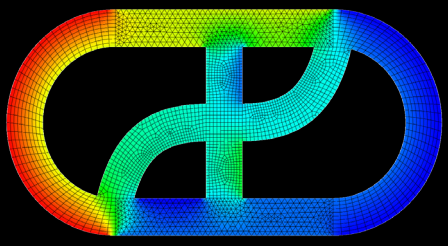


CFD EXPERTS

Simulate the Future

WWW.CFDEXPERTS.NET

مجموعه مقاله‌های آموزشی

شماره ۱

تاریخچه مختصر CFD

CFD Short History

نویسنده

جواد سپاهی یونسی

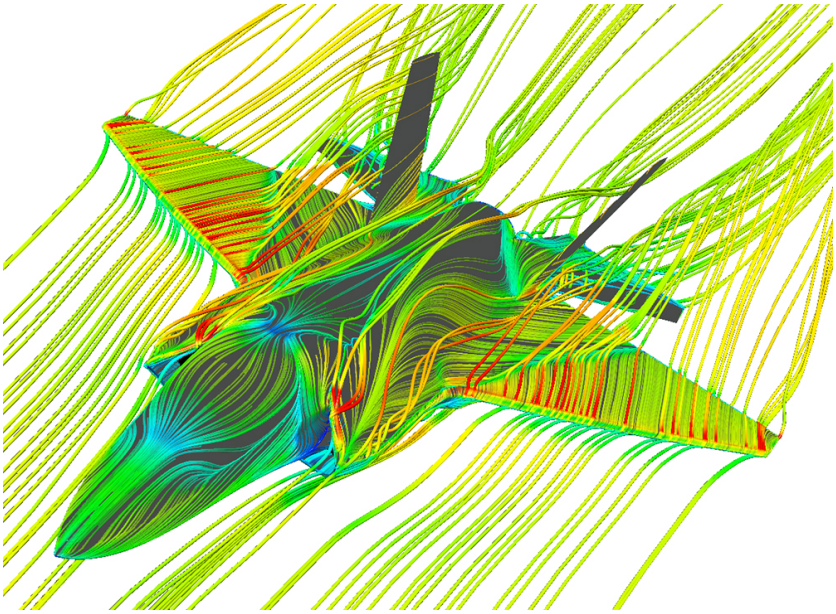
تمام حقوق برای سایت WWW.CFDEXPERTS.NET محفوظ است.

۱ تاریخچه مختصر CFD

تاریخچه دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) به اوایل دهه ۱۹۷۰ میلادی برمی‌گردد. در آن زمان، این اصطلاح مخففی برای ترکیب فیزیک، ریاضیات عددی و تا حدی علوم کامپیوتری بود که برای شبیه‌سازی جریان سیال استفاده می‌شد. محرک شروع CFD، در دسترس بودن روزافزون رایانه‌های Mainframe بود و اکنون نیز پیشرفت CFD ارتباط تنگاتنگی با سیر تکاملی فن‌آوری‌های رایانه‌ای دارد. ازجمله کاربردهای اولیه CFD می‌توان به شبیه‌سازی جریان‌های گذرصوتی (Transonic) بر پایه حل معادله پتانسیل غیرخطی اشاره کرد.

یک رایانه Mainframe

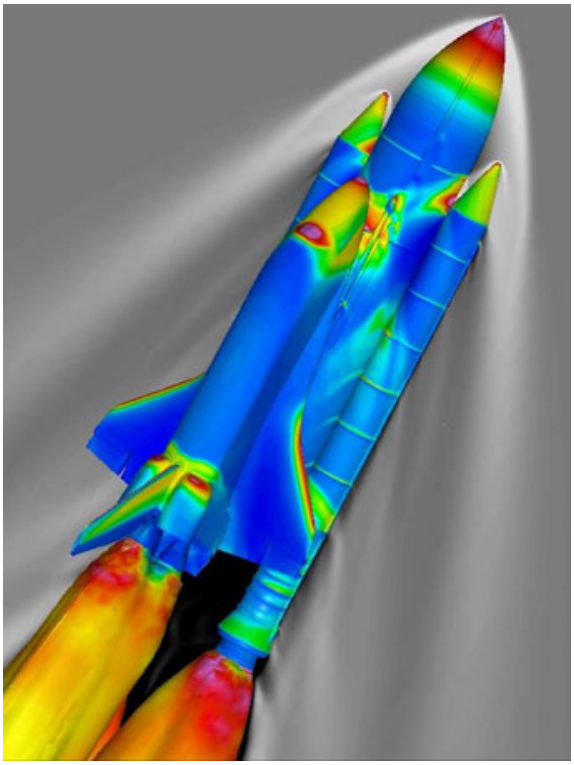
با شروع دهه ۱۹۸۰ میلادی، ابتدا حل معادلات دوبعدی و سپس معادلات سه‌بعدی اویلر امکان‌پذیر شد. به خاطر افزایش روزافزون سرعت ابررایانه‌ها (Supercomputers) و توسعه طیف وسیعی از روش‌های سریع عددی مانند Multigrid، امکان شبیه‌سازی جریان غیرلزج حول یک هواپیمای کامل یا داخل توربوماشین فراهم شد.



خطوط جریان حول یک هواپیمای جنگنده

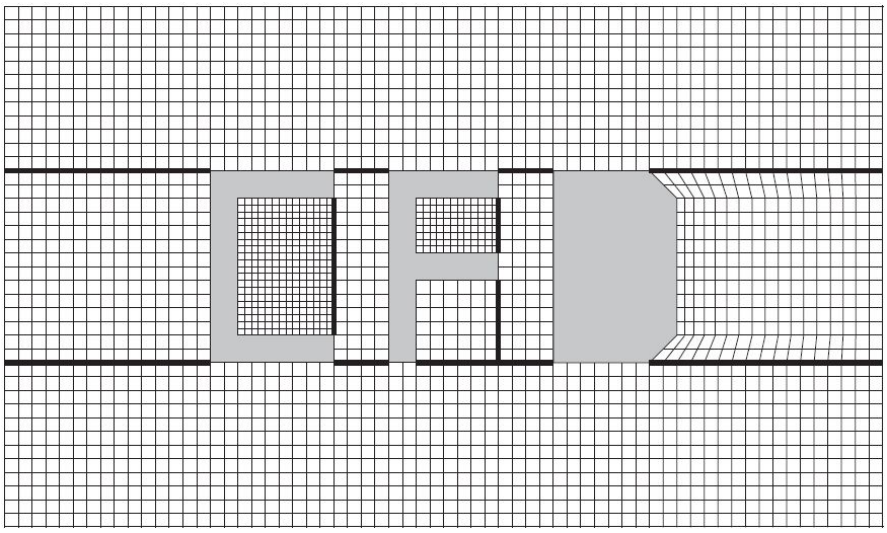
در اواسط دهه ۱۹۸۰ توجه‌ها معطوف به شبیه‌سازی جریان‌های لزج با حل معادلات ناویر- استوکس (Navier-Stokes) شد. هم‌زمان با این، انواع مدل آشفتگی با درجات مختلفی از پیچیدگی عددی و دقت محاسباتی توسعه یافت. در آن زمان رهیافت‌های پیش‌رو در حوزه مدل‌سازی آشفتگی، DNS و LES بودند که برای آشنایی با آن‌ها می‌توانید به این مقاله مراجعه کنید.

تا انتهای دهه ۱۹۸۰ با پیشرفت روش‌های عددی مخصوصا طرح‌های ضمنی (Implicit Schemes)، حل مسائلی که نیازمند مدل‌سازی گاز واقعی (Real Gas) بودند، امکان‌پذیر شد. ازجمله اولین شبیه‌سازی‌های مقیاس بزرگ می‌توان به شبیه‌سازی جریان سه‌بعدی ابرصوتی (Hypersonic) حول یک وسیله بازگشت به جو (Re-Entry Vehicle) مانند شاتل اروپایی HERMES اشاره کرد که با استفاده از مدل‌های شیمی تعادلی و بعدا غیرتعادلی انجام شد. تحقیقات زیادی برای شبیه‌سازی عددی احتراق و مخصوصا مدل‌سازی شعله انجام شد که در حال حاضر هم این تحقیقات ادامه دارد. این تلاش‌ها برای توسعه توربین‌های گاز و موتورهای با آلودگی کم بسیار مهم بودند. همچنین مدل‌سازی بخار و به‌ویژه مدل‌سازی چگالش بخار تبدیل به یک نکته کلیدی در طراحی توربین‌های بخار کارا شد.



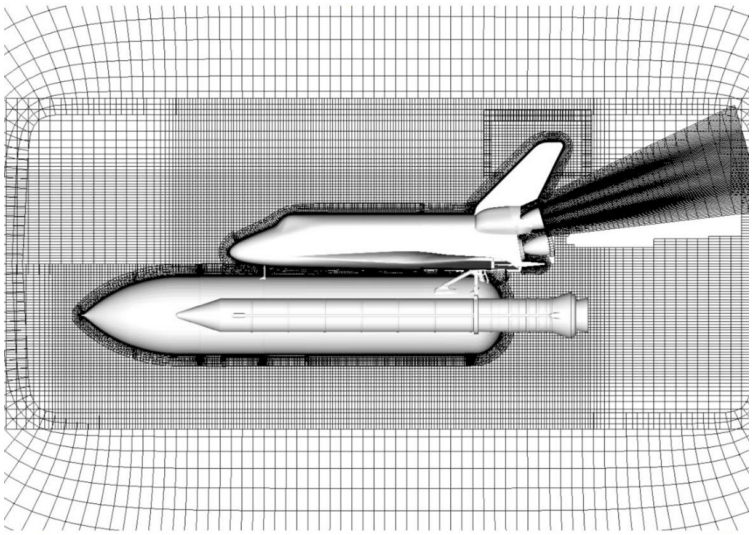
کانتورهای ضریب فشار روی سطوح یک شاتل فضایی که در ارتفاع ۲۰ هزار متری در عدد ماخ ۲٫۴۶ درحال پرواز است

با توجه به افزایش روزافزون پیچیدگی و دقت شبیه‌سازی‌های جریان، روش‌های تولید شبکه نیز مدام پیچیده‌تر شدند. توسعه‌های اولیه در این زمینه شامل مش‌های نسبتا ساده باسازمان (Structured) می‌شد که با استفاده از روش جبری یا روش حل معادلات PDE تولید می‌شدند. اما با افزایش پیچیدگی هندسی مدل‌ها، شبکه‌ها به تعدادی بلوک ساده‌تر تقسیم شدند (شبکه Multiblock). قدم منطقی بعدی استفاده از رابط‌های Non-matching در مرز بین بلوک‌ها به‌منظور کاهش قیدهای تحمیلی به روش‌های تولید شبکه در یک بلوک بود. سرانجام روش‌های حلی معرفی شدند که می‌توانستند با شبکه‌هایی که با هم Overlap داشتند، کار کنند (روش Chimera). برای مطالعه در مورد شبکه‌های باسازمان، بی‌سازمان (Unstructured) و Multiblock و نیز روش‌های تولید شبکه می‌توانید به این مقاله مراجعه کنید.



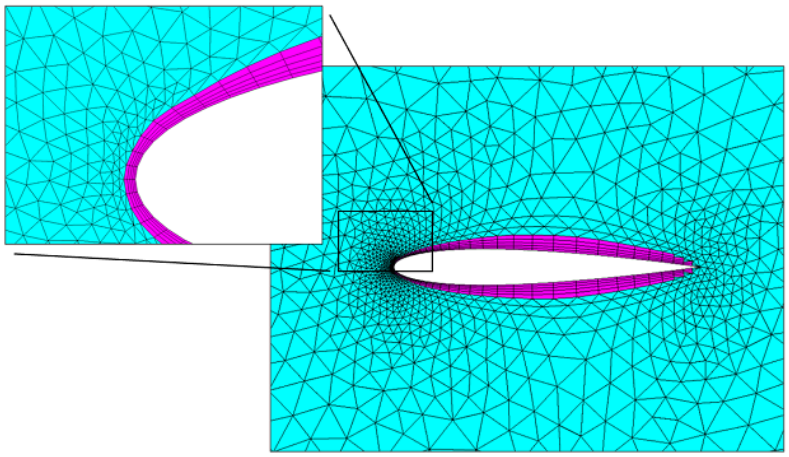
یک مش باسازمان Multiblock حول کلمه CFD

با استفاده از این روش‌ها شبیه‌سازی جریان حول یک شاتل فضایی کامل مجهز به مخزن بیرونی سوخت و بوسترها فراهم شد. بااین‌حال تولید یک شبکه باسازمان Multiblock برای یک هندسه پیچیده ممکن است هفته‌ها به طول انجامد. بنابراین پژوهش‌ها معطوف به توسعه روش‌های تولید شبکه بی‌سازمان و حل‌گرهای (Solver) جریان با هدف کاهش چشم‌گیر زمان تولید و حداقل دخالت کاربر شد.

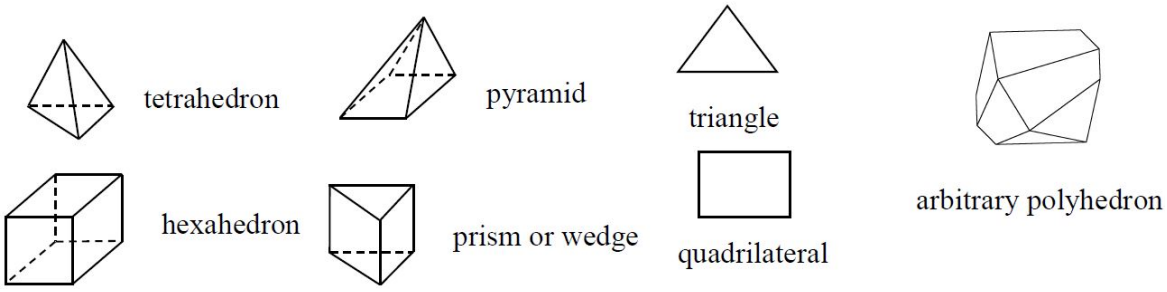


مش حول شاتل فضایی تولیدشده به روش Chimera

یکی دیگر از ویژگی‌های بسیار مهم شبکه بی‌سازمان امکان اداپشن (Adaption) مش بر اساس حل جریان است. اولین شبکه‌های بی‌سازمان تنها شامل سلول‌های چهاروجهی همگون (Isotropic Tetrahedron) بودند که برای حل معادلات اویلر حاکم بر جریان‌های غیر لزج کاملا کفایت می‌کرد. بااین‌حال حل معادلات ناویر-استوکس در اعداد رینولدز بالاتر نیازمند شبکه‌هایی بود که در لایه‌های برشی بسیار کشیده (Highly Stretched) باشند. با وجود اینکه این شبکه‌ها هم می‌توانستند با استفاده از سلول‌های چهاروجهی ساخته شوند، اما استفاده از سلول‌های منشوری‌شکل (Prism) یا شش‌وجهی (Hexahedron) در لایه مرزی و سلول‌های چهاروجهی خارج از لایه مرزی توصیه شد (مش لایه مرزی). با این پیشنهاد نه‌تنها دقت حل افزایش یافت، بلکه با کاهش تعداد سلول‌ها، باعث صرفه‌جویی چشم‌گیری در هزینه محاسباتی (زمان و حافظه موردنیاز برای انجام شبیه‌سازی) شد.



مش لایه مرزی حول ایرفویل



شکل‌های مختلف سلول‌های دوبعدی و سه‌بعدی

امروزه استفاده از CFD برای طراحی هواپیما، توربوماشین، اتومبیل و کشتی کاملا جا افتاده است. علاوه بر این CFD در هواشناسی، اقیانوس‌شناسی، اخترفیزیک، زیست‌شناسی، بازیابی نفت و معماری نیز کاربرد دارد. بسیاری از روش‌های عددی CFD برای حل معادلات ماکسول (Maxwell) یا در آیروآکوستیک (Aeroacoustics) نیز استفاده می‌شوند. بنابراین CFD به یک ابزار طراحی مهم در مهندسی و همچنین یک ابزار تحقیقاتی ضروری در علوم مختلف تبدیل شده است. با توجه به پیشرفت روش‌های عددی و فن‌آوری‌های رایانه‌ای، اکنون می‌توان مسائل با هندسه و فیزیک پیچیده‌تر را روی رایانه‌های شخصی یا سیستم‌های پردازش موازی اجرا کرد. شبیه‌سازی جریان‌های لزج در مقیاس بزرگ روی شبکه‌های با چندین میلیون المان می‌تواند تنها طی چند ساعت با استفاده از ابررایانه‌های امروزی انجام شود. بااین‌حال، اینکه تصور شود CFD اکنون یک فن‌آوری بالغ همانند روش‌های اجزا محدود در مکانیک جامدات است، کاملاً اشتباه است. خیر، هنوز سوالات بی‌پاسخ زیادی به‌عنوان مثال در زمینه‌های مدل‌سازی آشفتگی، احتراق و انتقال حرارت، روش‌های کارای حل جریان‌های لزج، روش‌های گسسته‌سازی قوی و دقیق، تولیدکننده‌های خودکار شبکه و غیره وجود دارد. همچنین کوپل کردن CFD با سایر زمینه‌ها (مثلا مکانیک جامدات) به تحقیقات بیشتری نیاز دارد. علاوه بر این، چشم‌اندازهای جدیدی در زمینه بهینه‌سازی طراحی به کمک CFD وجود دارد.

نظرات خود را در مورد این مقاله با ما در میان بگذارید.

منابع و مراجع

[۱] J. Blazek, "Computational Fluid Dynamics: Principles and Applications", 3rd Ed., Elsevier, 2015.