

ساختارشناسی جریان آشفته و ساختارهای منسجم



به‌اهتمام: نیما بهلولی، دانش‌آموخته
 دانشکده فنی دانشگاه تبریز،
 دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی مکانیک
 گرایش تبدیل انرژی دانشگاه علم
 و صنعت ایران

شیمیایی در کوره‌ها و موتورها، بلکه برای یک مدل‌سازی پایدار و ماندنی گسترش یافت.

تکنیک‌ها و شرایط نمونه‌گیری بسیاری برای استنباط^۵ ساختارهای منسجم در آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌های عددی ارائه شد.

جریان کاملاً توربلان از جمله میدان خیلی دور از جت شامل لایه‌های دنباله و لایه‌های اختلاط، ورتکس‌های آنی و ... در استنتاج و شناسایی مشخصه‌ها و ساختارهای ورتیکال نقش بسیار مهمی دارد. لوگت^۶ در سال ۱۹۷۹ ورتکس را به‌صورت مجموعه از ذرات مواد که به دور یک مرکز مشترک می‌چرخند تعریف کرد. چونگ، پژی و کانتول^۷ در سال ۱۹۹۰ ورتکس را به‌عنوان ناحیه مقادیر ویژه مختلط گرادیان سرعت معرفی کردند. این در حالی است که ورای و موین^۸ در سال ۱۹۸۸ ورتکس را به‌عنوان ناحیه‌ای شامل هر دو نامتغیر مثبت و فشار کم معرفی کرده بودند. با استفاده از بحث‌های DNS، رابینسون^۹ در سال ۱۹۹۱ نشان داد که معیار فشار پایین به‌صورت موثر ساختارهای ورتیکال در لایه‌های مرزی توربلان را دستگیر میکند و یا به عبارتی قادر به شناسایی آن می‌باشد. با این حال این معیار قادر به شناسایی کلیه ساختارها ورتیکال در جریان نیست. جئونگ و حسین در سال ۱۹۹۵ دو التزام و نیازمندی اولیه برای هسته ورتکس را به‌صورت زیر معرفی کردند:

۱. هسته ورتکس باید دارای ورتیسیت خالص باشد.

۲. هندسه یک هسته ورتکس باید نامتغیر Galilan باشد.

ساختارهای منسجم

ساختارهای منسجم و ورتکس‌ها: زمینه توربولانس ایزوتروپیک همگن و جریان برشی توربلانی نوعی در شکل ۱ مقایسه شده‌اند. همان‌طور که قابل مشاهده است تصویر الف میدان توربولانس را نشان می‌دهد که با مقیاس‌های بسیار کوچک شبکه‌بندی شده است. در حالی که تصویر (ب) لایه اختلاطی توربلان را که به وسیله دو جریان هم‌ریز و به هم برخوردیده با سرعت بالا در بالا و سرعت پایین در ته به وجود آمده است نشان می‌دهد.

در تصویر (الف) هیچ ساختار سازمان‌یافته‌ای را در مورد فاصله جریان در شبکه‌ها از هم قابل مشاهده نیست. اما در تصویر

توربولانس که در حال حاضر مطالعات فراوانی بر روی آن انجام می‌شود، شامل جریان‌های بسیاری است که از مقیاس‌های متنوع تشکیل شده است. این مقیاس‌ها از ابعاد بزرگ در مقیاس هندسه اصلی تا طول کولموگروف می‌باشد. در نتیجه توربولانس فقط از مقیاس‌های کوچک رندوم تشکیل نشده است. بلکه ساختارهای منسجم فضایی را نیز شامل می‌شود. از آنجایی که ساختارهای غیرمنسجم خیلی سریع‌تر از ساختارهای منسجم ناپدید می‌شوند، ساختارهای منسجم نقش و تأثیر مهم‌تری در انتقال مشخصه‌های توربولانس دارند. مطالعه رفتار این ساختارها به‌عنوان دینامیک ورتکس شناخته می‌شود که در سال‌های اخیر پیشرفت بسزایی داشته است.

مفهوم ورتکس به قدمت موضوع هیدرودینامیک است. اینکه ورتکس چیست و چه نقشی در توربولانس دارد، یکی از قدیمی‌ترین و در عین حال مبهم‌ترین سوالات زمینه توربولانس است. یکی از اولین تعاریف مربوط به ورتکس توسط لمب^۱ در سال ۱۹۴۵ ارائه شده است. او لوله ورتکس را که سطح آن شامل خطوط ورتکس است معرفی کرده که البته وجود لوله ورتکس ضامن وجود ورتکس نیست. چرا که به عنوان مثال یک لوله جریان لامینار می‌توان دارای لوله با همان مجراهای ورتکس باشد ولی هیچ‌یک از مشخصه‌های ورتکس را نشان نمی‌دهد.

یک تعریف هدفمند از ورتکس باید اجازه استفاده از مفهوم دینامیک ورتکس را برای استنباط ساختارهای منسجم، توضیح تشکیل و بزرگ‌شدن ساختارهای منسجم، اکتشاف نقش ساختارهای منسجم در پدیده‌های توربولانس، بقا و استراتژی کنترل پدیده‌های توربولانسی را بدهد. توربولانس به صورت تارهای درهم‌تنیده ورتکس‌ها در یک میدان دیده می‌شود و بسیاری از مفاهیم و فیزیک توربلان به کمک مفهوم ورتکس و دینامیک ورتکس قابل توضیح هستند. (تنکس و لاملی ۱۹۷۲). در سال ۱۹۸۰ حسین و در سال ۱۹۸۱ (لوملی) و همچنین کانتول^۲ جریان برشی توربلان را به صورت فضا‌های منسجم غالب که حرکت جسمانی ورتیکال داشتند و مشهور به ساختارهای منسجم شدند شناسایی کردند. در این دهه تا سال ۱۹۹۱ در تلاش‌های بسیار از جمله تحقیقات حسین و ملاندر^۴ دینامیک ورتکس که سیر تکاملی بر هم‌کنش، کوپل‌شدن و تحمل ساختارهای منسجم را نه فقط برای درک پدیده‌های توربلانی مثل مخلوط‌شدن، انتقال جرم و گرما، واکنش‌های

5. Deduction6Ferre&Giralt

6. Lugt

7. chong, perry&contwell

8. wray&oin

9. Robinson

1. Lamb

2. Tennekes& Lumley

3. Cantwell4Mumford7Kim

4. Hussain&melandeL5Fridler&Mensing



شکل ۱: الف- زمینه توربولانس ایزوتروپیک همگن و جریان برشی توربلانی نوعی



شکل ۱: ب- مقایسه ساختارهای منسجم و ساختارهای رندوم در یک جریان آشفته

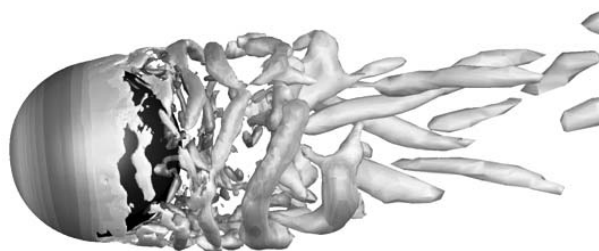
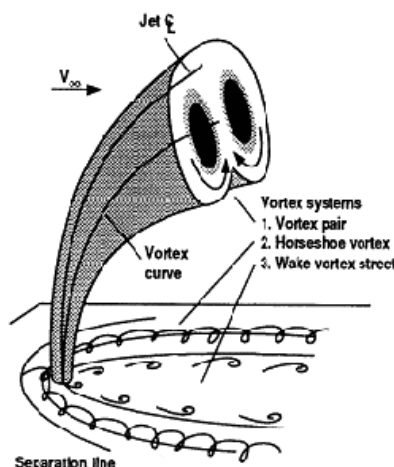
جریان مرتبط به هم را در نزدیکی دیواره منسجم هستند. مفهوم ساختار منسجم بر مبنای درک معمول حاکی از اینکه قسمت سازمان یافته از خصوصیت ساختارها قابل شناسایی از کل میدان توربولانس است، پایه گذاری شده است. خصوصیت شکلی و ظاهری ساختارها به هر طریقی حفظ می شود. با این حال، این ساختارها در زمان و مکان به طور پیوسته در حال تغییر هستند. با توجه به مطالب بالا معیارها شناسایی ساختارهای منسجم و یا تشخیص و تعیین یک ساختار به عنوان ساختار سازمان یافته متغیر و متفاوت هستند. شکل ۲ نمایی از دو ساختار سنجاق سر و دنباله را نشان می دهد.

نکته مهمی که در ساختارشناسی جریان آشفته باید مد نظر داشت نقش بسزای این ساختارها در تعیین الگوی جریان و نحوه تعامل آنها با پارامترهای مهم فیزیکی از جمله انتقال حرارت، نیروی دراک، نیروهای اصطکاکی و برشی است. اهمیت ساختارهای آشفته وقتی مشخص می شود که توجه خویش را به این نکته معطوف کنیم که این ساختارها و بخصوص ساختارهای منسجم گاهی تا ۹۸٪ انتقال مومنوم و انرژی در یک میدان جریان را منتقل می کنند و در نتیجه با شناخت صحیح آنها و نحوه تعامل بین آنها می توانیم به یک الگوی مناسب در پیش بینی و کنترل جریان های آشفته دست یابیم. شناخت صحیح این ساختارها می تواند در جهت دستیابی به راندمان بالا در مساله های مهم نیز راهگشا باشد. چراکه در هر فیزیک مسئله ای اکثر این ساختارها حضور دارند و با ایفای نقش خود تعیین کننده نوع جریان می باشند. گاهی عمل و عکس العمل این ساختارها مطابق میل ما از فیزیک جریان است و گاهی نیز برخی از ساختارها باعث کاهش بهره وری از میدان جریان می شود. به عنوان مثال اگر در یک سیستم مایل به حداقل اختلاط بین دو سیال در یک مساله باشیم، بدیهی است که وجود ساختار CRVP می تواند ما را از مطلوب مورد نظرمان دور کند چراکه این ساختار یکی از مهم ترین ساختارهای منسجم برای اختلاط بین

(ب) خم شدگی و رتکس های عرضی به دلیل ناپایداری در ناحیه برشی دیده می شود. نکته قابل توجه این است که اندازه این ساختارها بسیار متفاوت است. ساختارهای ورتیکال کوچک در حرکت رندوم می باشند در حالی که ساختارهای عرضی در مقیاس های بزرگ سازمان یافته تر هستند. این ساختارهای مرتبط سازمان یافته را در توربولانس به عنوان ساختارهای منسجم می شناسند. ساختارهای منسجم معمولاً شامل بخش اعظم انرژی توربلانی و نقل و انتقال کمیت های توربولانس غالب می باشند. بنابراین شناسایی این ساختار برای شناسایی و مدل کردن توربولانس و همچنین برای کنترل کردن پدیده های توربولانس از قبیل، اختلاط، انتقال گرما، احتراق، مقاومت توربلانی و بسیاری دیگر از اهمیت بسزایی برخوردار است. تعاریف بسیاری برای ساختارهای منسجم ارائه گشته است که در اینجا این تعریف را ارائه می کنیم.

”ساختارهای منسجم گروهی از ساختارهای قابل استنتاج ورتیکال هستند که از لحاظ فضایی سازمان یافته بوده و بخش اعظم انرژی توربلانی را شامل می شوند. این ساختارها در میدان جریان توربلانی تقریباً معین هستند و از لحاظ مکان، فاز دمایی و گرمایی پیش بینی ناپذیرتر از شکل و اندازه هستند.“

لازم است توجه ویژه ای به برخی از مفاهیم وابسته به ساختارهای منسجم می ذول داریم. اول اینکه مفهوم ساختار منسجم متفاوت از دانش به دست آمده از توربولانس در طول تاریخ می باشد. در ابتدای دوره شناسایی و فاش شدن ساختارهای منسجم واژه ساختار منسجم بزرگ معمولاً پراستفاده بود. اما مدتی بعد کاشف به عمل آمد که اندازه ساختارها در مقابل میزان سازمان یافتگی آنها معیاری کم ارزش تر برای شناسایی ساختارهای منسجم می باشد. مثلاً پیش و واژگونی بزرگ حرکت در لایه مرزی توربلانی معمولاً به عنوان ساختار منسجم در نظر گرفته نمی شود. یا حداقل انسجام آن را ضعیف می پندارند اما ورتکس های کوچک در جهت



شکل ۳: نمونه‌هایی از شکل‌گیری ساختارهای مختلف در کاربردهای مختلف

شکل ۲: نمایی از دو ساختار سنجاق سر و دنبال

شکل‌گیری ساختارها منسجم را داشت و با توجه به تعامل این ساختارها با پارامترهای اساسی جریان علت اندرکنش‌های مختلف بین این پارامترها در کانال را ریشه‌یابی کرد.

نکته مهم دیگری که در مورد این ساختارها وجود دارد این است که تعدادی از این ساختارها در اکثر جریان‌های آشفته حضور دارند و در نتیجه با شناخت صحیح این ساختارها می‌توان در مورد بیشتر جریان‌های آشفته که در مسائل مختلف حضور دارند اطلاعات مفید به‌دست آورد. به بیان دیگر، پایه‌ریزی یک الگوی ساختارشناسانه در مورد این چند ساختار می‌تواند در تحلیل میدان جریان در بسیاری از جریان‌های آشفته راهگشا باشد. به‌عنوان مثال می‌توان به ساختارهای نعل اسب، سنجاق سر و دنباله اشاره کرد که در اکثر جریان‌ها حضور دارند. در شکل ۳ نمونه‌هایی از شکل‌گیری ساختارهای مختلف در کاربردهای مختلف را نشان می‌دهد.

از دیگر موارد اهمیت ساختارشناسی جریان آشفته تحلیل صحیح اندرکنش بین پارامترهای مختلف است به عبارت بهتر تحلیل صحیح میدان جریان می‌تواند با استفاده از الگوی ساختارشناسانه در مورد ساختارهای منسجم صورت پذیرد. در یکی از مسائل مهم در تحقیقات بر روی جریان‌های آشفته، عدم تحلیل مناسب میدان جریان می‌باشد. اکثر تحقیقات صورت گرفته در حوزه توربولانس صرفاً به نتایج میدان جریان‌ها پرداخته‌اند و معمولاً بهای زیادی به تحلیل صحیح جریان داده نمی‌شود. این در حالی است که با تحلیل الگوی جریان می‌توان به بهره‌وری در این حوزه دست یافت و این امر بیانگر ارزش و بکر بودن این حوزه در توربولانس است.

دو جریان به شمار می‌رود. بدیهی است در صورتی که بتوان نحوه ایجاد و شکل‌گیری این ساختار را به صورت علمی و با توجه به شرایط مختلف به‌دست آورد و در قالب یک الگوی واحد و چارچوب منطقی قرارداد آنگاه می‌توان با ایجاد شرایطی که عکس شرایط فوق می‌باشند از شکل‌گیری آن جلوگیری کرد و یا در حالاتی خاص با ایجاد چند ساختار با تعامل مختلف اثرگذاری آن را کاهش داد. این موضوع امروزه به یکی از مهم‌ترین مباحث روز دنیا در حوزه توربولانس تبدیل گشته است. ایجاد و کنترل ساختارهای مختلف در یک میدان جریان برای دستیابی به اهداف مورد نظر در مرحله اول نیاز به شناخت صحیح این ساختارها دارد. بدیهی است پس از شناخت کامل ساختارها و شرایطی که منجر به ایجاد آنها می‌شود می‌توان با کنترل، ایجاد و یا از بین بردن برخی از آنها، میدان جریان را آن‌گونه که مطابق میل ماست ایجاد کنیم. در نتیجه با این رویه ساختارشناسان جریان آشفته میدان و پارامترهای جریان را آن‌گونه که مطابق میل آنهاست به‌دست می‌آورند و از مدل‌های توربولانس در جهت اهداف خود استفاده می‌کنند. علاوه بر موارد فوق با ساختارشناسی یک جریان می‌تواند دلایل ایجاد گرادین‌های مختلف دما، فشار، سرعت را در یک میدان جریان به صورت علمی دریافت. ناگفته مشخص است که ساختار جریان‌های توربولانس به قدری پیچیده و در عین حال تصادفی است که پیش‌بینی دقیق الگوی جریان در حال حاضر تقریباً محال به نظر می‌رسد. اما با شناخت دقیق الگوی جریان می‌تواند دیدی مفید از یک جریان ایجاد کرد و تا حد امکان با استفاده از الگوی ایجاد شده پیش‌بینی‌هایی از روند جریان داشت و به عنوان مثال با درک صحیح ساختارهای منسجم جریان سیال در یک کانال می‌توان تأثیر پارامترهای مختلف از جمله عدد رینولدز یا دمای سطح را بر