



**زیربرنامه:**

KwWilcox\_Main3D

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **توسعه دهندگان** | مرتضی نامور |  |
| **تهیه کنندگان مستند** | مرتضی نامور | |
| **تاییدکنندگان** | مرتضی نامور | |
| **تاریخ تنظیم سند** | 28/11/1396 | |
| **شناسه سند** | **MC5F109F1** | |
| **زبان برنامه‌نویسی** | **Fortran 90** | |

1. وظایف

این زیربرنامه، زیربرنامه اصلی مدل آشفتگی می­باشد که سایر زیربرنامه­ها در آن فراخوانده می­شوند و درنهایت نیز، لزجت گردابه­ای و بخش نوسانی سرعت یعنی  یا بعبارت دیگر  محاسبه می­گردد.

1. مدل k-omega-wilcox

مدل k-ω، مدل دو معادله ای می‏باشد که اولین بار توسط کولموگروف در سال 1942 ارایه شد. در این مدل، انرژی جنبشی توربولانسی بعنوان یکی از پارامترهای توربولانسی انتخاب شده و پارامتر دوم، نرخ اضمحلال در واحد انرژی جنبشی توربولانسی (ω) می‏باشد. البته این مدل به دلیل غیر خطی بودن معادلاتش پیچیدگی‏های خاصی دارد. در ادامه‏ کارهایی که در زمینه‏‏ توسعه مدل k-ω انجام شد در دانشگاه امپریال کالج انگلستان، اسپالدینگ نسخه‏ی بهبود یافته‏ی مدل کولموگروف را ارایه داد که برخی عیب‏های آن برطرف شده بود. اندکی بعد از ارایه‏ نسخه‏های مدل k-ω، ویلکاکس و همکارانش توسعه‏های بیشتری از این مدل را دنبال کرده و کاربردهای آن را بررسی کردند. بنابراین مدل k-ω توسط کولموگروف و اسپالدینگ ابداع شد و در وهله‏ی دوم گسترده‏ترین کارها توسط ویلکاکس ادامه پیدا کرد. در این بخش توضیحی اجمالی در مورد ماهیت فیزیکی کمیت‏های k و ω داده می‏شود. همانند دیگر مدل‏های توربولانسی دو معادله‏ای، k نشان‏دهنده‏ی معیار و میزانی از انرژی جنبشی می‏باشد. k به طور ویژه چه مشخص کننده‏ انرژی جنبشی دقیق توربولانسی بوده یا انرژی جنبشی نوسانات در جهت برش باشد، از نظر بررسی، اهمیت خاصی ندارد. آن‏چه که ما به دنبال ماهیت فیزیکی هستیم این است که k متناسب با مربع سرعتی می‏باشد که در آن ترکیب توربولانسی موضعی رخ می‏دهد. کمیت دیگری که در این مدل پیشنهاد شده است (ω)، بعنوان نرخ اضمحلال ویژه شناخته می‏شود. بعد[[1]](#footnote-1) این کمیت متناسب با عکس زمان می‏باشد. احتمالا ساده‏ترین تعبیر فیزیکی از ω این باشد که این پارامتر نسبت نرخ اضمحلال توربولانسی (ε) به انرژی ترکیبی توربولانسی (انرژی جنبشی‏ای که در آن ترکیب توربولانسی رخ می‏دهد) است. معادله‏ مربوط به ω می‏تواند به عنوان فرم مدل شده‏ای از معادله‏ای در نظر گرفته شود که از نوشتن معادلات دقیق برای انرژی جنبشی توربولانسی و نرخ اضمحلال و نیز از تغییر دادن متغیرهای وابسته‏ای که در رابطه زیر ارایه شده است، برگرفته می‏شود:

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

1. معادلات مدل توربولانسی k-ω Wilcox

بطور خلاصه معادلات مدل توربولانسی k-ω Wilcox بصورت زیر نوشته می‏شود:

بقای جرم :

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

بقای ممنتوم:

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

بقای انرژی متوسط :

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

انرژی ترکیبی توربولانسی[[2]](#footnote-2)

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

نرخ اضمحلال ویژه :

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

به طوری که t زمان ،  بردار موقعیت، بردار سرعت متوسط گیری شده، ρ چگالی، p فشار، μ لزجت مولکولی می‏باشند. علاوه بر این‏ تانسور تنش رینولدز می‏باشد. حل معادلات انرژی جنبشی توربولانسی k و نرخ اضمحلال ویژه ω ، مستلزم بهره‏گیری از لزجت ادی می‏باشند که لزجت توربولانسیبصورت زیر تعریف می‏گردد:

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

تانسور تنش لزجت کل نیز به صورت زیر داده می‏شود:

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

به طوری که طبق تعاریف ارایه شده تانسور نرخ کرنش متوسط  بصورت زیر محاسبه می‏گردد:

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

در اینجا از تقریب بوزینسک استفاده می‏گردد که در این صورت تانسور تنش رینولدز متناسب با تانسور نرخ کرنش متوسط می‏باشد:

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

در نهایت بردار شار حرارتی  به صورت زیر تقریب زده می‏شود:

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

در رابطه‏ی ‏(11)،  و  به ترتیب عدد پرانتل لامینار و توربولانس می‏باشند.

ضرایب بستار[[3]](#footnote-3) مختلفی همچون ، ، ،  و  در معادلات (5) تا (7) ظاهر شده‏اند. همانطور که در بخش قبل گفته شد، تعیین ضرایب بستار در معادلات توربولانسی بسته به نوع فیزیک و هندسه‏ مسئله می‏تواند مقادیر مختلفی داشته باشد. این مقادیر مختلف در کارهای قبل از ویلکاکس ارایه شده بودند. ویلکاکس با توجه به معضل موجود در پیاده‏سازی معادلات توربولانسی در جریان‏های مختلف به اعدادی از ضرایب بستار دست یافته است که این اعداد حل بهینه را در تحلیل مسائل به دست می‏دهند و بدین ترتیب از مدل k-ω Wilcox در بازه‏ی گسترده از جریان‏های توربولانسی می‏توان استفاده کرد.

قبل از آنکه به روند تحلیلی که ویلکاکس برای به دست آوردن ضرایب بستار استفاده نمود، بپردازیم در این بخش توضیحی اجمالی در مورد ماهیت فیزیکی کمیت‏های k و ω داده می‏شود. همانند دیگر مدل‏های توربولانسی دو معادله‏ای، k نشان‏دهنده‏ی معیار و میزانی از انرژی جنبشی می‏باشد. k به طور ویژه چه مشخص کننده‏ انرژی جنبشی دقیق توربولانسی بوده یا انرژی جنبشی نوسانات در جهت برش باشد، از نظر بررسی، اهمیت خاصی ندارد. آن‏چه که ما به دنبال ماهیت فیزیکی هستیم این است که k متناسب با مربع سرعتی می‏باشد که در آن ترکیب توربولانسی موضعی رخ می‏دهد. کمیت دیگری که در این مدل پیشنهاد شده است (ω)، بعنوان نرخ اضمحلال ویژه شناخته می‏شود. بعد[[4]](#footnote-4) این کمیت متناسب با عکس زمان می‏باشد. احتمالا ساده‏ترین تعبیر فیزیکی از ω این باشد که این پارامتر نسبت نرخ اضمحلال توربولانسی (ε) به انرژی ترکیبی توربولانسی (انرژی جنبشی‏ای که در آن ترکیب توربولانسی رخ می‏دهد) است. با بازبینی معادله‏ی ‏(5)، همانطور که معلوم است، معادله‏ی مربوط به k مستقیما بعد از متوسط زمان طولانی[[5]](#footnote-5) دقیق مدلسازی شده است. از این منظر، این مدل با تمام مدل‏های دو معادله‏ای سازگار می‏باشد. معادله‏ مربوط به ω می‏تواند به عنوان فرم مدل شده‏ای از معادله‏ای در نظر گرفته شود که از نوشتن معادلات دقیق برای انرژی جنبشی توربولانسی و نرخ اضمحلال و نیز از تغییر دادن متغیرهای وابسته‏ای که در رابطه زیر ارایه شده است، برگرفته می‏شود:

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

تفاوت اولیه بین مدل ارایه شده توسط ویلکاکس و دیگر مدل‏ها، فرم معادله‏ای است که برای به دست آوردن ω استفاده شده است. معادله‏ مشتقی از ω، بر خلاف کارهای قبلی که تابعی از توان اول آن بوده، در این مدل تابع توان دوم ω می‏باشد. (به معادله‏ی 6 مراجعه گردد که نشان می‏دهد مشتق ω نسبت به زمان تابع مرتبه‏ی دوم از ω می‏باشد. در مدل‏های قبل از ویلکاکس این مشتق زمانی، تابع مرتبه‏ی اول از ω بوده‏اند.)

* 1. تعیین ضرایب بستار

در این بخش مباحثی مطرح می‏شود که در آنها ضرایب  ،  ،  ،  تعیین می گردند. مروری بر مدل‏هایی که توسط محققان در زمینه‏ مدل‏های توربولانسی ارایه شده است، نشان می‏دهد که این ضرایب به فیزیک مسئله در طول مدلسازی‏های توربولانسی بستگی دارند. در وهله‏ی اول برای بررسی ،معادلات با حضور ترم بازنویسی می‏گردند. بازنگری نتایج معادلات نشان می‏دهد که این باز‏مقیاس کردن ω با  معادل است. بنابراین، بدون از دست دادن کلیت مساله، نتیجه‏گیری می‏شود که مقدار  در واقع مقدار واحد را داراست.

در مرحله‏ی بعدی به نسبت  به  پرداخته می‏شود. معادلات ‏(5)‏ و (6) برای همگن کردن روابط به صورت زیر بازسازی می‏شوند:

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

که در آن حل مجانبی برای *k* به صورت زیر تقریب زده می‏شود:

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

مشاهدات تجربی نشان می‏دهند که  برای توربولانس ایزوتروپیک همگن منجر به می‏شود.

اندازه ضرایب  و می‏توانند به وسیله‏ی به اصطلاح "لایه‏ی دیواره[[6]](#footnote-6)" تعیین شوند. لایه دیواره به عنوان قسمتی از لایه‏ی مرزی که به اندازه کافی دور از سطح است تعریف می‏شود که در اینصورت لزجت مولکولی نسبت به لزجت توربولانسی قابل صرف‏نظر است ولی هنوز به اندازه‏ی کافی نزدیک است که تاثیرات جابجایی نسبت به نرخی که در آن توربولانس به وجود آید و از بین برود قابل صرف‏نظر باشد. در این حالتِ حدی از لایه مرزی فشار ثابت غیر قابل تراکم ، ، معادلات (3 تا 11) به صورت زیر ساده می شود:

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

ما به دنبال شرایطی هستیم که این معادلات ساده شده، و به راه حلی برسند که با قانون دیواره سازگار باشد. بعنوان مثال سرعت به صورت خطی با لگاریتم فاصله از سطح تغییر کند. به صورت ساده می توان ثابت کرد که معادله ‏(15) راه حلی را دارا می‏باشد که با قانون دیواره[[7]](#footnote-7) سازگار است :

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

که در آن  همان سرعت اصطکاک معمولی است و  ثابت فون کارمن می‏باشد. یک محدودیت در حل معادله ‏(18) وجود دارد : تنها یک رابطه بین ثابت فون کارمن و ضرایب بستار وجود دارد. مخصوصا معادله زیر باید برقرار باشد:

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

بعلاوه، باید در نظر داشت که تنش برشی رینولدز در لایه‏ی دیواره ثابت، و برابر با  است. بازبینی معادله ‏(19) نشان می‏دهد که این امر در لایه دیواره نتیجه‏ی را به همراه خواهد داشت. گستره‏ای از اندازه‏گیری‏های تجربی نشان می‏دهند که نسبت  به  در لایه دیواره، برابر با 3/0 است. بنابراین پیش‏بینی حل لایه دیواره با مشاهدات تجربی سازگار بوده و  را تنیجه می‏دهد.

به طور خلاصه، مباحث مطرح شده در این بخش برای تعیین مقادیر ، وکافی هستند. همچنین معادله ‏(20)، را بر حسب مقادیر  که هنوز تعیین نشده است نشان می‏دهد. نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل‏ها در بخش بعدی مقادیر  و  را بدست می آورند.

ضرایب بستار[[8]](#footnote-8) مختلفی همچون  ،  ،  ،  و  در معادلات ‏(5)‏ و (6) ظاهر شده‏اند. همانطور که در بخش قبل گفته شد، تعیین ضرایب بستار در معادلات توربولانسی بسته به نوع فیزیک و هندسه‏ مسئله می‏تواند مقادیر مختلفی داشته باشد. مقادیر این ضرائب به شرح زیر می باشند:

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

* 1. تحلیل لایه‏ی معیوب[[9]](#footnote-9)

در این قسمت، با استفاده از روش اغتشاش تکین به تجزیه و تحلیل ساختار مدل پیش‏بینی شده‏ی لایه معیوب کلاسیک می‏پردازیم. در این بخش، تاثیرات گرادیان فشار نیز آورده شده است. بعلاوه آنالیز برای سه مدل توربولانسی انجام شده است : مدل فرض شده در معادلات (5 تا 11) ، مدل ویلکاکس و روبسین و مدل جانس- لاندر . در ابتدا ما جزییات روش حل اغتشاشی را مرور می‏کنیم. سپس حل‏ها را در هر سه مدل بدون در نظر گرفتن گرادیان فشار مقایسه می‏کنیم و در نهایت مقادیر انتخابی  و  را توجیه می‏کنیم.

* 1. حل اغتشاشی

در گذشته تنها آنالیز جزئی لایه معیوب برای هر سه مدل توربولانس مربوط به براش و فراندل ( برای مدل اغتشاش طول) و ویلکاکس و تراچی ( برای مدل ) بودند ]1و2[ در هیچ حالتی تاثرات گرادیان فشار مشخص نشده بود. در این قسمت ویلکاکس، مدل را برای منظور کردن گرادیان فشار گسترش داده است.

در مطالعه لایه معیوب تحلیل را محدود به جریان های غیر قابل تراکم می‏کنیم و به دنبال حل اغتشاشی هستیم. مختصات عمودی بی بعد به صورت زیر تعیین می‏شود :

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

که در آن  ضخامت جابجایی می‏باشد. سرعت به صورت زیر به‏ دست می‏آید :

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

که  به صورت زیر نوشته می‏شود:

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

مختصاتی که در معادله ‏(24) ظاهر شده است مختصات کلاسیک لایه معیوب می‏باشد. علاوه بر این، این نکته قابل ذکر است که گرادیان فشار در معادله حرکت به صورت بی‏بعد به شکل زیر ظاهر می‏شود :

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

که در آن  تنش برشی سطح است.  نیز به عنوان پارامتر تعادل ذکر شده ‏است.

1. شرایط مرزی آشفتگی

در این قسمت شرایط مزری مورد استفاده در مدل آشفتگیk-omega-wilcoxارایه می شود:

همانطور که گفته شد، شرط مرزی ورودی در جریان­های خارجی در مدل  به صورت زیر پیشنهاد داده شده است [3]:

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

لازم به ذکر است که در این رابطه و  متغیرهای بی­بعد شده می­باشند. بر روی دیوار نیز شرایط مرزی مطابق رابطه زیر می­باشند [4]:

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

برای شرط مرزی خروجی و همچنین شرط مرزی تقارنی[[10]](#footnote-10) نیز مشتق اول  و  عمود بر مرز برابر صفر قرار داده می­شود [5]:

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

1. بی بعد سازی معادلات حاکم

یکی از ملاحظات مهم در حل عددی، بی­بعد سازی معادلات حاکم می­باشد. از آنجا که معادلات بکار رفته برای جریان اصلی بی­بعد شده اند، بنابراین در اینجا نیز باید معادلات بی­بعد شوند چرا که باید مقادیر بی­بعد به معادلات اصلی جریان معرفی شود. بدین منظور جهت بی­بعد سازی معادلات حاکم از پارامترهای زیر استفاده می کنیم [6]:

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

در این روابط متغیرهایدار، متغیرهای بابعد هستند و زیرنویسمعرف کمیت­های جریان آزاد می­باشند. همچنین ، طول مشخصه مسئله می­باشد. توجه شود که پارامترهای بی بعد سازی برای این معادلات باید دقیقا همان پارامترهایی باشد که برای بی بعد سازی معادلات جریان اصلی استفاده شده است. توجه شود که در اینجا  دارای بعد فرکانس می باشد.

* 1. بی­بعد سازی معادله 

در اینجا لازم است یادآوری شود که معادلات مربوط به مدل حاضر به صورت با­بعد بوده­اند که تنها به دلیل سادگی بالانویس \* از آنها حذف شده بود. بنابراین با جایگذاری پارامترهای بی­بعد سازی ذکر شده در معادله ‏(29)، شکل بی­بعد این معادله به صورت زیر به دست می­آید:

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

با کمی عملیات جبری معادله مربوط به  به صورت زیر در می­آید:

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

بنابراین با جایگذاری در معادله ‏(30)، شکل بی­بعد معادله  به صورت زیر به دست می­آید:

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

* 1. بی­بعد سازی معادله 

همانند حالت قبل، با جایگذاری پارمترهای بی­بعد سازی ارائه شده در معادله ‏(29) و انجام پاره­ای عملیات جبری، شکل بی­بعد شده معادله  حاصل می­شود:

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

1. شکل ماتریسی معادلات آشفتگی

جهت حل عددی و گسسته­سازی معادلات آشفتگی، راحت­تر است که این معادلات را به صورت ماتریسی بنویسم. به این منظور معادلات بی­بعد شده ‏(33) و ‏(36) به فرم ماتریسی زیر بازنویسی می­شوند:

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

در این رابطه  و و ، بیانگر بخش­های جابجایی[[11]](#footnote-11) می­باشند،  و  و  بیانگر بخش­های پخش­شوندگی[[12]](#footnote-12) و  ترم چشمه[[13]](#footnote-13) می­باشد. هرکدام از این بخش­ها به صورت زیر می­باشند:

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

1. نحوه گسسته سازی حجم محدود معادلات

در روش حجم محدود، اولین قدم در گسسته­سازی معادلات، انتگرال­گیری از شکل بقایی معادلات بر روی یک حجم کنترل می­باشد. برای این کار معادله ‏(37) را در نظر بگیرید. با انتگرال گیری از این معادله بر روی یک سلول محاسباتی خواهیم داشت[7]:

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

در ترم (1)، مقدار  بر روی یک حجم کنترل ثابت فرض می شود در نتیجه می توان ترم (1) را به صورت زیر ساده کرد:

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

که در این رابطه  مساحت حجم کنترل می­باشد.

برای ترم (2) و (3)، از قضیه گوس استفاده می شود. مطابق قضیه گوس[[14]](#footnote-14)، می­توان انتگرال روی سطح را به انتگرال روی مرزها تبدیل نمود:

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

که در این رابطه، بردار عمود بر مرز حجم کنترل می باشد:

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

و نیز مساحت قطاع­های تشکیل­دهنده مرزهای حجم کنترل می­باشد. مطابق شکل زیر:

بنابراین با تعریف ، می­توان ترم (2) را به صورت زیر نوشت:

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

در این رابطه،  تعداد اضلاع تشکیل دهنده هر یک از سلول های محاسباتی می­باشد.

ترم چشمه را نیز می­توان به صورت زیر ساده کرد:

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

بنابراین درنهایت می­توان معادله ‏(18) را به صورت زیر بازنویسی کرد:

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

نحوه گسسته­سازی مکانی بخش جابجایی و بخش پخش­شوندگی در زیربرنامه­های مربوطه به نحو مبسوط توضیح داده خواهد شد.

1. گسسته سازی زمانی

معادله ‏(24) را می توان به فرم یک معادله دیفرانسیل معمولی[[15]](#footnote-15) به صورت زیر بازنویسی کرد:

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

در این تحقیق، به منظور افزایش دقت و پایداری از روش صریح چند مرحله­ای رانگ-کوتای[[16]](#footnote-16) مرتبه چهار جهت گسسته­سازی زمانی استفاده شده است. البته جهت بدست آوردن حل جریان­های دائم، می­توان از گام زمانی موضعی[[17]](#footnote-17) استفاده نمود که سرعت همگرایی را تا حد زیادی بهبود می­بخشد. شکل کلی اعمال الگوریتم m مرحله­ای رانگ-کوتا به صورت زیر می­باشد [8]:

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

در این رابطه بالانویس نشان­دهنده گام زمانی می­باشد و بالانویس نشان­دهنده مرحله رانگ-کوتا می­باشد. مقدار استاندارد ضرایب  تا  از رابطه زیر محاسبه می­گردد:

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

در این تحقیق از روش چهارمرحله­ای استفاده شده است.

1. بخش­های زیربرنامه

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

1. تعیین ثوابت موجود در مدل 

در این قسمت، ثوابت موجود در مدل  با توجه به رابطه زیر مشخص شده است.



1. مقداردهی به آرایه­های مربوط به زمان قبل

در این قسمت، مقادیر بقایی مربوط به زمان قبل جایگذاری می­شوند. همچنین مقدار لزجت آشفتگی مربوط به زمان قبل نیز جهت محاسبه مقدار باقیمانده، جایگذاری می­شود.

1. حل معادلات آشفتگی در حلقه مربوط به روش رانگ-کوتا

در یک حلقه به تعداد مراحل روش رانگ-کوتا معادلات  و  حل خواهند شد.

1. محاسبه ضرایب روش رانگ-کوتا

با استفاده از معادله ‏(47)، ضریب هرکدام از مراحل روش رانگ-کوتا محاسبه می­گردد.

1. محاسبه شرایط مرزی

در این قسمت، کلیه شرایط مرزی با فراخوانی زیربرنامه Kw \_BC3D تعیین می­گردند.

1. محاسبه مشتق سرعت در مرکز سلول

در این قسمت، با فراخوانی زیربرنامه Velocity\_CellGrad3D، مشتق اول مولفه­های سرعت در مرکز همه سلول­ها محاسبه می­شوند.

1. محاسبه مشتق متغیرهای آشفتگی روی اضلاع سلول­

در این قسمت، با فراخوانی زیربرنامه KFi\_FaceGrad3D، مشتق اول متغیرهای آشفتگی  و  روی تمام اضلاع محاسبه می­شوند. این زیربرنامه بصورت کلی و برای تمام مدل های آشفتگی دو معادله ای تدوین شده است.

1. محاسبه بخش جابجایی

در این قسمت با فراخوانی زیربرنامه KFi\_Con3D، مقدار بخش جابجایی محاسبه می­شود. بخش جابجایی به صورت بالادست گسسته­سازی شده است.

1. محاسبه بخش پخش­شوندگی

در این قسمت با فراخوانی زیربرنامه KFi\_Dif3D ، مقدار بخش پخش­شوندگی محاسبه می­شود. بخش پخش­شوندگی به صورت مرکزی گسسته­سازی شده است.

1. محاسبه ترم چشمه

در این قسمت با فراخوانی زیربرنامه KwWilcox\_Source3D، ترم چشمه محاسبه می­شود.

1. محاسبه مقادیر توربولانسی تمام سلول­های شبکه و لزجت توربولانسی

در یک حلقه تکرار بر روی تمامی سلول­های شبکه، مقادیر توربولانسی یعنی  و  تمام سلول­ها محاسبه می­گردد. در اینجا پیشروی در زمان با استفاده از روش رانگ-کوتا انجام می شود.

1. اطمینان از مثبت بودن متغیرهای آشفتگی

در صورتی که مقدار هرکدام از متغیرهای آشفتگی منفی شد، مقدار مثبت زمان قبل جایگزین آن می­شود. به این ترتیب اطمینان حاصل می­شود که متغیرهای آشفتگی همواره مثبت هستند.

1. محاسبه متغیرهای آشفتگی

در این قسمت با توجه به مقادیر بقایی به دست آمده، مقدار  و  محاسبه می­شوند

1. محاسبه لزجت آشفتگی

لزجت آشفتگی با استفاده از رابطه ‏(7) محاسبه می­شود.

.

1. مراجع
2. Bush, W. B., & Fendell, F. E. (1972). Asymptotic Analysis of Turbulent Channel and Boundary-Layer Flow. Journal of Fluid Mechanics, 657 - 681.
3. Wilcox, D. C., & Traci, R. M. (1976). A Complete Model of Turbulence. AIAA Paper.
4. P. R. Spalart and C. L. Ramsey, "Effective Inflow Conditions for Turbulence Models in Aerodynamic Calculations," AIAA Journal, vol. 45, pp. 2544-2553, 2007
5. F. R. Menter, "Two-Equation Eddy-Viscosity Turbulence Models for Engineering Applications," AIAA Journal, vol. 32, pp. 1598-1605, 1994.
6. D. A. Anderson, J. C. Tannehill and R. H. Pletcher, Computational fluid dynamics and heat transfer, Washington: Hemisphere, 1984.
7. H. K. Vesteeg and W. Malalasekera, An Introduction to Computational Fluid Dynamics, 2007.
8. K. A. Hoffmann and S. T. Chiang, Computational Fluid Dynamics Vol 3, 2000.
9. D. A. Anderson, J. C. Tannehill and R. H. Pletcher, Computational fluid dynamics and heat transfer, Washington: Hemisphere, 1984.

1. Dimension [↑](#footnote-ref-1)
2. Turbulent mixing energy [↑](#footnote-ref-2)
3. Closure Coefficients [↑](#footnote-ref-3)
4. Dimension [↑](#footnote-ref-4)
5. Long-time-averaged [↑](#footnote-ref-5)
6. Wall layer [↑](#footnote-ref-6)
7. Law of the wall [↑](#footnote-ref-7)
8. Closure Coefficients [↑](#footnote-ref-8)
9. Defect-layer [↑](#footnote-ref-9)
10. *Symmetric Boundary Condition* [↑](#footnote-ref-10)
11. *Convective Term* [↑](#footnote-ref-11)
12. *Diffusion Term* [↑](#footnote-ref-12)
13. *Source Term* [↑](#footnote-ref-13)
14. *Guass Theorem* [↑](#footnote-ref-14)
15. *Ordinary Differential Equation* [↑](#footnote-ref-15)
16. *Multi-Stage Runge-Kutta Method* [↑](#footnote-ref-16)
17. *Local Time Step* [↑](#footnote-ref-17)