دانشکده‌ی مهندسی

گروه عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد در گرایش سازه‌های هیدرولیکی

مدل‌سازی عددی امواج تیز ایستا در آب‌های کم عمق

با استفاده از نرم‌افزار FLUENT

مؤلف

سعیده توکلی

استاد راهنما

دکتر محمد رضا جعفرزاده

استاد مشاور

دکتر ابراهیم علامتیان

پاییز ۱۳۹۰

بسم الله الرحمن الرحیم

این اندک تلاش علمی،

را به صاحب زمان و مکان که نور حضورش را از پس سایه ابرها احساس می‌کنم

تقدیم می‌نمایم.

این پایان نامه که به وسیله خانم سعیده توکلی تدوین و به هیأت داوران ارائه گردیده است، به عنوان بخش پژوهشی دوره کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، مورد تأیید شورای تحصیلات تکمیلی گروه عمران، دانشکده مهندسی، دانشگاه فردوسی مشهد می باشد.

تاریخ دفاع: ۹۰/۸/۲۳ نمره: ۱۸/۷۵ درجه ارزشیابی: بسیار خوب

استاد راهنما: **آقای دکتر محمد رضا جعفر زاده** ----------

استاد مشاور: **آقای دکتر ابراهیم علامتیان** ----------

استاد مدعو: **آقای دکتر محمود فغفور مغربی** ----------

نماینده تحصیلات تکمیلی: **آقای دکتر فریدون پویانژاد** ----------

تأییدیه

گواهی می‌شود، این پایان نامه تاکنون برای احراز یک درجه علمی ارائه نشده است و تمامی مطلب‌های آن، به جز مورد هایی که نام منبع آورده شده است، نتیجه کار پژوهشی دانشجو می‌باشد.

امضای دانشجو: **سعیده توکلی** ----------

امضای استاد راهنما: **دکتر محمد رضا جعفرزاده** ----------

بسمه تعالی .

مشخصات رساله/پایان نامه تحصیلی دانشجویان .

دانشگاه فردوسی مشهد

عنوان رساله/پایان نامه: مدلسازی عددی امواج تیز ایستا در آب های کم عمق با استفاده از نرم افزار FLUENT

نام نویسنده: سعیده توکلی

نام استاد(ان) راهنما: دکتر محمد رضا جعفرزاده

نام استاد(ان) مشاور: دکتر ابراهیم علامتیان

دانشکده : مهندسی	**گروه:** عمران	**رشته تحصیلی:** سازه های هیدرولیکی
تاریخ تصویب:		**تاریخ دفاع: ۱۳۹۰/۸/۲۳**
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	**دکتری**	**تعداد صفحات: ۱۴۱**

چکیده رساله/پایان نامه :

در این رساله، امواج تیز ایستا در جریان آبهای کم عمق با استفاده از نرم‌افزار Fluent 6.3 شبیه‌سازی می‌شود. جهت ارزیابی قابلیت‌های نرم‌افزار فلوئنت در مدل‌سازی امواج تیز، در ابتدا مسئله شکست سد با شرایط اولیه مختلف (بستر تر و بستر خشک) در یک بعد شبیه‌سازی می‌گردد. در این راستا اثر یک مانع عمود بر مسیر جریان در پایاب سد بر موج حاصل از شکست سد نیز بررسی می‌شود. در ادامه پرش هیدرولیکی در کانال به صورت یک بعدی شبیه‌سازی می‌گردد و نتایج حاصل از حل عددی با نتایج آزمایشگاهی موجود مقایسه می‌شود. جهت بررسی و تحلیل سه‌بعدی امواج تیز، امواج تیز مورب به‌وجود آمده در تبدیلی با گوشه مقعر به صورت سه‌بعدی شبیه‌سازی می‌گردد. اندرکنش امواج تیز مورب و امواج انبساطی نیز با تحلیل جریان فوق بحرانی در یک تبدیل متقارن بررسی می‌شود. مقایسه نتایج حاصل از تحلیل سه‌بعدی امواج تیز با نتایج تحلیلی موجود حاصل از فرضیات دوبعدی و همچنین کارهای دوبعدی محققین قبلی نشان می‌دهند، مشخصات جریان پس از پرش در کانال با نتایج تحلیلی و عددی در دو بعد مطابقت دارد اما در محدوده موج تیز پخشیدگی عددی زیاد می‌باشد. در انتها امواج تیز ایستای به وجود آمده از برخورد جریان فوق بحرانی به یک مانع عرضی در کانال مدل‌سازی شده و نتایج آن با کارهای دوبعدی عددی و آزمایشگاهی محققین قبلی مقایسه می‌گردد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که فلوئنت نمی‌تواند امواج تیز ایستا در کانال مورد نظر را به‌خوبی شبیه‌سازی کند

کلید واژه:

۱. معادلات آبهای کم عمق
۲. امواج تیز ایستا
۳. جریان فوق بحرانی
۴. مدل سه بعدی
۵. Fluent

امضای استاد راهنما:

تاریخ:

تشکر و قدردانی

اکنون که به یاری پروردگار و عنایات ولی عصر (عج) و توجهات علی ابن موسی الرضا (ع) تحقیقات علمی حاضر صورت گرفته است، لازم می‌دانم از راهنمایی‌های ارزشمند استاد ارجمند دکتر محمد رضا جعفرزاده و حمایت و راهنمایی‌های ارزنده استاد مشاور خود، دکتر ابراهیم علامتیان تشکر نمایم.

پشتیبانی پدر بزرگوارم و دلسوزی مادرم مهربانم در طول تحصیلاتم و صبر و شکیبایی همسر فداکارم در مدت انجام این تحقیق در خور ستایش و سپاس فراوان است.

در نهایت از زحمات اساتید گروه عمران دانشکده مهندسی دانشگاه فردوسی مشهد که تحصیلات کارشناسی و کارشناسی‌ارشد خود را مدیون ایشان می‌باشم تقدیر نموده و آرزوی موفقیت ایشان را دارم.

سعیده توکلی

آبان ماه ۱۳۹۰

فهرست مطالب

فصل اول: کلیات ۱

مقدمه ۲

فصل دوم: معادلات حاکم بر جریان سیالات ۵

۲-۱- مقدمه ۶

۲-۲- تعریف نمادها ۶

۲-۳- قوانین بقای جرم و ممنتم ۷

۲-۴- جریان آب با سطح آزاد ۱۰

۲-۵- شرایط مرزی سطح آب و بستر ۱۰

۲-۶- معادلات آب‌های کم عمق ۱۲

۲-۷- روش‌های حل معادلات حاکم بر جریان سیال ۱۶

۲-۸- نتیجه‌گیری ۲۰

فصل سوم: مقدمه‌ای بر نرم افزار FLUENT ۲۲

۳-۱- مقدمه ۲۳

۳-۲- دینامیک سیالات محاسباتی (CFD) ۲۳

۳-۳- تنظیمات نرم‌افزار فلوئنت ۲۵

۳-۴- مدل‌سازی در نرم‌افزار پیش پردازنده ۲۷

۳-۵- انتخاب حل کننده ۲۷

۳-۵-۱- تنظیم و به‌کارگیری حل کننده ۲۸

۳-۵-۲- حل‌کننده مبتنی بر فشار ۲۹

۳-۵-۳- جداسازی ۳۱

۳-۵-۴- فرم خطی شده معادله جداسازی شده ۳۳

۳-۵-۵- حل معادلات با استفاده از حل‌کننده مبتنی بر فشار ۳۴

۳-۵-۶- وابستگی سرعت- فشار ۳۵

۳-۶- مدل‌سازی جریان‌های چندفازی ۳۷

۳-۶-۱- انتخاب مدل چند فازی مناسب ۳۸

۳-۶-۲- مدل VOF برای تعیین سطح آزاد ۳۹

۳-۶-۳- محدودیت‌های مدل VOF ۴۱

۳-۶-۴- تنظیم موقعیت فشار مرجع ۴۲
۳-۷- تعیین مدل آشفتگی ۴۲
۳-۷-۱- مدل آشفتگی Spalart – Allmaras ۴۳
۳-۷-۲- مدل آشفتگی K- ε ۴۴
۳-۷-۳- مدل K-ε (RNG) ۴۵
۳-۷-۴- مدل آشفتگی k-ε (realizable) ۴۶
۳-۷-۵- مدل آشفتگی $k-\omega$ ۴۷
۳-۷-۶- مدل آشفتگی تنش رینولدز (RSM) ۴۸
۳-۸- تعیین خواص ۴۹
۳-۹- انواع شرایط مرزی ۴۹
۳-۹-۱- تعیین شرایط مرزی برای کانال‌های باز ۵۰
۳-۹-۲- محدودیت‌های شرایط مرزی در کانال‌های باز ۵۱
۳-۱۰- مقدار دهی اولیه به میدان جریان ۵۲
۳-۱۱- پس پردازنده ۵۲
۳-۱۲- کنترل همگرایی حل ۵۳
۳-۱۳- پیشنهادهایی برای تنظیم مسائل جریان کانال باز ۵۳
۳-۱۴- نتیجه گیری ۵۴
فصل چهارم: معرفی امواج تیز و روش‌های تسخیر امواج تیز ٥٦
۴-۱- مقدمه ۵۷
۴-۲- قوانین بقاء ۵۹
۴-۳- روش‌های حجم محدود بقائی ۶۱
۴-۴- مسئله ریمن ۶۳
۴-۵- روش گدونف ۶۴
۴-۶- الگوهای با دقت مرتبه دو ۶۵
۴-۷- الگوهای با قدرت تفکیک بالا ۶۷
۴-۸- روش‌های عددی برای حل معادلات آب‌های کم‌عمق ۷۰
۴-۸-۱- روش متکی به بالادست ۷۰
۴-۸-۲- الگوی Roe ۷۲
- الگوی یک بعدی Roe ۷۲
- الگوی دوبعدی Roe ۷۵
۴-۹- روش‌های تحلیلی حل مسائل امواج تیز ۷۶

۴-۹-۱- مسئله یک بعدی شکست سد ۷۶
۴-۹-۲- پرش هیدرولیکی مایل ۷۸
۴-۱۰- نتیجه‌گیری ۸۰
فصل پنجم: شبیه‌سازی عددی امواج تیز و بررسی نتایج ۸۱
۵-۱-مقدمه ۸۲
۵-۲- مسئله یک بعدی شکست سد ۸۴
۵-۲-۱- شکست سد بر بستر مرطوب ۸۵
۵-۲-۲- شکست سد بر بستر خشک ۸۹
۵-۲-۳- برخورد دو موج تیز ۹۲
۵-۲-۴- برخورد موج ناشی از شکست سد به دیوار ۹۷
۵-۳- پرش هیدرولیکی ۱۰۱
۵-۴- پرش هیدرولیکی مایل ۱۰۷
۵-۴-۱- امواج تیز مورب ۱۰۹
۵-۴-۲- اندرکنش امواج تیز و انبساطی متقارن ۱۱۸
۵-۵- جریان فوق بحرانی در کانال با وجود مانع عرضی ۱۲۶
۵-۶- نتیجه‌گیری ۱۳۵
فصل ششم:خلاصه بررسی‌ها، نتیجه‌گیری و پیشنهاد تحقیقات بیشتر ۱۳۷
۶-۱- خلاصه بررسی‌ها ۱۳۸
۶-۲- نتیجه‌گیری ۱۳۹
۶-۳- پیشنهاد تحقیقات بیشتر ۱۴۱
منابع و مراجع ۱۴۲

فهرست شکل‌ها

شکل ۲-۱- پروفیل طولی جریان با سطح آزاد در صفحهxz ۱۰
شکل ۳-۱- تصویر حل کننده در نرم افزار ۲۸
شکل ۳-۲- حجم کنترل استفاده شده برای جداسازی معادلهٔ اسکالر انتقال ۳۲
شکل ۴-۱- امواج حاصل از شکست سد ۵۷
شکل ۴-۲- امواج سونامی ۵۸
شکل ۴-۳- نمایی از امواج ایستای به وجود آمده در یک خم در جریان فوق بحرانی ۵۸
شکل ۴-۴- شارهای عبوری از وجوه مشترک سلولها ۶۲
شکل۴-۵- بررسی معادله انتقال $q_t + Aq_x = 0$ با شرایط مرزی تناوبی ۶۶
شکل ۴-۶- جداسازی حجم محدود برای مدل یک بعدی ۷۳
شکل ۴-۷- محاسبه شار با الگوی Roe ۷۴
شکل ۴-۸- شرط اولیه شکست سد در یک بعد ۷۷
شکل ۴-۹- پرش هیدرولیکی مایل ۷۹
شکل ۵-۱- شرایط اولیه در مسئله شکست سد بر بستر مرطوب ۸۵
شکل ۵-۲- شرایط مرزی در نظر گرفته شده در نرم افزار گمبیت ۸۶
شکل ۵-۳- تغییرات متغیر Fh در برابر تراکم های مختلف سلولها ۸۷
شکل ۵-۴- تغییرات زمان محاسبات در برابر تعداد سلولهای محاسباتی ۸۸
شکل ۵-۵- مقایسه نتایج حل عددی نرم افزار فلوئنت با حل تحلیلی موجود (t=20 s) ۸۹
شکل ۵-۶- شرایط اولیه در مسئله شکست سد بر بستر خشک ۸۹
شکل ۵-۷- شرایط مرزی در نظر گرفته شده در نرم افزار گمبیت ۹۰
شکل ۵-۸- مقایسه نتایج نرم افزار فلوئنت با روش تحلیلی و روش عددی PCM در زمان (t=40 s) ۹۱
شکل ۵-۹- مقایسه نتایج فلوئنت با روش تحلیلی و روش عددی PCM در زمان (t=40 s) در مقیاس بزرگتر ۹۱
شکل ۵-۱۰- مقایسه نتایج فلوئنت با روش تحلیلی و روش عددی PCM در زمان (t=40 s) در مقیاس بزرگتر ۹۲
شکل ۵-۱۱- شرایط اولیه در آزمون برخورد دو موج تیز ۹۲
شکل ۵-۱۲- شرایط مرزی در نظر گرفته شده در نرم افزار گمبیت ۹۳
شکل ۵-۱۳- حل تحلیلی آزمون برخورد دو موج تیز در زمانهای مختلف ۹۴
شکل ۵-۱۴- مقایسه نتایج نرم افزار فلوئنت با روش تحلیلی و روش عددی PCM در زمان (t=10 s) ۹۵
شکل ۵-۱۵- مقایسه نتایج فلوئنت با روش تحلیلی و روش عددی PCM در زمان (t=10 s) در مقیاس بزرگتر ۹۵
شکل ۵-۱۶- مقایسه نتایج نرم افزار فلوئنت با روش تحلیلی و روش عددی PCM در زمان (t=25 s) ۹۶
شکل ۵-۱۷- مقایسه نتایج فلوئنت با روش تحلیلی و روش عددی PCM در زمان (t=25 s) در مقیاس بزرگتر ۹۶
شکل ۵-۱۸- شرایط اولیه در مسئله شکست سد ۹۷
شکل ۵-۱۹- شرایط مرزی در نظر گرفته شده در نرمافزار گمبیت ۹۷

شکل ۵-۲۰- حرکت موج حاصل از شکست سد در زمان های مختلف ۹۸
شکل ۵-۲۱- حرکت موج در زمان های مختلف در طول کانال ۹۹
شکل ۵-۲۲- افزایش عمق آب در نقطه x=2.228 نسبت به زمان ۱۰۰
شکل ۵-۲۳- افزایش عمق آب در نقطه x=2.275 نسبت به زمان ۱۰۰
شکل ۵-۲۴- تشکیل پرش هیدرولیکی در پایاب یک پنجه ۱۰۱
شکل ۵-۲۵- شرایط اولیه در مسئله پرش هیدرولیکی ۱۰۲
شکل ۵-۲۶- شرایط مرزی در نظر گرفته شده در نرم افزار گمبیت ۱۰۳
شکل ۵-۲۷- تأثیر تراکم سلولهای محاسباتی بر طول پرش هیدرولیکی در کانال ۱۰۴
شکل ۵-۲۸- پروفیل طولی عمق جریان و مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی ۱۰۵
شکل ۵-۲۹- منحنی های همتراز سرعت در محل تشکیل پرش هیدرولیکی در کانال ۱۰۶
شکل ۵-۳۰- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در کانال ۱۰۶
شکل ۵-۳۱- پروفیل انرژی جنبشی آشفتگی در مقطع ۱۰۷
شکل ۵-۳۲- الف- طراحی مناسب تبدیل تنگ شونده ۱۰۸
شکل ۵-۳۲- ب- طراحی نا مناسب تبدیل تنگ شونده ۱۰۸
شکل ۵-۳۳- فضای محاسباتی و شرایط مرزی در نرم افزار ۱۱۰
شکل ۵-۳۴- تأثیر تراکم سلولهای محاسباتی بر طول پرش هیدرولیکی مایل در کانال ۱۱۱
شکل ۵-۳۵- نمای سه بعدی پرش هیدرولیکی ایجاد شده در کانال ۱۱۲
شکل ۵-۳۶- پرش هیدرولیکی مایل در یک تیدیل تنگ شونده ۱۱۲
شکل ۵-۳۷- پروفیل طولی عمق جریان در مقطع A-A، y=5.0m ۱۱۳
شکل ۵-۳۸- پروفیل عرضی عمق جریان در مقطع B-B، x=15.0m ۱۱۳
شکل ۵-۳۹- منحنی های همتراز سرعت در جهت X در عمق ۰/۸ متر ۱۱۵
شکل ۵-۴۰- پروفیل طولی سرعت در مقطع A-A، Y=3.0m ۱۱۶
شکل ۵-۴۱- پروفیل طولی سرعت در مقطع B-B، X=15m ۱۱۶
شکل ۵-۴۲- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی (k) در عمق ۰/۹ متر ۱۱۷
شکل ۵-۴۳- پروفیل طولی عمق جریان در y = 5.0m با دو مدل آشفتگی مختلف ۱۱۷
شکل ۵-۴۴- فضای محاسباتی و شرایط مرزی در نرم افزار ۱۱۸
شکل ۵-۴۵- تأثیر تراکم سلولهای محاسباتی بر مقدار پارامتر Fh ۱۱۹
شکل ۵-۴۶-تغییرات زمان محاسبات در برابر تعداد سلولهای محاسباتی ۱۲۰
شکل ۵-۴۷- نمای سه بعدی امواج تیز ایجاد شده در تبدیل ۱۲۱
شکل ۵-۴۸- اندرکنش امواج تیز متقارن و امواج انبساطی ۱۲۱
شکل ۵-۴۹- پروفیل طولی عمق جریان در محور تقارن تبدیل مقطع A-A، Y=10m ۱۲۲
شکل ۵-۵۰- پروفیل طولی عمق جریان در مقطع B-B، Y=3.0m ۱۲۲
شکل ۵-۵۱- خطوط همتراز سرعت در تبدیل متقارن در عمق ۰/۸ متر ۱۲۴

شکل ۵-۵۲- پروفیل طولی سرعت جریان در مقطع A-A، Y=8.0m ۱۲۵
شکل ۵-۵۳- پروفیل طولی سرعت جریان در مقطع B-B، X=20m ۱۲۵
شکل ۵-۵۴- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی (k) در عمق ۰/۵ متر ۱۲۶
شکل ۵-۵۵- پلان کانال مدل سازی شده و مقاطع طولی ۱۲۷
شکل ۵-۵۶-تغییرات پارامتر Fh در برابر تراکم سلولهای محاسباتی ۱۲۹
شکل ۵-۵۷-تغییرات زمان محاسبات در برابر تعداد سلولهای محاسباتی ۱۳۰
شکل ۵-۵۸-نمای سه بعدی جریان فوق بحرانی در کانال با وجود مانع عرضی ۱۳۱
شکل ۵-۵۹- پروفیل طولی عمق جریان در امتداد P1 ..... ۱۳۱
شکل ۵-۶۰- پروفیل طولی عمق جریان در امتداد P2 ..... ۱۳۲
شکل ۵-۶۱- پروفیل طولی عمق جریان در امتداد P3 ..... ۱۳۲
شکل ۵-۶۲- مقایسه نیمرخ عرضی عمق جریان با نتایج آزمایشگاهی و روش عددی رو در x=1.5m ۱۳۳
شکل ۵-۶۳- مقایسه نیمرخ عرضی عمق جریان با نتایج آزمایشگاهی و روش عددی رو در x=2.5m ۱۳۳
شکل ۵-۶۴- منحنیهای همتراز سرعت در جهت X در کانال در عمق ۰/۰۲ متر از کف کانال ۱۳۴
شکل ۵-۶۵- توزیع انرژی جنبشی آشفتگی در کانال در عمق ۰/۰۲ متر از کف کانال ۱۳۴

فهرست جداول

جدول ۳-۱- انواع شرایط مرزی، پارامترهای مورد نیاز ۵۰
جدول ۵-۱- مشخصات شبکه‌های بکار رفته ۸۶
جدول ۵-۲- نیمرخ آب اندازه گیری شده از پرش هیدرولیکی در کانال آزمایشگاهی ۱۰۲
جدول ۵-۳- مشخصات شبکه‌های بکار رفته ۱۰۳
جدول ۵-۴ – مقایسه نتایج عددی Fluent با حل تحلیلی و روش Roe برای مسئله امواج تیز مورب ۱۱۴
جدول ۵-۵ – مقایسه نتایج عددی Fluent در مسئله اندرکنش امواج تیز مورب و امواج انبساطی ۱۲۳

فصل اول

کلیات

مقدمه

شاک‌ها یا امواج تیز، از تغییر ناگهانی سرعت یا عمق در مقاطعی از جریان‌های فوق بحرانی و با سرعت زیاد به وجود می‌آیند. تسخیر امواج تیز برای مدل‌سازی بسیاری از پدیده‌های فیزیکی از جمله امواج اقیانوسی، نوسانات جزر و مدی، امواج حاصل از باز و بسته شدن ناگهانی دریچه‌ها، امواج سیلاب حاصل از شکست ناگهانی سد و غیره ضروری است. پیش‌بینی یا تسخیر امواج تیز مسئله‌ای است که سال‌ها مورد توجه بوده است. تاکنون روش‌های عددی مختلفی برای محاسبه و تسخیر امواج تیز در آب‌های کم عمق توسط محققین مختلف ارائه شده است. بیشتر روش‌های عددی ارائه شده برای حل معادلات آب‌های کم عمق بر اساس روش‌های حجم محدود می‌باشند. در سال‌های اخیر برای تسخیر ناپیوستگی در مدل‌سازی جریان آب‌های کم عمق، از روش‌های حجم محدود بقایی استفاده شده است. این روش‌ها بر پایه حل‌کننده‌های مسئله ریمن می‌باشند و ضمن حل معادلات در نواحی هموار جریان به شکل مطلوبی قادر به تسخیر امواج تیز می‌باشند. از جمله روش‌های عددی برای حل معادلات دوبعدی آب‌های کم عمق که می‌توانند امواج تیز را با قدرت بالا شبیه‌سازی کنند، روش‌های متکی به بالادست، روش‌های مرتبه دوم رو و همچنین روش‌های با قدرت تفکیک بالا می‌باشند.

اما شبیه‌سازی سه‌بعدی امواج تیز و بررسی دقت جواب‌های حاصله در مقایسه با مدل‌های متوسط‌گیری شده در عمق، مسئله‌ای است که همیشه مورد بحث بوده است. در تحقیق حاضر امواج تیز با نرم‌افزار فلوئنت شبیه‌سازی می‌گردد و نتایج آن با نتایج مدل‌های متوسط‌گیری شده در عمق مقایسه می‌گردد. فلوئنت از جمله نرم‌افزارهای قدرتمند در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی می‌باشد و توانایی مدل‌سازی جریان سیالات در حالت‌های دوبعدی و سه‌بعدی، دائمی و غیر دائمی، جریان در محیط‌های متخلخل و ... را دارا می‌باشد. در نرم‌افزارهای موجود در زمینه دینامیک سیالات محاسباتی، معادلات عمومی که برای

توصیف جریان سیالات بکار می‌روند، معادلات سه‌بعدی ناویر استوکس می‌باشند. حل این معادلات با استفاده از روش‌های عددی، اساس کار نرم‌افزارهای موجود از جمله فلوئنت می‌باشد.

از این‌رو در تحقیق حاضر، ابتدا در فصل دوم به نحوه استخراج معادلات سه‌بعدی ناویر استوکس بر اساس معادلات بقای جرم و ممنتم پرداخته می‌شود و از آنجا معادلات دوبعدی آب‌های کم عمق را از معادلات سه‌بعدی ناویر استوکس استخراج می‌کنیم.

در ادامه در فصل سوم، به معرفی نرم‌افزار فلوئنت پرداخته می‌شود. نرم‌افزار فلوئنت قادر به مدل‌سازی جریان‌های با سطح آزاد به صورت دو فازی می‌باشد؛ از این‌رو سیال هوا به عنوان فاز اول و آب به عنوان فاز دوم در نظر گرفته می‌شود. در این فصل همچنین شرایط مرزی قابل کاربرد در مسائل کانال‌های باز و همچنین روش‌های مختلف حل مسائل در نرم‌افزار فلوئنت معرفی می‌شوند. در ادامه به شرح مختصری از مدل‌های مختلف آشفتگی که در نرم‌افزار وجود دارند پرداخته می‌شود.

در فصل چهارم پس از معرفی امواج تیز و انواع مختلف آن، به روش‌های عددی متفاوتی که قادر به تسخیر امواج تیز در مسائل دوبعدی آب‌های کم‌عمق می‌باشند اشاره مختصری می‌شود. در انتهای فصل نیز، روش تحلیلی حل مسئله شکست سد در یک بعد و مسئله دو بعدی پرش هیدورولیکی مایل در کانال ارائه شده است.

بررسی و تحلیل جریان‌های دوبعدی و سه‌بعدی امواج تیز و مقایسه نتایج بدست‌آمده با نتایج تحلیلی موجود و نتایج کارهای دوبعدی محققین قبلی در فصل پنجم صورت گرفته است. بدین منظور در ابتدا مسئله یک‌بعدی شکست سد و پرش هیدرولیکی در یک کانال مستقیم شبیه‌سازی می‌گردد. در ادامه به بررسی و شبیه‌سازی سه‌بعدی امواج تیز بوجود آمده در یک تبدیل با گوشه مقعر و یک تبدیل متقارن پرداخته می‌شود. در انتهای فصل نیز امواج ایستای ناشی از وجود یک مانع عرضی در جریان فوق بحرانی

در یک کانال به صورت سه‌بعدی با نرم‌افزار فلوئنت شبیه‌سازی شده و نتایج آن با نتایج کارهای دو بعدی محققین قبلی مقایسه می‌گردد.

در نهایت فصل آخر به جمع‌بندی و نتیجه‌گیری نهایی حاصل از مقایسه شبیه‌سازی‌های انجام شده با نتایج تحلیلی و کارهای محققین قبلی پرداخته و پیشنهاداتی را به آیندگان ارائه می‌دهد.

فصل دوم

معادلات حاکم بر جریان سیالات

۲-۱- مقدمه

عمومی‌ترین مدل ریاضی برای توصیف جریان سیالات، معادلات ناویر استوکس می‌باشند که برای پیش‌بینی رفتار سیالات تراکم پذیر و لزج در جریان‌های سه‌بعدی بکار می‌روند.

چنانچه از معادلات سه‌بعدی ناویر استوکس در عمق انتگرال گیری شود، معادلات دوبعدی آب‌های کم عمق بدست می‌آیند. فرض اساسی در استخراج این معادلات مربوط به توزیع فشار هیدرواستاتیک است که در نتیجه آن از اثرات شتاب قائم ذرات آب، صرف نظر می‌شود.

هدف از این قسمت علاوه بر مرور روابط ریاضی، نشان دادن تمامی فرضیات و ساده‌سازی‌هایی است که در بدست آوردن این معادلات اعمال می‌شود. این کار سبب می‌شود که محدودیت‌های کاربرد این معادلات و کاستی‌های نتایج بدست آمده از آنها و میزان انتظار از نتایج حل معادلات مشخص شود.

۲-۲- تعریف نمادها

هر کمیتی مانند ϕ که به مکان و زمان وابسته باشد به صورت $\phi(x,y,z,t)$ نشان داده می‌شود. وقتی بر روی یک کمیت اسکالر نظیر ϕ که به متغیرهای مکانی (x,y,z) وابسته است، عملگر گرادیان (∇) اعمال شود، خواهیم داشت:

$$grad\,\phi = \nabla\phi = \left[\frac{\partial\phi}{\partial x}, \frac{\partial\phi}{\partial y}, \frac{\partial\phi}{\partial z}\right] \qquad (۱-۲)$$

اگر عملگر دیورژانس بر روی یک کمیت برداری مانند $A=(a_1,a_2,a_3)$ اعمال شود، یک مقدار اسکالر بدست می‌آید:

$$div\,A = \nabla.A = \frac{\partial a_1}{\partial x} + \frac{\partial a_2}{\partial y} + \frac{\partial a_3}{\partial z} \qquad (۲-۲)$$