# معرفی نرم افزار انسیس فلوئنت (Ansys Fluent)

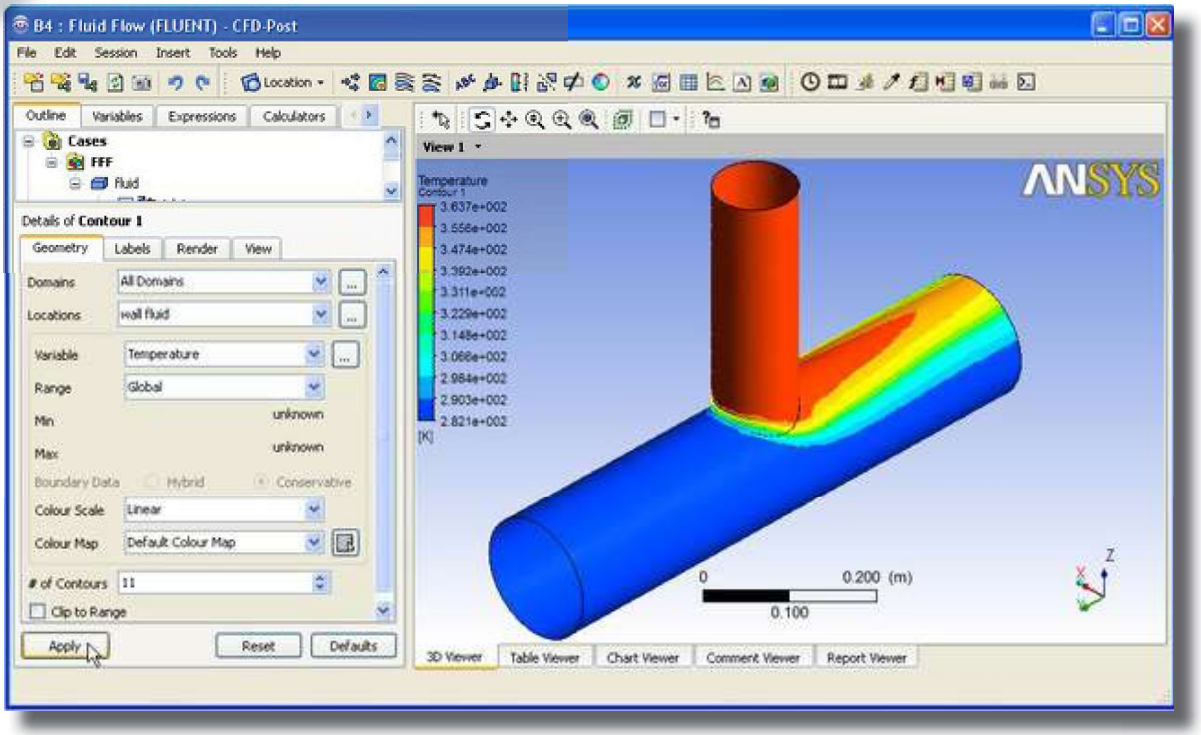
گرد آوری:

امیرحسین یزدان بخش

دانشجوی دکتری تخصصی مهندسی پلیمر، دانشگاه تهران

مقدمه

با گسترش استفاده از نرم افزار های تحلیل به کمک کامپیوتر و یا CAE، در شاخه مکانیک سیالات شاهد پیدایش نرم افزار های جدید و مهمی مانند انسیس فلوئنت هستیم. انسیس فلوئنت نام تجاری یک نرم افزار نسبتاً جدید در حوزه تحلیل های مکانیک سیالات و CFD است که در حال حاضر استفاده زیادی در آنالیز های مهندسی دارد. در این مطلب قصد داریم با این نرم افزار مهم و معتبر بیشتر آشنا شویم.




شکل ۱. محیط نرم افزار انسیس فلوئنت

## CFD چیست ؟

دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، شاخهای از مکانیک سیالات است که از روش ها و الگوریتمهای عددی برای حل و تجزیه و تحلیل سیستمهایی که شامل جریان سیال، انتقال حرارت و پدیده هایی نظیر واکنشهای شیمیایی سیال هستند بهره میبرد.

سیستم های زیادی از سال های دور برای شبیه سازی دینامیک سیالات محاسباتی طراحی شدهاند.

پیچیدگی معادلات حاکم بر مساله، گذرا بودن اغلب مسایل مهندسی، بالا بودن هزینه های مربوط به تجهیزات آزمایشگاهی و محدودیت استفاده از دستگاههای اندازه گیری در بسیاری از کاربردهای علمی از جمله دلایلی هستند که استفاده از روش های تحلیلی و آزمایشگاهی را در مقایسه با روشهای CFD محدود میکند.

تاریخچه پیدایش و گسترش دینامیک محاسباتی سیالات متناسب با تاریخ اختراع، رواج و تکامل کامپیوترهای رقمی بوده است. تا حدود انتهای جنگ جهانی دوم، بیشتر روش های مربوط به حل مسائل دینامیک سیالات به صورت تجربی بوده است. همچنین بیشتر نوآوری ها و نتایج بر جسته علمی با استفاده از این روش انجام شده است.

در اغلب موارد، نخستین کار با اهمیت در این رشته را به ریچاردسون نسبت می دهند، که در سال ۱۹۱۰ محاسبات مربوط به نحوه پخش تنش، در یک سد ساخته شده از مصالح ساختمانی را انجام داد. در این کار ریچاردسون از روشی تازه موسوم به رهاسازی برای حل معادله لاپلاس استفاده نمود. او در این شیوه حل عددی، داده های فراهم آمده از مرحله پیشین تکرار را برای تازه سازی تمامی مقادیر مجهول در گام جدید به کار گرفت.

در این مقاله در مورد اهمیت نرم افزار انسیس فلوئنت و کاربرد های آن صحبت میشود.

## معرفی نرم افزار انسیس فلوئنت

امروزه کدهای محاسباتی مختلفی در زمینه مسائل مربوط به دینامیک سیالات و انتقال حرارت موجود است که در حل مسائل مهندسی از الگوریتم های متنوعی استفاده می کنند. نرم افزار فلوئنت (Flu-ent) یکی از این نرمافزارهاست که از روش عددی حجم محدود در تحلیل مسائل مختلف استفاده می کند و از قابلیت های زیادی در تحلیل مسائل دینامیک سیالات برخوردار است.

یکی از مهمترین این قابلیتهای آن، امکان نوشتن کد توسط کاربر است که توان مدل سازی مسائل پیچیده را بالا میبرد. این نرم افزار امکان تغییر شبکه به صورت کامل و تحلیل جریان با شبکه های غیر سازمان یافته برای هندسه های پیچیده را فراهم میسازد. نوع شبکه های قابل دریافت توسط این نرمافزار شامل شبکه هایی با المانهای مثلثی و چهارضلعی برای هندسههای دو بعدی و چهاروجهی، شش وجهی و هرمی برای هندسههای سه بعدی میباشد.

همچنین Ansys Fluent برای کاربر امکان بهبود شبکه مانند ریز کردن یا درشتتر کردن شبکه در مرزها و مکانهای لازم را فراهم مینماید. این بهینه سازی برای حل مسائل، قابلیتی در اختیار کاربر قرار میدهد که نتایج را در قسمتهایی که دارای تغییرات شدید مثل لایه مرزی داشته باشند، به طور دقیق تر محاسبه کند. این قابلیتها زمان مورد نیاز برای حل مدل با یک شبکه مناسب را در مقایسه با شبکههای پیچیده به صورت قابل ملاحظه ای کاهش میدهد.

## مشخصات Ansys Fluent:

این نرم افزار با زبان برنامهنویسی C نوشته شده است و از تمامی توان و انعطافپذیری این زبان بهره میبرد. در نهایت این نرم افزار با استفاده از حافظه دینامیک، ساختار مناسب دادهها و اطلاعات و کنترل انعطاف

پذیر، محاسبات انجام میدهد. به علاوه استفاده از ساختار کلاینت و سرور موجب اجرای کارامد برنامه، کنترل سیستم و انعطاف پذیری کامل سیستم عامل می گردد. از آنجا که نرم افزار فلوئنت تنها یک نرم افزار محاسباتی است، لازم است از نرمافزارهای پشتیبانیکننده آن استفاده کرد.

از مهمترین نرم افزارهای پشتیبانی کننده فلوئنت می توان به انسیس، پاتران، نسترن، ای سیم و فیدپ اشاره کرد. نرم افزار های Design Modeler و Ansys Meshing از جمله کاربردیترین نرم افزار های انسیس هستند که میتوانند به راحتی با فلوئنت همگام شده و میدان جریان را حل کنند.

## قابلیت های نرم افزار انسیس فلوئنت

Ansys Fluent یک نرم افزار کامپیوتری چند منظوره برای مدلسازی جریان سیال، انتقال حرارت و واکنش شیمیایی در هندسه تعیین شده است. با توجه به محیط مناسب نرم افزار جهت تعریف مساله و شرایط پیچیده، تعریف شرایط مرزی گوناگون و حل مسائل پیچیده شامل تاثیر پدیده های مختلف به کمک این نرم افزار قابل حل می باشد. فلوئنت برای آنالیز و حل مسائل طراحی خاص، روش های شبیه سازی کامپیوتری متفاوتی را به کار می برد. از جمله توانایی های نرم افزار فلوئنت می توان به موارد زیر اشاره کرد:

- شبیه سازی جریان در هندسه های پیچیده دو بعدی و سه بعدی با به کار بردن محاسبات غیر سازمان یافته و بهینه سازی و حل شبکه
- جریانهای تراکم پذیر و تراکم ناپذیر
- تحلیل پایا یا گذرا
- جریانهای لزج، آرام و متلاطم
- سیالهای نیوتنی و غیر نیوتنی
- انتقال حرارت جابهجایی شامل جابهجایی آزاد یا اجباری
- ترکیب انتقال حرارت جابهجایی و هدایتی و تشعشعی
- مدل فریمهای چرخان یا ساکن و مشهای لغزان و مشهای متحرک
- واکنش ها و ترکیبات شیمیایی، شامل احتراق و مدلهای واکنشی
- افزودن ترم های اختیاری حجمی از گرما، جرم، ممنتوم، اغتشاش و ترکیبات شیمیایی
- محاسبات لاگرانژی برای تغییر فاز از ذرات و قطرات کوچک به حبابها شامل ترکیبی از همه با فاز یکنواخت
- جریان در محیط متخلخل
- مبدلهای حرارتی، فنها، رادیاتورها و بازده آنها
- جریانهای دوفازی و چندفازی
- جریانهای سطح آزاد با شکلهای سطح پیچیده

## مکانیزم عملکردی نرم افزار فلوئنت:

نرم افزار فلوئنت با تبدیل معادلات دیفرانسیل پارهای حاکم بر سیالات به معادلات جبری امکان حل عددی این معادلات را فراهم می‌کند. با تقسیم ناحیه مورد تحلیل به المان‌های کوچک‌تر و اعمال شرایط مرزی برای گره‌های مرزی و تقریب‌های مورد نیاز یک دستگاه معادلات خطی بدست می‌آید که با حل این دستگاه میدان سرعت، فشار و دما در ناحیه مورد نظر بدست می‌آید.

با استفاده از نتایج بدست آمده از حل معادلات می‌توان برآیند نیروهای وارد بر سطوح، ضرایب برا و پسا و ضریب انتقال حرارت را محاسبه نمود. در نرم افزار فلوئنت از روش ها و الگوریتم های مختلفی جهت رسیدن به جواب استفاده میشود، ولی در تمامی موارد، دامنه مساله به تعداد زیادی اجزا کوچک تقسیم شده و برای هر یک از این اجزا مساله حل میشود. در ادامه معرفی نرم افزار Fluent در مورد روش های عددی مورد استفاده در این نرم افزار بحث خواهیم کرد.

## روش‌های عددی مورد استفاده در نرم افزار فلوئنت

در اکثر نرم افزارهای عددی به طور کلی از سه روش برای حل مسائل مختلف استفاده می شود. نرم افزار فلوئنت نیز از این قاعده مستثنی نیست. این روشها به طور کلی به سه روش ذیل تقسیم میشوند.

- روش المان‌های محدود
- روش حجم محدود
- روش تفاضلات محدود

در میان این روش‌ها روش حجم محدود دارای کاربرد بیشتری بخصوص در مدل سازی جریان‌های تراکم ناپذیر می‌باشد.

یک مدل ریاضی عمومی به شرح زیر است:

$$P\left(\frac{\partial}{\partial x},\frac{\partial}{\partial y}\right)u=F$$

u=f شرط اولیه و Bu=g نیز شرط مرزی است.

در اینجا، P نشان‌دهنده عملگر دیفرانسیلی، u متغیر وابسته (متغیر حل)، F مولفه منبع، f تابع شرط اولیه، B یک اپراتور، g یک تابع در مرز را توصیف می‌کند. x مختصات فضا در هر سه جهت x و y و z را نشان می‌دهد.

مدل ریاضی می‌تواند پدیده‌ای فیزیکی مانند جریان سیال را توصیف کند. در اینجا، این مدل میتواند نشان‌دهنده بقای مومنتوم و جرم در فضا و زمان باشد. خوشبختانه، مدلهای ریاضی ناشی از قوانین بقا، همراه با مقادیر اولیه و شرایط مرزی کافی، اغلب خوش‌رفتار است. یعنی یک راه‌حل منحصربه‌فرد معمولاً برای آنها در شرایط مرزی و اولیه مشخص وجود دارد .

باوجود اینکه ممکن است یک راه‌حل منحصربه‌فرد و پایدار برای این مسئله وجود داشته باشد، پیدا کردن این راه‌حل تحلیلی ممکن است دشوار یا تقریباً غیرممکن باشد. به عبارتی عملیات لازم برای بدست آوردن تابع تحلیلی میتواند دشوار باشد. در عوض، مدل به صورت عددی فرموله میشود، که یک مدل ریاضی را تخمین می‌زند. سپس معادلات مدل عددی را می‌توان با استفاده از روش عددی در یک برنامه کامپیوتری حل کرد.

روش اجزا محدود و روش‌های حجم محدود، روش‌های عددی بر اساس گسسته سازی فضایی معادلات هستند. گسسته سازی زمانی نیز معمولاً با چند نوع طرح گام زمانی برای معادلات دیفرانسیل معمولی انجام می‌شود. مدل ریاضی تعریف‌شده در بالا مدل عددی زیر را می‌دهد:

$$P_h u_h = F_h$$

که درآن شرط اولیه و مرزی به ترتیب به صورت زیر تعریف می شوند :

$$u_h = F_h$$

$$\mathrm{B}_h \mathrm{u}_h = \mathrm{g}_h$$

که در آن h نشان‌دهنده یک پارامتر گسستهسازی (برای مثال، المان مش و یا اندازه سلول در المان محدود یا روش حجم محدود) است. چندین منبع خطا وجود دارد:

خطای برش (truncation error): به ما می‌گوید که مدل عددی به چه میزان مدل ریاضی را تخمین می‌زند:

$$\tau = (P - P_h)\, u$$

مرتبه دقت(order of accuracy): مرتبه دقت مدل عددی به ما نشان می‌دهد که با چه سرعتی خطای برش با کاهش h کاهش می‌یابد. یعنی هر چه المان‌ها کوچک‌تر شوند یا اندازه سلول کوچک‌تر باشد، تفاوت بین مدل ریاضی و عددی باید کمتر شود. چنانچه خطای برش به همراه کاهش h کاهش داشته باشد، مدل عددی پایدار است.

خطای گسسته سازی (discretization error) :

این خطا در حل به‌عنوان تفاوت بین راه‌حل دقیق و راه‌حل عددی برای معادلات تعریف می‌شود:

$$e = u - u_h$$

حل عددی زمانی همگرا (converge) می‌شود که در آن مقدار جواب حل عددی به حل دقف نزدیک شود که با کاهش h رخ می‌دهد:

$$u - u_h \to 0\ ,\ h \to 0$$

مرتبه دقت گسسته سازی، به ما نشان می‌دهد که راه‌حل عددی با چه سرعتی به راه‌حل دقیق با کاهش h همگرا می‌شود:

$$e\,(h) \le C_1 h^p$$

هرچه p بزرگ‌تر باشد تقریب با سرعت بیشتری همگرا می‌شود.

بنابراین آیا تفاوت ذاتی در دقت روش‌های اجزای محدود و روش‌های حجم محدود وجود دارد؟ با افزایش مرتبه توابع پایه، می‌توان ازلحاظ نظری به هر درجه دقتی با روش‌های اجزای محدود (در عمل، محدودیت‌های دیگری نیز وجود دارد) رسید. رایج‌ترین روش‌های المان محدود به ترتیب مرتبه دوم تا مرتبه سوم هستند و روش‌های حجم محدود مرتبه اول تا مرتبه دوم هستند.

## تفاوت‌ها و شباهت‌های روش‌های المان محدود و حجم محدود چیست؟

معادله موازنه شار که اساس مدل‌های ریاضی برای جریان سیال را تشکیل می‌دهد به شرح زیر است:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + \nabla.\Gamma = F\ in\ \Omega$$

در این معادله، u مقدار فیزیکی در بقا از قبیل تکانه یا جرم را مشخص می‌کند و $\Gamma$ بیانگر شار این مقدار است؛ برای مثال، شار مومنتوم در هر واحد سطح کنترل و در واحد زمان.

روش‌های اجزا محدود با فرموله کردن یک معادله انتگرالی شروع می‌شود. این معادلات با تابع آزمون $\phi$ نوشته می‌شود و میانگین‌گیری با انتگرال‌گیری در دامنه مدل انجام می‌شود:

$$\int_\Omega \frac{\partial u}{\partial t}\varphi dV + \int_\Omega (\nabla.\Gamma)\,\varphi dV = \int_\Omega F\varphi dV$$

اگر قضیه دیورژانس را بر روی $\Gamma\phi$ اعمال کنیم :

$$\int_\Omega \nabla.\,(\Gamma\varphi)\,dV = \int_{\partial\Omega} (\Gamma\varphi)\,n.dS$$

در اینجا، $\partial\Omega$ نشان‌دهنده مرز دامنه است و n نشان‌دهنده بردار نرمال به مرز دامنه است.

انتگرال‌گیری از سمت چپ در معادله بالا نتیجه زیر را می‌دهد:

$$\int_\Omega (\nabla.\Gamma)\,\varphi dV + \int_\Omega \Gamma.\nabla\varphi dV = \int_{\partial\Omega} (\Gamma\varphi)\,n.dS$$

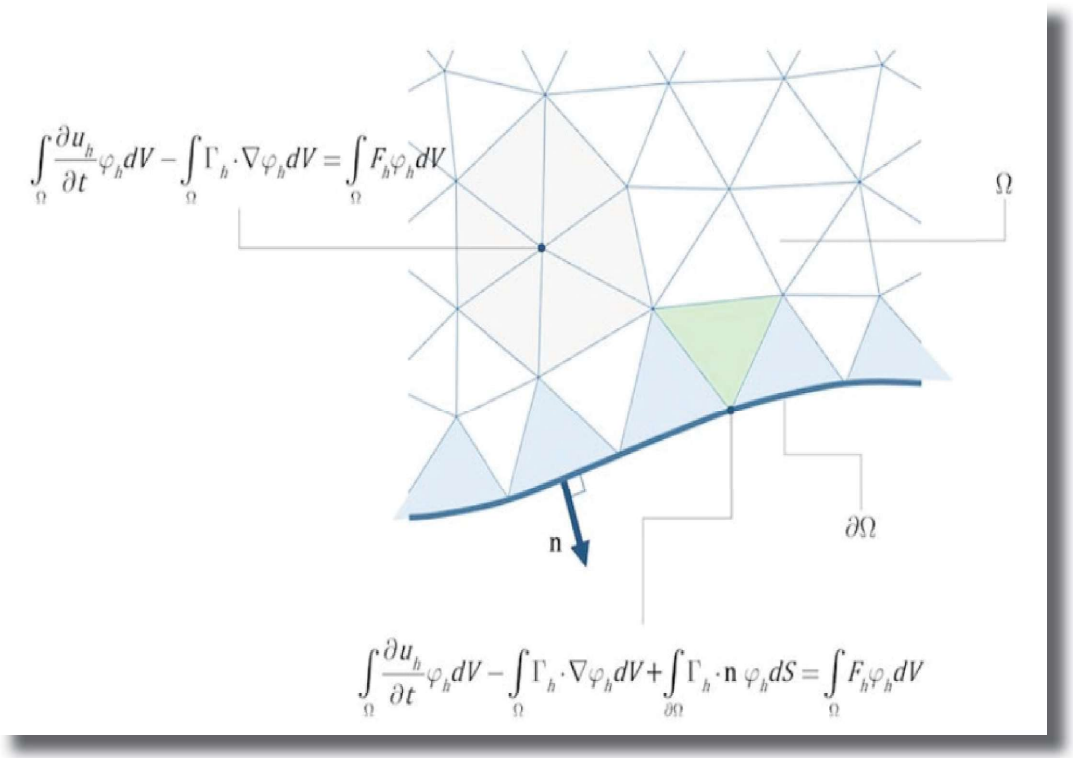
بردار شار نیاز به دیفرانسیل پذیری ندارد. این مورد مزیت این مسئله در حل عددی است. این مورد منجر به معادلات مورد استفاده آغازی در روش‌های اجزا محدود است:

$$\int_\Omega \frac{\partial u}{\partial t}\varphi dV - \int_\Omega \Gamma.\nabla\varphi dV + \int_{\partial\Omega}\Gamma.n\varphi dS = \int_\Omega F\varphi dV$$

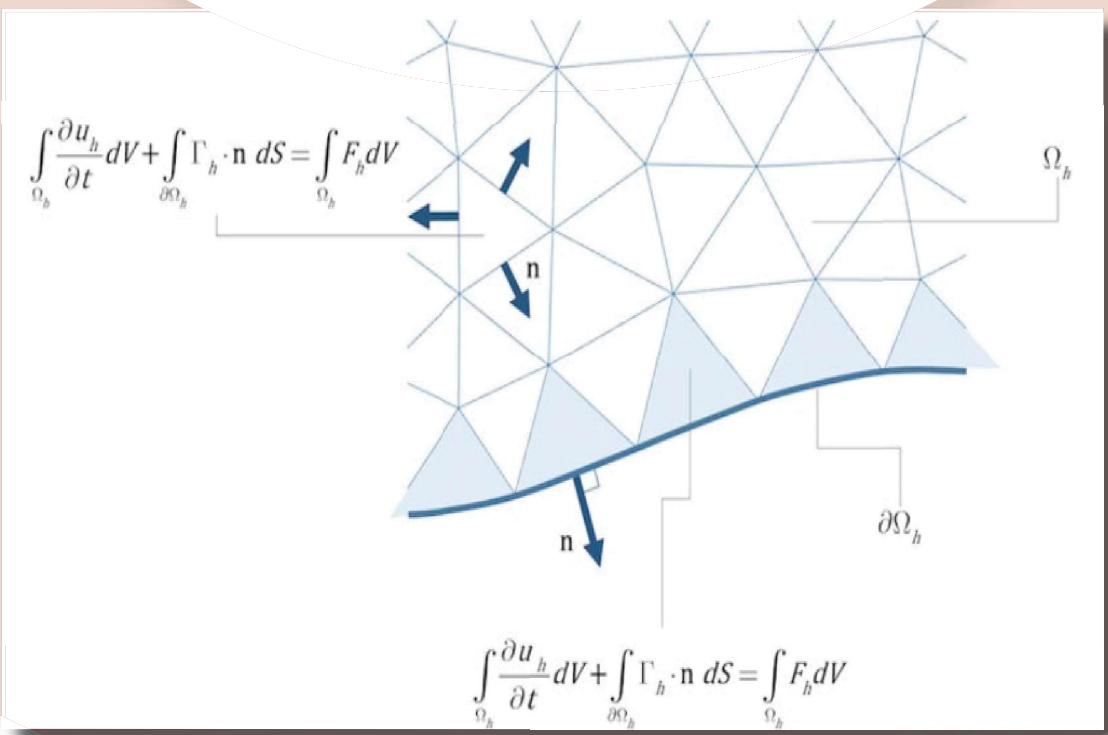
این حالت از معادله انتگرالی را به اصطلاح فرم ضعیف معادلات می‌گویند. فرم ضعیف معادلات تنها زمانی می‌تواند حالت فیزیکی مدل را نشان دهد که تغییرات وسیع تابع آزمون را در نظر بگیرد. یک حالت رایج برای تابع آزمون توابع چند جمله ای هستند. اما زمانی که تابع آزمون را برابر یک (مقدار ثابت) قرار دهیم به حالت زیر از معادله قبل می‌رسیم که معمولاً به‌عنوان نقطه شروع روش حجم محدود در نظر گرفته می‌شود:

$$\int_\Omega \frac{\partial u}{\partial t}dV + \int_{\partial\Omega}\Gamma.ndS = \int_\Omega FdV$$

تا اینجا، تفاوتی بین اجزا محدود و روش‌های حجم محدود وجود ندارد. همان‌طور که در بالا می‌بینیم، معادله روش حجم محدود، فقط یک حالت خاص از فرم ضعیف عمومی است که در روش‌های اجزا محدود استفاده می‌شود. تفاوت اصلی در شیوه گسسته سازی معادلات مورداستفاده در هر مورد است. روش المان محدود با انتخاب تعداد محدودی تابع آزمون و حل فرم ضعیف معادلات به دست می‌آید و روش حجم محدود با انتخاب تعداد محدودی از حجم کنترل (Control Volume) و حل معادله فوق به دست می‌آید. به این‌ترتیب شکل‌های ۲ و ۳ فرم گسسته سازی شده معادلات را به ترتیب برای روش المان محدود و روش حجم محدود با استفاده از شبکه مثلثی را نشان می‌دهند.




شکل۲ .فرم گسسته سازی شده معادلات برای روش المان محدود




شکل۳ .فرم گسسته سازی شده معادلات برای روش حجم محدود

اگر به رایج‌ترین روش‌های اجزا محدود نگاه کنیم، می‌بینیم که توابع آزمون تنها در مجاورت گره‌ها (تابع پشتیبانی محلی) غیر صفر هستند. این به این معنی است که انتگرال فقط باید بر روی عناصر (در اینجا، مثلث) و حوالی آن محاسبه شود. در عوض اگر به روش‌های معمول حجم محدود نگاه کنیم، هر سلول (مثلث) به‌عنوان یک دامنه منفرد رفتار میکند. در روش‌های اجزا محدود، اغلب توابع پایه مشابه برای تخمین راه‌حل به‌عنوان توابع آزمون به کار می‌روند. تا زمانی که تخمین راه‌حل دارای درجه چندجمله‌ای بالاتر از صفر باشد و مشتقات درجه اول را بتوان تقریب زد، نیازی به انجام کار خاصی برای حل یک شار همرفتی و دی فیوز نیست. بردار شار نیز یک تابع چندجمله‌ای محلی است.

از طرف دیگر، در حجم محدود، حل در مرز به خوبی تعریف نشده است. این روش تنها مقدار حل را برای هر سلول در مرکز سلول تعریف می‌کند. بنابراین روش حجم محدود حتماً باید با یک روش بازسازی تعریف شود. به‌طورمعمول، یک روش درون‌یابی محلی برای در نظر گرفتن مقادیر در سلول‌های مجاور تعریف می‌شود.

بسته به توابع پایه مورداستفاده درروش اجزای محدود و نوع ساختار تعریف شارها در روش حجم محدود، دقت های مختلف را می‌توان به دست آورد. یک شبکه درشت با روش مرتبه دوم می‌تواند یک راه‌حل دقفتر از یک مش بهتر با یک روش مرتبه اول به دست آورد.

توابع آزمون خطی و توابع پایه برای روش اجزای محدود به‌طورمعمول به روش‌های مرتبه دوم و دقف منجر می‌شوند. المان‌های محدود در گسستهسازی انعطاف‌پذیری زیادی دارند. برای مثال استفاده از توابع پایه درجه دو نسبتا ساده است. نیازی به بازسازی یا درون‌یابی حل وجود ندارد.

یک ایراد روش FEM (اجزای محدود) این است که برای توابع آزمون و پایه مداوم هیچ موازنه محلی برای مقادیر

قابل تعریف نیست. به بیان‌دیگر تنها شار کلی در میدان از قوانین موازنه پیروی می‌کند. عیب دیگر این است که هیچ کنترلی از شارهای محلی وجود ندارد. بنابراین پایدارسازی گسسته سازی جریان‌های جابجایی سخت‌تر میشود.

از طرفی روش المان محدود این مزیت را دارد که قادر به فرموله کردن توابع پایه با مراتب مختلف است. مراتب بالاتر برای توابع پایه، امکان افزایش دقت برای شبکه‌های مختلف را فراهم می‌کند.

همان‌طور که قبلاً ذکر شد، روش FVM (حجم محدود) متناظر با یک تابع پایه المان محدود تکه‌ای، احتمالاً با یک طرح درون‌یابی مرتبه بالاتر برای شارها است که منجر به‌دقت مرتبه اول یا دوم می‌شود. بیان محلی از روش حجم محدود باعث امکان تعریف موازنه و بقا به‌صورت محلی می‌شود که جنبه جذاب روش حجم محدود است.

## نتیجه‌گیری نهایی در مورد :FEM Vs FVM

همان‌طور که ذکر شد شباهت‌ها ، تفاوت‌ها، برتری‌ها و معایبی بین این دو روش وجود دارد. جنبه‌های دیگر مهم و تأثیرگذار برای انجام یک شبیه‌سازی سیالاتی همچون حل دستگاه بزرگی از معادلات خطی سازی شده، تنظیمات مرتبط با گام‌های زمانی و تنظیمات مرتبط با گام‌های زمانی ضمنی و صریح و ... نیز وجود دارد. انواع روش‌های موجود نیز درحال‌توسعه هستند که فرصت‌های جدیدی را فراهم میکند.

## مدل VOF در انسیس فلوئنت (Volume of Fluid) – شبیه سازی به روش حجم سیال:

یکی از بخش های بسیار کاربردی نرم افزار انسیس ورک بنچ، قسمت شبیه سازی های جریان های دوفازی است. با توجه به کاربرد گسترده این نوع شبیه سازی ها در صنعت، فراگیری این بخش و آشنایی با هریک از مدل های جریان های چندفازی امری ضروری برای کاربران نرم افزار انسیس فلوئنت می باشد. اولین مدل پرکاربرد دوفازی، مدل VOF یا Volume of Fluid است. روش VOF (روش حجم سیال) برای شبیه سازی دو بعدی جریان های چندفازی در فلوئنت، استفاده می شود.

## چه زمانی از مدل VOF در انسیس فلوئنت استفاده می کنیم؟

مدل VOF یا (Volume of Fluid) برای شبیه سازی جریان های دو فازی غیر مخلوط شونده استفاده و عموما کاربرد آن برای شبیه سازی سطح اشتراک دو سیال است. به عبارتی، زمانی که هدف شبیه سازی، مطالعه بر روی سطح اشتراک دو سیال باشد، مدل VOF کارایی بالایی خواهد داشت . اما در مقابل برای شبیه سازی هایی که دو سیال باهم ترکیب میشوند این مدل کارایی زیادی ندارد. یکی از مواردی که در استفاده از شبیه سازی دو فازی به روش VOF باید به آن توجه داشت عدم استفاده از دو فاز گازی است. پس همیشه این نکته را باید در نظر داشت که :

- زمانی که سطح اشتراک دو سیال هدف شبیه سازی باشد استفاده از روش VOF توصیه می شود.
- اگر دو فاز مسئله مورد نظر به صورت گازی باشد، استفاده از روش VOF کارایی نخواهد داشت.

## چه مسائلی با روش VOF در سیالات بررسی می شوند ؟

مسائلی که عموما با استفاده از روش VOF بررسی میشوند عبارتند از:

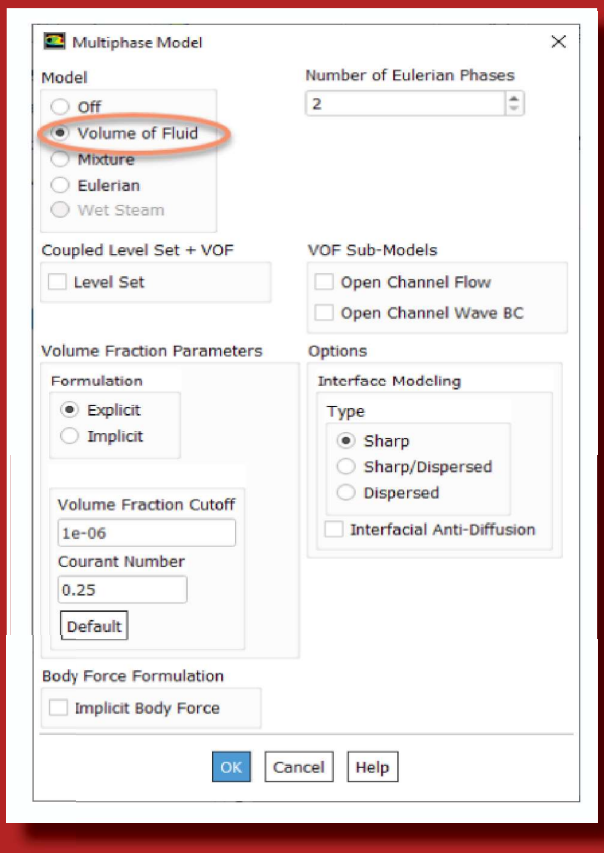
۱. حرکت ستون حباب در سیال آب

۲. شبیه سازی شکسته شدن سد

۳. شبیه سازی جت هوا در سیال مایع

برای انتخاب مدل VOF در انسیس فلوئنت کافی هست به منوی نرم افزار فلوئنت رفته و با روشن کردن منوی دو فازی از لیست ظاهر شده، گزینه VOF را فعال کنید (شکل ٤).

اما یکی از بخش هایی که در شبیه سازی با مدل VOF در سیالات باید به آن توجه داشت سطح اشتراک دو سیال است. زمانی که این سطح نسبت به شبکه یا مش شما کوچکتر باشد استفاده از این روش توصیه نمی شود و دقت این روش با توجه به اندازه شبکه ریخته شده برروی دامنه محاسباتی کاهش می یابد.




شکل ٤ . انتخاب مدل VOF در انسیس فلوئنت

## معرفی مدل اویلری در جریان چند فازی

مدل اویلری یا مدل چند فازی اویلری (Eulerian multiphase model) در انسیس فلوئنت اجازه می دهد تا مدل سازی های متعدد جداگانه با فازهای در حال تماس انجام دهیم. فازها می توانند مایعات، گازها، و یا مواد جامد تقریبا در هر ترکیبی باشند. یک دیدگاه اویلری برای هر فاز استفاده می شود، برخلاف دیدگاه اویلری-لاگرانژی است که برای مدل فاز گسسته (discrete phase model) استفاده می شود.

با استفاده از مدل اویلری، تعداد فازهای ثانویه تنها با حافظه مورد نیاز و رفتار همگرایی محدود می شود. هر تعداد از فاز ثانویه را می توان مدل کرد، به شرطی که حافظه کافی در دسترس باشد. برای جریان های چند فازی پیچیده، ممکن است راه حل با رفتار همگرایی محدود شده باشد.

مدل اویلری در انسیس فلوئنت ANSYS FLUENT تفاوت بین مایع – مایع و مایع-جامد (گرانول) را در جریان های چند فازی تشخیص نمی دهد. جریان گرانولار جریانی است که حداقل دارای یک فاز گرانول است.

## محدودیت های مدل اویلری در جریان چند فازی

مدل اویلری در انسیس فلوئنت شامل محدودیت هایی از قبیل موارد زیر است:

- مدل توربولانس تنش رینولدز بر پایه هر فاز امکان پذیر نیست.
- ردیابی ذرات یا استفاده از مدل لاگرانژی فاز گسسته فقط با فاز اولیه برهمکنش می کند.
- اجازه استفاده از جریان غیر لزج وجود ندارد.

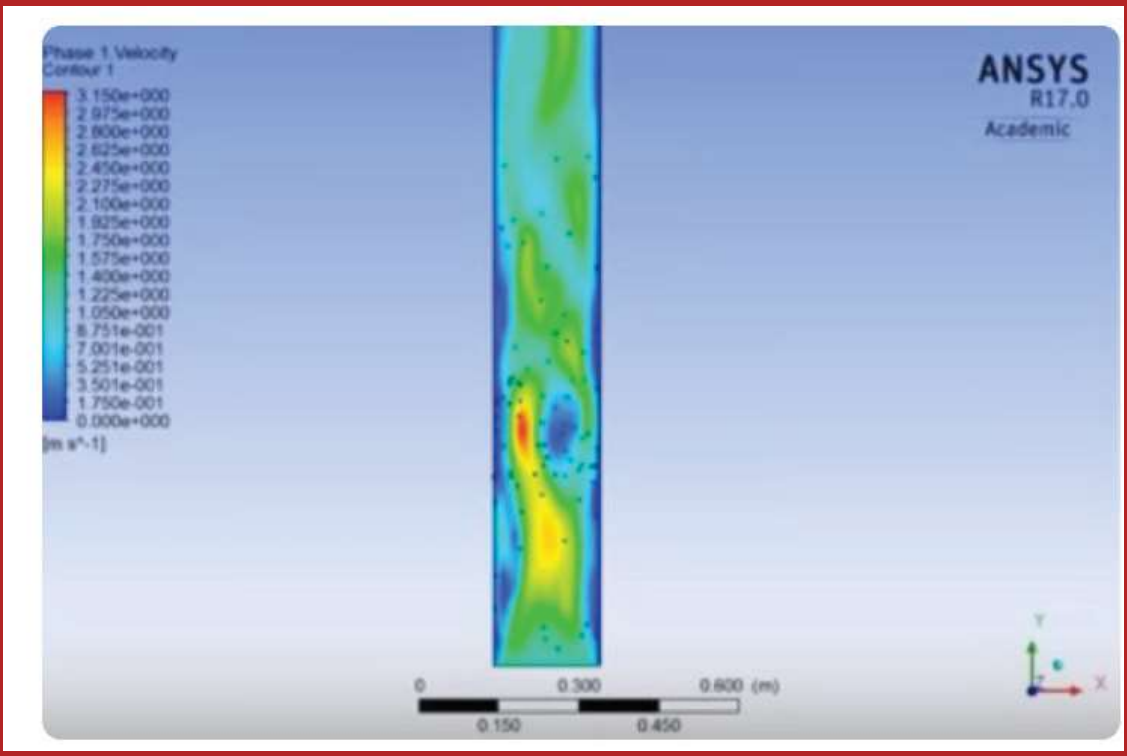
## روش حل انسیس فلوئنت در مدل اویلری

برای محاسبات مدل اویلری، ANSYS FLUENT می تواند معادلات مومنتوم فاز، فشار به اشتراک گذاشته شده، و معادلات کسر حجمی فاز در حالت جفت و جدا را حل کند. وقتی معادلات به شیوه ای جدا حل می شوند، ANSYS FLUENT از الگوریتم PC-SIMPLE برای حل همزمان معادلات سرعت و فشار استفاده می کند. PC-SIMPLE یک فرمت از الگوریتم SIMPLE یا سیمپل برای جریان چند فازی است.

چه مسائلی با روش اولرین Eulerian در سیالات بررسی می شوند ؟

روش شبیه سازی اویلری Eulerian در انسیس فلوئنت اغلب برای مدل سازی جریان های دوفازی زیر مورد استفاده قرار می گیرد:

- شبیه سازی ستون حباب
- شبیه سازی رایزرها Riser
- شبیه سازی سوسپانسیون ذره
- شبیه سازی بستر سیال




شکل ۵ . شبیه سازي جريان دوفازي در انسیس فلوئنت با روش اولرین

برای انتخاب مدل دوفازی اولرین در انسیس فلوئنت، کافی است به منوی نرم افزار فلوئنت رفته و با روشن کردن منوی دو فازی از لیست ظاهر شده ، گزینه Eulerian را انتخاب کنید. البته استفاده از مدل اولرین برای شبیه سازی جریان های سیال در انسیس فلوئنت هزینه محاسباتی بسیار بالایی دارد و تنها زمانی از این مدل استفاده کنید که دو مدل شبیه سازی VOF و Mixture جواب گوی شبیه سازی شما نباشد.

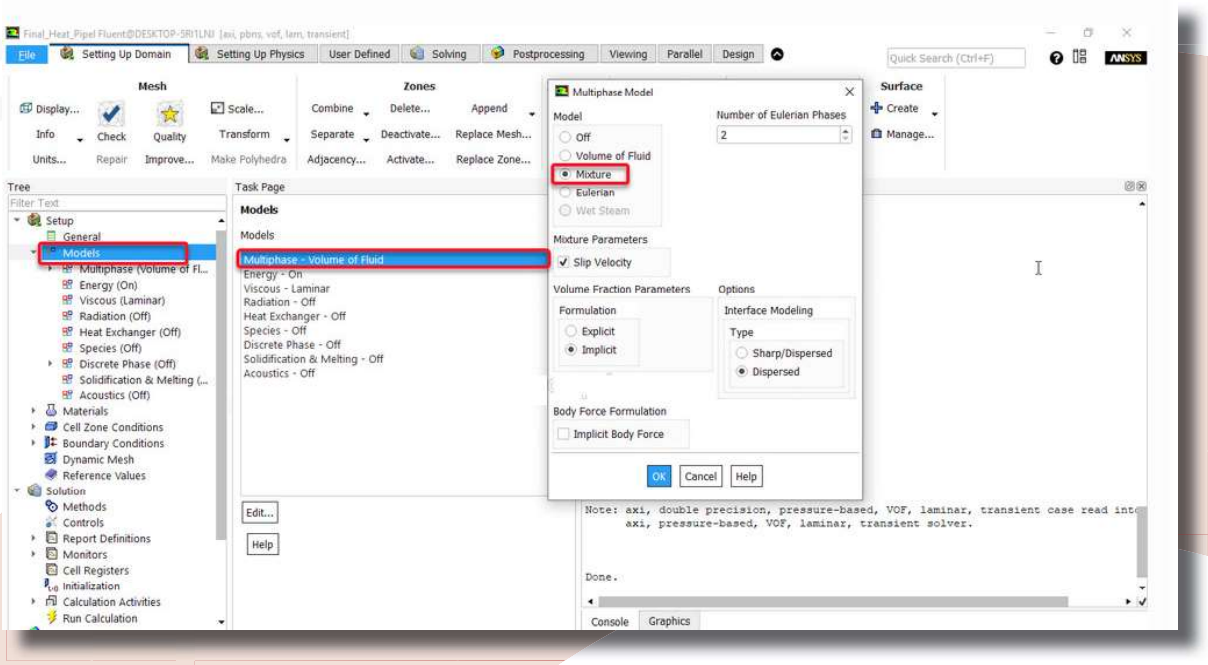
مقایسه روش های دو فازی در انسیس فلوئنت

با توجه به تنوع مدل های چندفازی برای انتخاب مدل مناسب می توان از نکات زیر استفاده کرد :

- در جریان های حبابی، قطره و ذرات معلق در صورتی که کسر حجمی بیشتر از ۱۰درصد باشد بهتر است از مدل mixture استفاده کرد.
- برای جریان های اسلاک مدل VOF مناسب تر می باشد.
- برای جریان های سطح آزاد مدل VOF مناسب تر است.
- در شبیه سازی های همراه انتقال حرارت، در صورتی که اختلاط یا ترکیب فاز ها به صورت دانه ایی باشد بهتر است از مدل اولرین استفاده شود.
- در جریان های بستر سیال تنها مدل اولرین استفاده شود.
- در شبیه سازی رسوب گذاری از مدل Eulerian استفاده شود.

## مدل Mixture در انسیس فلوئنت | روش Mixture در جریان های دو و چند فازی

یکی از روش های شبیه سازی جریان های دو و چند فازی در انسیس فلوئنت استفاده از مدل Mixture یا مخلوط می باشد. برای فعال کردن این روش در نرم افزار انسیس فلوئنت باید به روش زیر عمل کنیم:




شکل ۶. انتخاب مدل Mixture در انسیس فلوئنت

## کاربرد های مدل Mixture در انسیس فلوئنت

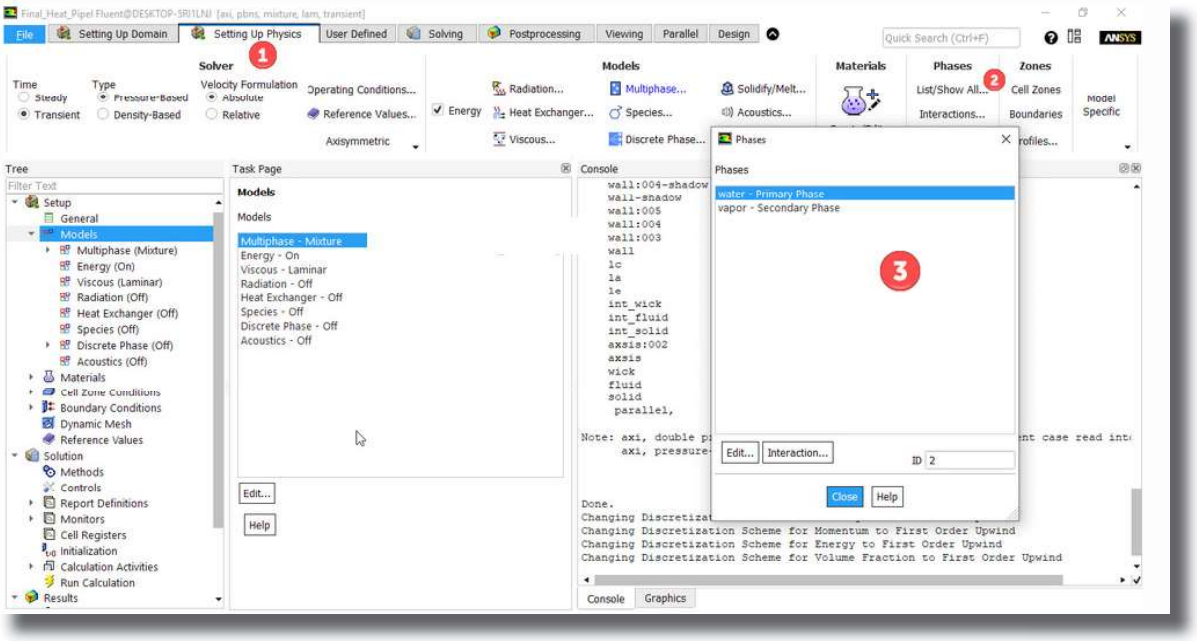
مدل mixture در انسیس فلوئنت برای دو یا تعداد بالاتری از فازها طراحی شده است. در مدل mixture مانند مدل Eulerian ، فازها میتواند درهم تنیده شوند. در مدل میکسچر، معادله مومنتوم برای هر دو فاز حل می شود و از سرعت های نسبی جهت توصیف رفتار فاز دوم استفاده می شود. از جمله کاربردهای مدل mixture میتوان به شبیه سازی جریان حامل ذرات با بار کم، جریان های حبابی، مدل سازی رسوب، جدا کننده های سایکلونی، شبیه سازی تبخیر در انسیس فلوئنت و شبیه سازی کاویتاسیون اشاره کرد.

مقایسه مدل Mixture در انسیس فلوئنت با سایر مدل ها :

روش شبیه سازی mixture در انسیس فلوئنت با مدل Eulerian از چهار جهت متفاوت می باشد:

۱. معادله ممنتوم با استفاده از سرعت میانگین فازها حل می شود.
۲. کسر حجمی هر سیال یا فاز موجود در شبیه سازی در کل دامنه ردیابی می شود.
۳. ضرایب تخفیف ذرات کوچکتر از ۰/۰۰۱ – ۰/۰۱ ثانیه است.
٤. برای مدلسازی سرعت نسبی بین فازها به صورت جبری، از فرض تعادل موضعی استفاده می شود. این مدل برای میدان سیال که جریان در هر دو فاز هم راستا بوده و ته نشینی وجود ندارد، کارایی خوبی دارد.

در مدل Mixture مانند مدل VOF ، فازهای اولیه و ثانویه می بایست مشخص گردد. مثل روش VOF برای تعیین هر کدام از فازها به صورت زیر عمل میکنیم:




شکل ۷. تعیین فاز ها در مدل Mixture در محیط انسیس فلوئنت

تشخیص فاز اولیه و ثانویه بستگی به مسئله و شبیه سازی شما دارد مثلا در شبیه سازی جریان در لوله های حلقه بسته ، فاز اولیه شبیه سازی را آب و فاز ثانویه را بخار آب انتخاب میکنیم. دلیل این انتخاب، حضور آب به عنوان فاز موجود در لحظات ابتدایی شبیه سازی و تبدیل آن به بخار در طول زمان شبیه سازی است.

اما یکی از تفاوت های انتخاب فاز ثانویه در مدل Mixture در فلوئنت تنظیمات بیشتر این بخش در مقایسه با سایر روش ها می باشد. مثلا زمانی که از روش VOF برای شبیه سازی جریان های چند فازی استفاده می شود، تنها تنظیماتی که کاربر با آن رو به رو است مربوط به تغییرات نام فازها است. اما در روش میکسچر در انسیس فلوئنت برای فاز ثانویه تنظیماتی بیشتری در دسترس می باشد. مثلا میتوانیم قطر ذرات یا حباب های تولید شده در طول شبیه سازی را به نرم افزار انسیس فلوئنت وارد کنیم. در صورت استفاده از مدل Mixture با غیر فعال کردن سرعت لغزشی، میدان جریان چند فازی به صورت همگن فرض شده و تمام فازها با سرعت یکسان حرکت می کنند. در انسیس فلوئنت به صورت پیشفرض، سرعت لغزشی برای فاز دوم محاسبه می شو. در صورتی که میخواهید در روش mixture فازهای سیال با سرعت یکسان وارد دامنه محاسباتی شوند کافی است از منوی مدل mixture، بخش مربوط به سرعت لغزشی(Slip Velocity) را غیر فعال کرد.

## محدودیت های مدل Mixture در انسیس فلوئنت

محدودیت های روش شبیه سازی mixture (میکسچر در انسیس فلوئنت) عبارتند از:

۱. برای استفاده از روش Mixture در انسیس فلوئنت تنها مجاز به استفاده از حلگر (Pressure-Base) هستیم.
۲. در مدل میکسچر تنها یک فاز میتواند گاز ایده آل (ideal-gas) باشد.
۳. مدلسازی فرآیند انجماد و ذوب توسط مدل چند فازی Mixture امکانپذیر نمی باشد.
٤. نمیتوان از روش Mixture در جریان های غیرلزج استفاده کرد.

## Population balance model(PBM) در انسیس فلوئنت

در ANSYS FLUENT مدل تعادل جمعیت (PBM) به عنوان یک ماژول افزودنی با نرم افزار استاندارد مجاز ANSYS FLUENT ارائه شده است.

چندین کاربرد جریان سیال صنعتی شامل یک فاز ثانویه با توزیع اندازه است. توزیع اندازه ذرات، از جمله ذرات جامد، حباب ها یا قطرات، می تواند همراه با انتقال و واکنش شیمیایی در یک سیستم چند فازی تکامل یابد. فرآیندهای تکاملی می تواند ترکیبی از پدیده های مختلف مانند هسته، رشد، پراکندگی، انحلال، تجمع و شکستگی تولید پراکندگی باشد. بنابراین در جریان های چند فازی شامل توزیع اندازه، برای توصیف تغییرات در جمعیت ذرات، علاوه بر مومنتوم، جرم و تعادل انرژی، به یک معادله تعادل نیاز است. به طور کلی از این تعادل به عنوان تعادل جمعیت یاد می شود. مواردی که تعادل جمعیت می تواند اعمال شود شامل کریستالیزاسیون، واکنشهای رسوبی از یک فاز گاز یا مایع، ستون های حباب، پاشش گاز، اسپری ها، پلیمریزاسیون بستر سیال، دانه بندی، امولسیون مایع و مایع و جداسازی و جریان های آئروسل است.

برای استفاده از این مفهوم مدل سازی، یک تابع چگالی عدد برای محاسبه جمعیت ذرات معرفی شده است. با کمک خواص ذرات (به عنوان مثال ، اندازه ذرات ، تخلخل ، ترکیب و غیره) ، می توان ذرات مختلف را در جمعیت تشخیص داد و رفتار آنها را توصیف کرد.

ANSYS FLUENT سه روش راه حل برای معادله تعادل جمعیت ارائه می دهد: تعادل گسسته جمعیت ، روش استاندارد ممان ها و روش کوادراتور ممانها.

معادله مدل تعادل جمعیت (PBM)

با فرض اینکه $\phi$ حجم ذرات است ، معادله انتقال برای تابع چگالی عددي به این صورت است:

$$\frac{\partial}{\partial t}[n(V,t)] + \nabla \cdot [\vec{u}n(V,t)] + \underbrace{\nabla_v \cdot [G_v n(V,t)]}_{\text{Growth term}} =$$

$$\underbrace{\frac{1}{2}\int_0^V a(V-V',V')n(V-V',t)n(V',t)dV'}_{\text{Birth due to Aggregation}} - \underbrace{\int_0^\infty a(V,V')n(V,t)n(V',t)dV'}_{\text{Death due to Aggregation}}$$

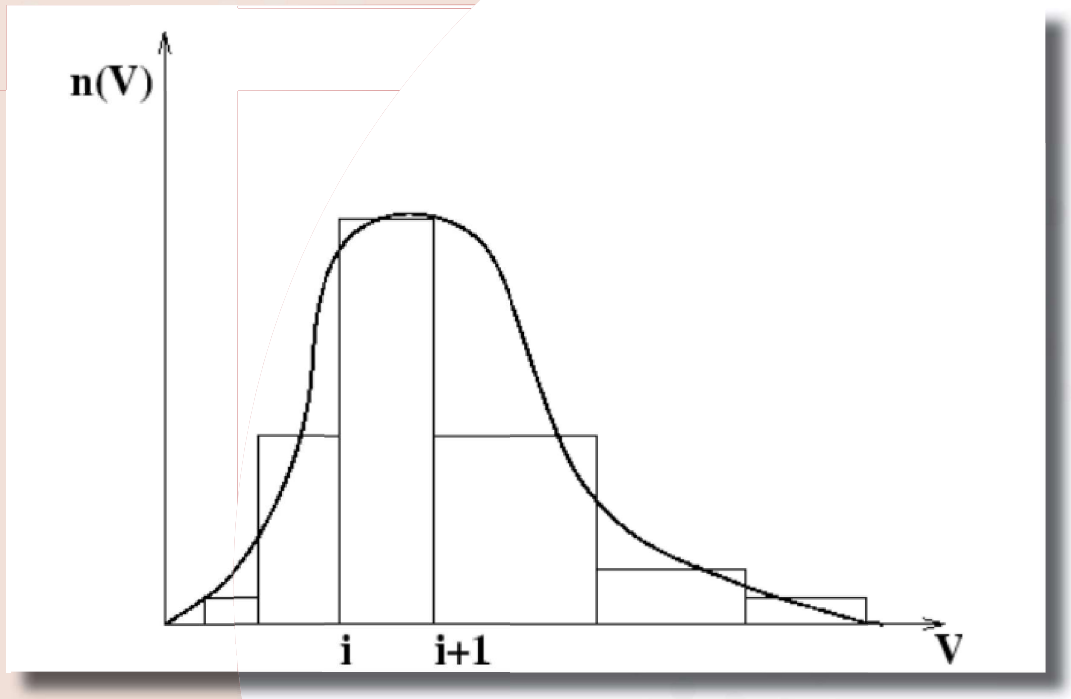
$$+ \underbrace{\int_{\Omega_v} pg(V')\beta(V \mid V')n(V',t)dV'}_{\text{Birth due to Breakage}} - \underbrace{g(V)n(V,t)}_{\text{Death due to Breakage}}$$

شرایط مرزي و شرایط اولیه نیز به شرح زیرند:

$$n(V,t=0)=n_v;\quad n(V=0,t)G_v=\dot{n}_0$$

اصلي ترین روش حل معادله PBM در انسیس فلوئنت ، تعادل گسسته جمعیت (The Discrete Method) است که در زیر تشریح مي‌گردد:

روش گسسته (همچنین به عنوان روش پاره ای یا بخش بخش شناخته می شود) بر اساس نمایش توزیع مداوم اندازه ذرات (PSD) بر اساس مجموعه ای از کلاسهای اندازه گسسته است، همانطور که در شکل ۷ نشان داده شده است. از مزایای این روش عددی قوی آن است که مستقیماً PSD را می دهد. ضمنا محدودیت آن این است که تعداد زیادی کلاس ممکن است لازم باشد.




شکل۸. توزیع اندازه ذرات در روش گسسته

روش دیگر حل معادله PBM در انسیس فلوئنت ، روش استاندارد ممان ها (The Standard Method of Moments ) یا به اختصار روش SMM است . مزایای آن این است که ابعاد مسئله را کاهش میدهد و حل معادلات انتقال برای ممان های مرتبه پایین نسبتاً ساده است. معایب این است که بسته شدن دقق سمت راست فقط در موارد تجمع ثابت و رشد مستقل از اندازه امکان پذیر است و مدل شکستگی امکان پذیر نیست.

رویکرد SMM مبتنی بر گرفتن ممان های PBE با توجه به مختصات داخلی است (در این مورد ، اندازه ذرات:L) ممان K ام به شکل زیر تعریف میشود :

$$m_k(\vec{x},t)=\int_0^{\infty} n(L;\vec{x},t)L^k dL \qquad k=0,1,\cdots,N-1$$

و با فرض رشد ثابت ذرات ، می توان معادله انتقال آن را چنین نوشت:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho m_k) + \nabla \cdot (\rho \vec{u} m_k) = \rho(\overline{B}_{\mathrm{ag},k} - \overline{D}_{\mathrm{ag},k} + \overline{B}_{\mathrm{br},k} - \overline{D}_{\mathrm{br},k}) + 0^k \dot{n}_0 + \mathrm{Growth}$$

که :

$$\begin{aligned}
\overline{B}_{\mathrm{ag},k} &= \frac{1}{2}\int_0^\infty n(\lambda)\int_0^\infty a(u,\lambda)(u,\lambda)(u^3+\lambda^3)^{k/3} n(u)dud\lambda \\
\overline{D}_{\mathrm{ag},k} &= \int_0^\infty L^k n(L)\int_0^\infty a(L,\lambda)n(\lambda)d\lambda dL \\
\overline{B}_{\mathrm{br},k} &= \int_0^\infty L^k \int_0^\infty g(\lambda)\beta(L \mid \lambda)n(\lambda)d\lambda dL \\
\overline{D}_{\mathrm{br},k} &= \int_0^k L^k g(L)n(L)dL
\end{aligned}$$

## کاربرد Ansys Fluent در صنعت

نرم افزار انسیس فلوئنت می تواند در بازه بسیار وسیعی از صنایع شامل صنایع هوافضا، توربوماشین های مورد استفاده در تجهیزات فرآیند شیمیایی و پتروشیمی، تولید انرژی و توان، نفت و گاز، کاربردهای محیطی (تغییرات وضع آب و هوا)، صنایع خودرو، مبدل های حرارتی، الکترونیک (نیمه هادی ها و همچنین خنک سازی قطعات الکترونیک)، تهویه مطبوع و تبرید، فرآیند مواد، تحقیقات فضایی و طراحی آرشیتکتی به کار گرفته شود.

بنابراین، نرم افزار فلوئنت یک انتخاب بسیار مناسب برای مدل کردن جریان سیال تراکم پذیر و تراکم ناپذیر در هندسه های پیچیده است. باید توجه کرد که خرید این نرم افزار گاهی بسیار گران تمام شده و به راحتی نمیتوان از امکانات آن بهره برد.

منبع اصلی : سایت شرکت Ansys