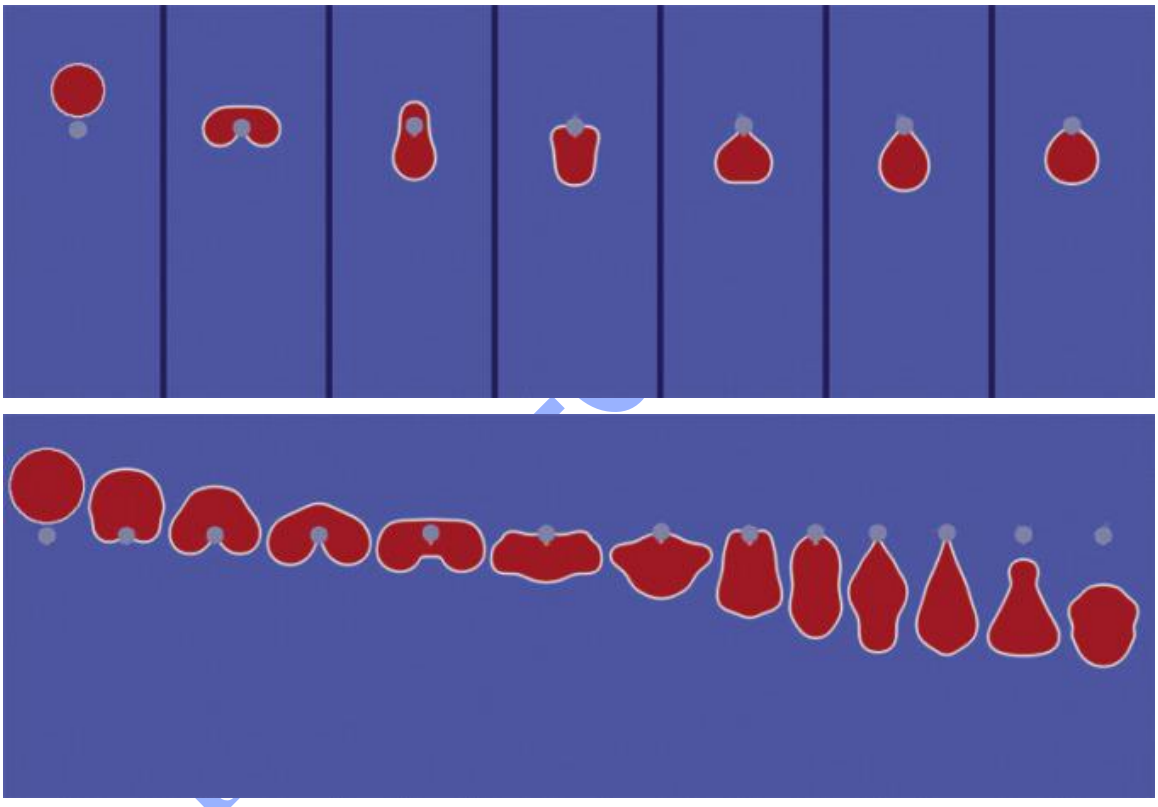
www.novin-eng.ir

به نام خدا

مستند سازی حلگر بر پایه ی روش حجم سیال (VOF) موجود در بسته ی نرم افزاری اپن فوم به نام interFoam



متد حجم سیال (VOF)

معرفی

متد حجم سیال که توسط Hirt و Nicolas ارائه شده است، مسیر جدیدی را در شبیه سازی جریان های چند فازی به وجود آورده است. این متد بر تعریف یک تابع مقیاس دلالت می کند. این تابع به ما اجازه میدهد که بدانیم سلول محاسباتی توسط یک سیال اشغال شده است یا توسط سیال دیگر یا به صورت تر کیبی از هر دو است، به صورت نقل قول از پیپر اصلی :

"فرض می کنیم که ما یک تابع F را تعریف میکنیم که مقدار آن در هر نقطه که توسط سیال اشغال شده است،برابر مقدار ۱ است و در غیر این صورت مقدار آن صفر است.سپس مقدار متوسط F در یک سلول کسر حجمی سلول اشغال شده به وسیله ی سیال را نشان میدهد.به عبارتی،مقدار واحد F در یک سلول متناظر با سلول پر از سیال خواهد بود،در حالی که،مقدار صفر نشان می دهد که سلول شامل سیال نیست.سلول های با مقادیر F بین صفر و یک سطح آزاد یا سطح مشترک را شامل می شوند".

جهت عمود بر مرز جهتی است که مقدار F در آن به سرعت تغییر میکند.چون F یک تابع پله ای سات،مشتقات آن باید به روش خاصی محاسبه شود. و زمانی که به طور مناسب تعیین شد،مشتق ها برای تعیین نرمال مرز استفاده خواهند شد.

مدل ریاضی

در متد سنتی حجم سیال (VOF) ،معادله ی انتقال برای یک تابع شناساگر(مقیاس)،کسر حجمی را برای یک فاز بیان میکند به طور همزمان با معادلات پیوستگی و مومنتوم حل می شود:

$$\nabla .U = 0 \qquad (۱۰۰)$$

novin-eng.ir

www.novin-eng.ir

$$\frac{\partial \gamma}{\partial t}+\nabla.(U\gamma)=0 \quad \rho \qquad (۱۰۱)$$

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t}+\nabla\cdot(\rho UU)=-\nabla p+\nabla\cdot T+\rho f_b \qquad (۱۰۲)$$

در اینجا U میدان سرعت را معرفی میکند که به وسیله ی دو سیال به اشتراک گذاشته شده است،γ کسر فازی است،T تانسور تنش ویسکوز دویاتوریک است و به صورت $T=2\mu S-2\mu(\nabla\cdot U)\frac{I}{3}$ تعریف میشود با نرخ متوسط تانسور کرنش $S=\frac{1}{2}\left[\nabla U+(\nabla U)^T\right]$ و $I=\delta_{ij}$ ، ρ چگالی است،p فشار است و f_b نیروهای بدنی بر واحد جرم است.

*در شبیه سازی های VOF نیروهای اخیر شامل جاذبه و اثرات تنش سطحی در فصل مشترک میشوند.کسر حجمی γ می تواند مقادیری در رنج $0\le\gamma\le1$ داشته باشد که مقادیر ۰ و ۱ متناظر با ناحیه ی اشغال شده توسط فقط یک فاز هستند،به عبارت دیگر، $\gamma=0$ برای گاز و $\gamma=1$ برای مایع.قطعا،گرادیان های کسر فازی فقط در ناحیه ی فصل مشترک اعتبار دارند و محاسبه میشوند.

-در متد VOF دو سیال غیر قابل امتزاج به عنوان سیال موثر درون دامنه در نظر گرفته شده اند.خصوصیات فیزیکی هرکدام از آن ها به صورت یک متوسط وزنی بر پایه ی توزیع کسر حجمی مایع،محاسبه شده است.بنابراین به صورت معادل با خصوصیات هر سیال در نواحی اشغال شده ی متناظر آن ها می باشد و فقط در عرض فصل مشترک تغییر میکند.

$$\rho=\rho_l\gamma+\rho_g(1-\gamma) \qquad (۱۰۳)$$

novin-eng.ir

$$\mu = \mu_l \gamma + \mu_g (1-\gamma) \qquad (۱۰۴)$$

که ρ_l, ρ_g به ترتیب چگالی های مایع و گاز هستند.

یکی از مسائل بحرانی در شبیه سازی عددی جریان سطح آزاد با مدل VOF،پایستار بودن کسر فازی است.این مخصوصا در مورد کیس های با نسبت دانسیته ی بالا ما بین دوفاز صدق میکند،جاییکه در آن خطاهای کوچک در کسر حجمی می تواند منجر به خطاهای چشمگیر در محاسبه ی خواص فیزیکی گردد.محاسبه ی دقیق توزیع کسر فازی خیلی دشوار است و بنابراین یک ارزیابی مناسب از انحنای سطح ،که برای تعیین نیروی تنش سطحی و گرادیان فشار در عرض سطح آزاد نیاز است،به سختی حاصل می گردد.

ناحیه ی فصل مشترک بین دو فاز بر روی تعداد کمی از شبکه ی سلول ها آغشته می شود،بنابراین به شدت به تفکیک پذیری و دقت شبکه حساس است.

در این متد این راحت نیست که از boundness و conservativness مطمئن شویم.

-در کار فعلی یک روش اصلاح شده مشابه روش های سنتی حجم سیال استفاده شده است،با یک مدل پیشرفته که توسط OpenCFD Ltd. فرموله شده است،که یک فرمولاسیون دو سیاله از مدل سنتی VOF را در چارچوب روش حجم محدود بیان میکند.

در این مدل یک ترم کانوکتیو اضافه شده است که از مدلسازی سرعت به صورت میانگین وزنی سرعت های متناظر مایع و گاز در معادله ی انتقال کسر فازی،معرفی شده است،که هدف آن ایجاد یک تفکیک سطح مشترک بهتر و سطح مشترک تیزتر است.

این مدل برای جزیان های دوفازی،از مدل اویلری دو سیاله استفاده می کند،که معادلات کسر فازی برای هر فاز منفرد،به صورت جداگانه حل می شود.از این رو معادلات برای هر کسر فازی به صورت زی بیان میشود:

$$\frac{\partial \gamma}{\partial t} + \nabla \cdot (U_l \gamma) = 0 \qquad (۱۰۵)$$

novin-eng.ir

$$\frac{\partial(1-\gamma)}{\partial t}+\nabla\cdot\left[U_g(1-\gamma)\right]=0 \qquad (۱۰۶)$$

که در اینجا زیر نویس های l و g بیان کننده ی فازهای مایع و گازی می باشند.با فرض اینکه سهم سرعت های مایع و گاز برای تکامل یا تغییر شکل سطح آزاد،متناظر با کسر فازی متناظر است،سرعت سیال موثر در مدل VOF به صورت یک متوسط وزنی و به صورت زیر تعریف میشود:

$$U=\gamma U_l+(1-\gamma)U_g \qquad (۱۰۷)$$

معادله ی (۱۰۵) می تواند دو باره مرتب شده و به عنوان یک معادله ی تغییر شکل یافته برای کسر فازی γ استفاده شود:

$$\frac{\partial\gamma}{\partial t}+\nabla\cdot(U\gamma)+\nabla\cdot\left[U_r\gamma(1-\gamma)\right]=0 \qquad (۱۰۸)$$

-همانطور که مشاهده می کنید ترم $\nabla\cdot\left[U_r\gamma(1-\gamma)\right]$ همواره در فرمولاسیون پیوسته،برابر صفر است زیرا که در نواحی خارج از فصل مشترک به دلیل ۰ و ۱ بودن کسر فازی صفر می شود و در سطح مشترک هم چون یک تابع پله ای است و گرادیان آن صفر است برابر صفر می شود و سوم اینکه کلا با فرمولاسیون مکانیک محیط پیوسته این عبارت در انتها با اعمال قانون پیوستگی کلا برابر صفر خواهد شد یعنی $\nabla\cdot\left[U_r\gamma(1-\gamma)\right]=0$.این ترم معنی و مفهومی در فرمولاسیون پیوسته ندارد اما برای فشرده کردن سطح مشترک در فرمولاسیون گسسته،مخصوصا زمانی که سطح مشترک به اندازه ی کافی تیز نیست،مناسب است.

novin-eng.ir

در معادله ی (۱۰۸) $U_r = U_l - U_g$ ،بردار سرعت نسبی است که به عنوان سرعت فشردگی تعیین می شود.بنابراین،معادله ای که بر کسر حجمی حاکم است شامل یک ترم اضافه ی کانوکشنی می شود که بع عنوان ترم فشرده سازی شناخته می شود و نقش آن فشرده کردن سطح آزاد به سمت قسمت تیزتر آن است.

در مقایسه با معادله ی (۱۰۱) این ترم به عنوان یک سهم مصنوعی برای کانوکشن کسر فازی ظاهر می شود،اما زمانی که دیورژانس تعریف شده در معادله ی (۱۰۸) بر سرعت تعریف شده در معادله ی (۱۰۷) تکیه می کند،یک کوپل قوی تری بین مدل سنتی VOF و مدل دو سیاله بدست می آید.ترم کانوکشن اضافی به طور چشمگیری به تفکیک پذیری بالاتر سطح مشترک دوفاز کمک میکند،بنابراین با این روش از نیاز برای درست کردن یک Scheme خاص برای اجتناب می شود.این ترم فقط در ناحیه ی سطح مشترک فعال است و و در محدوده ی هردو کسر فازی حذف می شود.بنابراین بر روی حل در خارج از ناحیه ی سطح مشترک،اثری ندارد.

علاوه بر بازخورد مناسب برای فیزیک جریان،مزیت اصلی این فرمولاسیون جدید در مقایسه با روش سنتی VOF امکان تصویر برداری از سطح مشترک به صورت خیلی تیزتر و هشیارانه تر وجود دارد.

-معادله ی مومنتوم (۱۰۲) به منظور اینکه برای تاثیرات تنش سطحی معتبر باشد،اصلاح شده است.تنش سطحی در سطح مشترک مایع – گاز یک گرادیان فشار اضافی را تولید می کند که منتج به یک نیرو می شود که این نیرو در واحد حجم با استفاده از مدل (CSF) نیروی پیوسته سطح ارزیابی شده است:

$$f_\sigma = \sigma \kappa \nabla \gamma \qquad (۱۰۹)$$

که در اینجا κ انحنای متوسط سطح است و از رابطه ی زیر بدست می آید:

$$\kappa = \nabla \cdot \left(\frac{\nabla \gamma}{|\nabla \gamma|} \right) \qquad (۱۱۰)$$

معادله ی ۱۰۹ فقط برای کیس های با تنش های سطحی ثابت معتبر است که در اینجا در نظر گرفته شده است.

novin-eng.ir

در کیس های تنش سطحی متغیر،به عنوان مثال،به سبب توزیع دمای نایکنواخت،گرادیان تنش سطحی ایجاد میشود که سبب تولید تنش برشی اضافی در سطح مشترک می گردد،که باید ئر نظر گرفته شود.

هر دو سیال در کیس نیوتونی و تراکم ناپذیر در نظر گرفته شده اند ($\nabla \cdot U = 0$) و نرخ تانسور کرنش به صورت خطی به تانسور تنش مربوط شده است،که به صورت فرم مناسب برای گسسته سازی تجزیه شده است:

$$\nabla \cdot T = \mu\left[\nabla U + (\nabla U)^T\right] = \nabla \cdot (\mu \nabla U) + (\nabla U) \cdot \nabla \mu \qquad (۱۱۱)$$

*در یک سیستم تک فشار همانطور که برای متد فعلی VOF در نظر گرفته شده است،ترم گرادیان فشار نرمال در یک دیواره ی جامد غیر عمودی ثابت،با شرط عدم لغزش سرعت،برای هر فاز باید متفاوت باشد که این به سبب جزء هیدرواستاتیک ρg است زمانیکه فازها از دیواره جدا شده اند.به منظور ساده تر کردن شرط مرزی،این مرسوم است که فشار اصلاح شده به صورت روبرو تعریف می شود:

$$p_d = p - \rho g \cdot x \qquad (۱۱۲)$$

که x بردار مکان است.به منظور ارضا کردن معادله ی مومنتوم،گرادیان فشار به وسیله ی معادله ی (۱۱۲) بیان شده است و به صورت زیر مرتب می شود:

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho U U) - \nabla \cdot (\mu \nabla U) - (\nabla U) \cdot \nabla \mu = -\nabla p_d - g \cdot x \nabla \rho + \sigma \kappa \nabla \gamma \qquad (۱۱۳)$$

توجه کنید که :

$$\nabla p = \nabla(p_d + \rho g x) = \nabla p_d + g \cdot x \nabla \rho$$

نیروهای بدنی ناشی از گرادیان فشار و جاذبه به طور صریح به وسیله ی دوترم اول سمت راست معادله ی (۱۱۳) آورده شده اند.در مجموع مدل ریاضی کنونی، با معادله ی پیوستگی(۱۰۰) ،معادلهی سکر فازی (۱۰۸) و معادله ی مومنتوم (۱۱۳)،بدست می آید.

novin-eng.ir

مدل با تعریف یک رابطه ی مناسب برای سرعت فشردگی بسته میشود.به منظور حصول اطمینان از اینکه سرعت نسبی به هیچ وجه حل را تحت تاثیر قرار نمیدهد،این سرعت نسبی باید فقط در جهت عمود بر سطح مشترک عمل کند.به علاوه با بررسی معادله ی (۱۱۳) این مشخص می شود که که مقادیر U_r فقط بر روی سطوح محاسباتی استفاده خواهند شد.که در تطابق با گسسته سازی ترم های کانوکشن می باشد.

متدهای محاسباتی

-گسسته سازی ترم "فشردگی":برای گسسته سازی ترم فشردگی معادله ی (۱۰۸) ($\nabla\cdot[U_r\gamma(1-\gamma)]$) ،سرعت نسبی در صفحات سلول بر پایه ی بزرگترین اندازه ی سرعت در ناحیه ی فصل مشترک فرموله شده اند و جهت آن از گرادیان تغییر فاز تعیین شده است:

$$U_{r,f}=n_f\min\left[C_\gamma\frac{|\phi|}{|S_f|},\max(\frac{|\phi|}{|S_f|})\right] \qquad (۱۱۴)$$

که در اینجا ϕ شار حجمی سطح است،n_f شار نرمال واحد سطح است،که در صفحات سلول با استفاده از محاسبه شده است.

$$n_f=\frac{(\nabla\gamma)_f}{|(\nabla\gamma)_f+\delta_n|}\cdot S_f \qquad (۱۱۵)$$

*در مسیر نرمالیزه کردن گرادیان کسر فازی در معادله ی (۱۱۵) و معادله ی (۱۱۰)،فاکتور پایدار کننده ی δ_n استفاده شده است،که برای شبکه های نامنظم معتبر است.

$$\delta_n=\frac{\varepsilon}{\frac{\sum V_i}{(\frac{N}{N})^{\frac{1}{3}}}} \qquad (۱۱۶)$$

که N تعداد سلول های محاسباتی، و ε یک پارامتر کوچک است که در اینجا 10^{-8} تعیین شده است.

novin-eng.ir

*مدل استفاده شده یک مدل نسبتا ساده و قوی است که به طور پایه ای متکی به تعریف سرعت در معادله ی (۱۰۷) است.اگر یک حرکت توده ای کوچک از فاز گازی در مجاورت سطح آزاد وجود داشته باشد،سرعت نسبی نزدیک به سرعت سرعت فاز مایع خواهد بود .اگر سرعت هردو فاز از لحاظ بزرگی در یک اردر باشند،شدت فشردگی سطح آزاد به وسیله ی ثابت C_γ کنترل می شود.مه اگر این پارامتر برابر صفر باشد،کمکی نمیکند.اگر این عبارت برابر ۱ قرار داده شود یک فشردگی پایستار خواهیم داشت و برای مقادیر بزرگتر از ۱ یک فشردگی بهبود یافته داریم.

-زیر چرخه ی زمانی : این موضوع که همگرایی و پایداری خیلی به معادله ی کسر فازی حساس است، بین متدهای برپایه ی روش حجم سیال مشترک است.متدهای گسسته سازی محدود شده برای ترم های دیورژانس و کنترل گام زمانی استفاده شده اند تا بر این سختی های همگرایی و پایداری ،فایق آیند.هر چند که عموما پیشنهاد داده می شود که عدد کورانت محلی ماکزیمم را خیلی کوچکتر از ۱ نگه داریم،که این برای حل معادله ی کسر فازی ،در چندین زیرچرخه ،درون یک گام زمانی ،مفید است.گام زمانی که باید در یک زیر چرخه زمانی تنها استفاده شود،به وسیله ی تقسیم گام زمانی اصلی بر تعداد زیر چرخه ی ارایه شده،تنظیم شده است:

$$\Delta t_{sc} = \frac{\Delta t}{n_{sc}} \qquad (۱۲۰)$$

پس از اینکه کسرفازی γ در هر زیر چرخه آپدیت شده است،شار جرمی متناظر $F_{sc,i}$ از طریق صفحات سلول محاسبه شده است.شار جرمی کل F متناظر با گام زمانی اصلی (کلی)،که در معادله ی مومنتوم نیاز است،بدست آمده است از:

$$F = \rho U_f \cdot S_f = \sum_{i=1}^{n_{sc}} \frac{\Delta t_{sc}}{\Delta t} F_{sc,i} \qquad (۱۲۱)$$

- حلقه ی پیسو (PISO loop)

به منظور دستیابی به یک کوپلینگ مناسب بین سرعت و فشار در interFoam این ضروری به نظر می رسد که حلقه ی پیسو را با معادله ی مومنتوم منطبق کنیم و یک معادله ی جدید را برای فشار بدست آوریم.با شروع از معادله ی مومنتوم (۱۱۳) داریم :

novin-eng.ir

$$\frac{\partial(\rho U)}{\partial t}+\nabla\cdot(\rho UU)-\nabla\cdot(\mu\nabla U)-(\nabla U)\cdot\nabla\mu=-\nabla p_d-g\cdot x\nabla\rho+\sigma\kappa\nabla\gamma$$

براساس بخش های قبلی و کتاب های گسسته سازی به روش حجم محدود میتوانیم یک فرم گسسته شده از معادله ی مومنتوم را بدست آوریم:

$$a_p^u u_p=H(u)-\nabla p_d-g\cdot x\nabla\rho+\sigma\kappa\nabla\gamma \qquad (۱۲۲)$$

با مجزا کردن سرعت مرکز سلول داریم :

$$u_p=[a_p^u]^{-1}\{[H(u)-\nabla p_d-g\cdot x\nabla\rho+\sigma\kappa\nabla\gamma]-\nabla p_d\} \qquad (۱۲۳)$$

با جایگزینی این سرعت در داخل معادله ی پیوستگی این امکان وجود دارد که یک معادله ی پواسون را برای فشار p_d فراهم کنیم.

From continiuity : $\nabla\cdot U=0\ \rightarrow\ \nabla\cdot u_p=0$

$$\nabla.\{[a_p^u]^{-1}\nabla p_d\}=\nabla.\{[a_p^u]^{-1}[H(u)-g\cdot x\nabla\rho+\sigma\kappa\nabla\gamma]\} \qquad (۱۲۴)$$

سرانجام این ضروری است که شارهایی را که از پیوستگی پیروی می کنند،به صورت زیر بدست آوریم:

$$F=-(a_p^u)^{-1}S_f\cdot\nabla p_d+(a_p^u)^{-1}S_f\cdot\left[H(u)-g\cdot x\nabla\rho+\sigma\kappa\nabla\gamma\right] \qquad (۱۲۵)$$

novin-eng.ir

نگاهی به کتابخانه های اپن فوم

اعمال میدان های تانسوری

بیشتر بخش های دینامیک سیالات می تواند توسط محاسبات تانسوری شرح داده شود.که مرتبه ی این تانسورهای میتواند صفر و ۱ و ۲ باشد که به ترتیب نشانگر اسکالر،بردار و تانسور می باشند.،بنابراین سه کلاس پایه ای ایجاد شده است :scalarFields و vectorField و tensorFields .

سطح بعدی تانسورها به عنوان "میدان های تانسور هندسی" یا geometricTensorFields شناخته میشوند و شامل اطلاعات موقعیتی نیز می شوند که کلاس های قبلی فاقد آن هستند.این سری از کلاس ها برای سه مرتبه از تانسورها به صورت volScalarField ، volVectorField و volTensorField اعمال شده اند.

ذکر این نکته ضروری است که باید مابین به عنوان مثال میدان اسکالر (scalarField) و volScalarField تفاوت قائل شد هرچند که،به کامپایلر اجازه داده شده است که scalarField+volScalarField را به عنوان یک عمل قبول کند،که مناسب نمی باشد،بنابراین به جای آن از تقابل داده ها با یکدیگر استفاده شده است.

معمولا دو نوع از کلاس های مشتق تانسوری در اپن فوم اعمال شده است :

Fvc (finite volume calculus) :که داده های از پیش تعیین شده را به صورت صریح ارزیابی می کند (explicit) و یک میدان تانسوری هندسی را بر میگرداند.

Fvm (finite volume method) : که یک تعریف ماتریسی از عملیات را ارایه میدهد.

به بیان ساده تر fvc ترم های اضافه شده به معادله را به عنوان ترم چشمه در نظر میگیرد و با آن ها به صورت explicit برخورد میکند یعنی از گام زمانی قبل یا تکرار قبلی آن ،استفاده می کند.

Fvm ترم های اضافی وابسته به متغیر را درون تانسور ضرایب قطری جا می دهد و آن را به صورت حل همزمان یعنی implicit حل میکند.

novin-eng.ir

-همه ی مشتق های تانسوری ممکن که در اپن فوم اعمال شده اند : $\frac{\partial}{\partial t}, \nabla\cdot, \nabla, \nabla\times$.به علاوه اپراتور لاپلاسین به طور مجزا تعریف شده است یعنی مجزا از اینکه لاپلاسین برابر $\nabla\cdot\nabla$ است، تعریف شده.یکی از مشکلات کی در مسائل عددی باید از پس آن برآییم انتخاب Scheme (طرح یا رویه) دیفرانسیل گیری است که برای محاسبه ی مشتق ها مورد استفاده قرار میگیرد.

مشتق زمانی $\frac{\partial}{\partial t}$ می تواندبه صورت زیر استفاده شود:

volVectorField dUdt = fvc::ddt(U , EI)

که ورودی دوم مشخص میکند که کدام scheme دیفرانسیل گیری استفاده شده است (در این کیس Euler Implicit استفاده شده).

در FVM ،ترم های دیورژانس به وسیله ی انتگرال سطحی بر روی حجم های کنترل δ_{v_i} معرفی شده است.بنابراین فراخوانی تابع دیورژانس به صورت div(phi , Q) است،که phi شار سطحی است،میدانی که مقادیر بر روی صفحات سلول ذخیره شده اند، و Q،مشخصه ای ساست که به وسیله ی این شار ،منتقل شده است،و Q میدانی است که مقادیر آن بر روی مراکز سول ذخیره شده اند.به همین دلیل است که این عملیات نمیتواند به صورت div(phi*Q) انجام گیرد و فراخوانی گردد چونکه شار phi به صورت میدان سطحی است و Q به صورت میدان حجمی .

عملگر لاپلاس به صورت یک فراخوانی جدید اعمال شده نسبت به عملگرهای دیورژانس و گرادیان چون تعریف عددی آن ها متفاوت است.

-فرم های مختلفی از ترم چشمه نیز اعمال شده است.یک ترم چشمه میتواند صریح (Explicit) باشد در کیس های با نوع خاصی از معادلات که در این فرم ترم چشمه در سمت چپ و در قسمت ماتریس معلومات قرار میگیرد($Ax = B \quad in \quad B$)،یا میتواند به صورت ضمنی تعریف شود (implicit) با ورودی های ماتریسی که ضرایب معادلات بر روی ضرایب قطری ماتریس A اثر میکنند.

novin-eng.ir

ساخت یک ترم چشمه ی صریح به وسیله ی عملیات + و – بدست می آید و به صورت fvm + volScalarField تعریف می شود.ساخت یک ترم چشمه ی ضمنی با استفاده از تابع Sp(a,Q) بدست می آید،که متغیر مستقل Q را در نظر کمیگیرد که باید حل شود.

به عنوان یک مثال،معادلات پایستگی جرم را در نظر بگیرید:

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\phi) = 0 \quad , \quad \phi = \rho U$$

```
fvScalarMatrix    rhoEqn
(
    Fvm::ddt(rho) + fvc::div(phi)
);
```

که شار phi قبلا ارزیابی شده است،و این عبارت به وسیله ی دستور زیر حل میشود:

```
rhoEqn.solve();
```

برای کامل کردن مساله،اپراتور == تعریف شده است تا برابری یا معادل بود نترم های دو طرف معادله را از نظر ریاضی بیان کند.این اپراتور سبب می شود که کد به صورت اتوماتیک معادله را بازچینی کند(تمام ترم های ضمنی به درون ماتریس می روند و تمام ترم های صریح سهم بردار منبع میشوند.برای اینکه این عمل امکان پذیر باشد،اپراتورهای انتخاب شده باید اولویت پایین تری داشته باشند و این دلیل استفاده از == است.

مثال هایی از حلگر

معادله ی انتقال یک اسکالر

یکی از ساده ترین حلگرها و یک نقطه ی شروع عالی در درگ حلگر اپن فوم،حلگر scalarTransportFoam است،این حلگر،حل کردن معادله ی advection-diffusion یک اسکالر ناپایا را امکان پذیر می کند:

novin-eng.ir

$$\frac{\partial C}{\partial t}+\nabla\cdot(UC)-\Gamma\nabla^2 C=0 \qquad (۱۲۶)$$

که C کمیت غلظت اسکالر،U میدان سرعت و Γ ضریب نفوذ است.

```
1 #include "fvCFD.H"
2
3 // * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * //
4
5 int main(int argc, char *argv[ ])
6 {
7
8 # include "setRootCase.H"
9
10 # include "createTime.H"
11 # include "createMesh.H"
12 # include "createFields.H"
13
14
15 // * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * * //
16
17 Info<< "\nCalculating scalar transport\n" << endl;
18
19        # include "CourantNo.H"
20
21        for (runTime++; !runTime.end(); runTime++)
22          {
23                Info<< "Time = " << runTime.timeName() << nl << endl;
24
25                # include "readSIMPLEControls.H"
```

novin-eng.ir

```
26
27                  for (int nonOrth=0; nonOrth<=nNonOrthCorr; nonOrth++)
28                  {
29                      solve
30                      (
31                          fvm::ddt(T)
32                      + fvm::div(phi, T)
33                      - fvm::laplacian(DT, T)
34                      );
35                  }
36
37              runTime.write();
38          }
39
40    Info<< "End\n" << endl;
41
42     return(0);
43  }
44
45
46
47 //
*********************************************************************
* //
48
49 // createFields.H
50
51 Info<< "Reading field T\n" << endl;
```

novin-eng.ir