



بِسْمِ اللّٰهِ الرَّحْمٰنِ الرَّحِیْمِ

شییهسازی

{ مسائل هیدرولیکی }

در

FLOW 3D

مؤلف:

مهندس فیروز قاسمزاده

ناظر و ویراستار علمی:

صلاح کوچکزاده

(استاد دانشگاه تهران)

سرشناسه	: قاسم‌زاده، فیروز، ۱۳۶۵ -
عنوان و نام پدیدآور	: شبیه‌سازی مسایل هیدرولیکی در D ³ FLOW / مولف فیروز قاسم‌زاده؛ ناظر و ویراستار علمی صلاح کوچک‌زاده.
مشخصات نشر	: تهران: نوآور، ۱۳۹۴.
مشخصات ظاهری	: ۲۵۶ ص.: مصور+ یک لوح فشرده.
شابک	: ۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۶۰-۸
وضعیت فهرست نویسی	: فیپا
یادداشت	: چاپ دوم.
یادداشت	: چاپ قبلی: نوآور، ۱۳۹۲ (۱۴۴ ص.).
موضوع	: هیدرولیک -- شبیه‌سازی کامپیوتری
موضوع	: سیالات -- دینامیک -- شبیه‌سازی کامپیوتری
موضوع	: سیالات -- دینامیک -- نرم‌افزار
موضوع	: هیدرولیک -- نرم‌افزار
شناسه افزوده	: کوچک‌زاده، صلاح، ۱۳۳۷، ناظر، ویراستار
رده بندی کنگره	: ۱۳۹۴ ش ۲ آق / TC ۱۵۷/۸
رده بندی دیویی	: ۰۲۸۵/۶۲۷
شماره کتابشناسی ملی	: ۳۹۰۰۹۸۵

شبیه‌سازی مسائل هیدرولیکی در FLOW-3D

مهندس فیروز قاسم‌زاده

صلاح کوچک‌زاده

نوآور

۱۰۰۰ نسخه

محمد رضا نصیرنیا

-

۹۷۸-۶۰۰-۱۶۸-۱۶۰-۸

مؤلف:

ناظر و ویراستار علمی:

ناشر:

شمارگان:

ناظر چاپ:

نوبت چاپ:

شابک:



نشر نوآور

نمایشگاه دائمی و مرکز فروش:

نوآور: تهران - خ انقلاب، خ فخر رازی، خ شهدای ژاندارمری نرسیده به خ دانشگاه ساختمان ایرانیان،

پلاک ۵۸، طبقه دوم، واحد ۶

۹۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

www.noavarpub.com

کلیه حقوق چاپ و نشر این کتاب مطابق با قانون حقوق مؤلفان و مصنفان مصوف سال ۱۳۴۸ برای ناشر محفوظ و منحصراً متعلق به نشر نوآور می‌باشد لذا هر گونه استفاده از کل یا قسمتی از این کتاب (از قبیل هر نوع چاپ، فتوکپی، اسکن، عکس برداری، نشر الکترونیکی، هر نوع انتشار به صورت اینترنتی، سی دی، دی وی دی، فیلم فایل صوتی یا تصویری و غیره) بدون اجازه کتبی از نشر نوآور ممنوع بوده و شرعاً حرام است و متخلفین تحت پیگرد قانونی قرار می‌گیرند.

فهرست مطالب

پیشگفتار

مقدمه

فصل اول

مبانی نظری

۱-۱ مقدمه

۲-۱ معادلات حاکم

۱-۲-۱ سیستم‌های مختصات

۲-۲-۱ روش VOF

۳-۲-۱ روش FAVOR

۴-۲-۱ معادله پیوستگی

۵-۲-۱ معادلات مومنتم

۳-۱ تنش برشی دیواره

۴-۱ ارزیابی لزجت

۵-۱ سطوح مشترک سیال و سطوح آزاد

۶-۱ معادله انرژی سیال

۷-۱ روابط ورود هوا

۸-۱ مدل آبهای کم عمق

۹-۱ انتقال رسوب

۹-۱ منابع

فصل دوم

مدل‌های حل آشفتگی

۱-۲ مقدمه

۲-۲ جریان‌های آشفته

۳-۲ مدل‌های حل آشفتگی

۱-۳-۲ معادلات ناویر استوکس متوسط‌گیری شدهٔ زمانی (RANS)

۲-۳-۲ فرضیهٔ بوزینسک

۳-۳-۲ انواع مدل‌های آشفتگی

۱-۳-۳-۲ مدل‌های صفر معادله‌ای

۲-۳-۳-۲ مدل‌های یک معادله‌ای

۳-۳-۳-۲ مدل‌های دو معادله‌ای

۴-۳-۳-۲ مدل‌های دارای معادله تنش

۵-۳-۳-۲ مدل‌های شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ

۴-۳-۲ مدل‌های آشفتگی مورد استفاده در FLOW-3D

۱-۴-۳-۲ مدل طول اختلاط پراتل

۲-۴-۳-۲ مدل‌های انتقال آشفتگی

۳-۴-۳-۲ مدل شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ

۴-۴-۳-۲ شرایط مرزی آشفته

۴-۲ منابع

فصل سوم

روش نصب نرم‌افزار FLOW-3D

۱-۳ مقدمه

۲-۳ روش نصب

فصل چهارم

نحوه شبیه‌سازی در نرم‌افزار FLOW-3D

۱-۴ مقدمه

۲-۴ ورود به محیط برنامه FLOW-3D

۳-۴ نامگذاری منوهای برنامه FLOW-3D

۴-۴ ایجاد یک پروژه جدید در نرم‌افزار FLOW-3D

۵-۴ تعریف مشخصات مدل مورد نظر برای شبیه‌سازی

۱-۵-۴ زبانه General

۱-۱-۵-۴ زمان شبیه‌سازی

۲-۱-۵-۴ انتخاب سیستم آحاد

۳-۱-۵-۴ تعداد هسته‌های پردازنده درگیر در شبیه‌سازی

۲-۵-۴ Physics

۳-۵-۴ Fluids

۴-۵-۴ زبانه Meshing & Geometry

۴-۵-۴-۱ روش کار در زبانه Meshing & Geometry

۴-۵-۴-۱-۱ ایجاد هندسهٔ آبراهه و سازه‌ها و تعریف خصوصیات آنها

۴-۵-۴-۱-۲ ایجاد شبکهٔ حل

۴-۵-۴-۱-۳ تعریف شرایط مرزی

۴-۵-۴-۱-۴ تعریف شرط مرزی برای رسوبات معلق

۴-۵-۴-۱-۵ تعریف شرایط اولیه

۴-۵-۴-۱-۶ تعریف منبع جرم (Mass Momentum Sources)

۴-۵-۵-۵ زبانه Output

۴-۵-۶-۶ زبانه Numerics

۴-۶-۶ اجرای شبیه‌سازی

۴-۷-۷ مشاهدهٔ نتایج

۴-۷-۱ نحوهٔ تولید خروجی در Probe:

۴-۷-۱-۱ تولید خروجی با استفاده از گزینهٔ Restart

۴-۷-۱-۲ تولید خروجی با استفاده از گزینهٔ General history

۴-۷-۱-۲-۱ تولید خروجی دبی عبوری از یک سطح و نیروهای وارد بر آن

۴-۷-۱-۳ تولید خروجی با استفاده از گزینهٔ Mesh dependent history

۴-۷-۲ نتایج یک‌بعدی (1-D)

۴-۷-۳ نتایج دو بعدی (2-D)

۴-۷-۴ نتایج سه‌بعدی (3-D)

۴-۷-۵ نتایج متنی (Text Output)

۴-۷-۶ نتایج Neutral File

فصل پنجم

تلفن شماره ۲-۱۹۱۴۸۴۶۶

۵-۱ مقدمه

۵-۲ مثال‌های شبیه‌سازی

۵-۲-۱ مثال ۱: جریان روی یک سرریز مستطیلی با فشردگی جانبی

۵-۲-۱-۱ شرح مسئله

۵-۲-۱-۲ تعریف مسئله به مدل

۵-۲-۱-۳ مشاهده نتایج

۵-۲-۲ مثال ۲- آبستگي در پايين دست يك سرريز

۵-۲-۲-۱ شرح مسئله

۵-۲-۲-۲ تعريف مسئله به مدل

۵-۲-۲-۳ مشاهده نتایج

۵-۲-۳ مثال ۳: شبیه‌سازی جریان آب‌های کم‌عمق (Shallow Water)

۵-۲-۳-۱ شرح مسئله

۵-۲-۳-۲ تعريف مسئله به مدل

۵-۲-۳-۳ مشاهده نتایج

۵-۲-۴ مثال ۴- آبستگي در پايين دست دريچه كشويي

۵-۲-۴-۱ شرح مسئله

۵-۲-۴-۲ تعريف مسئله به مدل

۵-۲-۴-۳ مشاهده نتایج

۵-۲-۵ مثال ۵- جريان در يك کانال مرکب

۵-۲-۵-۱ شرح مسئله

۵-۲-۵-۲ تعريف مسئله به مدل

۵-۲-۵-۳ مشاهده نتایج

۵-۲-۶ مثال ۶- شبیه‌سازی جریان در يك سرريز سه‌جانبی (سرريز U شکل)

۵-۲-۶-۱ شرح مسئله

۵-۲-۶-۲ تعريف مسئله به مدل

۵-۲-۶-۳ مشاهده نتایج

۵-۲-۷ مثال ۷- استخراج منحنی دبي- اشل عددي برای سرريز PK

۵-۲-۷-۱ شرح مسئله

۵-۲-۷-۲ تعريف مسئله به مدل

۵-۲-۷-۳ مشاهده نتایج

۵-۲-۷-۴ تحليل نتایج

۵-۲-۸ مثال ۸- گوی شناور در آب

۵-۲-۸-۱ شرح مسئله

۵-۲-۸-۲ تعريف مسئله به مدل

۶۶۴۸۴۱۹۱

تلفن

۳-۸-۲-۵ مشاهده نتایج

۹-۲-۵ مثال ۹- شبیه‌سازی یک مخلوط کن

۱-۹-۲-۵ شرح مسئله

۲-۹-۲-۵ تعریف مسئله به مدل

۳-۹-۲-۵ مشاهده نتایج

۳-۵ منابع

فصل ششم

روش‌های افزایش کارایی مدل

۱-۶ مقدمه

۲-۶ اصول شبکه‌بندی میدان حل

۱-۲-۶ میدان حل چند بلوکی

۱-۱-۲-۶ بلوک‌های مجاور

۲-۱-۲-۶ بلوک‌های تو در تو

۲-۲-۶ نکات کلیدی در تعریف شبکه حل

۱-۲-۲-۶ تعداد دقیق سلول‌های شبکه حل

۲-۲-۲-۶ نسبت اندازه و نسبت شکل سلول‌های شبکه حل

۳-۲-۲-۶ شرایط تعریف میدان‌های چندبلوکی

۳-۶ پیام‌ها و هشدارهای برنامه *FLOW-3D* و روش مقابله با آنها

۱-۳-۶ پیام‌ها و هشدارهای پیش‌پردازش

۲-۳-۶ پیام‌ها و هشدارهای حین اجرا

۴-۶ روش کاهش میزان حافظه مورد نیاز

۵-۶ منابع

تلفن: ۲-۶۶۴۸۴۱۹۱

پیشگفتار

مطالعه حرکت سیالات، یکی از زمینه‌های جالب علمی است که تا چند دهه پیش برای مطالعه پدیده‌های موجود در این زمینه فقط از روش‌های تجربی و یا روش‌های تحلیلی، همراه با فرضیات بسیار، استفاده می‌شد. با پیدایش کامپیوترها، هزینه‌های محاسباتی کاهش یافت و بشر توانست پدیده‌های پیچیده‌تری را مورد تحلیل قرار دهد. یکی از زمینه‌های علمی که با افزایش قدرت محاسباتی بشر پیشرفت‌های زیادی در آن صورت گرفت، دینامیک سیالات محاسباتی^۱ است. در واقع دینامیک سیالات محاسباتی، علمی است که با بکارگیری فناوری‌های نوین در زمینه علوم رایانه و توانمندی‌های محاسباتی موجود، به حل رفتار سیال می‌پردازد. این علم با پیشرفت‌های صورت گرفته در زمینه روش‌های محاسباتی و همچنین ساخت رایانه‌های با پردازنده‌های قوی در نیمه دوم قرن بیستم و در سده جدید میلادی، رونق بیشتری یافته است.

امروزه، دینامیک سیالات محاسباتی به عنوان یک ابزار مناسب در کنار روش‌های آزمایشگاهی و تحلیلی مطالعه رفتار سیالات بکار گرفته شود و بصورت گسترده در زمینه‌های مختلف صنعتی مرتبط با سیالات، انتقال حرارت و انتقال مواد به کمک سیال استفاده می‌شود. صنایع خودروسازی، صنایع هوافضا، هیدرولیک، توربوماشین‌ها، صنایع هسته‌ای، صنایع نظامی، صنایع نفت و گاز و انرژی و غیره از موارد کاربرد علم دینامیک سیالات محاسباتی هستند.

علیرغم قدمت پایین علم دینامیک سیالات محاسباتی در دنیا، پیشرفت‌های ایران در سال‌های اخیر در این شاخه از علم قابل توجه بوده است و محققین زیادی در این زمینه فعالیت می‌کنند. اختصاص چند واحد درسی در مقاطع دکتری، کارشناسی ارشد، و حتی کارشناسی در رشته‌های مختلف دانشگاهی، انجام تحقیقات و پایان‌نامه‌هایی در این زمینه و همچنین توسعه کدهای کامپیوتری به خوبی بیانگر میزان توجه محققین به این مقوله است.

یکی از شاخه‌های علمی که دینامیک سیالات محاسباتی در این زمینه نیز پیشرفت زیادی داشته است، علم مهندسی آب یا هیدرولیک است. بررسی میکروسکوپی رفتار آب در جریانهای طبیعی نشانگر پیچیدگی‌های زیادی است که ماهیت تغییر در آنها تصادفی است، به طوری که

۱. Computational Fluid Dynamics (CFD)

حتی حل مدل‌های تئوری موجود در فرم کامل آنها نیز قادر به شبیه‌سازی دقیق این تغییرات نیست. ولی با پیدایش رایانه‌ها، علم دینامیک سیالات محاسباتی توانست با بکارگیری مدل‌های آشفستگی، تا حدودی در شبیه‌سازی و پیش‌بینی رفتار آب موفق باشد.

امروزه مدل‌های تجاری زیادی برای شبیه‌سازی محیط سیال به بازار عرضه شده‌اند و هر کدام از آنها بر حسب مواردی چون قدرت شبیه‌سازی، دامنه کاربرد، قدرت رابط گرافیکی و کاربرد دوست بودن‌شان محبوبیت خاصی را در بین کاربران‌شان پیدا کرده‌اند. یکی از مدل‌های بسیار قوی و پرکاربرد، بخصوص در سال‌های اخیر، مدل FLOW-3D است. این مدل توسط شرکت Flow Science، که در سال ۱۹۸۰ توسط دکتر C.W. (Tony) Hirt بنیانگذاری شد، توسعه داده شده‌است و نسخه‌های جدید آن، روز به روز، زمینه‌های کاربردی زیادی را شامل می‌شوند. این مدل، هم‌اکنون، محبوبیت زیادی را پیدا کرده و در زمینه تحقیق و صنعت مورد استفاده قرار می‌گیرد. شاید نتایج بسیار خوب گرافیکی، یکی از دلایل محبوبیت این مدل باشد. مدل FLOW-3D توانایی بالایی در شبیه‌سازی جریان آب، انتقال رسوب و آبشستگی دارد و مدل مناسبی برای شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی است. استفاده از روش VOF در پیش‌بینی سطح سیال و ترکیب آن با روش FAVOR در تشخیص مرزهای صلب و همچنین استفاده از شبکه حل ساده مکعب مستطیلی، از ویژگی‌های این مدل هستند که آن را با مدل‌های مشابه متمایز می‌کند. علیرغم زمینه‌های کاربردی زیاد این مدل و کارایی‌ها و توانایی‌های آن، منبع آموزشی مناسبی برای این مدل وجود ندارد، بنابراین، در این کتاب سعی شده‌است راهنمای استفاده از این مدل به زبان ساده برای مهندسان و دانشجویان هیدرولیک ارائه شود.

در چاپ دوم این کتاب، علاوه بر مطالب جدیدی که در فصول مختلف اضافه شد، فصل ششم به عنوان یک فصل جدید که شامل روش‌های کاهش خطاهای حین اجرا، کاهش حافظه موردنیاز و کاهش زمان شبیه‌سازی است، به فصول کتاب افزوده شد. امید است که استفاده از این کتاب برای مخاطبان مؤثر واقع شود.

در تدوین این کتاب سعی شده‌است که آموزش مدل به نحو مطلوبی صورت بگیرد و در عین حال، حداقل تعداد نواقص نگارشی وجود داشته باشد ولی بی‌شک اشکالات و نواقصی در کتاب وجود دارد لذا ضمن عذرخواهی از خوانندگان کتاب، از تمام عزیزان درخواست می‌شود که نواقص کتاب و همچنین هر گونه انتقاد و پیشنهادی را به آدرس مؤلف^۱ ارسال نمایند تا در نسخ بعدی، ترتیب اثر داده شود.

فیروز قاسم‌زاده

۱. Email: Ghasemzade_frz@ut.ac.ir

مقدمه

مطالعه تجربی پدیده‌های موجود در زمینه سیالات، اطلاعات دقیق و با ارزشی در مورد این پدیده‌ها در اختیار محققین می‌گذارد ولی به دلیل محدودیت در تجهیزات، زمان و هزینه و همچنین عدم ایجاد تشابه کامل بین جریان در مدل‌های فیزیکی و جریان طبیعی، این نوع مطالعه در اغلب موارد راه حل خوبی نیست. امروزه، استفاده از روش‌های عددی و تحلیلی در مطالعه محیط سیال رشد و توسعه یافته‌اند و به دلیل تولید نتایج قابل اطمینان، توانسته‌اند جایگزین خوبی برای مدل‌های فیزیکی باشند.

دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) علمی است که به مطالعه عددی پدیده‌های موجود در زمینه سیالات می‌پردازد. شاید بتوان ادعا کرد که پیدایش رایانه‌ها، با کاهش هزینه‌های محاسباتی استفاده از روش‌های عددی، تأثیر زیادی در پیشرفت این علم داشته و باعث شده‌است روز به روز بر تعداد روش‌های حل عددی و مدل‌های توسعه داده شده بر مبنای این روش‌ها افزوده شود.

مدلهای ریاضی شبیه‌سازی جریان سیال که مبتنی بر CFD هستند در مقایسه با روشهای تجربی دارای چند مزیت عمده هستند. چند نمونه از این مزایا عبارتند از:

- کاهش اساسی در زمان و هزینه طراحی‌ها
- افزایش توان مطالعه سیستم‌های پیچیده که انجام آزمایش‌های کنترل‌شده روی آنها مشکل یا غیر ممکن است.
- افزایش سطح جزئیات در ارائه نتایج

البته استفاده حرفه‌ای از مدل‌های ریاضی نیز دارای مسائل و مشکلاتی نظیر واسنجی مدل، انتخاب معادلات حاکم و روش‌های شبیه‌سازی مناسب، استفاده از شماهای عددی مناسب و غیره است. بطور کلی استفاده از مدل‌های ریاضی واسنجی شده، به لحاظ مقرون به صرفه بودن و ارائه نتایج قابل اعتماد، توصیه می‌شوند.

از انواع مدل‌های موجود در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی، می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- مدل FLUENT: یک نرم‌افزار عمومی حل میدان جریان است که بصورت دو بعدی یا سه بعدی و بر اساس روش حجم محدود میدان جریان را تحلیل می‌نماید. ویرایش‌های اولیه این نرم‌افزار تنها شبکه منظم متعامد و غیرمتعامد را تحلیل می‌نمود. اما ویرایش‌های جدید این نرم‌افزار شبکه نامنظم را نیز تحلیل می‌کند.
- مدل FIDAP: یک نرم‌افزار عمومی حل میدان جریان است، که بصورت دو بعدی یا سه بعدی و بر اساس روش المان محدود میدان جریان را تحلیل می‌نماید. این نرم‌افزار ابتدا به منظور تحلیل سازه تهیه شده بود، اما در ویرایش‌های بعدی قابلیت آنالیز سیالات نیز به آن اضافه شد. شبکه استفاده شده در نرم‌افزار می‌تواند منظم یا نامنظم باشد.
- مدل TELEMAC: این نرم‌افزار قابلیت تحلیل دو بعدی یا سه بعدی میدان جریان را به صورت المان محدود دارا می‌باشد. این نرم‌افزار اغلب در مدل کردن رودخانه‌ها و مسائل مربوط به شکست سد بکار گرفته می‌شود.
- مدل PHOENICS: این نرم‌افزار میدان جریان را به روش حجم محدود تحلیل می‌کند و از شبکه منظم غیر متعامد در آنالیز میدان جریان استفاده می‌کند.
- مدل CFX: از دیگر نرم‌افزارهای تحلیل میدان جریان می‌باشد. این مدل حل میدان را به روش حجم محدود انجام می‌دهد و از شبکه منظم و نامنظم غیر متعامد در آنالیز استفاده می‌کند.
- مدل FLOW-3D: این نرم‌افزار قابلیت تحلیل دو بعدی یا سه بعدی میدان جریان را به صورت حجم دارا است. این نرم‌افزار از المانهای سه بعدی متعامد استفاده می‌کند و در ایجاد مانع در برابر جریان قابلیت‌های ویژه‌ای دارد. آشنایی با این مدل و روش استفاده از آن، موضوع این کتاب است.

در این کتاب سعی می‌شود با زبانی ساده به آموزش مدل FLOW-3D پرداخته شود. مطالب کتاب حاضر بر اساس نسخه 10.0.1 مدل FLOW-3D تدوین شده‌است. این کتاب بیشتر بر روی مسائل هیدرولیکی متمرکز است و مخاطبان آن دانشجویان و مهندسين هیدرولیک هستند. به دلیل گستردگی بیش از حد منوهای مدل FLOW-3D، در این کتاب سعی می‌شود تا حد ممکن منوها و ابزارهای معمول در شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولیکی تشریح شود. همانند روش کار در سایر مدل‌های موجود، آشنایی بیشتر با بخش‌های مختلف این مدل نیز نیازمند تمرین و ممارست کاربر است.

فصل اول

مبانی نظری

۱-۱ مقدمه

مدل FLOW-3D یکی از مدل‌های بسیار قوی در زمینه دینامیک سیالات است که توسعه و پشتیبانی آن توسط Flow Science, Inc صورت گرفته‌است. اخیراً این مدل توانسته در تحقیقات و صنعت کاربرد زیادی پیدا کند.

این مدل قابلیت تحلیل سه بعدی میدان جریان را دارد و محدوده کاربردی بسیار وسیعی را در مسائل مربوط به سیالات دارد. معادلات حاکم در این مدل، معادلات ناویر استوکس و معادله بقای جرم است و برای حل آشفتگی نیز از پنج روش مختلف استفاده می‌شود.

مدل FLOW-3D شامل الگوهای فیزیکی بسیاری از جمله آبهای کم‌عمق، لزجت، کاپیتاسیون، آشفتگی، محیط‌های متخلخل و غیره است. این مدل در زمینه‌هایی چون ریخته‌گری، مهندسی فرآیند، هیدرولیک، محیط زیست، هوافضا، علوم دریایی، نفت، گاز و غیره کاربرد دارد.

شبکه حل در این مدل متشکل از سلول‌های مکعب مستطیلی است. شاید این نوع شبکه در نگاه اول به عنوان یک محدودیت مطرح شود، در صورتیکه، اولاً به دلیل تولید آسان این نوع شبکه، نظم مناسب و نیاز به حافظه کمتر در آن و ثانیاً به دلیل بکارگیری دو ابزار مفید VOF^۱ و FAVOR^۲ در مدل FLOW-3D، شبکه حل به فرم مذکور یک مزیت خواهد بود.

به توصیه شرکت توسعه دهنده مدل، در شبیه‌سازی با استفاده از این مدل حداقل به یک پردازنده Pentium III با سیستم عامل ویندوز ۲۰۰۰ نیاز هست و حداقل کارت گرافیک مورد نیاز ۳۲ MB است.

به دلیل قابلیت‌هایی که مدل FLOW-3D در زمینه شبیه‌سازی‌های هیدرولیکی دارد و

۱. Volume of Fluid

۲. Fractional Area-Volume Obstacle Representation

جواب‌های قابل قبولی که در این زمینه تولید کرده‌است، اخیراً کاربرد زیادی در این زمینه پیدا کرده‌است. یکی از قابلیت‌های این برنامه در زمینهٔ آنالیزهای هیدرولیکی، توانایی در استفاده از روش حجم سیال یا VOF در مدل کردن جریان‌های با سطح آزاد است که مسائل موجود در روش‌های قبلی (روش‌های مبتنی بر آزمون و خطا) را برطرف کرده‌است.

در این فصل به شرح تئوری بکار گرفته شده در مدل FLOW-3D پرداخته می‌شود. روابط مورد استفاده در این فصل شامل پارامترهای اضافی نسبت به فرم معمولی‌اشان است. دلیل این تفاوت، اعمال عبارت‌های مربوط به تکنیک‌های VOF و FAVOR در روابط است.

در انتهای فصل، شرح مختصری از تئوری مدل‌های کمکی مورد استفاده در FLOW-3D برای شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولیکی نیز ارائه شده‌است. به دلیل اهمیت مدل‌های آشفستگی، مباحث تئوری مربوط به آنها، بصورت مجزا، در فصل دوم ارائه شده‌است.

۱-۲ معادلات حاکم

قبل از معرفی معادلات حاکم در مدل FLOW-3D، ابتدا بهتر است سیستم‌های مختصات موجود در این مدل و روش‌های VOF و FAVOR معرفی شوند.

۱-۲-۱ سیستم‌های مختصات

معادلات دیفرانسیلی که در مدل FLOW-3D باید مورد حل قرار بگیرند، می‌توانند در هر دو قالب مختصات کارتزین (x,y,z) و استوانه‌ای (r,θ,z) نوشته شوند. فرم استوانه‌ای دارای عبارت‌های اضافی است که این عبارت‌ها دارای یک ضریب بنام ξ هستند که اگر $\xi=0$ باشد مختصات مربوط به هندسه کارتزین است و وقتی $\xi=1$ است هندسه استوانه‌ای حاصل می‌شود. در مختصات استوانه‌ای، مختصات x بجای امتداد شعاعی تعبیر می‌شود، مختصات y به مختصات زاویه‌ای انتقال داده می‌شود و z مختصات محوری است. تمام معادلات با تابع تخلخل مساحت و حجم فرموله می‌شوند. این روش فرموله کردن که به روش FAVOR (روش نمایندهٔ کسر مساحت-حجم مانع) نامیده می‌شود برای مدل‌سازی هندسه‌های پیچیده استفاده می‌شود. توابع تخلخل همچنین برای بیان برخی ساده‌سازی‌ها در مشخصات سطوح آزاد و شرایط مرزی دیوار استفاده می‌شوند.

بطور کلی در Flow-3D کسرهای مساحت و حجم مستقل از زمان هستند. اما زمانیکه با مدل موانع متحرک^۱ روبرو هستیم، ممکن است این کمیتها با زمان تغییر کنند.

۱. Moving object