



دانشگاه صنعتی امیرکبیر

دانشکده مهندسی هوافضا

پایان نامه به منظور اخذ درجه کارشناسی ارشد در گرایش آیرودینامیک

تدوین نرم افزار آموزشی دینامیک سیالات عددی

نگارش

شهرزاد غفاری مسنن زاده

استاد راهنما: جناب آقای دکتر سید محمد حسین کریمیان

دی ماه ۱۳۸۷



دانشگاه صنعتی امیرکبیر  
(پلی تکنیک تهران)

بسمه تعالی

تاریخ: ۱۳۸۷/۱۲/۲۷

شماره:

فرم اطلاعات پایان نامه  
کارشناسی - ارشد و دکترا

معاونت پژوهشی  
فرم پروژه تحصیلات تکمیلی ۷

مشخصات دانشجو:

نام و نام خانوادگی: شهرزاد غفاری مسنن زاده  
شماره دانشجویی: ۸۵۱۲۹۰۴۷  
دانشکده: مهندسی هوافضا  
دانشجوی آزاد  بورسیه  معادل   
رشته تحصیلی: آی‌رودی‌نامیک گروه: آی‌رودی‌نامیک

مشخصات استاد راهنما:

نام و نام خانوادگی: سید محمد حسین کریمیان  
نام و نام خانوادگی:  
درجه و رتبه: استاد تمام  
درجه و رتبه:

مشخصات استاد مشاور:

نام و نام خانوادگی: علیرضا جهانگیریان  
نام و نام خانوادگی:  
درجه و رتبه: استاد یار  
درجه و رتبه:

عنوان پایان نامه به فارسی: تدوین نرم افزار آموزشی دینامیک سیالات عددی

عنوان پایان نامه به انگلیسی: Development of CFD educational software

نوع پروژه: کارشناسی  ارشد  دکتری   
کاربردی  بنیادی  توسعه‌ای  نظری   
سال تحصیلی: ۸۶-۸۷  
توسعه‌ای  نظری

تاریخ شروع: ۸۶/۷/۱ تاریخ خاتمه: ۸۷/۱۰/۳۱ تعداد واحد: ۶ سازمان تأمین کننده اعتبار:

واژه‌های کلیدی به فارسی: نرم افزار آموزشی، دینامیک سیالات عددی، User Interface

واژه‌های کلیدی به انگلیسی: Educational Software, CFD, User Interface

مشخصات ظاهری	تعداد صفحات	تصویر <input checked="" type="radio"/> جدول <input type="radio"/> نمودار <input type="radio"/> نقشه <input type="radio"/> واژه‌نامه <input type="radio"/>	تعداد مراجع	تعداد صفحات ضمیمه
زبان متن	فارسی <input checked="" type="radio"/> انگلیسی <input type="radio"/>	چکیده	فارسی <input checked="" type="radio"/> انگلیسی <input type="radio"/>	۳۳
یادداشت				

نظرها و پیشنهادهای به منظور بهبود فعالیت‌های پژوهشی دانشگاه

استاد:

دانشجو:

امضاء استاد راهنما: تاریخ:

## تشکر و سپاس

با تشکر و سپاس از استاد ارجمند، جناب آقای دکتر سید محمد حسین کریمیان که با راهنمایی ها و مساعدت‌هایشان مرا در به ثمر رساندن این پژوهش یاری نمودند.

و نیز با قدردانی از زحمات و همکاری آقای دکتر علیصادقی، آقای مهندس واهی و آقای مهندس عابدینی، که تدوین این نرم افزار بدون همراهی ایشان میسر نبود.

تقدیم به

پدر و مادر عزیزم که در تمام مراحل زندگی همراه و یاور من بوده اند.

و همچنین

تقدیم به برادر مهربانم که همیشه پشتیبان من بوده است.

## چکیده

با توجه به آنکه مدل سازی عددی پروسه های مختلف در جریان سیال مانند دیفیوژن، جابجایی و ...، کاملاً وابسته به فیزیک این پروسه ها می باشد، لازم است تا پس از تدریس مدلسازی عددی معادلات و یا ترم های این معادلات، نتایج این مدلسازی و نحوه عملکرد آنها به صورت عینی در سر کلاس نشان داده شود. این نیاز امروزه در اکثر دانشگاه های دنیا احساس شده و نرم افزارهای آموزشی خاص بدین منظور تدوین شده است. این نرم افزارهای آموزشی، نرم افزارهای حرفه ای یا نیمه حرفه ای حل جریان سیال نمی باشند؛ بلکه نرم افزارهای آموزشی خاصی هستند که توانایی آنها در تفهیم مفاهیم عددی در دینامیک سیالات عددی به دانشجویان می باشد. در کار حاضر نیز نرم افزاری بدین منظور تدوین شده است که با توجه به ویژگی های آن، مفاهیم عددی را می توان به دانشجویان منتقل کرد. این کار در نوع خود جزو اولین کارها در ایران بوده و امید است در آینده گسترش یابد.

واژگان کلیدی: دینامیک سیالات عددی<sup>۱</sup>، نرم افزار آموزشی<sup>۲</sup>، User interface

---

<sup>1</sup> Computational Fluid Dynamics

<sup>2</sup> Educational Software

## فهرست مطالب

### فصل اول: مروری بر نرم افزارهای دینامیک سیالات عددی

۱	مقدمه
۲	۱-۱) خصوصیات و ویژگی های یک نرم افزار آموزشی
۳	۲-۱) نرم افزارهای آموزشی دینامیک سیالات عددی
۱۳	۳-۱) سرفصل های تدریس در دینامیک سیالات عددی
۱۵	۴-۱) نرم افزار آموزشی حاضر

### فصل دوم: معادله موج

۳۴	مقدمه
۳۴	۱-۲) معادله موج
۳۷	۲-۲) روش اختلاف محدود بالادست
۴۴	۳-۲) روش لکس- وندروف

## فصل سوم: مدل‌سازی ترم جابجایی

۴۷	مقدمه
۴۸	(۱-۳) روش بالادست
۵۰	(۲-۳) روش بالادست جریان
۵۳	(۳-۳) روش بالادست جرمی

## فصل چهارم: استهلاک نادرست

۵۹	مقدمه
۶۰	(۱-۴) مدل‌سازی ترم جابجایی
۶۲	(۲-۴) بررسی نتایج

## فصل پنجم: معادله انتقال حرارت دو بعدی

۶۸	مقدمه
۶۸	(۱-۵) معادله انتقال حرارت دو بعدی
۷۲	(۲-۵) روش ADI
۷۲	(۳-۵) روش SOR
۷۳	(۴-۵) بررسی نتایج

## فصل ششم: معادله انتقال حرارت یک بعدی

۸۳	مقدمه
۸۴	۱-۶) معادله انتقال حرارت یک بعدی
۸۵	۲-۶) روش تفاضل مرکزی
۹۰	۳-۶) روش بالادست درجه اول
۹۱	۴-۶) روش بالادست درجه دوم
۹۲	۵-۶) روش کوئیک

## فصل هفتم: توزیع سرعت و فشار در کانال یک بعدی

۹۴	مقدمه
۹۵	۱-۷) معادلات جریان در کانال یک بعدی
۹۸	۲-۷) روش کریمیان-اشنایدر
۱۰۷	۳-۷) روش ری-چو

## فصل هشتم: تحلیل جریان حفره

۱۱۵	مقدمه
۱۱۵	۱-۸) معادلات حاکم بر جریان لزج، دو بعدی و تراکم ناپذیر



۱۱۹	۲-۸) گسسته سازی معادلات بقای مومنتم و بقای انرژی
۱۲۴	۳-۸) گسسته سازی معادله بقای جرم
۱۲۵	۴-۸) حل دستگاه معادلات
۱۲۶	۵-۸) شرایط اولیه و مرزی
۱۲۷	۶-۸) بررسی نرم افزار

### فصل نهم: جریان حول ایرفویل

۱۳۳	مقدمه
۱۳۴	۱-۹) روش AUSM
۱۳۶	۲-۹) روش حجم محدود
۱۳۷	۳-۹) حل معادلات اویلر برای جریان تراکم پذیر
۱۳۸	۴-۹) حل به روش AUSM
۱۴۰	۵-۹) شرایط مرزی
۱۴۰	۱-۵-۹) مرز دوردست
۱۴۲	۲-۵-۹) مرز داخلی
۱۴۲	۶-۹) قدم زمانی
۱۴۳	۷-۹) بررسی نرم افزار

فصل دهم: نتیجه گیری

۱۵۹

نتیجه گیری

۱۶۱

فهرست مراجع

## مقدمه

دینامیک سیالات عددی استفاده وسیعی در طراحی های مهندسی دارد و نرم افزارهای تجاری بسیاری در این زمینه تدوین شده است. از جمله، نرم افزارهای شناخته شده ای مانند استار سی دی<sup>۱</sup>، فلونت<sup>۲</sup>، سی اف اکس<sup>۳</sup>. اما، بکارگیری این نرم افزارها مستلزم احاطه کاربر به مفاهیم دینامیک سیالات عددی و صرف وقت زیاد و کسب مهارت لازم برای استفاده از آنها می باشد که عموماً بدون راهنمایی افراد خبره میسر نیست.

از سوی دیگر، با مشخص شدن اهمیت بکارگیری نرم افزارها و شبیه سازی های کامپیوتری در آموزش، امروزه در اکثر دانشگاه های معتبر دنیا نیاز به استفاده از نرم افزار در آموزش دینامیک سیالات عددی احساس شده و بسیاری از دانشگاه ها از نرم افزارهای آموزشی برای بالا بردن کیفیت تدریس و تسریع و تسهیل در آموزش دینامیک سیالات عددی بهره می برند. بررسی های انجام شده در چندین دانشگاه نشان داده است که استفاده از نرم افزار در آموزش دینامیک سیالات عددی، موجب افزایش کیفیت برنامه درسی، افزایش بازدهی آموزش و درک بهتر مطالب می شود.

برای دست یابی به این اهداف، نرم افزارهای تجاری موجود دارای قابلیت های لازم نیستند. چرا که از یک سو پیچیدگی کاربری، استفاده افراد نوآموز از آنها را تقریباً غیر ممکن می سازد و آموزش نحوه عمل این نرم افزارها خود مستلزم صرف زمان زیاد از سوی استاد و دانشجو می باشد. از سوی دیگر، در این نرم افزارها مسائل اولیه و ظاهراً ساده ای که نقش اساسی در درک مفاهیم دینامیک سیالات عددی دارند مورد توجه واقع نمی شود و از این جهت نیز برای استفاده آموزشی مناسب نیستند.

نیاز به یک نرم افزار آموزشی کارآمد که در عین سادگی، مسائل و مفاهیم مورد بحث در دینامیک سیالات عددی در دانشگاه صنعتی امیرکبیر، خصوصاً دانشکده مهندسی هوافضا را پوشش دهد، ما را بر آن داشت تا اقدام به تدوین یک نرم افزار آموزشی، متناسب با نیاز و مطابق با سرفصل های تدریس دینامیک سیالات عددی در این دانشکده بنماییم. نرم افزار ارائه شده در این پژوهش، یک نوآوری آموزشی و در نوع خود منحصر به فرد است.

<sup>1</sup> StarCD

<sup>2</sup> FLUENT

<sup>3</sup> CFX

## ۱-۱ خصوصیات و ویژگی های یک نرم افزار آموزشی

قبل از هر چیز لازم است به بیان ویژگی های یک نرم افزار آموزشی پردازیم. هدف از بکارگیری نرم افزار در آموزش، تسهیل در درک مفاهیم از سوی مخاطب و در نتیجه افزایش کیفیت تدریس می باشد. براینکه دیگر استفاده از نرم افزار در آموزش، کاهش زمان تدریس است که در مباحث نسبتاً پیچیده، مانند دینامیک سیالات عددی، با توجه به محدودیت زمان تدریس از اهمیت به سزایی برخوردار است.

برای تامین اهداف فوق، در تدوین نرم افزار آموزشی باید به نکات زیر توجه شود:

۱- **بیان مفاهیم به شکل ساده:** مفاهیم مطروحه در نرم افزار آموزشی به ساده ترین شکل ممکن ارائه شود تا درک آن ها برای کاربران با سطوح علمی مختلف میسر باشد. به بیان دیگر، یک نرم افزار آموزشی باید گویا باشد.

۲- **کاربری آسان:** نرم افزار آموزشی باید کاربری آسانی داشته باشد. به این معنی که کار با نرم افزار آموزشی خود نیاز به آموزش بیشتر و صرف وقت نداشته باشد. همچنین، طراحی نرم افزار باید به شکلی باشد که کاربر را در مسیر درست هدایت کرده و گام به گام مفاهیم مورد نظر را آموزش دهد. در یک نرم افزار آموزشی، کاربر عموماً مبتدی است و اشراف کافی به شاخه علمی مورد آموزش ندارد. بنابراین، نباید در چگونگی استفاده از نرم افزار دچار سردرگمی شود، بلکه کار با نرم افزار آموزشی باید ساده و لذت بخش باشد.

۳- **وضوح عملکرد نرم افزار:** نرم افزار آموزشی دارای پیغام های هدایت گر مناسب باشد تا کاربر را در جهت درست راهنمایی کند و کاربر بتواند بدون نیاز به حضور فرد خبره و ارائه توضیحات و راهنمایی از سوی او از نرم افزار بهره برد.

۴- **توجه به سطح علمی کاربر:** گروه هدف این نرم افزار باید مد نظر قرار گیرد و توجه شود که چه کسانی و با چه میزان مهارت و دانش این نرم افزار را بکار می گیرند. واضح است که طراحی نرم افزار و سطح اطلاعات مبادله شده، به میزان تسلط کاربر بر شاخه علمی مورد آموزش وابسته است. بعلاوه در یک نرم افزار آموزشی، بیان مفاهیم پایه از اهمیت بالایی برخوردار است و نباید با ساده انگاشتن این مفاهیم پایه از اهمیت آموزشی آنها غافل شد.

۵- **ایجاد زمینه خودآموزی:** طراحی نرم افزار آموزشی به گونه ای باشد که حس کنجکاوی کاربر را بر انگیزد و او را به خودآموزی تشویق کند. توجه به زیبایی ظاهر نرم افزار می تواند در رسیدن به این هدف موثر باشد.

۶- ارائه تئوری و نحوه عملکرد نرم افزار به کاربر: مفاهیم تئوری و اصول علمی مربوط به هر بخش به سادگی در اختیار کاربر قرار گیرد و در نرم افزار موجود باشد تا در کنار مشاهده نحوه عمل و نتایج حل، آموزش مفاهیم تئوری نیز انجام گیرد و استفاده از نرم افزار کورکورانه نباشد.

۷- معرفی ورودی های نرم افزار به کاربر: متغیرهای ورودی مسئله و محدوده مناسب آنها معرفی شود تا از سردرگمی کاربر جلوگیری شود. تعداد متغیرهای ورودی تا حد امکان کاهش یابد تا از پیچیدگی مسائل کاسته شده و دست یابی به پاسخ تسریع شود. در صورت مواجهه با تعداد زیاد شرایط ورودی که از یکدیگر نیز مستقل نیستند، بررسی میزان تاثیر هر پارامتر و ارزیابی علت خطا را دشوار می کند.

۸- طراحی آموزشی: توجه به طراحی در تدوین نرم افزار آموزشی بسیار با اهمیت است. به این معنی که نرم افزار آموزشی باید مانند یک آموزگار کاربر را در مسیر از پیش تعیین شده، تا رسیدن به پاسخ صحیح هدایت کند و در این میان به آموزش مفاهیم و نکات مورد نظر پردازد.

در ادامه، به معرفی مهمترین نرم افزارهای تجاری و نرم افزارهای آموزشی موجود در زمینه دینامیک سیالات عددی و بیان خصوصیات و نقاط ضعف و قوت آنها می پردازیم.

## ۲-۱ نرم افزارهای آموزشی دینامیک سیالات عددی

تعداد نرم افزارهای آموزشی موجود در زمینه دینامیک سیالات عددی بسیار محدود است و بیشتر توسط اساتید دانشگاه ها تدوین شده اند. برای درک بهتر ابعاد این نیاز آموزشی و نیز شناخت جایگاه نرم افزار آموزشی حاصل از این پژوهش در میان نرم افزارهای آموزشی موجود، به تشریح خصوصیات این نرم افزارهای آموزشی می پردازیم.

### نرم افزار فلوئنت

یکی از متداول ترین نرم افزارهای دینامیک سیالات عددی که کاربرد گسترده ای در طراحی های مهندسی دارد، نرم افزار فلوئنت است. این نرم افزار، بر اساس روش حجم کنترل و شبکه هم مکان طراحی شده است و قابلیت های زیادی در مدل سازی جریان دارد. نرم افزار فلوئنت برای شبیه سازی و تحلیل جریان سیال، انتقال جرم و حرارت و واکنش های شیمیایی بکار می رود. با استفاده از این نرم افزار، مهندسان می توانند با ایجاد نمونه های مجازی از محصول مورد نظر و شبیه سازی عملکرد آن، با صرف وقت و هزینه کمتر به طراحی بهینه دست یابند.

یکی دیگر از تولیدات نرم افزاری شرکت فلونت نرم افزار فیدپ<sup>۴</sup> است که برای حل انواع جریان های آرام و مغشوش که در تولید پلیمر، آبکاری نازک، مهندسی پزشکی، نیمه هادی ها، رشد کریستال ها، متالورژی و صنایع تولید شیشه ایجاد می شود، استفاده می گردد. این نرم افزار بر اساس روش المان محدود<sup>۵</sup> جواب های دقیق و عملی برای مسائل شامل جریان سیال، انتقال حرارت، انتقال جرم، جریان های چند فازی، سطح آزاد، تغییر فاز جامد/مایع و تقابل ساختار مایع ارائه می کند. روش های حل کوپل و مجزا با استفاده از شبکه های کاملاً بی سازمان قابل اعمال است. همچنین، مجموعه کاملی از مدل های فیزیکی برای مدلسازی جریان های غیر نیوتنی، انتقال حرارت تشعشعی، جریان در مواد متخلخل، واکنش های شیمیایی و دیگر پدیده های پیچیده در اختیار کاربر قرار می گیرد.

این نرم افزار تحلیل دینامیک سیالات، از روش المان محدود برای تحلیل مسائل جریان سیال و حرارت استفاده می کند و امکان حل جریان تراکم پذیر و تراکم ناپذیر، آرام و مغشوش، تک فازی و دو فازی، نیوتنی و غیر نیوتنی، انتقال حرارت هدایتی، جابجایی و تشعشعی، چشمه و چاه حرارتی، ذوب و انجماد، و بسیاری فرآیندهای دیگر را داراست. تولید شبکه، دریافت اطلاعات ورودی، حل و سپس رسم نتایج در این نرم افزار امکان پذیر است. [۱]

با وجود تمامی این قابلیت ها، نرم افزارهای فوق برای تدریس دینامیک سیالات عددی نرم افزار مناسبی نیستند. چرا که، درک نحوه عملکرد آنها بسیار مشکل است و نیاز به ساده سازی دارد. به عنوان مثال، نحوه و میزان تاثیر پارامترهای ورودی بر پاسخ خروجی مشخص نیست و نیز تعداد شرایط و متغیرهای ورودی زیاد است که این امر ارزیابی علت خطا را مشکل می کند. بعلاوه، استفاده از این نرم افزارها بدون راهنمایی افراد ماهر عملی نیست و خود مستلزم صرف زمان می باشد. به بیان دیگر، این نرم افزارها برای کاربردهای مهندسی طراحی شده است و برای افراد مبتدی قابل استفاده نیست.

برای رفع این نواقص و کاربرد آموزشی، شرکت سازنده فلونت نرم افزار دیگری تولید کرده است که فلولب<sup>۶</sup> نامیده می شود. فلولب که در سال ۲۰۰۲ معرفی شد، یک نرم افزار آموزشی است که از شبیه سازی برای آموزش اصول مکانیک سیالات در کلاس های مهندسی استفاده می کند. این نرم افزار، از دینامیک سیالات عددی برای آموزش مفاهیم جریان سیال و انتقال حرارت استفاده می کند و بر روی دوره کارشناسی متمرکز است. فلولب به دانشجویان امکان می دهد که هندسه و فیزیک مساله را تعریف کنند، میدان حل را شبکه بندی کنند و با استفاده از تمرینات از پیش تعریف شده مدل های دینامیک سیالات عددی را حل کنند. فلولب در حدود ۱۵ تمرین دارد که برخی از آنها عبارتند از جریان درون

<sup>4</sup> FIDAP

<sup>5</sup> Finite element method

<sup>6</sup> FlowLab

نازل، انتقال حرارت از پره ها، جریات در زانویی، جریان روی یک سیلندر، افزایش ناگهانی سطح یک لوله، انتقال حرارت صفحات موازی و .... البته تعداد این تمرینات در حال افزایش است. هدف این نرم افزار، انتقال مفاهیم پایه در مکانیک سیالات و انتقال جرم و حرارت و ارائه مفاهیم دینامیک سیالات عددی به دانشجویان، با استفاده از شبیه سازی کامپیوتری است.

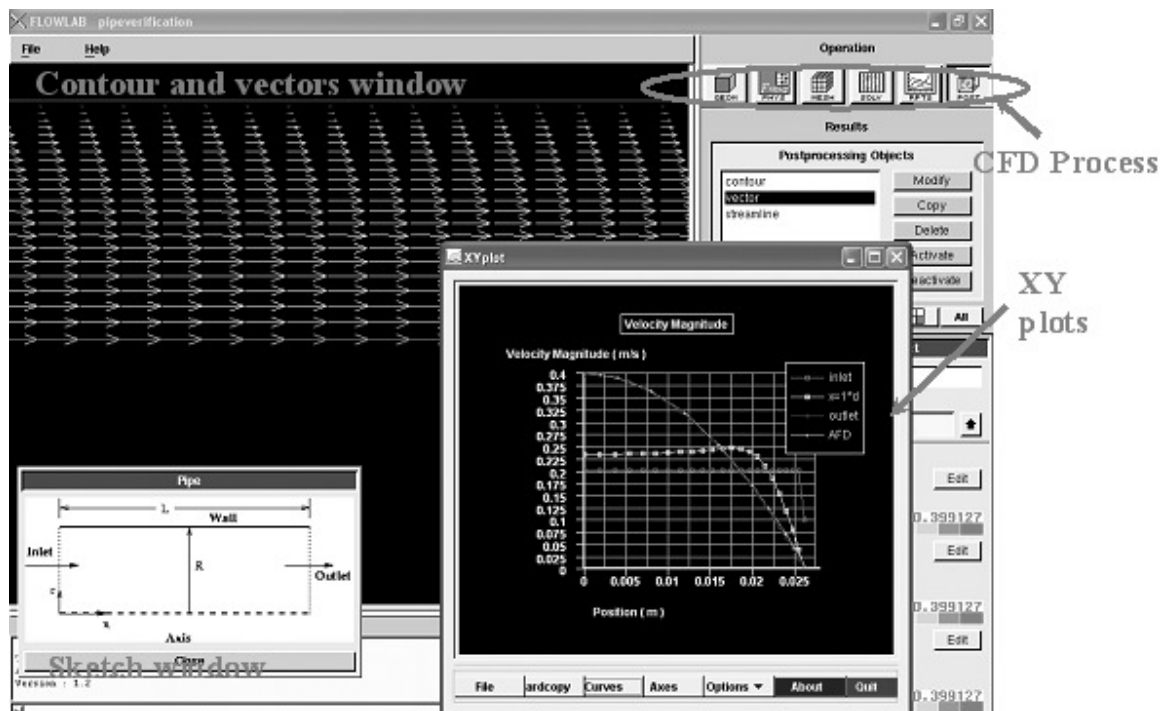
نرم افزار فلولب اگرچه کاربری ساده تری نسبت به فلوئنت دارد، اما درک آن همچنان مشکل است. بنابه گفته سازندگان آن، این نرم افزار برای آشنا کردن دانشجویان با کاربرد دینامیک سیالات در دنیای واقعی طراحی شده است و در راستای تامین این هدف، به حل مسائل مطرح در طراحی های مهندسی می پردازد. در این میان، مسائل پایه که نقش اساسی در تفهیم اصول و روش های دینامیک سیالات عددی دارند، مورد توجه قرار نمی گیرد. بعلاوه، برخی ایرادات محاسباتی در نسخه های اولیه فلولب مشاهده شده است. [۲] و [۳]

پس از بکارگیری نرم افزار فلولب و بررسی عملکرد آن، مشخص شد که این نرم افزار از گویایی کافی برخوردار نیست و گمراه کننده است. بعلاوه، در برخی از موارد روند حل بیش از اندازه محدود شده است و به کاربر اجازه نمی دهد تا مساله مورد نظر خود را تعریف کند. برای رفع این نقایص، بخش CEI<sup>۷</sup> توسط دانشگاه آیوا و با همکاری شرکت تجاری فلوئنت در آمریکا و در طول سه سال (۲۰۰۲ تا ۲۰۰۵) تدوین و به نرم افزار فلوئنت اضافه شد. از خصوصیات CEI، کاربری ساده تر و وضوح بیشتر متغیرهای ورودی و شرایط مرزی مسئله است. نرم افزار فلولب به همراه این صفحه اجرای آموزشی در شکل نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می شود، با استفاده از CEI صورت مساله در یک پنجره و نمودار پاسخ نیز در پنجره دیگری نمایش داده می شود که بدین ترتیب، نرم افزار گویایی بیشتری پیدا می کند. [۴]

علاوه بر این، شرکت سازنده فلوئنت در جهت ساده سازی و افزایش کاربری این نرم افزار، نرم افزار دیگری نیز تولید کرده است که استیودنت فلوئنت<sup>۸</sup> نامیده می شود. این نرم افزار، نسخه دانشجویی نرم افزار تجاری فلوئنت ۶ است و قابلیت اجرای مدلسازی های فیزیکی مورد استفاده در فلوئنت را به شکل محدودتری دارد. استیودنت فلوئنت هنوز در دست بررسی است. [۵]

<sup>7</sup> CFD Educational Interface

<sup>8</sup> Student Fluent



شکل (۱-۱): حل جریان درون لوله توسط نرم افزار آموزشی فلوپ

## نرم افزار CFX

نرم افزار CFX یکی از محصولات شرکت انسیس<sup>۹</sup> است. در این نرم افزار، از دینامیک سیالات عددی برای شبیه سازی مسائل پیچیده سیال استفاده می شود و کاربر می تواند از هر طراحی CAD موجود استفاده کند و یا مدل های جدیدی بسازد. پس از تولید شبکه، نرم افزار کاربر را در مراحل تعیین شرایط کاری مدل، انتخاب مواد و تعریف مدل هدایت می کند. [۶]

این نرم افزار از آخرین روش های حل به همراه تکنیک چند شبکه<sup>۱۰</sup> بهره می گیرد. پس از حل، امکان استخراج هر کدام از داده ها وجود دارد و کاربر می تواند از امکانات نمایش تصویری جریان استفاده کند. این نرم افزار تحت چهار زیر شاخه در اختیار کاربران قرار می گیرد که هر کدام در زمینه خاصی گسترش یافته اند. در ادامه این نرم افزارها به اختصار معرفی می شود.

نرم افزار دینامیک سیالات عددی CFX-5 با بهینه سازی همه جانبه و سرعت بخشیدن به تحلیل جریان سیال، در طراحی محصول و مراحل ساخت به کاربران یاری می رساند. آخرین نسخه این نرم

<sup>۹</sup> ANSYS

<sup>۱۰</sup> Multi-grid solver



افزار گستره وسیعی از مدل های جدید، ابزارهای تولید شبکه و یک عملگر جدید که برد عملکرد و قابلیت استفاده نرم افزار را افزایش می دهد، را در اختیار کاربر قرار می دهد. CFX-5 امکان اعمال قوی ترین و دقیق ترین تکنولوژی دینامیک سیالات عددی به تقریباً هر مسئله مهندسی سیال را فراهم می کند. بخشی از ویژگی های این نرم افزار عبارتند از:

- تکنیک چند شبکه خطی کوپل پیشرفته
- انعطاف پذیر بودن شبکه بندی
- تعداد زیاد مدل های فیزیکی که دامنه جریان های صنعتی را که می تواند به سادگی مورد تحلیل قرار گیرد، به شدت افزایش می دهد. به عنوان مثال اغتشاش، احتراق و تشعشع، جریان اویلری دو فازی و جریان سطح آزاد.

دومین زیر شاخه، نرم افزار CFX-TASCflow است که نرم افزار دینامیک سیالات عددی مورد استفاده در طراحی مهندسی مکانیک و پیشگام در زمینه توربوماشین ها می باشد. ترکیب بندی قدرتمند، این نرم افزار را به ابزار ایده آل برای بخش توربوماشین بدل کرده است. تولید شبکه جامع، امکان اتصال شبکه های ناهمگون و مجزا را ایجاد کرده است. جریان های زیر صوت، گذر صوتی و مافوق صوت قابل شبیه سازی هستند و مدل های پیشرفته احتراق گازی، اجزای واکنش، شبیه سازی شعله و بخار مرطوب و خنک کن ها در دسترس کاربر قرار می گیرد.

نرم افزار تحلیل سه بعدی مخلوط سیال که پروسه مخلوط شدن در رآکتور های را تحلیل می نماید. در این نرم افزار، ابتدا کاربر پیکربندی رآکتور را از میان لیست مخازن مشخص می کند. سپس نرم افزار به طور خودکار یک شبیه سازی دینامیک سیالات عددی از جریان داخل محفظه انجام می دهد. خروجی به صورت مجموعه ای از شکل ها و جدول ها که عملکرد اختلاط دارای کیفیت مناسب را نشان می دهد، ارائه می شود.

در میان زیر مجموعه های نرم افزار CFX، مناسب ترین نرم افزار دینامیک سیالات عددی برای پیش بینی جریان های پیچیده شکل گرفته در پروسه ها و صنایع شیمیایی، CFX-4 می باشد. این نرم افزار ترکیب منحصر به فردی از ابزار قدرتمند شامل امکان دسترسی به CAD، ابزار تمام خودکار تولید هندسه، شبکه های لغزنده و مدل های پیشرفته اغتشاش، احتراق، تشعشع و جریان های چند فازی می باشد. این فن آوری ها کاربر را قادر می سازد تا به سادگی پروسه های جریان صنعتی واقعی را شبیه سازی کند. CFX-4 از ابزار کارآمد برای پیش بینی جریانات جریان سیال، انتقال حرارت و واکنش های

شیمیایی چند فازی در انواع پروسه ها و تجهیزات استفاده می کند. در طراحی محصولات یا سیستم های جدید، مقیاس بندی و یا رفع نقص، این نرم افزار به مهندسان کمک می کند تا راندمان عملکرد و کیفیت محصول را بهبود بخشند و به اهداف کاهش هزینه های عملکرد، امنیت بیشتر و افزایش سود بخشی نزدیک تر شوند. علاوه بر این، به عنوان نرم افزار دینامیک سیالات عددی پیشتاز در مطالعه جریان های چند فازی پیچیده شناخته می شود. این نرم افزار قویترین و جامع ترین مجموعه ابزار را برای شبیه سازی واکنش های شیمیایی در جریان های مایع، گازی و یا چند فازی و احتراق انواع سوخت ها ارائه می کند. با این ابزار، راندمان احتراق و انتشارات آلوده کننده قابل پیش بینی، ارزیابی امنیت آتش قابل نمایش و شیمی اختلاط قابل درک خواهد بود.

چنانکه شرح داده شد، هرکدام از این نرم افزارها برای کاربرد ویژه ای طراحی و تدوین شده اند و قابلیت استفاده آموزشی را ندارند.

### نرم افزار استار سی دی

نرم افزار استار سی دی که پیشتر نیز به آن اشاره شد، توسط شرکت سی دی اداپکو<sup>11</sup> و بر اساس روش حجم محدود بر روی المان های چند وجهی تدوین شده است. از آنجاییکه این نرم افزار از المان های چند وجهی استفاده می کند، دارای مزایای ویژه ای نسبت به دیگر نرم افزارهای دینامیک سیالات عددی می باشد. چراکه نسبت به المان های چهارضلعی، شبکه های دارای المان های چند ضلعی از دقت بیشتری برخوردارند، حافظه کمتری اشغال می کنند، سریعتر همگرا می شوند و به سلول های کمتری برای رسیدن به دقت مشابه نیاز دارند.

نسخه جدید این نرم افزار، دارای مدل های آبکاری و محاسبه جریان سطح آزاد است و نیز امکان انجام محاسبات تحلیل سازه در کنار ارائه شبیه سازی توزیع تنش و دما را با استفاده از روش حجم محدود دارد. بدین ترتیب این نرم افزار شکاف بین دینامیک سیالات و مکانیک سازه را پر می کند. این نرم افزار قابلیت حل مسائل شامل اغتشاش، احتراق، انتقال حرارت، واکنش های شیمیایی و جریان های چند فازی را دارد. همچنین تولید شبکه شش وجهی و یا چند وجهی به طور خودکار صورت می گیرد.

[۷] و [۸]

<sup>11</sup> CD-adapco

### نرم افزار CFD++

نرم افزار CFD++ یک نرم افزار دینامیک سیالات عددی است که توسط شرکت متاکامپ تکنولوژی<sup>۱۲</sup> تدوین شده است تا گستره وسیعی از مسائل مورد بحث در هوافضا، خودرو سازی، مهندسی پزشکی و دیگر زمینه ها را پوشش دهد. این نرم افزار از جهت دارا بودن شبکه، فیزیک و محاسبات منحصر به فرد، بسیار انعطاف پذیر است. مکانیزم تولید شبکه در این نرم افزار امکان بکارگیری هر نوع شبکه با هر نوع سلول را فراهم کرده است. فیزیک این نرم افزار به کاربر امکان حل مجموعه های متنوع معادلات حاکم را می دهد و مقیاس مناسب را ایجاد می کند به طوری که یک سیستم محاسباتی قادر به حل جریان تراکم پذیر و نیز جریان های تراکم ناپذیر با سرعت کم و یا زیاد باشد. سیستم محاسباتی منحصر به فرد این نرم افزار امکان انتقال اطلاعات بین سطوح مختلف محاسبات را ایجاد می کند. [۹]

### نرم افزار Flow-3D

این نرم افزار ابزاری قدرت مند برای مدلسازی جریان های پیچیده است و به مهندسان کمک می کند تا رفتار دینامیک مایعات و گازها را در گستره وسیعی از کاربردهای صنعتی و پروسه های فیزیکی بررسی کنند. این نرم افزار در حل مسائل وابسته به زمان (گذرا)، مسائل سطح آزاد یک، دو و سه بعدی، منحصر به فرد است و علاوه بر این قابلیت مدلسازی جریان های پایدار را نیز دارد. این نرم افزار از روش حجم سیال<sup>۱۳</sup> برای شبیه سازی حرکت جریان سطح آزاد استفاده می کند. این برنامه شامل الگوریتم ویژه ای است که تاثیر متقابل گاز و مایع را در نظر گرفته و شرایط مرزی را بر سطوح صلب و آزاد اعمال می کند. داشتن این مشخصه برای مدلسازی جریان های دینامیک امری حیاتی است. اولین نسخه تجاری این نرم افزار در سال ۱۹۸۵ ارائه شد و آخرین نسخه آن که در سال ۲۰۰۸ به بازار آمده است شامل بخش های زیر می باشد:

- بررسی تاثیر متقابل ساختار جریان با غشاء الاستیک و دیواره های دارای انعطاف پذیری الاستیک.
- مدل رسوبات ناشی از تبخیر
- لایه های حرارتی داخل دیوارها
- انباشت اجسام متحرک
- فشار تشدید برای مدل جسم متخلخل با سوراخ هایی در حد میکرو
- شرایط مرزی نرخ جریان حجم [۱۰]

<sup>12</sup> Metacomp Technologies

<sup>13</sup> Volume of fluid (VOF)

## نرم افزار پرفلو<sup>۱۴</sup>

این نرم افزار یک ابزار کارآمد دینامیک سیالات عددی است که توسط شرکتی به نام ACRI تدوین شده است تا مسائل شامل جریان سیال پایدار و یا گذرا، انتقال حرارت و جرم چند فازی را با دقت حل کند. در این نرم افزار، هندسه دو و یا سه بعدی، کارتیزین و یا استوانه ای قابل تعریف است و شبکه می تواند سازمان یافته و یا بی سازمان باشد.

پرفلو بویژه برای متخصصان در زمینه های شبیه سازی جریان آب های سطحی و مدیریت زباله های اتمی توسعه یافته است. در این زیر شاخه از دینامیک سیالات عددی، با جریان سیال از میان سوراخ ها، ترک ها و شکاف های جسم صلب همزمان با محاسبه انتقال حرارت از سیال به جامد (و یا برعکس) مواجه می شویم. پرفلو برای تحلیل مسائلی گوناگون مانند نفوذ شوری به آب تازه تا چاره اندیشی برای میدان های زباله خطرناک مورد استفاده قرار می گیرد. این نرم افزار برای بررسی انتقال آب از یک آبگیر در طول چند روز، بازیابی میدان های زباله در طول چند سال، فساد ظرف های حاوی زباله در چند ده سال و نشت مواد آلاینده از زباله های اتمی در طول چند صد هزار سال مورد استفاده قرار گرفته است.

در طول ۲۵ سال گذشته، پرفلو از یک مدل ساده ریاضی برای انتقال جرم و حرارت به ابزار نرم افزاری جامع برای تحلیل گستره وسیعی از کاربردهای محیطی در انتقال جرم، حرارت و جریان بدل شده است. نسخه امروزی پرفلو شکل انعطاف پذیری دارد که به الگوریتم خاص و یا روش حل ویژه ای محدود نمی شود. کاربر می تواند روش های عددی، روش حل، الگوریتم های معکوس کردن ماتریس و یا هریک از خصوصیات فیزیکی و یا ریاضی را تغییر دهد. چنانکه اشاره شد، این نرم افزار برای استفاده های تخصصی طراحی شده است و نمی تواند برای آموزش دینامیک سیالات عددی گزینه مناسبی باشد.

[۱۱]

## نرم افزار CFD Studio

یکی دیگر نرم افزار های آموزشی در زمینه دینامیک سیالات عددی، نرم افزار CFD Studio است که در دانشگاه سنت کاترین در برزیل تدوین شده است. این نرم افزار برای تدریس مکانیک سیالات دوبعدی و فرآیند انتقال حرارت طراحی شده است و به حل مسائل دوبعدی از جمله جریان حفره و جریان حول ایرفویل می پردازد. این نرم افزار از روش حجم محدود برای گسسته سازی معادلات دیفرانسیل استفاده می کند. سیستم معادلات در این نرم افزار ضمنی است و قابلیت تولید و اصلاح شبکه را دارد. صفحه اجرای این نرم افزار در شکل (۲-۱) نشان داده شده است. [۱۲] و [۱۳]