازی اطراف وجه نمایش داده شده در ‏شکل (1)، نقاط هر یک از وجوه مجازی غیر مرزی به ترتیب زیر نوشته می­شوند:

1. اطلاعات نقاط هر وجه از سلول مجازی دراطراف یک وجه غیر مرزی چهارضلعی

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| IDS3 | IDS2 | IDS1 | Face No |
| Virtual Main Cell | | | |
| P1 | P2 | ME | 1 |
| P2 | P3 | ME | 2 |
| P3 | P4 | ME | 3 |
| P4 | P1 | ME | 4 |
| Virtual Neighbor Cell | | | |
| P2 | P1 | NE | 5 |
| P3 | P2 | NE | 6 |
| P4 | P3 | NE | 7 |
| P1 | P4 | NE | 8 |

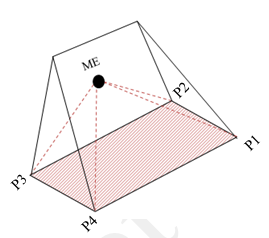


1. یک حجم کنترل فرضی در اطراف یک وجه

حال اگر وجه غیر مرزی باشد، اطلاعات وجوه سلول مجازی به شکل جدول زیر است:

1. اطلاعات نقاط هر وجه از سلول مجازی در اطراف یک وجه مرزی چهارضلعی

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| IDS4 | IDS3 | IDS2 | IDS1 | Face No |
| Virtual Main Cell | | | | |
|  | P1 | P2 | ME | 1 |
|  | P2 | P3 | ME | 2 |
|  | P3 | P4 | ME | 3 |
|  | P4 | P1 | ME | 4 |
| P4 | P3 | P2 | P1 | 5 |



1. نمایش سلول مجازی برای وجه مرزی
2. بخش­های زیربرنامه

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

1. جاروب کردن تمام وجوه

در این قسمت تمام وجوه مرزی و غیر مرزی جهت محاسبه گرادیان­ها فراخوانی می­شوند.

1. مقداردهی اولیه به برخی آرایه ها

از آنجا که محاسبات مربوط به گرادیان متغیرها بر روی وجوه تشکیل دهنده سلول مجازی انجام می شود و این مقادیر به آرایه مربوط به هروجه واقعی 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. ذخیره اطلاعات وجه مورد بررسی در پارمترهای محلی

نقاط تشکیل دهنده ضلع مورد بررسی و دو سلول مجاور آن به همراه تعداد اضلاع آن وجه در پارامترهای محلی ذخیره می گردد.

1. ذخیره مختصات نقاط دو سلول اصلی و همسایه در آرایه جدید

همانطور که گفته شد، محاسبات هندسی بر روی تمام وجوه سلول مجازی همانند سلول واقعی انجام می­شود. در هر وجه سلول مجازی، قطعا یکی از نقاط، مرکز سلول اصلی یا همسایه می­باشد. مختصات مراکز با عنوان XC، YC وZC وجو دارد در حالی که مختصات نقاط تشکیل دهنده وجوه با X، Y و Z ذخیره شده است. جهت یکسان سازی آرایه­ی معرف مختصات نقاط سلول مجازی، آرایه مختصات مراکز سلول­ها را در ادامه آرایه مربوط به نقاط تشکیل دهنده وجوه ذخیره می­کنیم.

1. مقدار دهی اولیه

برای محاسبه تعداد اضلاع هر یک از وجوه مجازی، به یک پروسه اضافه کردن مقادیر به مقادیر قبلی روبرو هستیم. بنابراین در ابتدای کار این مقادیر صفر در نظر گرفته می­شود. همینطور ازآنجا که تمام وجوه سلول مجازی اطراف هر وجه غیر مرزی سه ضلعی می­باشند، لذا پارامتر FaceType به طور پیش فرض برابر 3 در نظر گرفته می­شود. برای وجوه غیر مرزی همانطور که در ‏شکل (4) مشخص است، *ممکن است* یک وجه 4 ضلعی در بین وجوه سلول مجازی یافت می­شود که در ادامه پارامتر FaceType برای این وجه تغییر خواهد کرد.

1. ذخیره نقاط هریک از وجوه سلول مجازی سمت سلول اصلی

نقاط تشکیل دهنده هریک از وجوه سلول مجازی سمت سلول اصلی به ترتیب در آرایه مربوط به اطلاعات وجوه سلول مجازی (IDSt) طبق فرمت گفته شده در ‏جدول (1) ذخیره می­شود. بدیهی است اگر وجه چهارضلعی باشد، تعداد وجوه سمت سلول اصلی نیز برابر چهار و اگر سه ضلعی باشد، تعداد وجوه برابر سه خواهد بود. همچنین در این قسمت، برای ثبت اطلاعات وجوه، به شمارنده تعداد وجوه سلول یک عدد اضافه می­شود.

1. اضافه نمودن یک وجه به وجوه سلول مجازی برای وجوه مرزی

اگر وجه مورد نظر در مرز قرار گرفته باشد، قطعا فضای سلول مجازی سمت سلول همسایه حذف خواهد شد، بنابراین طبق ‏جدول (2) یک وجه به وجوه سلول مجازی اضافه خواهد شد. در واقع یکی از وجوه سلول مجازی، همان وجه اصلی می باشد که در ‏شکل (4) با هاشور مشخص شده است.

1. ذخیره نقاط هریک از وجوه سلول مجازی سمت سلول همسایه

نقاط تشکیل دهنده هریک از وجوه سلول مجازی سمت سلول همسایه به ترتیب در آرایه مربوط به اطلاعات وجوه سلول مجازی (IDSt) طبق فرمت گفته شده در ‏جدول (1) ذخیره می­شود. بدیهی است اگر وجه چهارضلعی باشد، تعداد وجوه سمت سلول اصلی نیز برابر چهار و اگر سه ضلعی باشد، تعداد وجوه برابر سه خواهد بود. همچنین در این قسمت، برای ثبت اطلاعات وجوه، به شمارنده تعداد وجوه سلول یک عدد اضافه می­شود.

1. محاسبه مساحت، بردار عمود و حجم سلول مجازی

سلول مجازی را می­توان یک سلول واقعی فرض کرد و تمامی محاسبات هندسی مربوط به سلول مجازی را همانند متغیرهای هندسی مربوط به سلول اصلی بدست آورد. در واقع با داشتن نقاط تشکیل دهنده­ی هر وجه مجازی و استفاده از الگوریتم­های زیر برنامه GeoCal3D، مساحت، بردار عمود و حجم سلول مجازی قابل محاسبه است.

1. ذخیره تابع مقادیر دو سلول اصلی و همسایه در آرایه جدید

جهت یکسان سازی تابع مقادیر نقاط سلول مجازی، تابع مقادیر مراکز سلول­های اصلی و همسایه (PrimFunc) را در ادامه آرایه مربوط به نقاط تشکیل دهنده وجوه (Func) ذخیره می­کنیم.

1. جاروب کردن تمام وجوه مجازی برای محاسبه گرادیان

در این قسمت با استفاده از رابطه ‏(2) گرادیان­مقادیر اسکالر ورودی بر روی تمام وجوه محاسبه می­شود.

1. ذخیره کردن بردارهای عمود هر وجه در سه راستا در پارامترهای محلی

در این قسمت، دو ترم آخری سمت راست رابطه ‏(2) در زیربرنامه محاسبه می­شود.

1. ذخیره نقاط تشکیل دهنده وجه مورد بررسی در پارمترهای محلی

نقاط تشکیل دهنده وجه مجازی مورد بررسی همانند حالت وجه واقعی در پارامترهای محلی ذخیره می گردد.

1. میانگین­گیری تابع مقادیر بر روی نقاط هر وجه مجازی

طبق رابطه ‏(2)، تابع مقادیر بر روی نقاط هر وجه مجازی میانگین­گیری می­شود تا ترم سمت چپ رابطه‏(2) تعیین گردد.

1. محاسبه مشتقات مرتبه اول تابع مقادیر

مشتقات مرتبه اول هر وجه واقعی با جمع تمام شارهای محاسبه شده بر روی وجوه مجازی بدست می­آید. این شارها از ضرب مقدار میانگین محاسبه شده در مرحله 14 در بردار عمود محاسبه شده در مرحله 12 بدست می­آید. بدین ترتیب گرادیان­های در سه راستای اصلی محاسبه و در آرایه های مربوطه ذخیره می گردد.

1. مراجع

[1] T. J. Barth and D. C. Jespersen, "The design and application of upwind schemes on unstructured meshes," 1989.

[2] T. J. Barth, "A 3-D upwind Euler solver for unstructured meshes," 1991.