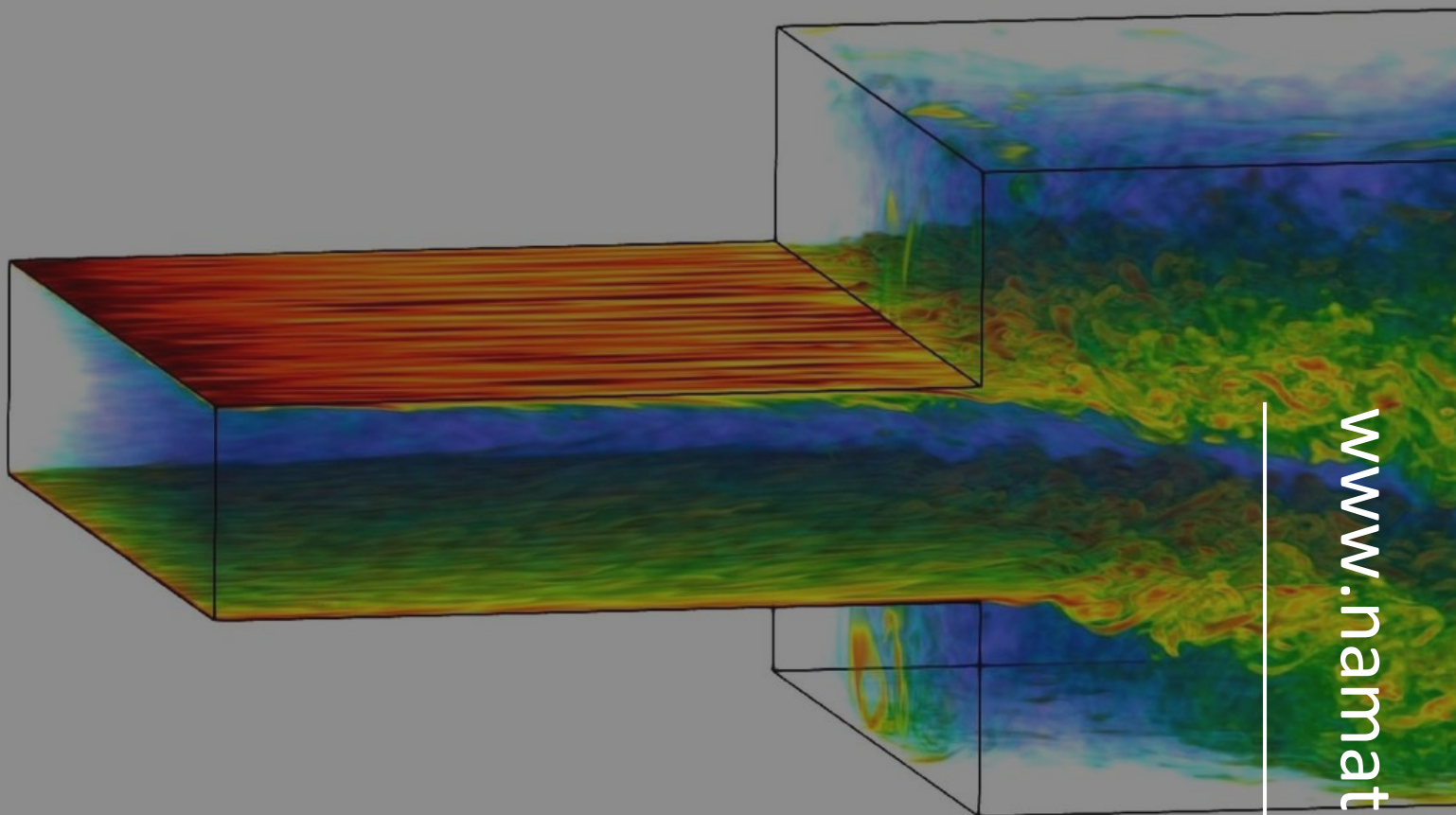




Namatek
True Education



www.namatek.com

Turbulent Flow

جریان آشفته

فهرست مطالب

۱. جریان آشفته چیست؟
۲. ساختار جریان آشفته
۳. عوامل مؤثر در جریان آشفته
۴. عدد رینولدز و تجزیه و تحلیل آشفتگی
۵. عوامل مؤثر در پایداری جریان
۶. ویژگی‌های جریان آشفته
۷. تفاوت بین جریان آرام و آشفته
۸. چگونه از جریان آشفته جلوگیری کنیم؟
۹. اهمیت جریان آشفته

دانش دقیق از رفتار جریان آشفته در مهندسی مهم است؛ زیرا بیشتر جریان‌های صنعتی، به‌ویژه آن‌هایی که در مهندسی هسته‌ای هستند، آشفته هستند. ماهیت بسیار متناوب و نامنظم تلاطم، همه تحلیل‌ها را پیچیده می‌کند. علی‌رغم پیشرفت جدی در موضوع مدل‌سازی تلاطم در قرن گذشته، باید اعتراف کرد که آشفتگی هنوز یک مشکل حل نشده است. اغلب گفته می‌شود که آشفتگی "آخرین مسئله حل نشده در فیزیک ریاضی کلاسیک" است و تا آینده‌ای قابل‌پیش‌بینی به همین شکل باقی خواهد ماند. در این مقاله به بررسی این مفهوم خواهیم پرداخت تا درک آن را ساده‌تر کنیم.

جریان آشفته چیست؟



در دینامیک سیالات، جریان آشفته به یک جریان نامنظم اطلاق می‌شود که در آن گرداب، چرخش و ناپایداری جریان رخ می‌دهد. این نوع جریان تحت کنترل همرفت با تکانه بالا و انتشار با تکانه پایین است.

جریان آشفته در نقطه مقابل جریان آرام است که زمانی اتفاق می‌افتد که یک سیال در لایه‌های موازی بدون اختلال بین لایه‌ها جریان می‌یابد. این اثر متلاطم به دلیل بی‌نظمی یا انسداد در مسیر جریان سیال است و می‌توان در آن، گرداب‌ها یا چرخش‌ها را مشاهده کرد. جریان آشفته یک اتفاق رایج است و در پدیده‌های طبیعی و کاربردهای مهندسی بسیار متداول است.

برخی از نمونه‌ها عبارت‌اند از:

- آبشارها
- جریان خون در شریان‌ها
- چرخش جوی زمینی

از نظر کاربردهای مهندسی نیز، جریان آشفته در آیرودینامیک همه وسایل نقلیه مانند اتومبیل‌ها، هواپیماها و کشتی‌ها و همچنین در بسیاری از کاربردهای صنعتی مانند مبدل‌های حرارتی، فرایندهای خاموش‌کردن یا ریخته‌گری مداوم فولاد رخ می‌دهد. برخلاف جریان آرام، لایه‌های سیال در جریان آشفته می‌توانند به دلیل تغییر مداوم در بزرگی و جهت جریان از مسیر عبور کنند. رفتار نامنظم ظاهری جریان، تجزیه و تحلیل جریان آشفته را به چالشی بزرگ تبدیل می‌کند.

با این حال و علی‌رغم چالش‌ها، تجزیه و تحلیل جریان آشفته برای صنایع مهم است؛ زیرا بیشتر جریان‌های مشاهده شده آشفته هستند.

تجزیه و تحلیل آشفتگی می‌تواند در طراحی مؤثر سیستم‌های توزیع یا اختلاط سیالات، پشتیبانی از تجزیه و تحلیل سازه‌ها مانند پل‌ها یا تونل‌های باد و طراحی وسایل نقلیه در صنایع خودروسازی و هواپیماهای کم‌مصرف

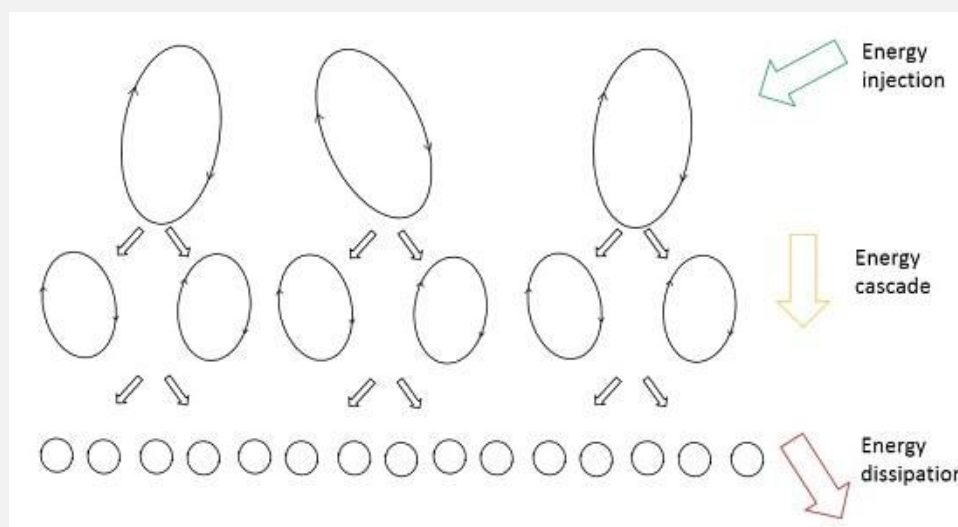
کمک کند. وجود تلاطم می‌تواند به طور قابل‌توجهی بر عملکرد و کارایی این سیستم‌ها تأثیر بگذارد. بنابراین، مهندسان و محققان در تلاش برای توسعه روش‌هایی برای کنترل و کاهش تلاطم با هدف بهبود عملکرد کلی و قابلیت اطمینان چنین برنامه‌هایی هستند. در این راستا، پیش‌بینی آشفتگی را می‌توان تا حدودی با معیارهایی همچون عدد رینولدز انجام داد.

ساختار جریان آشفته

در سال ۱۹۲۰، لوئیس فرای ریچاردسون آثار خود را در مورد ساختار تلاطم برای کاربردهای هواشناسی از طریق یک اصل مشهور منتشرشده در پیش‌بینی آب و هوا توسط فرایند عددی خلاصه کرد. دستاورد وی به این صورت بود که چرخش‌های بزرگ دارای چرخش‌های کوچک‌تری هستند که از سرعت آن‌ها تغذیه می‌کنند و چرخش‌های کوچک چرخش‌های ریزتر دیگری دارند. انگیزه این اصل ملاحظات انرژی بود.

گرداب‌های بزرگ بسیار کم‌انرژی هستند و تمایل به ناپایداری دارند. حرکت آن‌ها به لطف انتقال محلی انرژی جنبشی، گرداب‌های کوچک‌تری را تغذیه می‌کند. این گرداب‌های کوچک‌تر نیز تحت همین فرایند قرار می‌گیرند و باعث پیدایش گرداب‌های کوچک‌تر می‌شوند که انرژی گردابی والدین خود را به ارث می‌برند و الی آخر. این انتقال انرژی معمولاً "آبشار انرژی" نامیده می‌شود و عمدتاً در بحث اینرسی است. بنابراین تقریباً هیچ اتلاف انرژی تا رسیدن به مقیاس طولی به‌اندازه کافی کوچک رخ نمی‌دهد به طوری که ویسکوزیته سیال بتواند به طور مؤثر انرژی جنبشی را هدر دهد. مطالعات ریچاردسون یک ویژگی اساسی جریان‌های متلاطم را برجسته می‌کند و آن این است: جریان‌ها نیاز به انرژی دارند.

یک جریان متلاطم انرژی را هدر می‌دهد و در کوچک‌ترین مقیاس به یک جریان آرام تبدیل می‌شود مگر اینکه توسط یک منبع خارجی انرژی تغذیه شود. شکل زیر آبشار انرژی ریچاردسون تجزیه گرداب‌های والد را به گرداب‌های کوچک‌تر متوالی نشان می‌دهد تا زمانی که اتلاف انرژی رخ دهد.



عوامل مؤثر در جریان آشفته

جریان آشفته پدیده‌ای جذاب است که تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ویسکوزیته، تنش برشی و لایه‌های مرزی قرار می‌گیرد. بیایید عمیق‌تر به این مفاهیم بپردازیم تا درک بهتری از نقش آن‌ها در جریان آشفته به دست آوریم.

ویسکوزیته

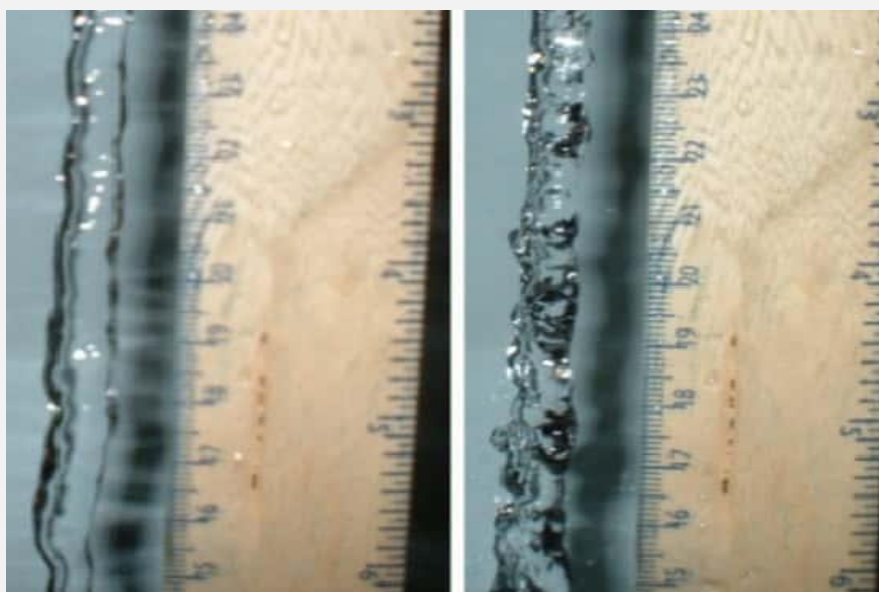
ویسکوزیته یک ویژگی اساسی سیالات است که به مقاومت آن‌ها در برابر جریان اشاره دارد. این معیار تعیین می‌کند که یک سیال چقدر به راحتی می‌تواند انرژی را از بین ببرد و بر نرمی حرکت آن تأثیر گذارد. در جریان آشفته، ویسکوزیته بالا مانع از توانایی سیال برای جاری شدن روان می‌شود

و در نتیجه آشفته‌گی و اختلاط افزایش می‌یابد. این اثر را می‌توان در شرایطی مانند هم زدن یک شربت غلیظ به شدت مشاهده کرد. (جایی که مقاومت در برابر جریان منجر به حرکت و اختلاط آشفته می‌شود).

تنش برشی

تنش برشی یکی دیگر از عوامل مهم در جریان آشفته است. این عامل به عنوان نیرویی در واحد سطح تعریف می‌شود که به موازات یک سطح عمل می‌کند. در جریان آشفته، تنش برشی نقش حیاتی در ایجاد گرداب در سیال دارد. این حرکات چرخشی به ماهیت آشفته جریان آشفته کمک می‌کند و باعث می‌شود که سیال به روش‌های پیچیده‌ای با هم مخلوط شود و برهم‌کنش داشته باشد. برای مثال، رودخانه‌ای را تصور کنید که به سرعت روی یک بستر سنگی جریان دارد، جایی که تنش برشی بین آب و سنگ‌ها یک الگوی جریان متلاطم و پویا ایجاد می‌کند.

لایه‌های مرزی



برای تعریف مفهوم لایه‌های مرزی این‌گونه می‌توان گفت، هنگامی که یک سیال بر روی یک سطح جامد جریان می‌یابد، یک ناحیه نازک در نزدیکی سطح تشکیل می‌شود که به‌عنوان لایه مرزی شناخته می‌شود و در داخل این لایه، سرعت سیال به دلیل اصطکاک با جسم جامد کاهش می‌یابد. این کاهش سرعت باعث ایجاد اختلال در جریان می‌گردد که منجر به ایجاد تلاطم می‌شود. لایه‌های مرزی را می‌توان به دو نوع آرام و آشفته طبقه‌بندی کرد.

در لایه‌های مرزی آرام، جریان صاف و منظم باقی می‌ماند و ذرات سیال در لایه‌های موازی حرکت می‌کنند. با این حال، هنگامی که جریان آشفته‌تر می‌شود، لایه مرزی به یک لایه مرزی آشفته تبدیل می‌شود. در این لایه مرزی متلاطم، ذرات سیال به‌صورت آشفته حرکت می‌کنند و در نتیجه اختلاط و آشفتگی افزایش می‌یابد. رفتار لایه مرزی تحت تأثیر عوامل مختلفی از جمله ویسکوزیته و سرعت سیال و همچنین زبری سطح جامد است. به عنوان مثال، یک سطح ناهموار می‌تواند جریان صاف سیال را مختل کند و منجر به ایجاد یک لایه مرزی ضخیم‌تر و افزایش تلاطم شود. این افزایش اختلاط منجر به سطوح بالاتر انتقال تکانه و اتلاف انرژی می‌شود که منجر به حرکت آشفته مشخصه مرتبط با تلاطم می‌شود. از طرف دیگر، یک سطح صاف می‌تواند جریان آرام را تقویت کند و تلاطم را کاهش دهد. به طور خلاصه، ویسکوزیته، تنش برشی و لایه‌های مرزی همگی عناصر حیاتی در درک جریان آشفته هستند.

ویسکوزیته مقاومت سیال در برابر جریان را تعیین می‌کند، درحالی‌که تنش برشی باعث ایجاد گرداب در سیال می‌شود. تشکیل لایه‌های مرزی در

نزدیکی سطوح جامد به ایجاد تلاطم کمک می‌کند. با مطالعه و تجزیه و تحلیل این عوامل، دانشمندان و مهندسان می‌توانند بینش ارزشمندی در مورد رفتار پیچیده جریان آشفته و کاربردهای آن در زمینه‌های مختلف به دست آورند.

عدد رینولدز و تجزیه و تحلیل آشفتگی

برای درک و تجزیه و تحلیل جریان آشفته، دانشمندان اغلب از عدد رینولدز به عنوان یک پارامتر کلیدی استفاده می‌کنند. عدد رینولدز به تعیین آرام یا آشفته بودن جریان سیال بر اساس نسبت نیروهای اینرسی به نیروهای ویسکوز کمک می‌کند. هنگامی که عدد رینولدز از یک آستانه بحرانی فراتر رود، جریان از حالت آرام به آشفته تبدیل می‌شود. این مقدار بحرانی به عواملی مانند ویسکوزیته و سرعت سیال و همچنین طول مشخصه جریان بستگی دارد.

بر این اساس، مقدار عدد رینولدز (Re) را می‌توان به صورت زیر بیان کرد:

$$Re = \rho V D / \mu$$

توجه داشته باشید که:

- P چگالی سیال است.
 - V سرعت سیال است.
 - D قطر هیدرولیک (لوله یا مجرا) است.
 - M ویسکوزیته سیال است.
- نکات مهم در محاسبه عدد رینولدز عبارت اند از:

- اگر عدد رینولدز تا ۲۳۰۰ باشد یک جریان آرام در نظر گرفته می‌شود. نیروی ویسکوز به دلیل سرعت جریان پایین‌تر برجسته‌تر است.
- اگر عدد رینولدز بیشتر از ۳۵۰۰ باشد، جریانی آشفته در نظر گرفته می‌شود و مسیر جریان سریع و نامنظم، نیروی اینرسی را در سیستم به حداکثر می‌رساند.
- جریان برای عدد رینولدز بین ۲۳۰۰ تا ۳۵۰۰ جریان انتقالی در نظر گرفته می‌شود.

عوامل مؤثر در پایداری جریان



پایداری یک جریان و احتمال انتقال آن به تلاطم به اختلالات موجود بستگی دارد. اگر اغتشاشات کوچک باشند، جریان آرام باقی می‌ماند، در حالی که اغتشاشات بزرگ‌تر می‌توانند جریان را بی‌ثبات کرده و منجر به تلاطم شوند. درک پایداری یک جریان برای پیش‌بینی و کنترل رفتار آشفته در کاربردهای مختلف ضروری است. عوامل مؤثر در پایداری جریان به شرح زیر هستند:

اغتشاش

یکی از عواملی که می‌تواند بر پایداری یک جریان تأثیر بگذارد، وجود اغتشاش است. این اختلالات می‌توانند از منابع مختلفی مانند زبری سطح، ناپایداری جریان یا نیروهای خارجی وارد بر سیال ناشی شوند. در جریان آرام، اغتشاشات کوچک توسط نیروهای ویسکوز میرا می‌شوند و به جریان اجازه می‌دهند تا پایدار بماند. با این حال، با افزایش بزرگی اغتشاشات، می‌تواند بر اثر میرایی ویسکوزیته غلبه کنند و انتقال به تلاطم را آغاز کنند.

شکل و هندسه حوزه جریان

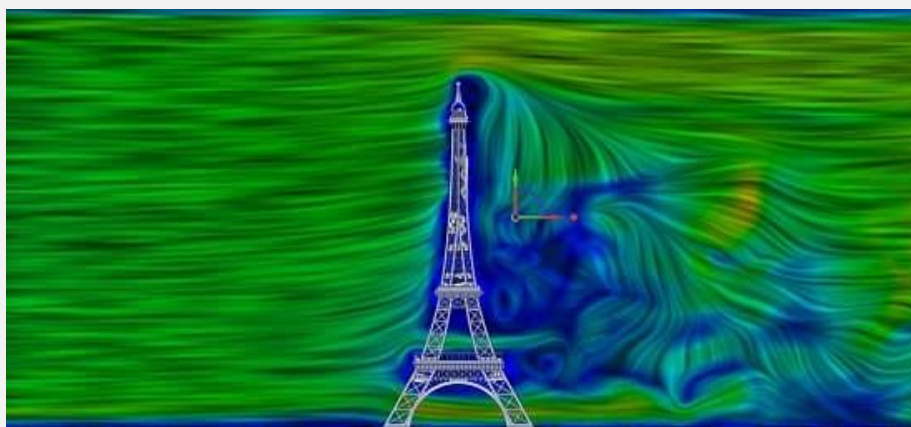
پایداری یک جریان نیز می‌تواند تحت تأثیر شکل و هندسه حوزه جریان باشد. برای مثال، جریان‌های اطراف اجسام ساده، مانند ایرفویل‌ها یا زیردریایی‌ها، در مقایسه با جریان‌های اطراف اجسام بلوف، مانند استوانه‌ها یا کره‌ها، پایدارتر و کمتر مستعد تلاطم هستند. شکل کارآمد اجازه می‌دهد تا جریان برای مسافت طولانی‌تری به سطح متصل بماند و احتمال جدا شدن جریان و شروع آشفتگی را کاهش دهد.

عدد رینولدز

علاوه بر اختلالات و هندسه جریان، عدد رینولدز خود نقش مهمی در تعیین پایداری یک جریان دارد. در اعداد پایین رینولدز، نیروهای چسبناک غالب هستند و جریان حتی در حضور اغتشاشات آرام می‌ماند. با این حال، با افزایش عدد رینولدز، نیروهای اینرسی قابل‌توجه‌تر می‌شوند و جریان بیشتر مستعد تلاطم می‌شود.

این انتقال اغلب با تشکیل گرداب‌ها و ناپایداری‌های جریان همراه است که به شکسته شدن جریان آرام کمک می‌کند. به طور کلی اگر عدد رینولدز بیشتر از ۳۵۰۰ باشد، جریان آشفته است.

ویژگی‌های جریان آشفته



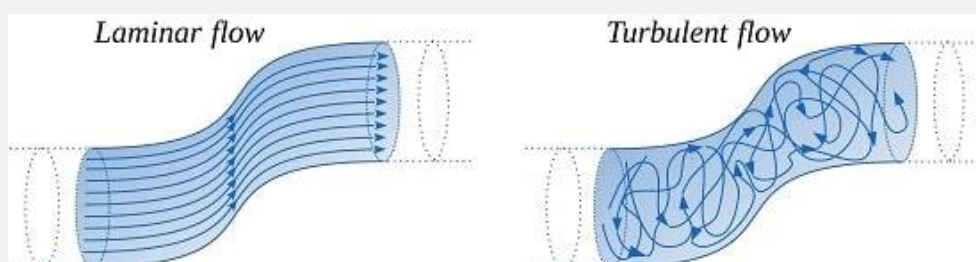
جریان آشفته تمایل دارد در سرعت‌های بالاتر، ویسکوزیته کم و در ابعاد خطی مشخصه بالاتر رخ دهد.

از سایر ویژگی‌های جریان آشفته می‌توان موارد زیر را یاد کرد:

- **نامنظمی:** جریان با حرکت نامنظم ذرات سیال مشخص می‌شود. حرکت ذرات سیال آشفته است. به همین دلیل، جریان متلاطم معمولاً به جای قطعی بودن، به صورت آماری بررسی می‌شود.
- **نفوذ:** در جریان آشفته، توزیع سرعت نسبتاً مسطح در سراسر بخش لوله وجود دارد. نتیجه این است که کل سیال در یک مقدار مشخص جریان می‌یابد و به سرعت، بسیار نزدیک به دیواره‌ها افت می‌کند. مشخصه‌ای که باعث افزایش اختلاط و افزایش سرعت انتقال جرم، تکانه و انرژی در یک جریان می‌شود، "نشت" نامیده می‌شود.

- **چرخش:** جریان متلاطم با مکانیزم تولید گرداب سه بعدی قوی مشخص می‌شود. این مکانیسم به کشش گردابی معروف است.
- **اتلاف:** فرایند اتلاف فرایندی است که در آن انرژی جنبشی جریان آشسته با تنش برشی ویسکوز به انرژی داخلی تبدیل می‌شود.

تفاوت بین جریان آرام و آشسته



جدول زیر تفاوت‌های بین جریان آرام و آشسته را نشان می‌دهد:

جنبه	جریان آرام	جریان آشسته
شرح جریان	جریان روان و منظم	آشسته و نامنظم
لایه‌ها	بدون اختلاط در لایه‌های موازی جریان می‌یابد.	لایه‌ها به دلیل گردابه‌ها و نوسانات مخلوط می‌شوند.
مقاومت در برابر مایعات	مقاومت کم به دلیل جریان صاف	مقاومت بالا در اثر اختلاط و نوسانات
سرعت	سرعت ثابت و قابل پیش‌بینی است.	سرعت به طور قابل توجهی متفاوت است.
مثال کاربردی	در میکروسیال‌ها و هودهای جریان هوای آرام استفاده می‌شود.	در رودخانه‌های پر جریان و سیستم‌های HVAC یافت می‌شود.
افت فشار	افت فشار کم	افت فشار بالا
راندمان اختلاط	راندمان اختلاط پایین	راندمان اختلاط بالا
پایداری جریان	جریان پایدار	جریان ناپایدار حساس به اختلالات

چگونه از جریان آشفته جلوگیری کنیم؟

- برای جلوگیری از جریان آشفته، این استراتژی‌های کلیدی را دنبال کنید:
- **کاهش سرعت جریان:** کاهش سرعت جریان سیال به حفظ حالت آرام کمک می‌کند.
 - **سطح صاف:** از صاف بودن سطوح داخلی لوله‌ها و کانال‌ها اطمینان حاصل کنید تا اختلالات کاهش یابند.
 - **کاهش چگالی سیال:** استفاده از مایعات با چگالی کمتر می‌تواند به کاهش شروع تلاطم کمک کند.
 - **افزایش ویسکوزیته سیال:** سیالات چسبناک بیشتر به آرامی جریان می‌یابند که می‌تواند به جلوگیری از تلاطم کمک کند.
 - **انتخاب لوله‌های کوچک‌تر:** قطرهای کوچک‌تر در لوله‌ها با محدود کردن فضایی که در آن آشفتگی ایجاد می‌شود، جریان آرام را تشویق می‌کنند.
 - **کنترل نرخ جریان:** تنظیم نرخ جریان برای ماندن در محدوده‌ای که جریان آرام را پشتیبانی می‌کند بسیار مهم است.

اهمیت جریان آشفته

جریان آشفته به مطالعات آکادمیک محدود نمی‌شود و حضور آن در دنیای واقعی پررنگ است. این مکانیزم بر پدیده‌های مختلف طبیعی و مصنوعی تأثیر می‌گذارد. توانایی درک و کنترل جریان آشفته پیامدهای مهمی در مهندسی و طراحی دارد. در زمینه‌هایی مانند مهندسی هوافضا، خودرو و

محیط زیست، بهینه‌سازی جریان سیال و کاهش اثرات مربوط به تلاطم می‌تواند عملکرد، کارایی و ایمنی را افزایش دهد.

کاربردهای جریان آشفته



جریان آشفته، علی‌رغم ماهیت به ظاهر آشفته آن، کاربردهای عملی متعددی در صنایع و فرایندهای مختلف دارد. در اینجا چند کاربرد کلیدی وجود دارد که خواص جریان آشفته سودمند است:

انتقال حرارت

در سیستم‌هایی مانند رادیاتورها، مبدل‌های حرارتی و سیستم‌های تهویه مطبوع که گرما نیاز به انتقال مؤثر دارد، جریان آشفته می‌تواند سرعت انتقال حرارت را افزایش دهد. افزایش اختلاط و اغتشاش در لایه‌های مرزی مقاومت حرارتی را کاهش می‌دهد و امکان تبادل گرمای مؤثرتر بین سیال و سطوح را فراهم می‌کند.

آیرودینامیک

در زمینه آیرودینامیک، جریان متلاطم بر روی سطوح می‌تواند به کاهش درگ تحت شرایط خاص کمک کند. به‌عنوان مثال، توپ‌های گلف در فرورفتگی‌ها یک لایه مرزی آشفته ایجاد می‌کنند که کشش را کاهش می‌دهد و به توپ اجازه می‌دهد بیشتر حرکت کند.

موتورهای احتراقی

در موتورهای احتراقی، جریان متلاطم به اختلاط کامل سوخت و هوا کمک می‌کند که برای احتراق کارآمد ضروری است و این اختلاط بهبود یافته منجر به راندمان بهتر سوخت و کاهش انتشار گازهای گلخانه‌ای می‌شود.

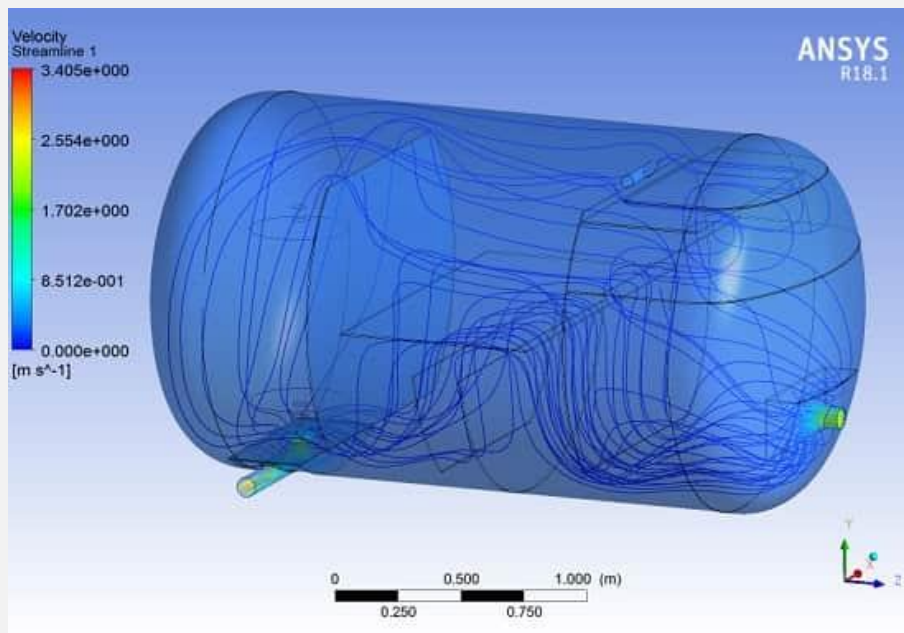
تصفیه آب

جریان آشفته همچنین در تأسیسات تصفیه آب برای تقویت اختلاط مواد شیمیایی تصفیه با آب استفاده می‌شود. این کار تضمین می‌کند که آلاینده‌ها به طور مؤثر خنثی شوند.

هواشناسی

مطالعه تلاطم‌های جوی به هواشناسان کمک می‌کند تا الگوهای آب و هوا را به‌ویژه برای پدیده‌های مربوط به حرکت سریع هوا، مانند طوفان‌ها و جریان‌های جت، بهتر درک و پیش‌بینی کنند.

مدل سازی جریان های آشفته در نرم افزار ANSYS Fluent



در مدل سازی جریان های آشفته با استفاده از نرم افزار ANSYS Fluent ، انتخاب مدل آشفتگی مناسب برای شبیه سازی دقیق و معتبر جریان ها یکی از مهمترین چالش ها است. مدل های مختلف آشفتگی برای شبیه سازی انواع مختلفی از جریان های آشفته طراحی شده اند و هر یک در شرایط خاص خود مزایا و معایب دارند.

مدل های آشفتگی در ANSYS Fluent

۱. مدل اسپالارت آلماراس (Spalart-Allmaras)

- کاربردها: بیشتر در جریان های هوا فضایی و توربو ماشین ها استفاده می شود.
- مزایا: ساده و سریع است.

- **معایب:** دقت پایین‌تر نسبت به سایر مدل‌ها برای جریان‌های پیچیده‌تر دارد.

۲. مدل $K\text{-Epsilon}$ ($k\text{-}\epsilon$)

- **کاربردها:** مدل $K\text{-Epsilon}$ یکی از رایج‌ترین مدل‌ها برای جریان‌های آشفته است و در بسیاری از کاربردهای صنعتی از جمله جریان‌های دارای جدایش و جریان‌های ثانویه پیچیده کاربرد دارد.

- **مزایا:** پیاده‌سازی آسان و زمان حل سریع دارد.
- **معایب:** نمی‌تواند برخی از پدیده‌های پیچیده مانند جدایش‌های شدید را به دقت مدل‌سازی کند.

۳. مدل $K\text{-Omega}$ ($k\text{-}\omega$)

- **کاربردها:** مناسب برای جریان‌های آشفته‌ای که در نزدیکی سطوح جامد رخ می‌دهند و پدیده جدایش و گردابه‌ها در آن‌ها غالب است.

- **مزایا:** بهتر از مدل $K\text{-Epsilon}$ در شبیه‌سازی جریان‌های نزدیک به دیواره می‌باشد.
- **معایب:** دقت کمتری در نواحی آزاد (دور از دیواره‌ها) نسبت به مدل $K\text{-Epsilon}$ دارد.

۴. مدل انتقال تنش برشی ($\text{Transition } k\text{-kl-}\omega$)

- **کاربردها:** مناسب برای شبیه‌سازی انتقال بین جریان‌های آرام و آشفته، به ویژه در شرایطی که جریان از وضعیت آرام به وضعیت آشفته تبدیل می‌شود.

- **مزایا:** قابلیت مدل سازی تغییرات بین جریان های آرام و آشفته دارد.

- **معایب:** نیاز به تنظیمات دقیق و پیچیدگی بیشتر دارد.

۵. مدل SST (Shear Stress Transport)

- **کاربردها:** برای جریان های آشفته ای که شامل پدیده های جدایش و گردابه ها هستند، به ویژه در جریان هایی که به شدت به دیواره ها وابسته هستند.

- **مزایا:** ترکیب خوبی از مدل های K-Epsilon و K-Omega است و برای جریان های آشفته با جدایش ها و گردابه های بزرگ بسیار مناسب است.

- **معایب:** نیاز به محاسبات بیشتر نسبت به مدل های ساده تر دارد.

انتخاب مدل مناسب برای شبیه سازی جریان آشفته

برای انتخاب مدل مناسب آشفتگی در نرم افزار Fluent، باید عواملی مانند ویژگی های جریان، پدیده های غالب جریانی (مثل جدایش، گردابه ها و جریان های ثانویه) و دقت مورد نیاز را در نظر گرفت. معمولاً مهندسان ابتدا جریان را با مدل های مختلف شبیه سازی می کنند و سپس نتایج را با داده های تجربی مقایسه می کنند. مدل هایی که نتایج آن ها نزدیک به داده های تجربی باشد، معمولاً برای شبیه سازی انتخاب می شوند.

سخن آخر

جریان آشفته یک پدیده فریبنده و پیچیده است که در دینامیک سیالات رخ می‌دهد و با حرکت آشفته و غیر قابل پیش‌بینی همراه با نوسانات در سرعت، فشار و چگالی مشخص می‌شود. بر خلاف جریان آرام که در آن سیال به آرامی در لایه‌های منظم حرکت می‌کند، جریان متلاطم الگوها و گرداب‌های نامنظمی را نشان می‌دهد که محققان و مهندسان را مجذوب خود می‌کند. جریان‌های آشفته در بسیاری از پدیده‌های طبیعی (مانند جریان‌های رودخانه، جریان‌های جوی، همرفت طبیعی) و کاربردهای مهندسی (مانند جریان باد در یک شهر، تحلیل‌های آیرودینامیکی، ریخته‌گری پیوسته، فرایند خاموش‌کردن، سیستم‌های سرمایش/گرمایش) وجود دارند. درک و پیش‌بینی جریان آشفته همچنان یک کار چالش برانگیز است؛ اما برای بهینه‌سازی برنامه‌های مختلف در دنیای واقعی ضروری است. از طریق انواع نظریه‌های علمی و درمان‌های آماری، دانشمندان و مهندسان همچنان به کشف رازهای جریان آشفته و بهره‌برداری از پتانسیل آن برای نوآوری و پیشرفت ادامه می‌دهند.