بسم الله الرحمن الرحيم

١٢٦٨٩٠

دانشکده فنی و مهندسی
گروه مهندسی مکانیک

پایان نامه
برای دریافت درجه کارشناسی ارشد
مهندسی مکانیک تبدیل انرژی

شبیه سازی عددی جریان آب کم عمق با روش تجزیه شار

استاد راهنما: دکتر شهرام طالبی

استاد مشاور: دکتر محمدرضا هادیان

پژوهش و نگارش: مجید توحیدی

۱۳۸۸/۷/۱
مرکز اطلاعات و مدارک علمی ایران

اسفند ۱۳۸۷

۱۲۶۸۹۰

تقدیم به پدر و مادرم

که هرچه دارم از دعای خیر آنها است.

تشکر و قدردانی

با تشکر از آقای دکتر طالبی که با راهنمایی‌های ارزنده خود همواره یاری رسانم بود. همچنین تشکر می‌کنم از آقای دکتر هادیان که با صبر و حوصله پاسخگوی سوالاتم بود. با تشکر از دوستان و عزیزانی که در مدت انجام این کار همواره یاور و مددرسانم بودند، به ویژه دوستان عزیزم آقایان بابایی، شایگان، فتحی، فلسفی و کریمی.

بسمه تعالی

مدیریت تحصیلات تکمیلی	صورتجلسه دفاعیه پایان نامه دانشجوی دوره کارشناسی ارشد	شناسه: ب/ک/۳

جلسه دفاعیه پایان نامه تحصیلی آقای/ خانم: مجید توحیدی دانشجوی کارشناسی ارشد

رشته/گرایش: تبدیل انرژی

به شماره دانشجویی: ۸۵۰۱۵۲۴

تحت عنوان: شبیه سازی عددی جریان آب کم عمق با روش تجزیه شار

و تعداد واحد: درتاریخ ۱۳۸۷/۱۲/ ۱۴ باحضور اعضای هیأت داوران (به شرح ذیل) تشکیل گردید.

پس از ارزیابی توسط هیأت داوران، پایان‌نامه با نمره: به عدد ۱۹/۵ به حروف نوزده و پنج

و درجه عالی مورد تصویب قرارگرفت.

عنوان	نام و نام خانوادگی	امضاء
استاد/ استادان راهنما:	دکتر شهرام طالبی	
استاد/ استادان مشاور:	دکتر محمدرضا هادیان	
متخصص وصاحبنظرداخلی:	دکتر ولی کلاتر	
متخصص و صاحبنظر خارجی:	دکتر محمد سفید	

نماینده تحصیلات تکمیلی دانشگاه (ناظر)

نام ونام خانوادگی: دکتر مهدی آقا صرام

امضاء:

چکیده

مهمترین ویژگی جریان‌های آب کم عمق[1] کوچک بودن بُعد عمودی آنها نسبت به ابعاد افقی است. از جمله این جریان‌ها می‌توان جریان‌های جوی، جریان ناشی از شکست سد و انواع جریان در کانال‌های باز را نام برد. در جریان‌های آب کم عمق، ارتفاع سطح آزاد، شدت جریان و عدد فرود[2] عوامل تأثیر گذاری هستند. برای بررسی این عوامل معادلات بقای جرم و ممنتوم روی عمق متوسط گیری شده و با در نظر گرفتن توزیع فشار هیدرواستاتیکی به معادلاتی معروف به معادلات متوسط گیری شده آب کم عمق (معادلات دو بعدی آب کم عمق) دست می‌یابیم. در این پایان نامه برای حل عددی این معادلات از روش گودونف[3] همراه با حل کننده تقریبی ریمن[4]- رو[5] استفاده شده است. به علت خاصیت هذلولوی معادلات، روش‌های مرتبه بالا در نواحی گرادیان شدید دچار نوسان غیرفیزیکی می‌شوند. برای کاهش یا حذف این نوسانات از محدود کننده شار، استفاده شده است. با استفاده از محدود کننده‌های شار در نواحی گرادیان شدید مرتبه روش کاهش یافته که باعث حذف نوسان غیرفیزیکی می‌شود. در حل مسائل شامل شیب کف کانال و اصطکاک، معادلات در حالت ناهمگن به کار برده می‌شوند. برای حل این معادلات روش گام جزئی استفاده شده است. براساس این روش ابتدا در یک گام میانی معادله دیفرانسیل معمولی شامل عبارات چشمه حل شده و سپس در گام بعدی معادلات همگن حل می‌شوند. مسائل دو بعدی با استفاده از ترکیب حل‌های مسئله ریمن یک بعدی حل می‌شوند. بر این اساس مسئله ریمن یک بار در جهت x و سپس در جهت y حل می‌شود. در این پایان نامه، جریان‌های مختلفی با این روش مورد بررسی قرار گرفته‌اند که عبارت‌اند از: تست سیچ، شکست سد یک بعدی، باز و بسته شدن دریچه، حالت ساکن در کانال شیبدار، پروفیل‌های طولی سطح آب، جریان عبوری از روی موانع در حالت یک و دو بعدی، پرش هیدرولیکی در حالتهای یک بعدی، دو بعدی و در کانال با مانع، شکست سد دایروی، شکست یک مخزن مکعبی و شکست همزمان دو مخزن مکعبی. مقایسه بین نتایج مسائل

---

[1] .Shallow water flow.
[2] . Froud number.
[3]. Godunov
[4] . Approximate Riemann solver.
[5]. Roe

حل شده با اطلاعات آزمایشگاهی و تحلیلی، توانایی بالای روش در شبیه سازی انواع جریان‌های آب کم عمق، به ویژه جریان‌های دارای امواج قوی، را نشان می‌دهد. با توجه به تنوع مسائل حل شده، در حالتهای یک بعدی و دو بعدی روش گودونف-رو مرتبه دو همراه با محدود کننده شار کارا و دقیق عمل می‌کند و در نواحی دارای گرادیان شدید (موج قوی) هیچ نوسان غیرفیزیکی در نتایج مشاهده نمی‌شود. در مسائل دو بعدی علی رغم اینکه میدان حل دارای شبکه بندی مربعی است اما امواج حالت دایروی خود را حفظ می‌کنند و همچنین برخورد امواج به خوبی شبیه سازی شده است، که این بیان کننده توانای روش گودونف در حالت دو بعدی است. حذف نوسانات غیرفیزیکی در روش مرتبه بالا از مهمترین ویژگیهای روش گودونف- رو همراه با محدود کننده شار است.

فهرست مطالب

فصل ۱. جریان‌های آب کم عمق

۱-۱مقدمه ۱

۱-۲ جریانهای آب کم عمق ۲

۱-۲-۱ پرش هیدرولیکی ۳

۱-۲-۲ جریانهای غیر دائمی متغیر سریع ۴

۱-۲-۳ جریانهای عبوری در کانالهای با کف ناهموار ۵

۱-۳ معادلات ناویر- استوکس ۵

۱-۴ معادلات دو بعدی (متوسط عمقی) آب کم عمق ۹

۱-۵ نیروهای محرک ۱۱

۱-۶ تنش کف ۱۱

۱-۷ شکل نهایی معادلات آب کم عمق ۱۲

فصل ۲. روش‌های عددی برای حل معادلات آب کم عمق

۲-۱ مقدمه ۱۵

۲-۲ انواع روشهای عددی ۱۵

۲-۳ مروری بر کارهای گذشته ۲۱

فصل ۳. روش گودونف برای حل معادلات آب کم عمق

۳-۱ مقدمه ۳۰

۳-۲ روش گودونف در یک بعد ۳۰

۳-۲-۱ حل کننده تقریبی ریمن رو ۳۱
۳-۲-۲ روش گودونف مرتبه بالاتر ۳۴
۳-۳ انتروپی ثابت LLF ۳۵
۳-۴ حل کننده HLL ۳۶
۳-۵ اثرات اصطکاک و شیب بستر جریان ۳۷
۳-۶ حالت دو بعدی ۳۹
۳-۷ همگرایی، دقت و پایداری ۴۴
۳-۸ شرایط مرزی ۴۷

فصل ۴. نتایج عددی

۴-۱ مقدمه ۵۱
۴-۲ نتایج مسائل یک بعدی بدون عبارت چشمه ۵۱
۴-۲-۱ حالت ساکن ۵۲
۴-۲-۲ تست سیچ ۵۴
۴-۲-۳ مسئله شکست سد ۵۵
۴-۲-۴ باز شدن دریچه ۶۷
۴-۲-۵ بسته شدن دریچه ۶۷
۴-۳ نتایج مسائل یک بعدی با عبارت چشمه ۷۰
۴-۳-۱ حالت ساکن در کانال شیبدار ۷۰
۴-۳-۲ پروفیلهای طولی سطح آب ۷۰
۴-۴-۳ جریان در کانال با کف نا هموار ۷۵
۴-۳-۴ پرش هیدرولیکی ۸۸

۴-۴ نتایج مسائل دو بعدی ۱۰۰
۴-۴-۱ شکست سد دایروی ۱۰۰
۴-۴-۲ شکست یک مخزن مکعبی ۱۰۷
۴-۴-۳ شکست دو مخزن مکعبی ۱۱۲
۴-۴-۴ پرش هیدرولیکی دو بعدی ۱۱۷
۴-۴-۵ جریان زیر بحرانی عبوری از روی مانع دو بعدی ۱۱۸
۴-۴-۶ جریان فوق بحرانی عبوری از روی مانع دو بعدی ۱۲۱
۴-۴-۷ جریان زیر بحرانی عبوری از روی مانع استوانه‌ای ۱۲۳
۴-۴-۸ جریان فوق بحرانی عبوری از روی مانع استوانه‌ای ۱۲۵

فصل ۵. جمع بندی

۵-۱ نتیجه گیری و جمع بندی ۱۲۸
۵-۲ نظرات و پیشنهادات ۱۲۹

منابع و مراجع ۱۳۰

فهرست اشکال

شکل ۱-۱ . نمایی از متغیرهای معادلات آب کم عمق..... ۱۴

شکل ۲-۱ . نمایی از سلول‌ها در حالت یک بعدی..... ۱۷

شکل ۲-۲ : اطلاعات اولیه برای مسئله ریمن. در زمان اولیه اطلاعات شامل دو حالت ثابت هستند که به وسیله یک ناپیوستگی در $x=0$ از هم جدا شده‌اند. ۲۰

شکل ۴-۱ . نتایج ارتفاع سطح آزاد آب برای مسئله جریان پایدار در زمانهای مختلف. ۵۲

شکل ۴-۲ . نتایج سرعت آب برای مسئله جریان پایدار در زمانهای مختلف..... ۵۳

شکل ۴-۳ . حالت اولیه مسئله برای تست سیچ. ۵۴

شکل ۴-۴ . تغییرات ارتفاع سطح آزاد مایع در روی مرز سمت چپ. نسبت به زمان..... ۵۵

شکل ۴-۵ . حالت اولیه مسئله شکست سد. ۵۶

شکل ۴-۶ . مقایسه حل عددی رو با حل تحلیلی. نسبت ارتفاع بالادست به ارتفاع پایین دست ۰/۵ است..... ۵۷

شکل ۴-۷ . مقایسه حل عددی رو با حل تحلیلی. نسبت ارتفاع بالادست به ارتفاع پایین دست ۰/۰۱ است..... ۵۷

شکل ۴-۸ . مقایسه انواع محدود کنندههای شار برای مسئله شکست سد. ۵۹

شکل ۴-۹ . نتایج مسله شکست سد در حالتی که هر دو مرز باز هستند. ۶۰

شکل ۴-۱۰ . نتایج مسله شکست سد در حالتی که مرز چپ باز و مرز راست دیوار است. آزاد. ۶۱

شکل ۴-۱۱ . نتایج مسله شکست سد در حالتی که هر دو مرز دیوار هستند. ۶۲

شکل ۴-۱۲ . نتایج مسله شکست سد در حالتی که مرز چپ دیوار و مرز راست باز است..... ۶۲

شکل ۴-۱۳ . مقایسه ارتفاع آزاد در سه روش تقریبی حل مسئله ریمن برای مسئله شکست سد. نسبت ارتفاع بالا دست به ارتفاع پایین دست ۰/۵ است..... ۶۳

شکل ۴-۱۴ . مقایسه ارتفاع سطح آزاد در سه روش تقریبی حل مسئله ریمن برای نواحی مختلف ۶۴
شکل ۴-۱۵ . مقایسه ارتفاع آزاد در سه روش تقریبی حل مسئله ریمن برای مسئله شکست سد. نسبت ارتفاع بالا دست به ارتفاع پایین دست ۰/۰۱ است. ۶۵
شکل ۴-۱۶ . مقایسه ارتفاع سطح آزاد برای سه حل کننده تقریبی ریمن در مسئله شکست سد. ۶۶
شکل ۴-۱۷ . نتایج برای مسئله باز شدن دریچه. ۶۸
شکل ۴-۱۸ . نتایج برای مسئله بسته شدن دریچه. ۶۹
شکل ۴-۱۹ . ارتفاع سطح آزاد آب در زمانهای مختلف برای مسئله جریان پایدار در کانال شیبدار. ۷۱
شکل ۴-۲۰ . مقایسه ارتفاع سطح آزاد مایع بین روش رو و روش گام به گام برای مسئله پروفیل طولی M_2 ..... ۷۳
شکل ۴-۲۱ . حالت پایدار در مسئله پروفیل طولی M_2 ..... ۷۳
شکل ۴-۲۲ . پروفیل طولی نوع S_2 ..... ۷۴
شکل ۴-۲۳ . حالت ساکن روی مانع مستطیلی. ۷۶
شکل ۴-۲۴ . بررسی انواع شبکه برای جریان زیر بحرانی روی مانع مستطیلی در کف کانال. ... ۷۷
شکل ۴-۲۵ . جریان زیر بحرانی عبوری از روی مانع مستطیلی. ۷۸
شکل ۴-۲۶ . جریان فوق بحرانی عبوری از روی مانع مستطیلی. ۷۹
شکل ۴-۲۷ . حالت ساکن روی مانع پله‌ای. ۸۰
شکل ۴-۲۸ . جریان زیر بحرانی عبوری از روی مانع پله‌ای. ۸۱
شکل ۴-۲۹ . جریان فوق بحرانی عبوری از روی مانع پله‌ای. ۸۲

شکل ۴-۳۰ . ارتفاع سطح آزاد در حالت ساکن روی مانع سهموی. ۸۳
شکل ۴-۳۱ . جریان زیر بحرانی عبوری از روی مانع سهموی و مقایسه بین کار حاضر با نتایج [۹]. ۸۴
شکل ۴-۳۲ . جریان فوق بحرانی عبوری از روی مانع سهموی. ۸۵
شکل ۴-۳۳ . ارتفاع سطح آزاد در حالت ساکن برای کانال با تابع کف سینوسی. ۸۶
شکل ۴-۳۴ . جریان زیر بحرانی عبوری در کانال با تابع کف سینوسی. ۸۷
شکل ۴-۳۵ . جریان فوق بحرانی عبوری در کانال با تابع کف سینوسی. ۸۸
شکل ۴-۳۶ . نمایی از مسئله پرش هیدرولیکی..... ۸۹
شکل ۴-۳۸ . تأثیر ارتفاع خروجی در محل پرش هیدرولیکی. ۹۱
شکل ۴-۳۹ . پرش هیدرولیکی روی پله در x=۴ با ارتفاع ۰/۰۳ متر. ۹۲
شکل ۴-۴۰ . پرش هیدرولیکی روی پله در x=۸ با ارتفاع ۰/۰۳ متر..... ۹۳
شکل ۴-۴۱ . مقایسه ارتفاع سطح آزاد در مسئله پرش هیدرولیکی برای دو حالت مختلف وجود مانع با حالت بدون مانع. ۹۴
شکل ۴-۴۲ . پرش هیدرولیکی در کانال با فرورفتگی پلهای از x=۴ با ارتفاع ۰/۰۳ متر. ۹۵
شکل ۴-۴۳ . پرش هیدرولیکی در کانال با فرورفتگی پلهای از x=۸ با ارتفاع ۰/۰۳ متر..... ۹۶
شکل ۴-۴۴ . مقایسه ارتفاع سطح آزاد در مسئله پرش هیدرولیکی برای دو حالت مختلف فرورفتگی با حالت بدون فرورفتگی. ۹۶
شکل ۴-۴۵ . پرش هیدرولیکی روی مانع سهموی با a= -۰/۰۰۵. ..... ۹۷
شکل ۴-۴۶ . پرش هیدرولیکی روی مانع سهموی با a= -۰/۰۱. ..... ۹۸
شکل ۴-۴۷ . مقایسه پرش هیدرولیکی روی موانع سهموی با حالت بدون مانع. ۹۹
شکل ۴-۴۸ . نمایی از مسئله شکست سد دایروی. ۱۰۰

شکل ۴-۴۹ . مطالعه شبکه برای مسئله شکست سد دایروی. ۱۰۱
شکل ۴-۵۰ . مقایسه بین کار حاضر با کار لین و همکارانش در مسئله شکست سد دایروی... ۱۰۱
شکل ۴-۵۱ . سطح آزاد آب در زمانهای مختلف برای مسئله شکست سد دایروی با مرزهای باز. ۱۰۲
شکل ۴-۵۲ . سطح آزاد آب در زمانهای مختلف برای مسئله شکست سد دایروی با مرزهای دیوار. ۱۰۵
شکل ۴-۵۳ . نمای کلی از مسئله شکست مخزن مکعبی. ۱۰۷
شکل ۴-۵۴ . ارتفاع سطح آزاد در زمانهای مختلف برای مسئله شکست مخزن مکعبی. ۱۰۸
شکل ۴-۵۵ . نمای کلی مسئله شکست دو مخزن مکعبی. ۱۱۳
شکل ۴-۵۶ . ارتفاع سطح آزاد در زمانهای مختلف برای مسئله شکست دو مخزن مکعبی..... ۱۱۴
شکل ۴-۵۷ . ارتفاع سطح آزاد در مسئله پرش هیدرولیکی دو بعدی. ۱۱۸
شکل ۴-۵۸ . ارتفاع سطح آزاد در جریان زیر بحرانی عبوری از روی مانع عرضی..... ۱۱۹
شکل ۴-۵۹ . نمایی از مسئله جریان عبوری از روی مانع مکعبی. ۱۲۰
شکل ۴-۶۰ . جریان زیر بحرانی عبوری از روی مانع مکعبی. ۱۲۰
شکل ۴-۶۱ . ارتفاع سطح آزاد در جریان فوق بحرانی عبوری از روی مانع عرضی..... ۱۲۲
شکل ۴-۶۲ . جریان فوق بحرانی عبوری از روی مانع مکعبی. ۱۲۳
شکل ۴-۶۳ . نمایی از مسئله جریان عبوری از روی مانع استوانه‌ای. ۱۲۴
شکل ۴-۶۴ . جریان زیر بحرانی عبوری از روی مانع استوانه‌ای. ۱۲۵
شکل ۴-۶۵ . جریان فوق بحرانی عبوری از روی مانع استوانه‌ای. ۱۲۶

فهرست جداول

جدول ۳-۱ حالتهای مختلف شرایط مرزی [۱]. ۴۹

جدول ۴-۱. خطای نسبی روش عددی استفاده شده برای دو مانع مستطیلی و پله در دو حالت جریان فوق بحرانی و زیر بحرانی..... ۸۰

فصل اول
جریان‌های آب کم عمق

۱-۱مقدمه

تعداد زیادی از جریانها، که الزاماً سیال آنها آب نیست، را می‌توان جزء جریان‌های آب کم عمق دسته بندی کرد. ویژگی عمومی اینچنین جریان‌هایی این است که بُعد عمودی آنها خیلی کوچکتر از ابعاد افقی است. جریان‌های آب کم عمق تقریباً افقی هستند، که فرض توزیع فشار هیدرواستاتیکی، ساده سازی در روابط ریاضی و حل عددی را امکان پذیر می‌سازد. علت توجه ریاضیدانان و مهندسان به این معادلات همین ساده سازی‌ها هستند. این جریانها واقعاً دو بعدی نیستند، زیرا به علت اصطکاک کف، ساختار سه بعدی از خود نشان می‌دهند. بعلاوه تغییر چگالی ایجاد شده در نتیجه اختلاف دما یا غلظت، باعث تغییر در جهت سوم (عمودی) می‌شود. با این وجود استفاده از مدل سه بعدی کامل و وابسته به زمان خیلی لازم به نظر نمی‌رسد، زیرا برای موارد زیادی از کاربردهای عملی، معادلات دو بعدی متوسط گیری شده در عمق اطلاعات اساسی را با محاسبات کمتر در اختیار می‌گذارند. بنابراین کافی است شکلی از معادلات حاکم که در عمق متوسط گیری شده‌اند را در نظر بگیریم. این شکل محدود شده معمولاً با عبارت " معادلات متوسط گیری شده در عمق، آب کم عمق " بیان می‌شود[۱].

بعضی از پیشرفتهای صورت گرفته در زمینه جریان‌های آب کم عمق عبارت‌اند از[۱]:

- استفاده از مدل‌های سه بعدی در هواشناسی.

- در اقیانوس شناسی، اثرات سه بعدی حتی بصورت مدل‌های لایه‌ای مورد محاسبه قرار می‌گیرند.
- در مسائل مربوط به هیدرودینامیک ساحل و رودخانه، اثرات سه بعدی بویژه دیدگاه تغییر چگالی کمتر مورد توجه قرار می‌گیرند و مدلسازی دوبعدی نتایج قابل قبولی ارائه می‌دهد.
- مدلسازی جریان مایع همراه با انتقال گرما، مواد غیر قابل حل یا ذرات معلق. همچنین معادلات برای مدل با بستر قابل فرسایش نیز توسعه یافته و به کار برده شده است. در ادامه بعضی کاربردهای این نوع جریان‌ها به طور خلاصه آورده شده اند.

هدف از انجام این پایان نامه تهیه یک برنامه کامپیوتری برای تحلیل عددی جریان‌های آب کم عمق است. روش عددی استفاده شده دارای دقت مرتبه دو است. با توجه به اینکه روش‌های مرتبه دو در نواحی دارای گرادیان شدید نوسان غیرفیزیکی دارند، در این پایان نامه برای حذف این نوسانات از توابع محدود کننده شار استفاده شده است.

۱-۲ جریان‌های آب کم عمق

یکی از کاربردهای معادلات آب کم عمق متوسط عمقی، جریان‌های جوی هستند که در ابتدا توسط چارنی[1] ، فیجورتفت[2] و ون نیومن[3] در سال ۱۹۵۰ برای پیش بینی عددی آب و هوا به کار برده شد [۱] . آنها از معادلات هیدرودینامیک روی عمق کلی جو انتگرال گیری کردند. با صرفنظر کردن از تغییرات چگالی، به معادلات هواشناسی دو بعدی رسیدند. برای جریان‌های جوی در مقیاس بزرگ، شتاب کوریولیس و تغییرات عرض جغرافیایی تأثیر زیادی دارند. با ایجاد تقریب درپوش صلب[4]، امواج جاذبه سریع[5] تحت پوشش قرار می‌گیرند. این امواج یکی از مشکلات پیش

[1] Charney
[2] Fjortoft
[3] Von Neumann
[4] Rigid-lid
[5] Fast gravity waves

بینی هوا هستند. معادلات دینامیکی به صورت عباراتی از گردابه پتانسیل و تابع جریان فرمول بندی می‌شوند.

یکی دیگر از کاربردهای معادلات آب کم عمق، پیش بینی توفانهای سهمگین است. تغییرات سطح آب و جریان به وسیله اختلاف فشارهای جوی و تنش‌های باد روی سطح آزاد آب بوجود می‌آیند. اعتبار پیش بینی نوع توفان به اطلاعات نقشه برداری ورودی بستگی دارد.

-جریان‌های رودخانه‌ها با جلگه‌هایشان نوعی از مثال‌های جریان آب کم عمق هستند. امواج سیلابها در رودخانه معمولاً به آرامی تغییر می‌کنند و همین موضوع باعث تفاوت رفتار آنها از جریان‌های جزر و مدی می‌شود. سرعت انتشار امواج سیلاب کمتر از سرعت جریان است و بنابراین بطور قابل ملاحظه‌ای کمتر از سرعت مورد انتظار برای امواج جزر و مدی است. این عامل به علت غلبه اصطکاک کف در جریانهای جزر و مدی نسبت به جریانهای رودخانه‌ای است.

در مدل‌های آب کم عمق، تمایل برای کاربرد در جریان‌های با مقیاسهای کوچک وجود دارد. کاربردهای آن از جریانهای جزر و مدی و توفانها شروع شده و تا جریان‌های جزئی حول سازه‌های هیدرولیکی ادامه دارد. مثالی از این کاربرد، بررسی جریان اطراف موج شکن‌ها است[۱].

جریان‌هایی که در قسمتی از ناحیه حل ناپیوستگی دارند را می‌توان با استفاده از معادلات آب کم عمق تحلیل کرد. به این گونه جریان‌ها، جریان‌های متغیر سریع می‌گویند. نمونه‌هایی از این جریان‌ها عبارت‌اند از: پرش هیدرولیکی و جریان‌های غیر دائمی متغیر سریع که در ادامه بیشتر توضیح داده می‌شوند. سایر کاربردهای معادلات آب کم عمق عبارت‌اند از: جریان‌های ساحلی، پیش بینی سونامی[۱]، جریان‌های دریاچه، جریان‌های داخلی و جریان‌های سیاره‌ای[۱].

۱-۲-۱ پرش هیدرولیکی

پرش یا جهش هیدرولیکی، از انواع جریانهای متغیر سریع است که در بسیاری از کارهای عملی با آن روبرو بوده و عبارت است از تغییر حالت جریان از فوق بحرانی به زیر بحرانی. چنانچه

[۱] Tsunami

آب در قسمتی از مسیر دارای حالت فوق بحرانی بوده و بنا به مشخصات و موقعیت خاص کانال بخواهد تغییر حالت دهد، عمق جریان در مسیر نسبتاً کوتاهی به میزان قابل ملاحظه‌ای افزایش یافته و در نتیجه ضمن ایجاد افت انرژی محسوس، مقدار سرعت به اندازه قابل توجهی کاهش می-یابد. این پدیده که یکی از پدیده‌های مهم جریان آب در کانالهای باز بوده و از ابتدا تا انتهای آن یک تلاطم و پیچش سطحی آب وجود دارد، به پرش هیدرولیکی یا پرش آبی معروف است. پرش هیدرولیکی در کانالهای باز دارای کاربردها و خواص فراوانی است که می‌تواند به صورت زیر خلاصه گردد [۲]:

۱-کاهش انرژی آب در جریان از روی سدها، سرریزها و دیگر سازه‌های هیدرولیکی به منظور محافظت از قسمت‌های پایین دست.

۲-افزایش دبی خروجی از زیر دریچه‌ها با دور نگه داشتن سطح پایاب[۱] و نهایتاً افزایش ارتفاع مؤثر در عرض دریچه.

۳-مخلوط نمودن مواد شیمیایی جهت تصفیه آب یا فاضلاب و نیز جهت مصارف کشاورزی.

۴-هوادهی جریانها و کلرزنی فاضلاب.

۵-جدا نمودن هوای محبوس از جریانهای موجود در کانالهای باز دایروی[۲].

۶-مشخص نمودن شرایط جریانهای خاص نظیر وجود جریان فوق بحرانی یا وجود یک سطح مقطع کنترل جهت ایجاد ایستگاه‌های اندازه گیری کم خرج [۲].

۱-۲-۲ جریان‌های غیر دائمی متغیر سریع

یکی از مسائل مهم کانالهای باز که مورد توجه مهندسین طراح است، جریان‌های غیر دائمی می‌باشند. یک جریان غیر دائمی متغیر سریع عبارت است از جریان موجی که انحنای پروفیل سطح آب در آن تند، تغییرات عمق جریان نسبت به زمان سریع، مؤلفه قائم شتاب ذرات آب نسبت به کل شتاب قابل ملاحظه و اثر اصطکاک کناره‌ها ناچیز و قابل صرفنظر کردن است. اینگونه جریان‌ها

[۱] Tailwater.

می‌تواند در اثر خرابی یک سد یا باز و بسته شدن سریع سازه‌های کنترل کننده نظیر دریچه‌ها و ... به وجود آیند [۲].

۱-۲-۳ جریان‌های عبوری در کانالهای با کف ناهموار

با استفاده از معادلات آب کم عمق که شامل عبارت چشمه نیز می‌شوند، می‌توان تغییرات ارتفاع کف کانال را وارد معادلات کرده و حالتهای مختلف جریان عبوری از روی انواع موانع را مورد بررسی قرار داد.

۱-۳ معادلات ناویر- استوکس

معادلات ناویر- استوکس بیان کننده بقای ممنتوم هستند. معادلات بقای ممنتوم در سه جهت به صورت زیر بیان می‌شود:

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho u)+\frac{\partial}{\partial x}(\rho u^2)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho uv)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho uw)-\rho fv+\frac{\partial p}{\partial x}-\frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x}-\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y}-\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial z}=0 \qquad (۱-۱-\text{الف})$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho v)+\frac{\partial}{\partial x}(\rho uv)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho v^2)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho vw)+\rho fu+\frac{\partial p}{\partial y}-\frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x}-\frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y}-\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial z}=0 \qquad (۱-۱-\text{ب})$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho w)+\frac{\partial}{\partial x}(\rho uw)+\frac{\partial}{\partial y}(\rho vw)+\frac{\partial}{\partial z}(\rho w^2)+\frac{\partial p}{\partial z}+\rho g-\frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x}-\frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y}-\frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z}=0 \qquad (۱-۱-\text{پ})$$