



**زیربرنامه:**

LES\_WALE\_Main3D

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **توسعه دهندگان** | مرتضی نامور |  |
| احسان اکرمی | Image result for ‫لوگو دانشگاه صنعتی شریف‬‎ |
| **تهیه کنندگان مستند** | مرتضی نامور ، احسان اکرمی | |
| **تاییدکنندگان** | مرتضی نامور | |
| **تاریخ تنظیم سند** | 19/05/1396 | |
| **شناسه سند** |  | |
| **زبان برنامه‌نویسی** | **Fortran 90** | |

1. وظایف

در این زیربرنامه مقدار لزجت توربولانسی با استفاده از مدل WALE محاسبه می شود.

1. توضیحات و تئوری­ها

شبیه سازی گردابه های بزرگ (LES) جهت بررسی لحظه ای ساختارهای سه بعدی آشفتگی در جریان توسعه یافته است. نتایج کمی در کنار نتایج کیفی در هندسه های ساده و پیچیده قابل استخراج اند. به صورت معمول، روش های متداول عددی و مقیاس های زیر شبکه ای برای هندسه های ساده جواب های قابل قبولی را به دست میدهند و برای هندسه های پیچیده تر چندان رضایت بخش نمی باشند. این موضوع موجب می شود مشکلاتی در جهت استفاده این مدل در مسئله های کاربردی و صنعتی به وجود بیاید. برای حل این مشکل، شبیه سازی گردابه های بزرگ می بایست بتواند ویسکوزیته گردابه ای محلی ارائه نماید که توانایی غیرفعال شدن در هنگام مراحله اولیه گذار را داشته باشد و همچنین پیشنهاد دهنده مقیاس صحیحی از دیواره باشد تا بتواند تخمین صحیحی از ضریب اصطکاکی را به دست دهد.

* 1. مدل های کلاسیک

در شبیه سازی گردابه های بزرگ، مقیاس هایی کوچکتر از شبکه شناسایی نمی شود اما برای در نظر گرفتن تاثیر آن ها از تانسور تنش که به صورت زیر است تعریف می شود.

1. 

 اکثر مدل های مقیاس زیر شبکه ای بر اساس فرض ویسکوزیته گردابه ای بنا شده است که فرم تانسوری آن به صورت زیر است:

1. 

مدلسازی تانسور مقیاس زیر شبکه ای در فضای طیفی با فرض بالا منجر به به وجود آمدن  به صورت زیر می شود.

1. 

 برشی از انرژی سینتیکی،  برشی از عدد موج است.  یک تابع افزایش از *k* و کاهشی از *m*. شیب طیف انرژی سینتیکی: .  دارای دو ویژگی جالب است:  به محظ نبودن انرژی در نزدیکی برش صفر می شود. برای حالت گذار نزدیک دیواره تا هنگامی که شیب *m* بزرگتر باشد در دیواره نسبت به مرکز لایه مرزی، کاهش می یابد. نسخه ساده شده ای از  جهت به دست آوردن  در فضای فیزیکی استفاده می شود. با فرض اینکه  دیگر به *k* وابسته نباشد و مقدار مشابهی اضمحلال *ε* آشفتگی ایزوتروپیک را داشته باشد، منجر به رابطه زیر می شود.

1. 

<> به معنای میانگین گیری روی کل دامنه فیزیکی است. استفاده از  در معادله بالا منجبر به معادله زیر می شد.

1. 

تا هنگامی که رفتار هلالی شکل و وابستگی به *m* فراموش شده باشد، تعدیل  در کنار نواحی دیواره دیگر در مدل وجود نخواهد داشت. برای پیاده سازی رابطه بالا در فضای فیزیکی با یک اوپراتور محلی منجر به معادله عمومی زیر می شود.

1. 

 مقیاس طول مشخصه برش است. همچنین *C* توسط رابطه زیر اندازه گیری می شود.

1. 

 تابعی از  و  است که با کمک رابطه بالا به صورت  که برای به دست آوردن  استفاده می شود. این فرآیند توسط چند مدل که هرکدام به وسیله اختلاف ثابت[[1]](#footnote-1) پوشش داده می شود.

* ، برای مدل اسماگورینسکی
* ، برای ساختار مدل. یک اختلاف کلاسیک در چهار- و شش- نقطه فرمولی.

1. 
2. 

ساختار اصلی تابع و مدل اسماگورینسکی به طور دقیق شناخته شده است. برای رهایی از پاسخ های مقیاس بزرگ که در مقدار دهی  و ساختار بهتر  اپراتور مشابهی تعریف شده که برای سرعت های فیلتر شده بالا گذر به صورت زیر است:

1. 

برای تابع ساختار فیلتر شده

1. 

برای مدل اسماگورینسکی فیلتر شده  به وسیله اعمال یک فیلتر بالا گذر بر روی میدان سرعت به دست می آید. این فرآیند فیلتر کردن انتخابی است اگرچه می توان نشان داد اختلاف استاندارد مرکزی[[2]](#footnote-2) منجر به فیلتری با تابع انتقال  می شود که دارای ثابت *C(a,b)* است.

1. یک اوپراتور جایگزین

برای دلایلی که رفتار دیواره در مدل های زیر شبکه ای وجود دارد، یک اوپراتور جدید بر اساس یک بخش بی اثر متقارن[[3]](#footnote-3) در مربع تانسور گرادیان سرعت  :

1. 

که در آن . دومین ثابت این تانسور به فرم  است. نمیتوان هیچگونه رابطه ای بین میانگین آن و طیف انرژی سینتیکی یافت. اگرچه این اوپراتور می تواند به صورت ،  یک همگن نسبت به فرکانس است. ثابت *C* به صورت عددی مقدار دهی می شود و بنابراین  متوسط اضمحلالی مشابهی را نسبت به مدل اسماگورینسکی تولید میکند. این منجر می شود به:

1. 
2.  و  برای فرمولسازی های شش و چهار نقطه ای.  ، 

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

1. اوپراتوری تابع کرنش**[[4]](#footnote-4)** و نرخ چرخش**[[5]](#footnote-5)**

اوپراتورها باید به صورت محلی عمل کنند به طوری که مقیاس های کوچک عهده دار اضمحلال در آن منطقه باشند. توسعه ساختار تابعی که تابع  و  است، هنگام استفاده از مشتق های سرعت مرتبه اول می دهد:

1. 

با استفاده از تئوری کیلی-همیلتون، اوپراتور  به صورت زیر توسعه می یابد.

1. 

مدل LES بر پایه  و یا  قابلیت شناسایی ساختارهای آشفتگی توسط نرخ کرنش و چرخش، قابلیت بیشتر در احتمال محلی شدن نرخ کرنش را دارد. در حالت خاص تنش محط، که داریم:

1. 

مقدار  برابر صفر خواهد شد. این اتفاق بدین معنی است که هیچگونه ویسکوزیته گردابه ای در جریان آرام نزدیک دیاره با استفاده از مدل  تولید نخواهد شد. بنابراین مقدار نفوذ و پراکندگی آشفتگی قابل چشم پوشی است همانند امواج ناپایدار خطی توسعه یافته در اوپراتور فیلتر. این مزیت بسیار بزرگ نسبت به اوپراتورهای غیر فیلتری است.

1. رفتار اوپراتور برای جریان های محدود به دیواره

اگر *y* جهت نرمال به دیواره باشد، انبساط تانسور مقیاس زیرشبکه ای در محدوده  و  نشان میدهد که . با توجه به رفتار  که در این محدوده مرتبه یک است، میتوان تصدیق کرد که ویسکوزیه گردابه ای باید از مرتبه سوم باشد. با فرض اینکه مقیاس برش ∆ نقش مهمی را در ویسکوزیته گردابه ای در نزدیکی دیواره ایفا نکند و مقدار ثابت *C* ثابت باشد، هیچ کدام از اوپراتورهای قبلی رفتار مناسبی را نشان نمیدهند (جدول 2). یک رفتار مناسب برای ویسکوزیته گردابه ای نزدیک دیواره توسط یک رابطه بسیار پارامتریک و تعدیل کننده ون-دریست[[6]](#footnote-6) قابل دستیابی است. اگرچه این روش نیازمند داشتن دانش ضریب اصطکاک دیواره است که موجب بسیاری از محدودیت ها می شود. یک روش برای بدست آوردن ثوابت مناسب مقیاس در تعدادی از اوپراتورهای قبلی.

1. رفتار دیواره در اوپراتورهای کلاسیک برای مصارف مدلسازی مقیاس های زیر شبکه ای

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

1. تابع ساختار تطابقی فیلتر شده**[[7]](#footnote-7)**
2. 

*C* ثابتی است که به صورت تئوری از مدل استاندارد فیلتر شده به دست می آید. به دلیل اینکه تصحیح دیواره  تقریبا برای آشفتگی ایزوتروپیک برابر 1 است. این مدل نتایج خوبی را در شبکه های درشت لایه مرزی حاصل میکند.

1. 

که  برابر است با:

1. 

که در آن k ثابت فون کارمن، d حداقل فاصله گره از دیواره، Cw ضریب 0.325 و V حجم سلول است.

1. بخش‌های زیر برنامه

در این بخش به آرایه‌های موقتی که در این زیر برنامه مورد نیاز هستند فضا اختصاص داده می‌شود.

1. محاسبه مقادیر اسکالر با استفاده از مقادیر بقایی

در این بخش با استفاده از مقادیر بقایی سلول های محاسباتی، مقادیر سرعت در راستای دکارتی، محاسبه می‌گردند.

1. محاسبه مقادیر فیلتر شده

مقادیر محاسبه شده در مرحله قبل جهت استفاده در بخش های بعدی با استفاده از فیلتر آزمایشی فیلتر می شود که برای اینکار از زیربرنامه LES\_Explicit\_Averaging3D استفاده می گردد. مقایر فیلتر شده بصورت زیر می باشد:

1. 
2. محاسبه مقادیر روی اضلاع

از آنجا که جهت محاسبه گرادیان ها به مقادیر روی اضلاع نیاز است در این بخش به محاسبه آنها پرداخته می شود که این مقادیر بصورت زیر است. در اینجا لازم است توجه شود که مقادیر فیلتر شده در اضلاع مرزی وجود ندارد و بطور ساده از مقادیر فیلتر نشده در این اضلاع بجای مقادیر فیلتر شده استفاده خواهد شد.

1. 
2. محاسبه گرادیان‌ها

در این بخش به محاسبه‌ی گرادیان‌های سرعت و سرعت فیلتر شده در جهت های مختلف با استفاده از زیر رنامه LES\_Cell\_Gradiant3D پرداخته می‌شود. این مقادیر بصورت زیر می باشد:

1. 
2. محاسبه تانسور‌های کرنش

تانسور‌های کرنش  در این بخش محاسبه می‌گردند. این مقادیر در حالت سه بعدی و در مختصات دکارتی بصورت زیر می باشد:

1. 
2. محاسبه تانسور‌های ورتیسیتی

تانسور‌های ورتیسیتی  در این بخش محاسبه می‌گردند. این مقادیر در حالت سه بعدی و در مختصات دکارتی بصورت زیر می باشد:

1. 
2. محاسبه اندازه تانسور کرنش و ورتیسیتی

در این بخش با استاده از قانون ضرب انیشتن مقدار و  به دست می آید. برای آن که برای خواننده گرامی ملموس شود که قانون جمع انیشتین دقیقا چگونه است داریم:

1. 
2. 
3. محاسبه تانسور‌

تانسور‌های  از رابطه زیر به دست می آید.

1. 
2. محاسبه تانسور‌

در این بخش نیز با استفاده از قانون ضرب انیشتن مقدار  محاسبه می شود.

1. محاسبه ضریب 

در این بخش ضریب  محاسبه می شود.

1. 
2. محاسبه ویسکوزیته توربولانسی

در این بخش با استفاده از معادله زیر، ویسکوزیته توربولانسی محاسبه می شود.

1. 

1. Different Invariant [↑](#footnote-ref-1)
2. Standard Centered Differencing [↑](#footnote-ref-2)
3. Traceless Symmetric [↑](#footnote-ref-3)
4. Strain [↑](#footnote-ref-4)
5. Rotation Rate [↑](#footnote-ref-5)
6. Van-Driest [↑](#footnote-ref-6)
7. Adaptive Filtered Structure Function [↑](#footnote-ref-7)