



پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی آب - سازه‌های آبی

عنوان

# ارائه مدل کامپیوتری شبیه‌ساز پروفیل سطح آب در سرریزهای جانبی تحت شرایط وجود پرش هیدرولیکی

استاد راهنما

دکتر علی حسین‌زاده دلیر

استاد مشاور

دکتر رسول قبادیان

نگارش

کامران محمدی

شهریور ۱۳۹۰



نام خانوادگی: محمدی	نام: کامران
عنوان پایان نامه: ارائه مدل کامپیوتری شبیه‌ساز پروفیل سطح آب در سرریزهای جانبی تحت شرایط وجود پرش هیدرولیکی	
استاد راهنما: دکتر علی حسین‌زاده دلیر	
استاد مشاور: دکتر رسول قبادیان	
مقطع تحصیلی: کارشناسی ارشد	رشته: مهندسی آب
دانشگاه: تبریز	گرایش: سازه‌های آبی
تاریخ فارغ التحصیلی: شهریور ۱۳۹۰	دانشکده: کشاورزی
تعداد صفحات: ۱۸۴ صفحه	
واژه‌های کلیدی: پرش هیدرولیکی، سرریز جانبی، مدل شبیه‌ساز، جریان متغیر مکانی، پروفیل سطح آب	
<p><b>چکیده</b></p> <p>یکی از انواع سرریزها که به منظور آبرگیری به صورت گسترده از آن استفاده می‌شود، سرریز جانبی است. این سازه هم‌چنین به عنوان سازه حفاظتی در بالادست سیفون‌های معکوس، سیل‌بندها، زیرگذر جاده و سرریز انتهایی برای تخلیه آب مازاد آبرگیرهای بالادست، در انتهای کانال‌های اصلی قرار می‌گیرد. محل نصب سرریز جانبی در دیواره آبراهه یا کانال انتقال آب می‌باشد. اما با وجود کاربرد وسیع سرریزهای جانبی، حل کامل تحلیلی معادلات حاکم بر جریان سرریزهای جانبی وجود ندارد. از سوی دیگر، تاثیر روش‌های عددی در حل مسائلی که حل تحلیلی آنها بدون استفاده از فرضیات ساده‌کننده مشکل می‌باشد، روشن و اثبات شده است. بر این اساس در این تحقیق یک مدل کامپیوتری تهیه شده است که پس از کالیبره شدن توسط مدل آزمایشگاهی، به کمک روش‌های عددی قادر به محاسبه و شبیه‌سازی پروفیل یک بعدی جریان در شرایط بدون پرش هیدرولیکی و وجود پرش هیدرولیکی در محدوده سرریز می‌باشد. در این تحقیق برای نخستین بار معادله حاکم بر پرش هیدرولیکی در جریان متغیر مکانی اثبات و ارائه شده و به وسیله داده‌های آزمایشگاهی نیز مورد صحت‌سنجی قرار گرفته که نتایج این صحت‌سنجی نیز بسیار رضایت‌بخش بوده است. نتایج به دست آمده از مدل کامپیوتری شبیه‌ساز پروفیل سطح جریان در پرش هیدرولیکی متغیر مکانی که بر اساس فرمول جدید ارائه شده، معادلات دینامیکی جریان متغیر مکانی و حل عددی آنها به روش رانگ کوتای مرتبه ۴، نشان می‌دهد این مدل به خوبی توانایی شبیه‌سازی پروفیل سطح آب در سرریز جانبی برای تمامی حالات را دارد. از توانایی‌های این نرم‌افزار آن است که می‌تواند دبی،</p>	

عمق و عدد فرود را در هر مقطع دلخواه از کانال یا سرریز جانبی محاسبه نماید و در صورت وجود پرش هیدرولیکی متغیر مکانی، عمق اولیه و ثانویه، اعداد فرود ابتدایی و انتهایی پرش، محل وقوع پرش، طول پرش و میزان دبی خروجی در طول پرش را تعیین کند و نهایتاً دبی خروجی از سرریز جانبی و پروفیل سطح آب را حساب نماید. در این تحقیق مشخص شد مقدار همگرایی معادله پرش هیدرولیکی متغیر مکانی که توسط کاربر تعیین می‌گردد، تاثیر بسیار چشم‌گیری در تخمین محل وقوع پرش هیدرولیکی متغیر مکانی و دیگر خصوصیات آن دارد که این موضوع نتایج تحقیقات قبادیان (۱۳۹۰) را کاملاً تایید می‌نماید. همچنین مطالعات آزمایشگاهی نشان داد پرش هیدرولیکی در جریان متغیر مکانی شکلی تقریباً ثابتی دارد که دارای نوساناتی در سطح خود می‌باشد و برای ارتفاع تاج ثابت، با افزایش دبی پروفیل سطح آب به سمت بالاتر نقل مکان می‌نماید. نهایتاً در این تحقیق روشی به منظور تعیین پروفیل سطح آب برای پرش هیدرولیکی در جریان متغیر مکانی ارائه شد که روش سابرامانیای کالیبره شده نام دارد. مقایسه اعماق محاسبه شده به وسیله روش ارائه شده در این تحقیق با داده‌های آزمایشگاهی بسیار رضایت‌بخش است.

تقدیم به  
پدر و مادر عزیز و فداکارم  
همسر مهربانم  
و  
ره‌پویان علم هیدرولیک

## تشکر و قدردانی

روزی شیخ ابوالحسن خرقانی نماز می خواند، آوازی شنید که ای ابوالحسن! خواهی که آنچه از تو می دانم با خلق بگویم تا سنگسارت کنند؟ شیخ گفت: بار خدایا! خواهی آنچه را که از "رحمت" تو می دانم و از "بخشایش" تو می بینم با خلق بگویم تا دیگر هیچ کس سجدهات نکند؟  
آواز آمد: نه از تو؛ نه از من!

### «تذکره الاولیاء عطار نیشابوری»

سپاس خداوند رحیم و بخشاینده‌ای را که نعمتی ارزانی داشت تا بتوانم در راه خدمت به جامعه علمی مهندسين علوم آب و بخصوص علم گسترده و پویای هیدرولیک گامی هرچند کوچک بردارم. امید است این تلاش مورد توجه اساتید، دانشجویان و علاقه‌مندان این وادی از علم قرار گیرد.

و لَمْ يَشْكُرِ الْمَفْلُوقِ، لَمْ يَشْكُرِ الْفَالِقِ، لذا بر خود لازم می‌دانم مراتب قدردانی و تشکر خود را از استاد راهنمای عالم و صبور، **جناب آقای دکتر علی مسین‌زاده دلیر** و استاد مشاور عالی قدر **جناب آقای دکتر رسول قبادیان** که همواره طی دوران تحصیلات عالی و تدوین پایان‌نامه اینجانب را یاری کرده و مورد لطف و مرحمت خویش قرار داده‌اند، اعلام بدارم و از خداوند متعال همواره برای ایشان آرزوی سلامتی، شادکامی و موفقیت می‌نمایم.

از سوی دیگر از داور محترم پایان‌نامه جناب آقای دکتر فرزین سلماسی به خاطر راهنمایی‌ها، اظهار نقطه نظرات و بیان ایرادات تحقیق حاضر که باعث بهبود مطالب آن به لحاظ علمی و نگارشی شده است، سپاس گذارم.

هم‌چنین از مدیریت سابق گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز جناب آقای دکتر داود فرسادی‌زاده و مدیر فعلی گروه، جناب آقای دکتر امیرحسین ناظمی به خاطر کمک‌های بی‌دریغشان در مراحل مختلف تحقیق کمال تشکر را دارم.

در پایان نیز از دیگر اساتید، دوستان، هم‌کلاسی‌ها و عزیزانی که در به انجام رسیدن و نگارش این پایان‌نامه با اینجانب همکاری نموده‌اند، تشکر می‌کنم و آرزو دارم که در تمامی مراحل زندگیشان موفق و سرفراز باشند.

## فهرست مطالب

۱۲	..... فصل اول: مقدمه
۱	..... ۱-۱- مقدمه
۵	..... فصل دوم: مروری بر پیشینه مطالعات انجام شده
۶	..... ۱-۲- مقدمه
۶	..... ۲-۲- مطالعات سابرامانیا و آواستی (۱۹۷۲)
۷	..... ۲-۲-۱- تئوری مطالعات
۹	..... ۲-۲-۲- ضریب دبی محاسبه شده توسط سابرامانیا و آواستی
۱۱	..... ۲-۲-۳- مدل فیزیکی و نتایج حاصل از آزمایشات سابرامانیا و آواستی
۱۲	..... ۲-۳- مطالعات رانگاراچو و همکاران (۱۹۷۹)
۱۳	..... ۲-۳-۱- نتایج حاصل از آزمایشات رانگاراچو و همکاران
۱۴	..... ۲-۳-۲- ارائه روشی برای طراحی سرریز
۱۵	..... ۲-۴- مطالعات سوامی و همکاران (۱۹۹۴)
۱۵	..... ۲-۴-۱- تئوری مطالعات و روش پیشنهادی
۱۷	..... ۲-۴-۲- نتایج مطالعات سوامی و همکاران
۱۷	..... ۲-۵- مطالعات سینگ و همکاران (۱۹۹۴)
۱۸	..... ۲-۵-۱- تئوری مطالعات
۱۹	..... ۲-۵-۲- تجزیه و تحلیل نتایج مدل آزمایشگاهی سینگ و همکاران
۲۰	..... ۲-۶- مطالعات آلیوتو و همکاران (۲۰۰۱)
۲۱	..... ۲-۶-۱- نتایج مطالعات آزمایشگاهی آلیوتو و همکاران
۲۳	..... ۲-۶-۲- نتایج تئوریک
۲۷	..... ۲-۶-۳- نتیجه گیری
۲۸	..... ۲-۷- مطالعات رامامورتی و همکاران (۲۰۰۶)
۲۸	..... ۲-۷-۱- تئوری مطالعات
۳۰	..... ۲-۷-۲- کاربرد روش PLS و مطالعات آزمایشگاهی
۳۳	..... ۲-۷-۳- نتایج
۳۳	..... ۲-۸- مطالعات هنر و کشاورزی (۲۰۰۹)

ب

- ۳۳..... ۲-۸-۱- مطالعات آزمایشگاهی
- ۳۶..... ۲-۸-۲- نتایج
- ۳۶..... ۲-۹-۹- مطالعات امیرآقلو و همکاران (۲۰۱۰)
- ۳۷..... ۲-۹-۱- مطالعات آزمایشگاهی
- ۳۷..... ۲-۹-۲- نتایج آزمایشگاهی و آنالیز داده ها
- ۴۱..... ۲-۹-۳- نتیجه گیری
- ۴۲..... ۲-۱۰-۱- مطالعات ایزدجو و شفاعی بجمستان (۱۳۷۵)
- ۴۲..... ۲-۱۰-۱- ملاحظات تئوریک
- ۴۳..... ۲-۱۰-۲- مطالعات آزمایشگاهی
- ۴۴..... ۲-۱۰-۳- نتیجه گیری
- ۴۴..... ۲-۱۱-۱- مطالعات جلیلی قاضی زاده و همکاران (۱۳۷۶)
- ۴۴..... ۲-۱۱-۱- مطالعات آزمایشگاهی
- ۴۶..... ۲-۱۱-۲- نتیجه گیری
- ۴۷..... ۲-۱۲-۱- مطالعات قدسیان (۱۳۷۶)
- ۴۷..... ۲-۱۲-۱- ملاحظات تئوریک
- ۴۷..... ۲-۱۲-۲- نتایج مطالعات آزمایشگاهی
- ۴۹..... ۲-۱۲-۳- نتیجه گیری
- ۴۹..... ۲-۱۳-۱- مطالعات برقی و صالحی (۱۳۸۲)
- ۴۹..... ۲-۱۳-۱- تئوری مطالعات
- ۵۱..... ۲-۱۳-۲- مطالعات آزمایشگاهی و بررسی نتایج
- ۵۳..... ۲-۱۳-۳- نتیجه گیری
- ۵۳..... ۲-۱۴-۱- مطالعات سامانی (۱۳۸۴)
- ۵۴..... ۲-۱۴-۱- ملاحظات تئوریک
- ۵۶..... ۲-۱۴-۲- الگوریتم محاسباتی در حالت وقوع پرش هیدرولیکی
- ۶۰..... ۲-۱۴-۳- ارزیابی مدل
- ۶۰..... ۲-۱۴-۴- نتیجه گیری
- ۶۱..... ۲-۱۵-۱- مطالعات قبادیان (۱۳۹۰)
- ۶۱..... ۲-۱۵-۱- مطالعات آزمایشگاهی
- ۶۲..... ۲-۱۵-۲- الگوریتم طراحی برای شرایط وجود پرش هیدرولیکی در محدوده سرریز
- ۶۴..... ۲-۱۵-۳- نتایج شبیه سازی عددی
- ۶۶..... ۲-۱۵-۴- نتیجه گیری



## فصل سوم: آشنایی با تئوری تحقیق..... ۶۸

- ۶۳-۱-۱-۳ مقدمه ..... ۶۹
- ۶۳-۲-۳ جریان های متغیر مکانی ..... ۶۹
- ۶۳-۱-۲-۳ جریان متغیر مکانی با افزایش دبی ..... ۶۹
- ۶۳-۲-۲-۳ جریان متغیر مکانی با کاهش دبی ..... ۷۰
- ۶۳-۳-۳ سرریز جانبی ..... ۷۱
- ۶۳-۱-۳-۳ معادلات سرریز جانبی ..... ۷۲
- ۶۳-۲-۳-۳ پروفیل سطح آب در سرریز جانبی ..... ۷۶
- ۶۳-۴-۳ پرش هیدرولیکی ..... ۷۸
- ۶۳-۱-۴-۳ نسبت عمق های متناظر پرش هیدرولیکی در آبراهه مستطیلی ..... ۷۹
- ۶۳-۲-۴-۳ کاربرد و اثرات پرش هیدرولیکی ..... ۸۰
- ۶۳-۳-۴-۳ انواع پرش هیدرولیکی ..... ۸۱
- ۶۳-۴-۴-۳ افت پرش هیدرولیکی ..... ۸۳
- ۶۳-۵-۴-۳ طول پرش هیدرولیکی ..... ۸۵
- ۶۳-۵-۳ پرش هیدرولیکی در جریان متغیر مکانی ..... ۸۵
- ۶۳-۱-۵-۳ معادلات حاکم بر پرش هیدرولیکی متغیر مکانی ..... ۸۶
- ۶۳-۲-۵-۳ افت و طول پرش هیدرولیکی متغیر مکانی ..... ۹۱

## فصل چهارم: حل معادله جریان متغیر مکانی در حالت کلی و وجود پرش هیدرولیکی ..... ۹۲

- ۹۳-۱-۴ مقدمه ..... ۹۳
- ۹۳-۲-۴ روش رانگ - کوتا برای حل معادلات دیفرانسیل ..... ۹۳
- ۹۳-۳-۴ حل معادلات جریان متغیر مکانی در حالت کلی به روش رانگ - کوتا مرتبه ۴ (RK4) ..... ۹۶
- ۹۳-۱-۳-۴ روابط ارائه شده برای تعیین ضریب تخلیه سرریز جانبی ..... ۹۸
- ۹۳-۴-۴ حل معادلات جریان متغیر مکانی در حالت وجود پرش هیدرولیکی ..... ۱۰۰
- ۹۳-۱-۴-۴ شرایط وقوع پرش هیدرولیکی متغیر مکانی ..... ۱۰۰
- ۹۳-۲-۴-۴ تعیین عمق و دبی ثانویه، طول و محل وقوع پرش هیدرولیکی متغیر مکانی ..... ۱۰۱
- ۹۳-۴-۴-۳ مزیت های الگوریتم ارائه شده برای حل معادله پرش هیدرولیکی متغیر مکانی ..... ۱۰۶

## فصل پنجم: مدل فیزیکی و بررسی نتایج حاصل از آن ..... ۱۰۹

- ۱۱۰-۱-۵ مقدمه ..... ۱۱۰

۱۱۰ ..... ۲-۵- شرح دستگاه های آزمایش

۱۱۰ ..... ۱-۲-۵- مشخصات فلوم آزمایش

۱۱۲ ..... ۲-۲-۵- مخزن تغذیه و سیستم پمپاژ

۱۱۳ ..... ۳-۲-۵- سیستم اندازه گیری سطح آب

۱۱۴ ..... ۴-۲-۵- سیستم اندازه گیری سرعت

۱۱۴ ..... ۵-۲-۵- سرریزهای جانبی

۱۱۴ ..... ۳-۵- روش انجام آزمایشات

۱۱۷ ..... ۱-۳-۵- نحوه اندازه گیری دبی عبوری از سرریز جانبی

۱۱۷ ..... ۲-۳-۵- نحوه اندازه گیری پروفیل سطح آب

۱۱۹ ..... ۳-۳-۵- نحوه اندازه گیری سرعت جریان

۱۱۹ ..... ۴-۳-۵- صحت سنجی داده های آزمایشگاهی

۱۲۳ ..... ۴-۵- بررسی نتایج مدل فیزیکی

۱۳۸ ..... ۵-۵- محاسبه پروفیل سطح جریان در پرش هیدرولیکی متغیر مکانی

۱۳۸ ..... ۱-۵-۵- روش سابرامانیا برای تعیین پروفیل سطح آب در پرش هیدرولیکی

۱۴۰ ..... ۲-۵-۵- روش سابرامانیا برای کالیبره شده برای تعیین پروفیل پرش هیدرولیکی متغیر مکانی

۱۴۵ ..... ۶-۵- صحت سنجی فرمول ارائه شده برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی

**فصل ششم: مدل کامپیوتری شبیه ساز پروفیل سطح آب در سرریز جانبی..... ۱۴۷**

۱۴۸ ..... ۱-۶- مقدمه

۱۴۸ ..... ۲-۶- معرفی زبان برنامه نویسی ویژوال بیسیک

۱۴۹ ..... ۳-۶- الگوریتم طراحی برنامه نرم افزار WSSW برای حالت های مختلف جریان

۱۵۰ ..... ۴-۶- معرفی نرم افزار شبیه سازی پروفیل سطح آب در سرریزهای جانبی (WSSW)

۱۵۲ ..... ۱-۴-۶- محل وارد کردن خصوصیات هندسی کانال (Geometric Parameters of Channal)

۱۵۲ ..... ۲-۴-۶- محل وارد کردن خصوصیات هندسی سرریز (Geometric Parameters of Side Weir)

۱۵۳ ..... ۳-۴-۶- محل وارد کردن خصوصیات هیدرولیکی (Hydraulic Parameters)

۱۵۳ ..... ۴-۴-۶- محل تعیین روش محاسبات (Method of Profile Calculation)

۱۵۳ ..... ۵-۴-۶- محل وارد کردن ضریب تخلیه (Discharge Coefficient)

۱۵۴ ..... ۶-۴-۶- فایل های خروجی نرم افزار WSSW

## فصل هفتم: بررسی و تحلیل نتایج مدل کامپیوتری ..... ۱۵۶

۱-۷- مقدمه ..... ۱۵۷

۲-۷- مروری بر نتایج بدست آمده از مدل آزمایشگاهی ..... ۱۵۷

۳-۷- بررسی نتایج حاصل از شبیه سازی پرش هیدرولیکی متغیر مکانی ..... ۱۶۰

۱-۳-۷- بررسی توانایی مدل در تعیین پارامترهای اصلی پرش هیدرولیکی متغیر مکانی ..... ۱۶۱

۲-۳-۷- بررسی توانایی مدل در شبیه سازی پروفیل سطح آب در بازه پرش هیدرولیکی متغیر مکانی ..... ۱۶۵

۴-۷- بررسی و مقایسه عملکرد مدل با تحقیقات قبلی ..... ۱۷۰

۵-۷- نتیجه گیری و پیشنهادات ..... ۱۷۲

۱-۵-۷- مقدمه ..... ۱۷۲

۲-۵-۷- خلاصه نتایج ..... ۱۷۴

۳-۵-۷- پیشنهادات ..... ۱۷۸

## مراجع ..... ۱۸۰

## فهرست شکل‌ها

- شکل ۲-۱- نمای کلی از یک سرریز جانبی (سابرامانیا و آواستی، ۱۹۷۲)..... ۷
- شکل ۲-۲- نمای از خطوط جریان در سرریزهای جانبی (رانگاراگو و همکاران، ۱۹۷۹)..... ۱۲
- شکل ۲-۳- پلان و مقطع سرریز جانبی لبه پهن (رانگاراگو و همکاران، ۱۹۷۹)..... ۱۲
- شکل ۲-۴- سطح آزاد آب در امتداد سرریز - مختصات طولی و عرضی از ابتدای سرریز می باشد (آلیوتو و همکاران، ۲۰۰۱)..... ۲۱
- شکل ۲-۵- طرح مفهومی خروج کناری آب از یک سرریز جانبی (آلیوتو و همکاران، ۲۰۰۱)..... ۲۱
- شکل ۲-۶- مقایسه مقادیر محاسبه شده  $Q_{out}$  بدست آمده از معادله ۲-۴ و ۲-۴۷ با داده های مشاهده ای (آلیوتو و همکاران، ۲۰۰۱)..... ۲۳
- شکل ۲-۷- مقایسه سرعت جریان خروجی و مولفه افقی محاسبه شده توسط فرمول و نتایج آزمایشگاهی (آلیوتو و همکاران، ۲۰۰۱)..... ۲۴
- شکل ۲-۸- تعریف پارامترها در کانالی مستطیلی با یک سرریز جانبی (آلیوتو و همکاران، ۲۰۰۱)..... ۲۵
- شکل ۲-۹- تعریف پارامترها در کانالی دایره ای با یک سرریز جانبی (آلیوتو و همکاران، ۲۰۰۱)..... ۲۷
- شکل ۲-۱۰- دبی محاسبه شده در برابر دبی اندازه گیری شده برای سرریز جانبی در کانال مستطیلی (رامامورتی و همکاران، ۲۰۰۶)..... ۳۲
- شکل ۲-۱۱- دبی محاسبه شده در برابر دبی اندازه گیری شده برای سرریز جانبی در کانال دایره ای (رامامورتی و همکاران، ۲۰۰۶)..... ۳۲
- شکل ۲-۱۲- چهار نوع ورودی گرد شده ی نصب شده روی سرریز جانبی (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹)..... ۳۴
- شکل ۲-۱۳- تصویر سرریز جانبی استفاده شده در آزمایشات (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹)..... ۳۴
- شکل ۲-۱۴- مقایسه ضریب دبی مشاهده ای و محاسبه شده توسط فرمول ۲-۸۲ (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹)..... ۳۵
- شکل ۲-۱۵- مقایسه ضریب دبی مشاهده ای و محاسبه شده در حالت گرد گوشه (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹)..... ۳۶
- شکل ۲-۱۶- نمائی شماتیک از سرریز لبیرانت جانبی به کار رفته در کانال مستقیم (امیرأقلو و همکاران، ۲۰۱۰)..... ۳۷
- شکل ۲-۱۷- پروفیل طولی سطح آب در کناره سرریز و خط مرکزی کانال (امیرأقلو و همکاران، ۲۰۱۰)..... ۳۸
- شکل ۲-۱۸- طرح توصیفی از جریان زیر بحرانی عبوری از یک سرریز جانبی مستطیلی (امیرأقلو و همکاران، ۲۰۱۰)..... ۳۹
- شکل ۲-۱۹- مقایسه مقادیر اندازه گیری شده  $C_d$  در مقابل مقادیر محاسبه شده (امیرأقلو و همکاران، ۲۰۱۰)..... ۴۰
- شکل ۲-۲۰- مقایسه مقادیر  $C_d$  در سرریز جانبی لبیرانت ۴۵ درجه با سرریز جانبی مستطیلی (امیرأقلو و همکاران، ۲۰۱۰)..... ۴۱
- شکل ۲-۲۱- مقایسه دبی اندازه گیری شده و محاسبه شده سرریز جانبی با استفاده از فرمول های ۲-۹۰ و ۲-۹۲ (جلیلی قاضی زاده و همکاران، ۱۳۷۶)..... ۴۶
- شکل ۲-۲۲- مقایسه بین دبی اندازه گیری شده و محاسبه شده (قدسیان، ۱۳۷۶)..... ۴۸

- شکل ۲-۲۳- نمایی از جریان در کانال در مقطع سرریز جانبی (برقعی و صالحی، ۱۳۸۲)..... ۵۰
- شکل ۲-۲۴- رابطه دبی اندازه گیری شده با دبی محاسبه شده (برقعی و صالحی، ۱۳۸۲)..... ۵۱
- شکل ۲-۲۵- رابطه ضریب دبی سرریز با عدد فرود (برقعی و صالحی، ۱۳۸۲)..... ۵۲
- شکل ۲-۲۶- رابطه دبی اندازه گیری شده با دبی محاسبه شده و محاسبه فرمول آن (برقعی و صالحی، ۱۳۸۲)..... ۵۳
- شکل ۲-۲۷- نمایش یک جزء به طول  $\Delta x$  در یک سرریز جانبی و متغیرهای مربوطه..... ۵۵
- شکل ۲-۲۸- نیمرخ طولی جریان در امتداد محور کانال در محدوده سرریز جانبی (قبادیان، ۱۳۹۰)..... ۶۲
- شکل ۲-۲۹- مقایسه پروفیل سطح آب محاسبه شده و اندازه گیری شده در مرحله صحت سنجی با آزمایش اول (قبادیان، ۱۳۹۰)..... ۶۵
- شکل ۲-۳۰- مقایسه نتایج مدل قبادیان (۱۳۹۰) و مدل سامانی (۱۳۸۴) با شروط همگرایی گوناگون (قبادیان، ۱۳۹۰)..... ۶۶
- شکل ۳-۱- نمایی از سرریز جانبی و پروفیل سطح آب در آن (لی و هالی، ۲۰۰۲)..... ۷۰
- شکل ۳-۲- نمایی شماتیک از سرریز جانبی (لی و هالی، ۲۰۰۲)..... ۷۲
- شکل ۳-۳- دیاگرام H-y برای سرریز جانبی کانالی که سیال در آن جاری است..... ۷۳
- شکل ۳-۴- مقادیر  $\phi(y/H_2)$  برای استفاده در معادله ۳-۱۵ (لی و هالی، ۲۰۰۲)..... ۷۵
- شکل ۳-۵- حالت های مختلف پروفیل جریان در سرریزهای جانبی (جین، ۱۳۸۳)..... ۷۷
- شکل ۳-۶- شکل توصیفی پرش هیدرولیکی (پترکا، ۱۹۸۴)..... ۷۹
- شکل ۳-۷- فرم های مختلف پرش هیدرولیکی (پترکا، ۱۹۸۴)..... ۸۲
- شکل ۳-۸- افت انرژی  $E_L / E_1$  در پرش هیدرولیکی بر روی کف افقی بر حسب  $Fr_1$  (پترکا، ۱۹۸۴)..... ۸۴
- شکل ۳-۹- طول پرش هیدرولیکی بر روی کف افقی (به نقل از چادری، ۲۰۰۸)..... ۸۵
- شکل ۳-۱۰- نمای شماتیک پرش هیدرولیکی متغیر مکانی..... ۸۷
- شکل ۳-۱۱- نمای پلان و مقطع عرضی جریان و سرریز جانبی..... ۸۷
- شکل ۴-۱- مقایسه مقادیر خطا در روش رانگ - کوتای مرتبه ۴ با دیگر روش ها (هلمز، ۲۰۰۷)..... ۹۵
- شکل ۴-۲- نمایش یک جزء به طول  $\Delta x$  در یک سرریز جانبی و متغیرهای مربوطه (ولی سامانی، ۱۳۸۴)..... ۹۷
- شکل ۵-۱- فلوم آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز..... ۱۱۱
- شکل ۵-۲- نمای شماتیک کانال به کار رفته در آزمایشات..... ۱۱۲
- شکل ۵-۳- مخزن و سیستم پمپاژ آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه تبریز..... ۱۱۳
- شکل ۵-۴- میکرومولینه مورد استفاده در آزمایشات..... ۱۱۴
- شکل ۵-۵- مسدود نمودن خروجی سرریز جانبی و تنظیم دبی ورودی کانال..... ۱۱۶
- شکل ۵-۶- مخزن جمع آوری آب خارج شده از سرریز جانبی و انتقال آن به مخزن آب زیرزمینی..... ۱۱۷
- شکل ۵-۷- توصیف موقعیت و محل ایستگاه های اندازه گیری نسبت به یکدیگر در کانال انجام آزمایشات..... ۱۱۸
- شکل ۵-۸- اندازه گیری پروفیل سطح آب با استفاده از سطح سنج نقطه ای..... ۱۱۸
- شکل ۵-۹- نمودار مقایسه مقادیر اندازه گیری شده عمق جریان در تکرارهای اول با تکرارهای دوم آنها..... ۱۲۲

- شکل ۱۰-۵- پرش هیدرولیکی متغیر مکانی مشاهده شده در آزمایشگاه برای دبی  $Q=25 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $2/5 \text{ cm}$   
 ۱۲۳.....  $w=$
- شکل ۱۱-۵- پرش هیدرولیکی متغیر مکانی مشاهده شده در آزمایشگاه برای دبی  $Q=30 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $2/5 \text{ cm}$   
 ۱۲۴.....  $w=$
- شکل ۱۲-۵- پرش هیدرولیکی متغیر مکانی مشاهده شده در آزمایشگاه برای دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $2/5 \text{ cm}$   
 ۱۲۵.....  $w=$
- شکل ۱۳-۵- پرش هیدرولیکی متغیر مکانی مشاهده شده در آزمایشگاه برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $2/5 \text{ cm}$   
 ۱۲۶.....  $w=$
- شکل ۱۴-۵- پرش هیدرولیکی متغیر مکانی مشاهده شده در آزمایشگاه برای دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3 \text{ cm}$   
 ۱۲۷.....
- شکل ۱۵-۵- پرش هیدرولیکی متغیر مکانی مشاهده شده در آزمایشگاه برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3 \text{ cm}$   
 ۱۲۸.....
- شکل ۱۶-۵- پرش هیدرولیکی متغیر مکانی مشاهده شده در آزمایشگاه برای دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $3/5 \text{ cm}$   
 ۱۲۹.....  $w=$
- شکل ۱۷-۵- پرش هیدرولیکی متغیر مکانی مشاهده شده در آزمایشگاه برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $3/5 \text{ cm}$   
 ۱۳۰.....  $w=$
- شکل ۱۸-۵- پرش هیدرولیکی متغیر مکانی مشاهده شده در آزمایشگاه برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=4 \text{ cm}$   
 ۱۳۱.....
- شکل ۱۹-۵- نمودار پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=25 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$   
 ۱۳۲.....
- شکل ۲۰-۵- نمودار پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=30 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$   
 ۱۳۲.....
- شکل ۲۱-۵- نمودار پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$   
 ۱۳۳.....
- شکل ۲۲-۵- نمودار پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$   
 ۱۳۳.....
- شکل ۲۳-۵- نمودار پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3 \text{ cm}$   
 ۱۳۳.....
- شکل ۲۴-۵- نمودار پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3 \text{ cm}$   
 ۱۳۴.....
- شکل ۲۵-۵- نمودار پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3/5 \text{ cm}$   
 ۱۳۴.....
- شکل ۲۶-۵- نمودار پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3/5 \text{ cm}$   
 ۱۳۴.....
- شکل ۲۷-۵- نمودار پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=4 \text{ cm}$   
 ۱۳۵.....
- شکل ۲۸-۵- مقایسه پروفیل های سطح آب برای ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$  و دبی های متغیر.....  
 ۱۳۵.....
- شکل ۲۹-۵- مقایسه پروفیل های سطح آب برای ارتفاع تاج  $w=3 \text{ cm}$  و دبی های متغیر.....  
 ۱۳۶.....
- شکل ۳۰-۵- مقایسه پروفیل های سطح آب برای ارتفاع تاج  $w=3/5 \text{ cm}$  و دبی های متغیر.....  
 ۱۳۶.....
- شکل ۳۱-۵- مقایسه پروفیل های سطح آب برای دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع های تاج متغیر.....  
 ۱۳۷.....
- شکل ۳۲-۵- مقایسه پروفیل های سطح آب برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع های تاج متغیر.....  
 ۱۳۷.....

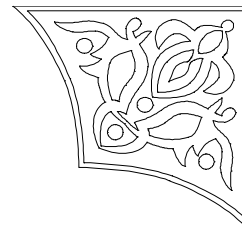
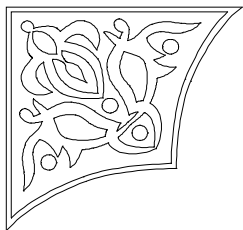
- شکل ۳۳-۵- شکل توصیفی پروفیل جهش آبی (سابرامانیا، ۱۳۷۹)..... ۱۳۹
- شکل ۳۴-۵- معادله بدست آمده جهت محاسبه پارامتر  $X$ ، برای تعیین پروفیل پرش متغیر مکانی ..... ۱۴۱
- شکل ۳۵-۵- مقایسه نمودار روش سابرامانیای کالیبره شده با داده های آزمایشگاهی برای تخمین پروفیل پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=25 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$  ..... ۱۴۲
- شکل ۳۶-۵- مقایسه نمودار روش سابرامانیای کالیبره شده با داده های آزمایشگاهی برای تخمین پروفیل پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=30 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$  ..... ۱۴۲
- شکل ۳۷-۵- مقایسه نمودار روش سابرامانیای کالیبره شده با داده های آزمایشگاهی برای تخمین پروفیل پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$  ..... ۱۴۲
- شکل ۳۸-۵- مقایسه نمودار روش سابرامانیای کالیبره شده با داده های آزمایشگاهی برای تخمین پروفیل پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$  ..... ۱۴۳
- شکل ۳۹-۵- مقایسه نمودار روش سابرامانیای کالیبره شده با داده های آزمایشگاهی برای تخمین پروفیل پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3 \text{ cm}$  ..... ۱۴۳
- شکل ۴۰-۵- مقایسه نمودار روش سابرامانیای کالیبره شده با داده های آزمایشگاهی برای تخمین پروفیل پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3 \text{ cm}$  ..... ۱۴۳
- شکل ۴۱-۵- مقایسه نمودار روش سابرامانیای کالیبره شده با داده های آزمایشگاهی برای تخمین پروفیل پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3/5 \text{ cm}$  ..... ۱۴۴
- شکل ۴۲-۵- مقایسه نمودار روش سابرامانیای کالیبره شده با داده های آزمایشگاهی برای تخمین پروفیل پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3/5 \text{ cm}$  ..... ۱۴۴
- شکل ۴۳-۵- مقایسه نمودار روش سابرامانیای کالیبره شده با داده های آزمایشگاهی برای تخمین پروفیل پرش هیدرولیکی متغیر مکانی برای دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=4 \text{ cm}$  ..... ۱۴۴
- شکل ۱-۶- نمایی از نرم افزار WSSW و تشریح قسمت های مختلف آن ..... ۱۵۱
- شکل ۲-۶- نمایی از برنامه نوشته شده در محیط برنامه نویسی ویژوال بیسیک برای نرم افزار WSSW در تحقیق حاضر ..... ۱۵۲
- شکل ۳-۶- نمایی از فایل های خروجی نرم افزار WSSW در درایو C برای تحقیق حاضر ..... ۱۵۵
- شکل ۱-۷- نمودار مقایسه ای پروفیل برداشت شده آزمایشگاهی و پروفیل تخمینی مدل کامپیوتری برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی در دبی  $Q=25 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$  ..... ۱۶۷
- شکل ۲-۷- نمودار مقایسه ای پروفیل برداشت شده آزمایشگاهی و پروفیل تخمینی مدل کامپیوتری برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی در دبی  $Q=30 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$  ..... ۱۶۷
- شکل ۳-۷- نمودار مقایسه ای پروفیل برداشت شده آزمایشگاهی و پروفیل تخمینی مدل کامپیوتری برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی در دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$  ..... ۱۶۸
- شکل ۴-۷- نمودار مقایسه ای پروفیل برداشت شده آزمایشگاهی و پروفیل تخمینی مدل کامپیوتری برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی در دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=2/5 \text{ cm}$  ..... ۱۶۸

- شکل ۵-۷- نمودار مقایسه ای پروفیل برداشت شده آزمایشگاهی و پروفیل تخمینی مدل کامپیوتری برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی در دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3 \text{ cm}$  ..... ۱۶۸
- شکل ۶-۷- نمودار مقایسه ای پروفیل برداشت شده آزمایشگاهی و پروفیل تخمینی مدل کامپیوتری برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی در دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3 \text{ cm}$  ..... ۱۶۹
- شکل ۷-۷- نمودار مقایسه ای پروفیل برداشت شده آزمایشگاهی و پروفیل تخمینی مدل کامپیوتری برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی در دبی  $Q=35 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3/5 \text{ cm}$  ..... ۱۶۹
- شکل ۸-۷- نمودار مقایسه ای پروفیل برداشت شده آزمایشگاهی و پروفیل تخمینی مدل کامپیوتری برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی در دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3/5 \text{ cm}$  ..... ۱۶۹
- شکل ۹-۷- نمودار مقایسه ای پروفیل برداشت شده آزمایشگاهی و پروفیل تخمینی مدل کامپیوتری برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی در دبی  $Q=40 \text{ lit/s}$  و ارتفاع تاج  $w=3/5 \text{ cm}$  ..... ۱۷۰
- شکل ۱۰-۷- مقایسه پروفیل سطح آب در تحقیق حاضر با تحقیق قبادیان (۱۳۹۰) برای پرش متغیر مکانی در دبی  $\text{lit/s}$  ..... ۱۱/۸۵
- شکل ۱۱-۷- مقایسه پروفیل سطح آب در تحقیق حاضر با تحقیق قبادیان (۱۳۹۰) برای پرش متغیر مکانی در دبی  $\text{lit/s}$  ..... ۱۳/۸۵



## فهرست جدول‌ها

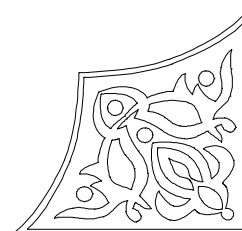
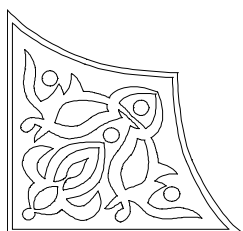
- جدول ۱-۲- دامنه تغییرات پارامترهای آزمایشگاهی (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹)..... ۳۴
- جدول ۲-۲- دامنه تغییرات پارامترهای بدست آمده از آزمایش (ایزدجو و شفافی بجنستان، ۱۳۷۵)..... ۴۳
- جدول ۳-۲- متغیرهای آزمایشات (برقعی و صالحی، ۱۳۸۲)..... ۵۱
- جدول ۴-۲- شرایط هیدرولیکی حاکم بر آزمایشات فیزیکی (قبادیان، ۱۳۹۰)..... ۶۲
- جدول ۱-۳- نوع پروفیل سطح آب در کانال با جریان خروجی (جین، ۱۳۸۳)..... ۷۶
- جدول ۱-۴- روابط پیشنهاد شده برای محاسبه ضریب تخلیه سرریز جانبی مستطیلی..... ۹۸
- جدول ۲-۴- تقسیم بندی روابط ضریب تخلیه سرریز جانبی بر اساس عدد فرود (به نقل از خورچانی و بلانپاین، ۲۰۰۵)..... ۹۹
- جدول ۳-۴- روابط پیشنهاد شده برای محاسبه ضریب تخلیه سرریز جانبی مثلثی (قدسیان، ۲۰۰۴)..... ۹۹
- جدول ۱-۵- پارامترهای فیزیکی و هیدرولیکی آزمایشات انجام شده با شیب های مختلف..... ۱۱۵
- جدول ۲-۵- مقایسه آماری داده های برداشت شده آزمایشگاهی برای عمق جریان در تکرارهای اول و دوم آزمایش .. ۱۲۱
- جدول ۳-۵- مقایسه آماری روش ساپرامانیای کالیبره شده با داده های آزمایشگاهی برای تخمین پروفیل پرش متغیر مکانی..... ۱۴۱
- جدول ۴-۵- صحت سنجی فرمول ارائه شده برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی توسط داده های آزمایشگاهی..... ۱۴۵
- جدول ۱-۷- مقایسه بین پارامترهای اصلی پرش شبیه سازی شده توسط نرم افزار و اندازه گیری شده در آزمایشگاه .. ۱۶۱
- ادامه جدول ۱-۷..... ۱۶۲
- جدول ۲-۷- مقایسه آماری بین پارامترهای اصلی پرش شبیه سازی شده توسط نرم افزار و اندازه گیری شده در آزمایشگاه..... ۱۶۴
- جدول ۳-۷- مقایسه آماری پروفیل برداشت شده آزمایشگاهی و پروفیل تخمینی مدل کامپیوتری برای پرش هیدرولیکی متغیر مکانی..... ۱۶۶



# فصل اول: مقدمه

فهرست مطالب فصل

\* مقدمه



## ۱-۱- مقدمه

در طول تاریخ، همواره منابع آب برای بشریت از اهمیت خاصی برخوردار بوده است و انسان به طور مداوم و به صورت‌های گوناگون از آن استفاده می‌کرده است. اما دلایل گوناگونی از جمله عوامل اقتصادی، جغرافیایی و محیطی همیشه به گونه‌ای نبوده که به راحتی بتوان از این منابع استفاده کرد، لذا انسان به روش‌های مختلف مجبور به انتقال آب شده است تا بتواند از این نعمت خدادادی سود ببرد. ساده‌ترین، ابتدایی‌ترین و مهم‌ترین این روش‌ها استفاده از کانال‌ها برای انتقال آب می‌باشد که از دیرباز مورد توجه جامعه بشری بوده است و هم‌اکنون نیز بسیار از آن استفاده می‌شود.

با گذشت زمان و پیشرفت علوم مختلف مهندسی آب، برداشت مقدار معینی آب از رودخانه‌ها، مخازن سدها و کانال‌های انتقال آب برای تامین اهداف مختلف مورد توجه قرار گرفت. از این میان آبیگری به روش ثقلی از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است، چرا که از مزایای مهم آن پیوسته بودن آبیگری و عدم صرف انرژی اضافی نظیر ایستگاه پمپاژ می‌باشد (ایزدجو، ۱۳۷۴). از روش‌های مختلف آبیگری ثقلی می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

(۱) آبیگری از کف<sup>۱</sup>

(۲) آبیگری از کناره<sup>۲</sup>

که آبیگری از کناره با استفاده از انواع مختلف دریچه‌ها، روزنه‌ها و سرریزها انجام می‌گیرد. یکی از انواع سرریزها که به منظور آبیگری به صورت گسترده از آن استفاده می‌شود، سرریز جانبی<sup>۳</sup> است. این سازه هم‌چنین به عنوان سازه حفاظتی در بالادست سیفون‌های معکوس، سیل‌بندها، زیرگذر جاده و سرریز

<sup>۱</sup> Bottom Intake

<sup>۲</sup> Lateral Intake

<sup>۳</sup> Side Weir

انتهایی برای تخلیه آب مازاد آبیگرهای بالادست، در انتهای کانالهای اصلی قرار می‌گیرد. محل نصب سرریز جانبی در دیواره آبراهه یا کانال انتقال آب می‌باشد و زمانی آبیگری توسط سرریز آغاز می‌گردد که عمق جریان از ارتفاع لبه سرریز بیشتر شود.

جریان بر روی سرریز جانبی از نوع جریان متغیر مکانی<sup>۱</sup> است. در جریان متغیر مکانی، بدلیل خروج آب از کانال بوسیله سرریز جانبی، خصوصیات جریان از جمله دبی، عمق آب و سرعت در مسیر جریان متغیر می‌باشد (قبادیان و همکاران، ۱۳۸۷). این نوع جریان بر حسب نوع تغییرات دبی به دو گروه زیر تقسیم‌بندی می‌شود:

(۱) جریان متغیر مکانی با افزایش دبی<sup>۲</sup>

(۲) جریان متغیر مکانی با کاهش دبی<sup>۳</sup>

معادلات حاکم بر جریان در محدوده سرریز جانبی همان معادلات جریان متغیر مکانی با کاهش دبی هستند که دیمارچی<sup>۴</sup> در سال ۱۹۳۴ با صرف نظر کردن از افت انرژی در طول سرریز و فرضیات دیگر، آن را ارائه نمود:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{s_0 - s_f - \left( \frac{\alpha Q}{gA^2} \frac{dQ}{dx} \right)}{1 - Fr^2} \quad (1-1)$$

$$\frac{dQ}{dx} = \frac{2}{3} c_m \sqrt{2g} (y - w)^{1.5} \quad (2-1)$$

<sup>1</sup> Spatially Varied Flow (SVF)

<sup>2</sup> SVF with Increasing Discharge

<sup>3</sup> SVF with Decreasing Discharge

<sup>4</sup> Demarchi