



دانشکده عمران

رساله دکتری

ارزیابی جریان بر روی سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب

در شرایط زیر بحرانی

مجتبی عامری

اساتید راهنما:

دکتر احمد احمدی

دکتر امیر احمد دهقانی

شهریور ۱۳۹۴

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشکده عمران
گروه مهندسی آب و محیط زیست

ارزیابی جریان بر روی سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب
در شرایط زیربحرانی

دانشجو: مجتبی عامری

اساتید راهنما:
دکتر احمد احمدی
دکتر امیر احمد دهقانی

رساله دکتری جهت اخذ درجه دکتری

شهریور ۱۳۹۴



مدیریت تحصیلات تکمیلی
فرم شماره ۱۲

باسمه تعالی

صورت جلسه دفاع از رساله دکتری (Ph.D)

شماره: ۵۲
تاریخ: ۱۳۱
ویرایش: ۸۴

بدینوسیله گواهی می شود آقای مجتبی عامری دانشجوی دکتری رشته مهندسی عمران به شماره دانشجویی ۹۰۲۲۵۸۵ و رودی مهرماه سال ۱۳۹۰ در تاریخ ۹۴/۶/۲۳ از رساله خود با عنوان: ارزیابی جریان بر روی سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب در شرایط زیربحرانی دفاع و با اخذ نمره ۱۹/۲۰ (عالی) به درجه دکتری نائل گردید.

| | |
|--|--|
| <input type="checkbox"/> الف) درجه عالی: نمره ۱۹-۲۰ | <input checked="" type="checkbox"/> ب) درجه بسیار خوب: نمره ۱۸/۹۹ - ۱۷ |
| <input type="checkbox"/> ج) درجه خوب: نمره ۱۶/۹۹ - ۱۵ | <input type="checkbox"/> د) غیر قابل قبول و نیاز به دفاع مجدد دارد |
| <input type="checkbox"/> ه) رساله نیاز به اصلاحات دارد | |

| ردیف | هیئت داوران | نام و نام خانوادگی | مرتبه علمی | امضاء |
|------|------------------------|---|------------|-------|
| ۱- | دکتر احمد احمدی | اساتید راهنما | دانشیار | |
| ۲- | دکتر امیر احمد دهقانی | اساتید راهنما | دانشیار | |
| ۳- | دکتر مهدی مفتاح هلقی | استاد مدعو خارجی | دانشیار | |
| ۴- | دکتر فضل الله ساغروانی | استاد مدعو داخلی | استادیار | |
| ۵- | دکتر صمد امامقلی زاده | استاد مدعو داخلی | استادیار | |
| ۶- | دکتر مهدی عجمی | سرپرست (نماینده) تحصیلات تکمیلی دانشکده | استادیار | |

مدیر محترم تحصیلات تکمیلی دانشگاه:

ضمن تأیید مراتب فوق مقرر فرمائید اقدامات لازم بعمل آید.

رئیس دانشکده و رئیس هیأت داوران:

تقدیم به

روح پاک و آسمانی پدر عزیز و بزرگوارم که عالمانه به من آموخت تا چگونه در عرصه زندگی، ایستادگی را تجربه نمایم.

مادر دلسوز و مهربانم که سجده‌ی ایثارش گل محبت را در وجودم پروراند و دامان گهربارش لحظه‌های مهربانی را به من آموخت.

و

تقدیم به همسر و فرزندان عزیزم

به پاس قدردانی از قلبی آکنده از عشق و معرفت که محیطی سرشار از آرامش و آسایش توأم با محبت را برای من فراهم نمودند.

تشکر و قدردانی

سپاس خدای را که سخنوران، در ستودن او بمانند و شمارندگان، شمردن نعمت‌های او ندانند و کوشندگان، حق او را گزاردن نتوانند. و سلام و درود بر محمد و خاندان پاک او، طاهران معصوم، هم آنان که وجودمان وامدار وجودشان است. بدون شک جایگاه و منزلت معلم، برتر از آن است که در مقام قدردانی از زحمات بی‌شائبه او، با زبان قاصر و دست ناتوان، چیزی بنگاریم. اما به رسم ادب از اساتید شایسته و محترم؛ جناب آقای دکتر احمد احمدی و دکتر امیر احمد دهقانی که در کمال سعه صدر، با حسن خلق و فروتنی، از هیچ کمکی در این عرصه بر من دریغ نمودند و زحمت راهنمایی این رساله را بر عهده گرفتند تشکر و سپاسگزاری می‌نمایم.

از وزارت علوم، تحقیقات و فناوری به خاطر فراهم آوردن امکانات مالی مناسب در دوران فرصت مطالعه و همچنین از دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود که امکانات و آزمایشگاه‌های خود را در اختیار اینجانب قرار داد تشکر و قدردانی می‌کنم.

اینجانب تأیید می‌نمایم که مطالب مندرج در این رساله نتیجه تحقیقات خودم می‌باشد و در صورت استفاده از نتایج دیگران مرجع آن را ذکر نموده‌ام.

کلیه حقوق مادی مترتب از نتایج مطالعات، آزمایشات و نوآوری ناشی از تحقیق موضوع این رساله متعلق به دانشگاه شاهرود می‌باشد.

شهریور ۱۳۹۴

چکیده

سرریز جانبی یک سازه کنترل هیدرولیکی است که برای انحراف آب از کانال اصلی به کانال جانبی و در زمانی که سطح آب در کانال اصلی از حد مشخصی فراتر رود، طراحی و نصب می‌شود. در بسیاری از کانال‌های هیدرولیکی به دلیل تغییرات شدید رواناب ورودی به آن در فصل‌های مختلف سال، نوسانات زیادی در تراز سطح جریان ایجاد می‌گردد. این نوسانات می‌توانند هم در میزان آبیاری و هم در دقت محاسبه دبی عبوری نقش مهمی داشته باشند. سرریزهای مرکب به توجه به شکل هندسی خاص خود این قابلیت را دارند در شرایطی که تراز سطح آب در کانال اصلی، در پایین‌ترین سطح خود است مقادیر معینی از دبی را به کانال فرعی انتقال دهند. همچنین این نوع از سرریزها در زمان سیلابی شدن به سهولت علاوه بر تخلیه امن سیلاب، امکان تعیین دقیق مقادیر دبی انحرافی را نیز فراهم کرده و از آسیب رساندن جریان به کانال‌ها و سازه‌های مجاور جلوگیری می‌نمایند. لذا در این پژوهش سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی و مثلثی - مستطیلی به دلیل کاربرد بیشتر شکل ساده آن به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفتند.

به منظور بررسی کارایی روابط پیشنهادی محققین برای سرریزهای جانبی ساده مثلثی و مستطیلی در تعیین میزان دبی انحراف از سرریزهای مرکب آن، تعدادی از این روابط که متداول تر هستند انتخاب شد. سپس مقطع مرکب به چند مقطع ساده تقسیم و محاسبات دبی به کمک روابط ارائه شده محققین بر اساس پارامترهای هیدرولیکی مرتبط با آن انجام گرفت. مقایسه دبی کل عبوری از سرریزهای مرکب که از مجموع دبی‌های محاسبه شده از مقاطع ساده جزء به دست آمدند با نتایج آزمایشگاهی نشان داد که این روش برای سرریزهای جانبی مناسب نبوده و از دقت کمی برخوردار است. لذا در گام بعدی ضریب دبی به سه روش مستقیم، دی مارچی و المانی برای هر یک از دو تیپ سرریز مذکور محاسبه و با استفاده از روش آنالیز ابعادی، پارامترهای مؤثر بر آن مشخص گردید. سپس برای هر یک از روش‌ها روابطی برای ضرایب دبی پیشنهاد گردید. از آنجایی که تعیین ضرایب ثابت معادلات در روش المانی به صورت صریح امکان پذیر نیست از الگوریتم ژنتیک (GA) در محاسبات آن استفاده شد. سپس روابط

استخراج شده ضریب دبی با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و آماره‌های خطا اعتبارسنجی گردید که در مجموع بررسی شاخص‌های آماری، قابلیت مناسب روابط پیشنهادی را تایید نمودند. به طوری که مقادیر درصد میانگین خطا (E) دبی عبوری از سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی به روش های مستقیم، دیمارچی و المانی به ترتیب ۶,۵۱، ۶,۲۲ و ۲,۷۵ درصد محاسبه شد. همچنین پروفیل سطح آب در وسط کانال و در محل سرریز به روش المانی محاسبه و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. مقایسه نتایج نشان داد که به طور کلی، روش‌های دی مارچی و المانی برای محاسبات دبی سرریزهای مرکب همچون سرریزهای ساده دارای کارایی و دقت خوبی هستند؛ اما با صرف نظر کردن از پیچیدگی محاسبات، روش المانی از توانایی دقت بسیار بالاتری در تعیین دبی عبوری از سرریز و محاسبه پروفیل سطح آب داخل کانال برخوردار است.

کلمات کلیدی: سرریز جانبی لبه تیز مرکب، جریان زیر بحرانی، الگوریتم ژنتیک، ضریب دبی دیمارچی،

ضریب دبی مستقیم و المانی

Journal papers

1. Ameri, M., Ahmadi, A., Dehghani, A.A., Discharge coefficient of compound triangular–rectangular sharp-crested side weirs in subcritical flow conditions. *Flow Measurement and Instrumentation* 45 (2015) 170–175.
2. Ameri, M., Dehghani, A.A., Ahmadi, A., Elementary discharge coefficient of a triangular–rectangular sharp-crested side weir in subcritical flow. *Intl. J. River Basin Management* (2015).
3. Ameri, M., Ahmadi, A., Dehghani, A.A. 2015. Determination of discharge coefficient of compound triangular - rectangular sharp crested side weirs. *J. of Water and Soil Conservation* (in Persian).

Conference papers

1. Ameri, M., Ahmadi, A., and Dehghani, A.A. 2013. Discharge coefficient for compound rectangular sharp crested side weirs in subcritical flow. 1th Int. Conf. on Irrigation and water structures, Gorgan, Iran. (in Persian)
2. Ameri, M., Ahmadi, A., and Dehghani, A.A. 2013. Determination of discharge coefficient of compound side weirs. 8th National Congress on Civil Engineering, Babol, Iran. (in Persian)

فهرست مطالب

عنوان _____ صفحه

| | | |
|---------|--|----|
| ۱ | فصل اول: مقدمه و کلیات | |
| ۱-۱ | مقدمه | ۳ |
| ۲-۱ | تقسیم‌بندی سرریزها | ۵ |
| ۳-۱ | معیارهای مرسوم تقسیم‌بندی سرریزها | ۵ |
| ۱-۳-۱ | انواع سرریز از نظر موقعیت قرارگیری در کانال | ۵ |
| ۲-۳-۱ | انواع سرریز از نظر وضعیت لبه تاج آن | ۸ |
| ۳-۳-۱ | انواع سرریزهای متداول از نظر شکل هندسی | ۹ |
| ۴-۳-۱ | تقسیم‌بندی از نظر شرایط آزاد یا غرقابی بودن جریان | ۱۳ |
| ۵-۳-۱ | تقسیم‌بندی از نظر فشردگی یا عدم فشردگی جریان | ۱۳ |
| ۴-۱ | اهداف استفاده از سرریزها و کاربرد آنها | ۱۴ |
| ۵-۱ | سرریزهای جانبی | ۱۵ |
| ۱-۵-۱ | تئوری کلی سرریزهای جانبی | ۱۵ |
| ۲-۵-۱ | جریان متغیرمکانی با کاهش دبی | ۱۶ |
| ۱-۲-۵-۱ | فرضیات | ۱۶ |
| ۳-۵-۱ | پروفیل‌های جریان در سرریزهای جانبی | ۱۷ |
| ۶-۱ | اهداف تحقیق | ۲۱ |
| ۲۷ | فصل دوم: مروری بر تحقیقات گذشته | ۲۷ |
| ۱-۲ | مقدمه | ۲۷ |
| ۲-۲ | مطالعات انجام گرفته در زمینه سرریزهای جانبی لبه تیز ساده | ۲۷ |
| ۱-۲-۲ | مطالعات سابرامانیا و آواستی (۱۹۷۲) | ۲۷ |
| ۲-۲-۲ | مطالعات یوتج (۱۹۷۲) | ۲۹ |
| ۳-۲-۲ | نادسوراتی و تامسون (۱۹۷۲) | ۲۹ |
| ۴-۲-۲ | مطالعات رانگاراچو و همکاران (۱۹۷۹) | ۲۹ |
| ۵-۲-۲ | مطالعات کومار و پاتااک (۱۹۸۷) | ۳۱ |
| ۶-۲-۲ | مطالعات هاگر (۱۹۸۷) | ۳۲ |
| ۷-۲-۲ | مطالعات چیونگ (۱۹۹۱) | ۳۲ |
| ۸-۲-۲ | مطالعات سوامی و همکاران (۱۹۹۴) | ۳۲ |
| ۹-۲-۲ | مطالعات سینگ و همکاران (۱۹۹۴) | ۳۴ |
| ۱۰-۲-۲ | مطالعات ایزدجو و شفافی بجستان (۱۳۷۵) | ۳۵ |
| ۱۱-۲-۲ | مطالعات جلیلی قاضیزاده و همکاران (۱۳۷۶) | ۳۶ |
| ۱۲-۲-۲ | مطالعات قدسیان (۱۹۹۷) | ۳۷ |
| ۱۳-۲-۲ | مطالعات برقی و همکاران (۱۹۹۹) | ۳۹ |
| ۱۴-۲-۲ | مطالعات برقی و صالحی (۱۳۸۲) | ۳۹ |

فهرست مطالب

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۴۱ | ۱۵-۲-۲ مطالعات ایزدی‌نیا و همکاران (۱۳۸۶)..... |
| ۴۱ | ۱۶-۲-۲ مطالعات قدسیان در خصوص سرریزهای جانبی مثلثی لبه تیز (۲۰۰۴)..... |
| ۴۲ | ۱۷-۲-۲ مطالعات یوماز (۲۰۰۵)..... |
| ۴۲ | ۱۸-۲-۲ مطالعات پاتیرانا و همکاران (۲۰۰۶)..... |
| ۴۴ | ۱۹-۲-۲ رامامورتی و همکاران (۲۰۰۶)..... |
| ۴۴ | ۲۰-۲-۲ مطالعات هنر و کشاورزی (۲۰۰۹)..... |
| ۴۶ | ۲۱-۲-۲ مطالعات امیرآقلو و همکاران (۲۰۱۰)..... |
| ۴۷ | ۲۲-۲-۲ مطالعات قبادیان (۲۰۱۱)..... |
| ۴۸ | ۲۳-۲-۲ مطالعات سیاری و همکاران (۱۳۹۱)..... |
| ۴۸ | ۲۴-۲-۲ مطالعات احمد (۲۰۱۱)..... |
| ۴۹ | ۲۵-۲-۲ مطالعات احمد (۲۰۱۳)..... |
| ۵۳ | ۳-۲ مطالعات انجام‌شده در مورد سرریزهای مرکب..... |
| ۵۳ | ۱-۳-۲ سرریزهای لبه تیز نرمال مرکب..... |
| ۵۴ | ۲-۳-۲ سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب..... |
| ۵۸ | ۴-۲ تحقیقات گذشته در زمینه تأثیر لزجت و کشش سطحی بر عبور جریان از سرریزها..... |
| ۶۳ | فصل سوم: تئوری و روابط حاکم بر سرریزهای جانبی لبه تیز |
| ۶۳ | ۱-۳ مقدمه..... |
| ۶۴ | ۲-۳ ضریب دبی مستقیم در سرریزهای لبه تیز..... |
| ۶۴ | ۱-۲-۳ سرریزهای ساده..... |
| ۶۴ | ۱-۱-۲-۳ ضریب دبی مستقیم در سرریز لبه تیز مستطیلی..... |
| ۶۶ | ۲-۱-۲-۳ ضریب دبی متوسط سرریز لبه تیز مثلثی..... |
| ۶۹ | ۲-۲-۳ سرریزهای مرکب..... |
| ۷۱ | ۳-۳ ضریب دبی دیمارچی در سرریزهای لبه تیز..... |
| ۷۱ | ۱-۳-۳ سرریزهای جانبی لبه تیز ساده مستطیلی و مثلثی..... |
| ۷۵ | ۲-۳-۳ ضریب دبی دیمارچی در سرریزهای مرکب..... |
| ۷۵ | ۱-۲-۳-۳ تجزیه سرریز به مقاطع ساده..... |
| ۷۸ | ۲-۲-۳-۳ معادل نمودن سرریز مرکب با یک سرریز مستطیلی..... |
| ۸۰ | ۴-۳ ضریب دبی المانی در سرریزهای مرکب مستطیلی و مثلثی..... |
| ۸۴ | ۵-۳ مرور کلی بر الگوریتم ژنتیک (GA)..... |
| ۸۶ | ۶-۳ آنالیز ابعادی..... |
| ۸۶ | ۱-۶-۳ آنالیز ابعادی ضریب دبی در سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی..... |
| ۸۹ | ۲-۶-۳ آنالیز ابعادی ضریب دبی در سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی..... |
| ۹۰ | ۷-۳ محدوده پارامترهای هیدرولیکی و هندسی آزمایش‌ها..... |
| ۹۳ | ۸-۳ دستگاهها و تجهیزات آزمایشگاه..... |
| ۱۰۴ | ۹-۳ مروری بر نحوه پردازش داده‌ها و استخراج روابط..... |

فهرست مطالب

| عنوان | صفحه |
|--|------------|
| آماره‌های ارزیابی..... | ۱۰-۳ |
| ۱۰۵..... | |
| فصل چهارم: نتایج و بحث..... | ۱۰۹ |
| ۱۰۹..... | |
| مقدمه..... | ۱-۴ |
| ۱۱۱..... | |
| بررسی کاربرد روابط ضریب دبی سرریزهای ساده در تعیین دبی کل عبوری سرریزهای مرکب..... | ۲-۴ |
| ۱۱۱..... | |
| سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب مستطیلی - مستطیلی..... | ۱-۲-۴ |
| ۱۱۴..... | |
| سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب مثلثی - مستطیلی..... | ۲-۲-۴ |
| ۱۱۷..... | |
| ضریب شدت جریان در سرریز لبه تیز جانبی مرکب مستطیلی - مستطیلی و محاسبه دبی عبوری از آن..... | ۳-۴ |
| ۱۱۸..... | |
| ضریب دبی متوسط سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی به روش مستقیم..... | ۱-۳-۴ |
| ۱۲۲..... | |
| ضریب دبی دیمارچی در سرریز جانبی مرکب مستطیلی - مستطیلی..... | ۲-۳-۴ |
| ۱۲۴..... | |
| کنترل فرض ناچیز بودن اتلاف انرژی در طول سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی..... | ۳-۳-۴ |
| ۱۲۵..... | |
| ضریب شدت جریان در سرریز لبه تیز جانبی مرکب مثلثی - مستطیلی و محاسبه دبی عبوری از آن..... | ۴-۴ |
| ۱۲۵..... | |
| ضریب دبی متوسط سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی به روش مستقیم..... | ۱-۴-۴ |
| ۱۳۰..... | |
| ضریب دبی دیمارچی در سرریز جانبی مرکب مثلثی - مستطیلی..... | ۲-۴-۴ |
| ۱۳۳..... | |
| کنترل فرض ناچیز بودن انرژی در طول سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی..... | ۳-۴-۴ |
| ۱۳۴..... | |
| ضریب دبی المانی در سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب..... | ۵-۴ |
| ۱۳۵..... | |
| تابع ضریب دبی المانی..... | ۱-۵-۴ |
| ۱۳۶..... | |
| تعیین ضرایب ثابت روابط پیشنهادی..... | ۲-۵-۴ |
| ۱۳۷..... | |
| ارائه روابط ضریب دبی المانی و محاسبه پروفیل جریان..... | ۳-۵-۴ |
| ۱۵۰..... | |
| بررسی اثر شیب طولی کانال بر دقت محاسبات دبی..... | ۶-۴ |
| ۱۵۳..... | |
| فصل پنجم: خلاصه نتایج و پیشنهادها..... | ۱۵۳ |
| ۱۵۵..... | |
| مقدمه..... | ۱-۵ |
| ۱۵۶..... | |
| خلاصه نتایج..... | ۲-۵ |
| ۱۶۰..... | |
| پیشنهادها..... | ۳-۵ |
| ۱۶۳..... | |
| پیوست | ۱۶۳ |

کد متلب برای تعیین ضرایب معادلات به کمک الگوریتم ژنتیک (GA)

فهرست علائم

منابع و مراجع

فهرست شکل‌ها

| صفحه | عنوان |
|------|--|
| ۶ | شکل (۱-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای نرمال مثلثی و مستطیلی |
| ۷ | شکل (۲-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای جانبی |
| ۸ | شکل (۳-۱) سرریزهای لبه تیز |
| ۹ | شکل (۴-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای لبه پهن |
| ۹ | شکل (۵-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای مستطیلی شکل |
| ۱۰ | شکل (۶-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای مثلثی شکل |
| ۱۰ | شکل (۷-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای دوزنقه‌ای شکل |
| ۱۲ | شکل (۸-۱) سرریزهای مرکب |
| ۱۳ | شکل (۹-۱) آزاد یا غرقابی بودن جریان عبوری از سرریز |
| ۱۴ | شکل (۱۰-۱) شرایط فشردگی و غیر فشردگی مقطع سرریز نرمال |
| ۱۸ | شکل (۱۱-۱) شمای یک سرریز جانبی |
| ۱۹ | شکل (۱۲-۱) انواع جریان‌های ممکن بر روی سرریزهای جانبی |
| ۲۰ | شکل (۱۳-۱) حالت‌های مختلف پروفیل جریان در سرریزهای جانبی (جین، ۱۳۸۳) |
| ۲۸ | شکل (۱-۲) نمایی کلی از یک سرریز جانبی (سابرامانیا و آواستی، ۱۹۷۲) |
| ۳۰ | شکل (۲-۲) نمایی از خطوط جریان در سرریزهای جانبی (رانگاراچو و همکاران، ۱۹۷۹) |
| ۳۰ | شکل (۳-۲) پلان و مقطع سرریز جانبی لبه پهن (رانگاراچو و همکاران، ۱۹۷۹) |
| ۳۳ | شکل (۴-۲) مشخصات سرریز جانبی در پلان و نمای مقابل |
| ۴۰ | شکل (۵-۲) رابطه دبی اندازه‌گیری شده با دبی محاسبه‌شده (برقی و صالحی، ۱۳۸۲) |
| ۴۰ | شکل (۶-۲) رابطه ضریب دبی سرریز با عدد فرود (برقی و صالحی، ۱۳۸۲) |
| ۴۱ | شکل (۷-۲) رابطه دبی اندازه‌گیری شده با دبی محاسبه‌شده و محاسبه فرمول آن (برقی و صالحی، ۱۳۸۲) |
| ۴۳ | شکل (۸-۲) نمودار مقایسه نتایج دبی جریان حاصل از حل عددی با مقادیر آزمایشگاهی (پاتیرانا و همکاران ۲۰۰۶) |
| ۴۳ | شکل (۹-۲) نمودار مقایسه نتایج دبی جریان محاسباتی با مقادیر آزمایشگاهی (پاتیرانا و همکاران ۲۰۰۶) |
| ۴۴ | شکل (۱۰-۲) تصویر سرریز جانبی استفاده شده در آزمایشات (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹) |
| ۴۵ | شکل (۱۱-۲) مقایسه ضریب دبی مشاهد‌های و محاسبه‌شده توسط رابطه (۲-۳۹) (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹) |
| ۴۶ | شکل (۱۲-۲) مقایسه ضریب دبی مشاهداتی و محاسبه‌شده در حالت گرد گوشه (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹) |
| ۴۸ | شکل (۱۳-۲) نمای سرریز جانبی مستطیلی (احمد ۲۰۱۱) |
| ۴۹ | شکل (۱۴-۲) مقایسه نتایج محاسباتی با داده‌های آزمایشگاهی (احمد ۲۰۱۱) |
| ۵۰ | شکل (۱۵-۲) سرریز جانبی مایل |
| ۶۴ | شکل (۱-۳) جریان از روی سرریز لبه تیز |
| ۶۵ | شکل (۲-۳) سرریز لبه تیز مستطیلی |
| ۶۶ | شکل (۳-۳) سرریز لبه تیز مثلثی شکل |
| ۶۷ | شکل (۴-۳) شمای یک سرریز لبه تیز مثلثی |
| ۶۷ | شکل (۵-۳) مقادیر K_h بر حسب زاویه θ |
| ۶۸ | شکل (۶-۳) مقادیر C_d بر حسب زاویه θ |
| ۶۹ | شکل (۷-۳) سرریز جانبی لبه تیز مرکب با مقطع مستطیلی - مستطیلی |
| ۷۰ | شکل (۸-۳) سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی |

فهرست شکل‌ها

| عنوان | صفحه |
|---|------|
| شکل (۹-۳) شمای یک سرریز کناری | ۷۱ |
| شکل (۱۰-۳) نمودار گردشی گام‌های محاسبه ضریب دبی دیمارچی | ۷۴ |
| شکل (۱۱-۳) نمودار گردشی گام‌های محاسبه دبی عبوری از سرریز به روش دیمارچی | ۷۴ |
| شکل (۱۲-۳) سرریز جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی | ۷۵ |
| شکل (۱۳-۳) سرریز جانبی لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی | ۷۵ |
| شکل (۱۴-۳) معادل نمودن سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی با یک سرریز مستطیلی | ۷۹ |
| شکل (۱۵-۳) معادل نمودن سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی با یک سرریز مستطیلی | ۷۹ |
| شکل (۱۶-۳) سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی | ۸۱ |
| شکل (۱۷-۳) شمای یک سرریز جانبی مثلثی - مستطیلی | ۸۳ |
| شکل (۱-۴) تقسیم سرریز مرکب به سه المان | ۱۱۲ |
| شکل (۲-۴) مقایسه نتایج روش مذکور با مقادیر آزمایشگاهی برای سرریز مستطیلی - مستطیلی | ۱۱۴ |
| شکل (۳-۴) تقسیم سرریز مرکب به سه المان | ۱۱۵ |
| شکل (۴-۴) مقایسه نتایج روش مذکور با مقادیر آزمایشگاهی برای سرریز مرکب با زاویه رأس ۶۰ درجه | ۱۱۶ |
| شکل (۵-۴) مقایسه نتایج روش مذکور با مقادیر آزمایشگاهی برای سرریز مرکب با زاویه رأس ۹۰ درجه | ۱۱۶ |
| شکل (۶-۴) مقایسه نتایج روش مذکور با مقادیر آزمایشگاهی برای سرریز مرکب با زاویه رأس ۱۲۰ درجه | ۱۱۶ |
| شکل (۷-۴) محدوده تغییرات دبی مشاهداتی و محاسباتی بر اساس روابط (۶-۴) و (۷-۴) | ۱۲۰ |
| شکل (۸-۴) مقایسه مقادیر ضریب دبی بر اساس ضریب دبی رابطه (۶-۴) با نتایج آزمایشگاهی | ۱۲۱ |
| شکل (۹-۴) مقایسه مقادیر دبی محاسباتی با مقادیر آزمایشگاهی | ۱۲۱ |
| شکل (۱۰-۴) مقایسه مقادیر ضریب دبی دیمارچی رابطه (۴-۱۰) با نتایج آزمایشگاهی | ۱۲۳ |
| شکل (۱۱-۴) مقایسه مقادیر دبی بر اساس ضریب دبی رابطه (۴-۱۰) با نتایج آزمایشگاهی | ۱۲۳ |
| شکل (۱۲-۴) مقایسه مقادیر دبی بر اساس ضریب دبی رابطه (۶-۲۱) با نتایج آزمایشگاهی | ۱۲۳ |
| شکل (۱۳-۴) تغییرات انرژی مخصوص مقاطع بالادست و پایین‌دست سرریز مرکب | ۱۲۴ |
| شکل (۱۴-۴) شماتیک سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی | ۱۲۵ |
| شکل (۱۵-۴) مقایسه ضریب دبی محاسباتی و مشاهداتی برای سه تیپ مقطع با روابط (۶-۲۳) تا (۶-۲۵) | ۱۲۶ |
| شکل (۱۶-۴) مقایسه دبی محاسباتی و مشاهداتی برای سه تیپ مقطع با استفاده از روابط (۴-۲۳) تا (۴-۲۵) | ۱۲۷ |
| شکل (۱۷-۴) مقایسه ضریب دبی و دبی بر اساس رابطه (۴-۲۵) با مقادیر مشاهداتی | ۱۲۸ |
| شکل (۱۸-۴) نمودارهای ضریب دبی در مقابل پارامترهای F_{r1} ، L/y_1 و \bar{w}/y_1 با استفاده از رابطه (۴-۲۷) | ۱۲۸ |
| شکل (۱۹-۴) نمودارهای ضریب دبی در مقابل پارامترهای F_{r1} ، L/y_1 و \bar{w}/y_1 با استفاده از رابطه (۴-۲۹) | ۱۳۱ |
| شکل (۲۰-۴) مقایسه ضریب دبی و دبی بر اساس رابطه (۴-۲۶) با مقادیر مشاهداتی برای $\theta = 60^\circ$ | ۱۳۱ |
| شکل (۲۱-۴) مقایسه ضریب دبی و دبی بر اساس رابطه (۴-۲۷) با مقادیر مشاهداتی برای $\theta = 90^\circ$ | ۱۳۲ |
| شکل (۲۲-۴) مقایسه ضریب دبی و دبی بر اساس رابطه (۴-۲۸) با مقادیر مشاهداتی برای $\theta = 120^\circ$ | ۱۳۲ |
| شکل (۲۳-۴) تغییرات انرژی مخصوص بالادست و پایین‌دست جریان در سرریزهای مرکب مثلثی - مستطیلی | ۱۳۳ |
| شکل (۲۴-۴) سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب | ۱۳۴ |
| شکل (۲۵-۴) مقایسه مقادیر دبی محاسباتی و مشاهداتی به همراه y_2 بر اساس رابطه (۴-۳۹) | ۱۳۷ |
| شکل (۲۶-۴) تغییرات عمق جریان در سرریزهای مستطیلی - مستطیلی | ۱۳۸ |

فهرست شکل‌ها

| عنوان | صفحه |
|--|------|
| شکل (۲۷-۴) مقایسه مقادیر دبی محاسباتی و مشاهداتی بر اساس رابطه (۴۰-۴)..... | ۱۴۰ |
| شکل (۲۸-۴) مقایسه مقادیر دبی محاسباتی و مشاهداتی بر اساس رابطه (۴۱-۴)..... | ۱۴۰ |
| شکل (۲۹-۴) مقایسه مقادیر دبی محاسباتی و مشاهداتی بر اساس رابطه (۴۲-۴)..... | ۱۴۱ |
| شکل (۳۰-۴) مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی عمق جریان (y_2) بر اساس رابطه (۴۰-۴)..... | ۱۴۱ |
| شکل (۳۱-۴) مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی عمق جریان (y_2) بر اساس رابطه (۴۱-۴)..... | ۱۴۱ |
| شکل (۳۲-۴) مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی عمق جریان (y_2) بر اساس رابطه (۴۲-۴)..... | ۱۴۲ |
| شکل (۳۳-۴) مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی عمق جریان در خط مرکزی کانال به همراه پروفیل سطح آب بر روی تاج سرریز در شرایط مختلف هندسی و هیدرولیکی..... | ۱۴۳ |
| شکل (۳۴-۴) تغییرات پروفیل سطح آب در امتداد خط مرکزی کانال و بر روی تاج سرریز در شرایط هیدرولیکی مختلف..... | ۱۴۷ |
| شکل (۳۵-۴) تغییرات دبی عبوری از سرریز مرکب نسبت به عدد فرود جریان بالادست آن..... | ۱۴۸ |
| شکل (۳۶-۴) تغییرات دبی عبوری از سرریز نسبت به پارامتر $(y_1 - w)/w$ | ۱۴۹ |

فهرست جداول

| عنوان | صفحه |
|--|------|
| جدول (۱-۱) نوع پروفیل سطح آب در کانال با جریان خروجی (جین، ۱۳۸۳)..... | ۱۹ |
| جدول (۱-۲) روابط پیشنهادشده برای محاسبه ضریب دبی سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی..... | ۵۱ |
| جدول (۲-۲) روابط پیشنهادشده برای محاسبه ضریب دبی در سرریزهای جانبی لبه تیز مثلثی..... | ۵۲ |
| جدول (۳-۲) روابط پیشنهادشده برای محاسبه ضریب دبی در سایر سرریزهای لبه تیز ساده..... | ۵۲ |
| جدول (۴-۲) روابط پیشنهاد شده برای محاسبه ضریب تخلیه سرریز لبه تیز مرکب نرمال و جانبی..... | ۵۷ |
| جدول (۱-۳) محدوده آزمایش‌های سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی- مستطیلی در فلوم A..... | ۹۱ |
| جدول (۲-۳) مشخصات هندسی مقاطع سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی در فلوم A..... | ۹۱ |
| جدول (۳-۳) محدوده آزمایش‌های سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی-مستطیلی در فلوم B..... | ۹۱ |
| جدول (۴-۳) مشخصات هندسی مقاطع سرریز مرکب مستطیل - مستطیل در فلوم B..... | ۹۲ |
| جدول (۵-۳) محدوده آزمایش‌های سرریز جانبی لبه تیز مثلثی - مستطیلی در فلوم B..... | ۹۲ |
| جدول (۶-۳) مشخصات هندسی مقاطع سرریز مرکب مثلثی - مستطیل در فلوم B..... | ۹۲ |
| جدول (۱-۴) روابط ارائه شده توسط محققین برای سرریز لبه تیز مستطیلی ساده..... | ۱۱۳ |
| جدول (۲-۴) روابط ارائه شده توسط محققین برای سرریز لبه تیز مثلثی و مستطیلی ساده..... | ۱۱۵ |
| جدول (۳-۴) مقادیر میانگین خطای نسبی بر اساس روش اول تحقیق (برحسب درصد)..... | ۱۱۷ |
| جدول (۴-۴) مقایسه آماره‌های خطای دبی عبوری از سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب..... | ۱۱۹ |
| جدول (۵-۴) مقایسه آماره‌های ارزیابی مقادیر محاسباتی دبی عبوری از سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب..... | ۱۲۲ |
| جدول (۶-۴) محدوده آزمایش‌های سرریز جانبی لبه تیز مرکب برای تحقیق حاضر با ظهیری (۲۰۱۳)..... | ۱۲۴ |
| جدول (۷-۴) مقادیر انواع آماره‌های ارزیابی دبی محاسباتی سرریز جانبی لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی..... | ۱۲۹ |

فصل اول

مقدمه و کلیات

برداشت آب از مجاری روباز نظیر شبکه‌های انتقال آب و یا رودخانه‌ها به‌طور پیوسته و ثقلی، بدون نیاز به صرف انرژی اضافی نظیر پمپاژ، همواره مورد توجه بوده و بر این اساس سازه‌های هیدرولیکی متفاوتی طراحی و اجرا شده است. از این نوع سازه‌ها می‌توان به سرریزهای جانبی^۱ اشاره نمود که به طور قابل ملاحظه‌ای جهت برداشت آب از رودخانه‌ها، کانال‌های آبیاری و مخازن سدها استفاده می‌شوند. علاوه بر این، سرریزهای جانبی به‌طور وسیعی جهت کنترل سطح آب در سیستم کانال‌های آبیاری و زهکشی، همچنین در پروژه‌های حفاظت سیلاب برای خارج نمودن آب اضافی به درون کانال تخلیه و در سیستم‌های زهکشی شهری مورد استفاده قرار می‌گیرند. این سازه‌ها به‌عنوان سازه حفاظتی در بالادست سیفون‌های معکوس، زیرگذر جاده، محل‌های خطرناک و سیل‌خیز رودخانه‌ها و سرریز انتهایی برای تخلیه آب مازاد ناشی از بهره‌برداری نادرست آبگیرهای بالادست، در انتهای کانال‌های اصلی طراحی و نصب می‌شوند. سرریزهای جانبی در دیواره آبراهه یا کانال انتقال آب نصب می‌شوند و زمانی آبرگیری توسط سرریز آغاز می‌گردد که عمق جریان از ارتفاع لبه تاج سرریز بیشتر شود. با توجه به کاربردهای ذکر شده برای سرریز جانبی، این نوع سرریز باید دارای خصوصیتی باشد تا بتوان از آن به‌خوبی در شبکه‌های انتقال آب و یا رودخانه‌ها استفاده کرد. از جمله این خصوصیات می‌توان به اندازه‌گیری دقیق دبی عبوری از آن جهت آبرگیری مناسب از کانال و توانایی آن در خروج میزان قابل توجهی آب در زمان رخ دادن دبی‌های سیلابی در مکان‌هایی که این سازه به‌عنوان سازه‌های حفاظتی به کار می‌رود، اشاره کرد. سرریزهای جانبی ساده از قدیمی‌ترین و پرکاربردترین سرریزها محسوب می‌شوند که در مورد آن‌ها تحقیقات و مطالعات گسترده‌ای تاکنون انجام گرفته است. سرریزهای جانبی لبه تیز مستطیلی و مثلثی ساده از نمونه‌های متداول در شبکه‌های رودخانه و کانال‌های انتقال آب هستند. سرریز مستطیلی توانایی عبور دبی بیشتری را نسبت به نوع مثلثی دارد؛ اما در عوض دقت اندازه‌گیری شدت جریان در نوع مثلثی بیشتر است. از آنجایی که مقدار رواناب وارده به رودخانه‌ها و کانال‌ها به دلایل متعدد از جمله تغییر مقادیر

^۱ Side Weirs

بارش‌های فصلی و میزان برداشت متغیر می‌باشد به دنبال آن عمق جریان نیز تغییر می‌کند. از معایب سرریزهای ساده عدم بازدهی کافی در شرایط نوسانات شدید عمق جریان است. جهت غلبه بر این معضل ایده استفاده از سرریزهای مرکب^۱ می‌تواند به‌عنوان یک‌راه حل تلقی گردد. به‌طوری‌که همزمان با تغییرات دبی و عمق آب در کانال اصلی قابلیت انحراف جریان را حفظ نموده و علاوه بر آن بتوان دبی عبوری را در همه شرایط جریان در کانال محاسبه نمود؛ اما این مهم مستلزم شناخت دقیق رفتار هیدرولیکی و پارامترهای مؤثر بر تعیین دبی عبوری از سرریزهای جانبی لبه تیز^۲ است. بررسی‌ها نشان می‌دهد مطالعات کمی در مورد این نوع از سازه‌های هیدرولیکی انجام شده است و چون سرریزهای مرکب از ترکیب دو نوع سرریز ساده تشکیل می‌شود مسلماً دارای تنوع و گستردگی هندسه خواهد بود. لذا به دلایلی که ذکر گردید سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی و مثلثی - مستطیلی به‌صورت آزمایشگاهی و در شرایط جریان زیربحرانی^۳ مورد مطالعه قرار گرفتند. به‌منظور درک بهتر مباحث سرریز مرکب، در ادامه به کاربردها، انواع، مشخصات و معادلات حاکم بر جریان متغیر مکانی با کاهش دبی پرداخته شده است.

¹ Compound Weirs

³ Subcritical Flow

² Sharp Crested Side Weirs

۲-۱ تقسیم‌بندی سرریزها

به‌طور کلی سرریزها برحسب محل قرارگیری، ضخامت تاج، شکل هندسی تاج و این‌که آیا تمام یا قسمتی از عرض کانال را در بر گرفته‌اند، تقسیم‌بندی می‌شوند. در معمولی‌ترین تقسیم‌بندی بر اساس ضخامت تاج، سرریزها به دو گروه لبه تیز و لبه پهن^۱ تقسیم می‌شوند. همچنین سرریزها می‌توانند به شکل‌های مستطیلی^۲، مثلثی^۳، دوزنقه‌ای^۴ و سهموی^۵ یا ترکیبی از آن‌ها ساخته شود که در ادامه بیشتر تشریح می‌گردند.

۳-۱ معیارهای مرسوم تقسیم‌بندی سرریزها عبارت‌اند از:

الف - انواع سرریز از نظر موقعیت قرارگیری در کانال

ب - انواع سرریز از نظر وضعیت لبه تاج آن

ج - از نظر شکل هندسی

د - شرایط آزاد یا غرقابی^۶ بودن سرریز

ه - فشردگی^۷ یا عدم فشردگی جریان

۱-۳-۱ انواع سرریز از نظر موقعیت قرارگیری در کانال

الف - سرریز نرمال^۸: عمود بر راستای اصلی جریان در کانال نصب‌شده و بسیار مورد استفاده قرار می‌گیرند.

تعریف سرریز نرمال: هر مانعی که بر سر راه جریان در کانال قرار گیرد و باعث شود تا آب در پشت آن بالا آمده و بر سرعت آب در ضمن عبور از روی آن افزوده گردد، سرریز نرمال نامیده می‌شود.

سرریزهای نرمال از قدیمی‌ترین و پرکاربردترین نوع سرریزها در سیستم‌های انتقال آب در کانال‌های باز و رودخانه‌ها هستند. از مهم‌ترین دلایل به‌کارگیری سرریزهای نرمال اندازه‌گیری دبی عبوری جریان

¹ Broad - crested Weirs

² Rectangular

³ Triangular

⁴ Trapezoidal

⁵ Parabolic

⁶ Submerged Flow

⁷ Contracted

⁸ Normal Weir

و تنظیم عمق آب بالادست آن است، به طوری که در پروژه‌های کشاورزی علاوه بر امکان اندازه‌گیری شدت جریان عبوری سبب بالا آمدن آب شده و در صورت وجود کانال جانبی امکان توزیع آب را نیز فراهم می‌کند. شکل (۱-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای نرمال در طبیعت را نشان می‌دهد.



شکل (۱-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای نرمال مثلثی و مستطیلی

ب - سرریز جانبی: در کناره‌های طولی کانال و به موازی راستای اصلی جریان نصب می‌شوند. تعریف سرریز جانبی: سازه‌ای هیدرولیکی است که در راستای جریان و دیواره جانبی کانال نصب می‌شود تا علاوه بر انحراف جریان امکان اندازه‌گیری دبی عبوری از خود را نیز فراهم نماید. شکل (۲-۱) نمونه

هایی از سرریزهای جانبی بکار گرفته شده در پروژه‌های آبی را نشان می‌دهد.



شکل (۲-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای جانبی

ج - سرریز مورب^۱: جهت سرریز دارای زاویه‌ای کمتر از ۹۰ درجه با امتداد اصلی جریان در کانال است. مهم‌ترین کاربرد این سرریزها کنترل و کاهش نوسانات جریان عبوری از دهانه‌های آبگیر بدون دریچه تنظیم در رودخانه‌های فصلی با جریان‌های متغیر^۲ می‌باشد. در این سرریزها امکان استفاده از طول

^۱ Oblique Weir

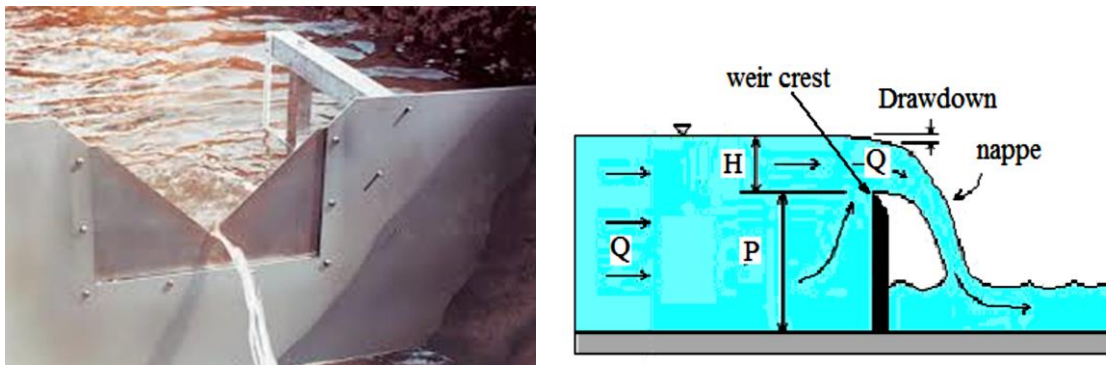
^۲ Varied Flow

سرریز نسبت به سرریزهای نرمال به دلیل مورب بودن بیشتر است.

۲-۳-۱ انواع سرریز از نظر وضعیت لبه تاج آن

الف - سرریزهای لبه تیز:

این نوع سرریزها عموماً از یک صفحه قائم کار گذاشته شده در مسیر جریان تشکیل شده که دارای لبه و تاجی نسبتاً تیز در بالا به ضخامت یک تا ۲ میلی‌متر می‌باشد. سرریزهای لبه تیز علاوه بر اینکه یک وسیله اندازه‌گیری دبی در کانال باز مورد استفاده قرار می‌گیرند، به‌عنوان یک سرریز که باعث افزایش ارتفاع و حجم آب در بالادست شده و آب از روی آن می‌گذرد نیز بکار می‌روند و از آنجایی که تئوری هیدرولیکی مربوط به این سرریزها به‌عنوان پایه و اساس محاسبات و طراحی سرریزهای لبه پهن (سرریز سدها) به کار می‌رود، از اهمیت خاصی برخوردارند. در شکل (۳-۱) شکل (۳-۱) نمونه‌ای از سرریزهای لبه تیز نشان داده شده است.



شکل (۳-۱) سرریزهای لبه تیز

ب - سرریزهای لبه پهن: در این نوع سرریزها، لبه سرریز به‌اندازه کافی پهن بوده و در مقایسه با سایر ابعاد، دارای اندازه قابل ملاحظه‌ای می‌باشد. تاج سرریزهای لبه پهن، افقی و یا دارای انحناء خاصی بوده و اگرچه برای اندازه‌گیری دبی نیز مورد استفاده قرار می‌گیرند، اما بیشتر به‌عنوان سرریز سدها و گاه به‌عنوان خود سد به کار می‌روند و در هر حال می‌توان در مواقع لزوم برای ذخیره نمودن حجم‌های زیاد آب و عمق بالا، از سرریزهای لبه پهن استفاده نمود. به علت اقتصادی بودن و سادگی در ساخت، سرریزهای لبه پهن به‌طور گسترده در سیستم‌های انتقال آب و به‌عنوان ابزاری برای اندازه‌گیری

شدت جریان و کنترل تراز سطح آب مورد استفاده قرار می‌گیرند. در شکل (۴-۱) چند سرریز لبه پهن نشان داده شده است.



شکل (۴-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای لبه پهن

۳-۳-۱ انواع سرریزهای متداول از نظر شکل هندسی:

الف - سرریزهای منفرد^۱ (ساده):

۱- سرریزهای مستطیلی: این سرریزها یکی از قدیمی‌ترین انواع سرریزهای منفرد است که در سازه‌های انتقال و رودخانه‌ها جهت تنظیم عمق آب بالادست و همچنین اندازه‌گیری دبی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در شکل (۵-۱) تعدادی از سرریزهای مستطیلی نشان داده شده است.



شکل (۵-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای مستطیلی شکل

۲- سرریزهای مثلثی شکل: این سرریزها نیز همچون سرریز مستطیلی از گذشته دور تاکنون به‌عنوان یکی از تجهیزات اندازه‌گیری شدت جریان مورد توجه و استفاده قرار داشته است. زوایای رأس این سرریز معمولاً ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه است که با داشتن پارامترهای هیدرولیکی و هندسی آن

^۱ Single Section

امکان تخمین دبی عبوری را فراهم می‌نماید. از مزایای این سرریز دقت بیشتر در اندازه‌گیری دبی است. شکل (۶-۱) سرریزهای مثلثی را نشان می‌دهد.



شکل (۶-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای مثلثی شکل

۳- سرریزهای دوزنقه‌ای شکل: این نوع سرریز بیشتر در کانال‌های انتقال آب کشاورزی بکار گرفته می‌شوند (شکل (۷-۱)). از مزایای این سرریزها امکان عبور بیشتر دبی است.



شکل (۷-۱) نمونه‌هایی از سرریزهای دوزنقه‌ای شکل

از دیگر انواع سرریزها بر اساس شکل که متداول‌تر است می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

۴- سرریزهای سهموی

۵- سرریزهای دایروی^۱

۶- سرریزهای اوجی^۲

۷- سرریزهای سیپولیتی^۳

^۱ Circular Spillway

^۲ Ogee Spillway

^۳ Cipolletti

۸- سرریزهای پلکانی^۱، سرریزهای سیفونی^۲، نیلوفری^۳ و ...

ب - سرریزهای مرکب:

این سرریزها از ترکیب سرریزهای ساده ساخته می‌شوند، به طوری که ابعاد بخش پایینی سرریز کوچک‌تر از قسمت فوقانی آن است. سرریزهای مرکب عموماً دارای دو تاج در ارتفاع از کف متفاوت هستند. از مزایای این سرریزها می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

- ۱- عبور جریان در دبی با تغییرات زیاد (در دبی‌های کم بخش تحتانی و در دبی‌های بالا از هردو مقطع)
- ۲- امکان زهکشی^۴ مناسب و تخلیه کانال در شرایط سیلابی
- ۳- جلوگیری از آسیب به سازه‌های پایین دست
- ۴- دارا بودن دقت مناسب اندازه‌گیری دبی جریان با داشتن حداقل مشخصات
- ۵- امکان عبور و تخلیه بیشتر رسوبات نسبت به حالت ساده

از آنجایی که بیشتر رودخانه‌ها و کانال‌های انتقال آب به صورت فصلی هستند یعنی مقدار شدت جریان عبوری و عمق آب در فصول مختلف سال به علت تغییرات بارندگی و حجم رواناب ورودی به داخل آن‌ها متغیر است و از طرفی به دلایل مختلف ممکن است مقدار برداشت و انحراف جریان از کانال اصلی و یا رودخانه تغییر کند، استفاده از سرریزهای مرکب به دلیل شکل هندسی خاص آن، می‌تواند به عنوان یک راه حل برای اهداف مذکور تلقی گردد. به عبارتی در مواقعی که عمق و دبی جریان داخل کانال اصلی کم باشد عبور جریان از بخش پایینی سرریز (به شکل سرریز ساده) و در شرایط پرآبی و اعماق جریان زیاد از هردو بخش سرریز (به شکل سرریز مرکب) انجام می‌گیرد. از ویژگی‌های مهم این نوع سرریزها امکان اندازه‌گیری دبی جریان است؛ اما این مهم مستلزم شناخت دقیق رفتار هیدرولیکی و پارامترهای مؤثر بر تعیین دبی عبوری از سرریزهای جانبی است. سرریزهای مرکب بر اساس شکل هندسی تقسیم‌بندی می‌شوند که متداول‌ترین آن‌ها عبارت‌اند از:

۱- مستطیلی - مستطیلی

¹ Stepped Spillway

² Siphon Spillway

³ Morning Glory Spillway

⁴ Drainage

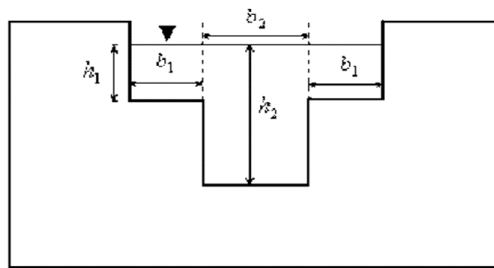
۲- مثلثی - مستطیلی

۳- مثلثی - دوزنقه‌ای

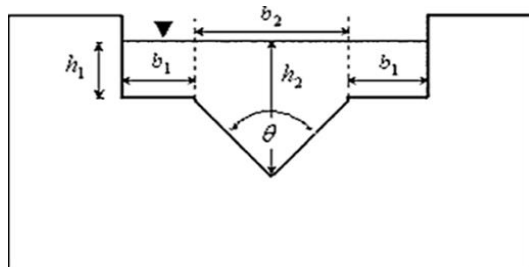
۴- مستطیلی - دوزنقه‌ای

۵- مثلثی - مثلثی و ...

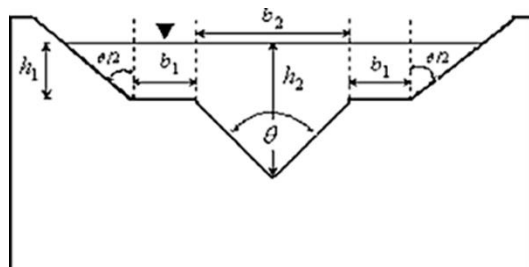
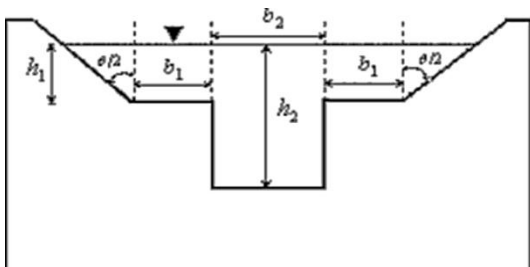
در ادامه شکل (۸-۱) برخی از سرریزهای مرکب را نشان می‌دهد که به صورت نرمال و جانبی مورد استفاده قرار می‌گیرند.



(الف)

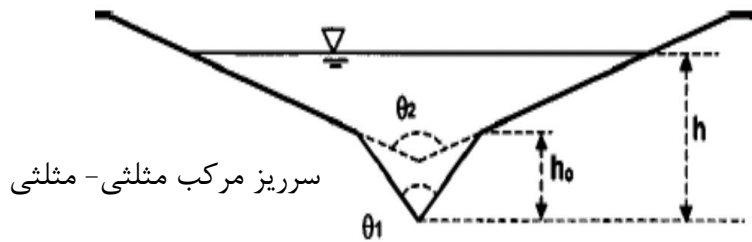


(ب)



(ج)

شکل (۸-۱) سرریزهای مرکب، الف: سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی، ب: سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی، ج: سرریز مرکب مثلثی - دوزنقه‌ای و مستطیلی - دوزنقه‌ای، د: سرریز مرکب مثلثی - مثلثی.

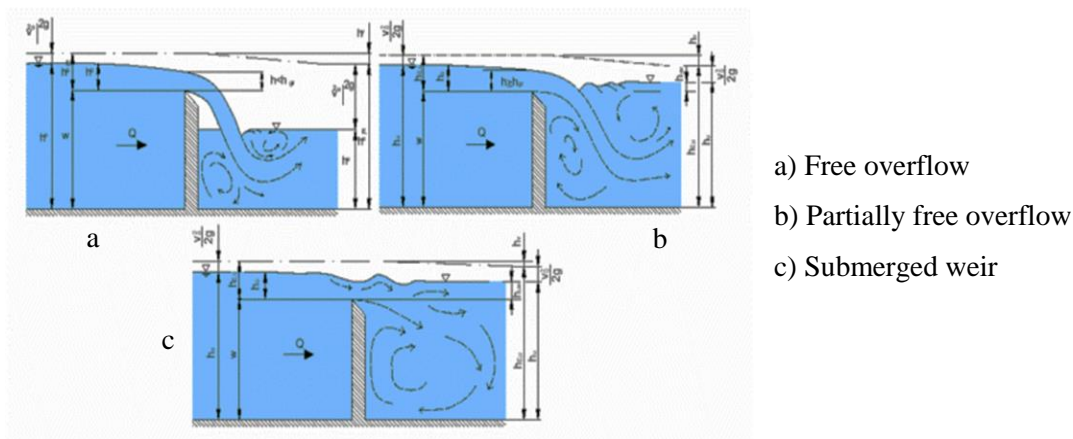


(د)

ادامه شکل (۸-۱)

۴-۳-۱ تقسیم‌بندی از نظر شرایط آزاد یا غرقابی بودن جریان:

در حالتی که سطح آب در پایاب آن قدر پایین باشد که آب آزادانه به داخل اتمسفر تخلیه شود جریان را آزاد گویند. چنانچه شکل (۹-۱) ملاحظه می‌گردد اگر سطح آب در پایاب اجازه ندهد که هوادهی^۱ زیر سفره آب انجام گیرد، مقدار جریان ممکن است به علت کم شدن فشار در پشت سفره افزایش یابد. هنگامی که سطح پایاب در بالاتر از $\frac{2}{3}$ ارتفاع آب تیغه قرار گیرد میزان غرقابی بر روی اندازه‌گیری دبی اثر می‌گذارد.



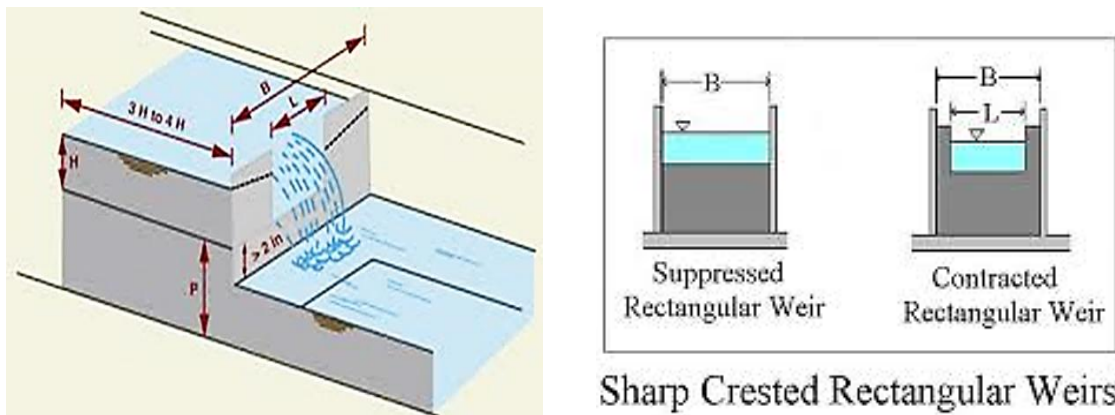
شکل (۹-۱) آزاد یا غرقابی بودن جریان عبوری از سرریز

۵-۳-۱ تقسیم‌بندی از نظر فشردگی یا عدم فشردگی جریان:

در حالتی که بین مقطع باز شده سرریز نرمال با دیواره‌ها و کف کانال یا حوضچه ورودی فاصله کافی

¹ Aerate

وجود داشته باشد جریان آب تا حد زیادی به‌طور یکنواخت و مستقل از شکل و شرایط کانال ورودی به‌طرف سرریز حرکت می‌کند. سرریز نرمالی که با این شرایط عمل کند، سرریز فشرده^۱ نامیده می‌شود. این معیار در سرریزهای مختلف متفاوت است. در شکل (۱-۱۰) پارامتر عمق آب روی سرریز (H) و ارتفاع تاج سرریز (P) نشان داده شده است. به‌طور کلی اگر $H \leq 2P$ باشد سرریز به‌صورت قسمتی فشرده عمل می‌کند.



شکل (۱-۱۰) شرایط فشرده‌گی و غیر فشرده‌گی مقطع سرریز نرمال

۴-۱ اهداف استفاده از سرریزها و کاربرد آنها:

- ۱- قابلیت اندازه‌گیری نسبتاً دقیق دبی عبوری
- ۲- انحراف جریان (با سازه‌های تقسیم آب به کار گرفته می‌شوند).
- ۳- تنظیم عمق آب بالادست آن
- ۴- هدایت سیلاب و تخلیه جریان
- ۵- سهولت ساخت و نصب آن

موارد کاربرد:

- ۱- سیستم‌های آبیاری و انتقال آب^۲
- ۲- زهکشی اراضی^۳

¹ Contracted Weir
² Water Conveyance Systems

³ Land Drainage

۳- کنترل سیلاب^۱

۴- فاضلاب شهری^۲

۵- امور بهداشتی^۳ و ...

۱-۵ سرریزهای جانبی

سرریز جانبی یک سازه کنترل هیدرولیکی است که برای انحراف آب از کانال اصلی به کانال جانبی، زمانی که سطح آب در کانال اصلی از حد مشخصی فراتر رود، طراحی و نصب می‌شود. همچنین این سازه دبی آب را به کانال جانبی به صورت آزاد و تحت شتاب ثقل زمین همانند سایر سرریزها تخلیه می‌کند.

سرریز جانبی از جمله سازه‌های مهم در شبکه‌های آبیاری و زهکشی نیز محسوب می‌گردد که به عنوان سازه حفاظتی در بالادست سیفون‌های معکوس و به عنوان سرریز انتهایی برای تخلیه آب مازاد ناشی از بهره‌برداری نادرست آبیگرهای بالادست در انتهای کانال‌های اصلی قرار می‌گیرد. از جمله کاربردهای دیگر این سازه‌ها می‌توان به انحراف سیل در پروژه‌های مهندسی رودخانه و سیستم‌های زهکشی شهری و شبکه دفع فاضلاب اشاره نمود.

بیشتر اوقات سرریز جانبی به منظور کنترل جریان و جلوگیری از افزایش آن در کانال بالادست، آب را به سمت کانال جانبی هدایت می‌کند و این عمل بایستی پیش از اینکه سطح آب در کانال اصلی بیش از حد معینی فراتر رود صورت گیرد؛ بنابراین سرریزهای جانبی، به عنوان محدودکننده تراز جریان هم در نظر گرفته می‌شوند.

۱-۵-۱ تئوری کلی سرریزهای جانبی

به طور کلی جریان حاکم در سرریزهای جانبی از نوع جریان‌های متغیر مکانی می‌باشد. یک جریان متغیر مکانی عبارت است از جریان متغیر تدریجی دائمی با دبی متغیری که در طول کانال و در جهت

¹ Flood control

² Sewage

³ Health Affairs

جریان، مقدار دبی آن تغییر می کند. به دلیل اینکه جریان دائمی است، در هر مقطع معین از سرریز تغییرات عمق جریان روی آن و دبی عبوری نسبت به زمان صفر می باشد؛ یعنی:

$$dy/dt \neq 0 \text{ و } dQ/dt \neq 0$$

نوع تغییرات دبی، این نوع جریان ها را به دو گروه تقسیم می کنند:

الف - جریان های متغیر مکانی با افزایش دبی

ب- جریان های متغیر مکانی با کاهش دبی

از آنجایی که جریان حاکم بر سرریزهای جانبی مورد مطالعه از نوع جریان متغیر مکانی با کاهش دبی است، در این بخش معادله دینامیکی آن به تفصیل ارائه می گردد.

۱-۵-۲ جریان متغیر مکانی با کاهش دبی

در این نوع جریان ها که موارد مثال آن در طبیعت فراوان مشاهده می شود (نظیر سرریزهای جانبی کناره کانال ها یا سرریزهای کناری و کف های مشبک)، در بیشتر حالت ها کاسته شدن جریان سبب تغییرات فراوان و مشخص آنی در جریان نشده و لذا می توان افت انرژی را مساوی صفر قرار داده و از معادله انرژی استفاده نمود.

۱-۲-۵-۱ فرضیات

- ۱- توزیع فشار در مقاطع، هیدرو استاتیکی در نظر گرفته می شود.
- ۲- جریان یک بعدی در نظر گرفته می شود (برای اعمال اثر توزیع غیر یکنواخت سرعت در مقطع، ضریب تصحیح سرعت در معادله انرژی α در نظر گرفته می شود).
- ۳- افت اصطکاکی بر اساس معادله مانینگ تعیین می گردد.
- ۴- از اثر مومنتم جریان انحرافی بر جریان در کانال اصلی صرف نظر می شود.
- ۵- جریان دائمی در نظر گرفته می شود.
- ۶- کانال منشوری شکل و دارای شیب کم در نظر گرفته می شود.

در هر مقطع کانال، کل انرژی نسبت به یک سطح مبنا برابر است با:

$$H = Z + y + \frac{\alpha Q^2}{2gA^2} \quad (1-1)$$

چنانچه از معادله بالا نسبت به محور طولی کانال (x) مشتق گرفته می‌شود:

$$\frac{dH}{dx} = \frac{dZ}{dx} + \frac{dy}{dx} + \frac{\alpha}{2g} \left(\frac{2Q}{A^2} \cdot \frac{dQ}{dx} - \frac{2Q^2}{A^3} \cdot \frac{dA}{dx} \right) \quad (2-1)$$

در این معادله:

$$\frac{dA}{dx} = \frac{dA}{dy} \cdot \frac{dy}{dx} = B \frac{dy}{dx}, \quad \frac{dZ}{dx} = -S_0, \quad \frac{dH}{dx} = -S_f \quad (3-1)$$

می‌باشد که با جایگذاری آن در رابطه (۱-۲)، رابطه زیر حاصل می‌گردد (هندرسون ۱۹۶۶):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2} \right) \cdot \left(\frac{dQ}{dx} \right)}{1 - \alpha Q^2 \cdot \frac{B}{gA^3}} = \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2} \right) \cdot \left(\frac{dQ}{dx} \right)}{1 - \alpha Fr^2} \quad (4-1)$$

معادله فوق به معادله جریان‌های متغیر مکانی با کاهش دبی مرسوم است؛ که در آن Fr و Q به ترتیب عدد فرود و دبی جریان در بالادست سرریز کانال اصلی، L طول سرریز، B عرض کانال اصلی، α ضریب تصحیح سرعت در معادله انرژی، S_0 شیب طولی کانال، S_f شیب خط انرژی، g شتاب ثقل، A سطح مقطع کانال و dQ/dx تغییرات دبی در طول سرریز جانبی است.

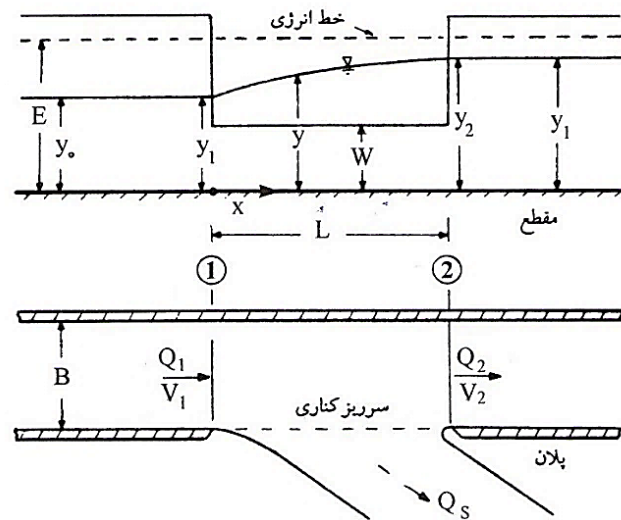
در این نوع از جریان مقدار (dQ/dx) کاملاً مشخص نبوده و لذا تعیین مقطع جریان بحرانی به‌عنوان یک نقطه کنترل مشکل خواهد بود. بنابراین برای رسم پروفیل سطح جریان، قبل از هر چیز لازم است تا معادله (dQ/dx) مشخص شده و پس از آن به کمک یکی از روش‌های عددی اقدام به محاسبه پروفیل مزبور نمود. رابطه (dQ/dx) تابعی از خصوصیات و مشخصات جریان است که بسته به شکل هندسی سرریز تغییر می‌کند.

۱-۵-۳ پروفیل‌های جریان در سرریزهای جانبی

انواع پروفیل‌های جریانی که عموماً در سرریزهای جانبی به وجود می‌آید (هندرسون ۱۹۶۶)، عبارتند از:

الف - نوع ۱ در این حالت کانال دارای شیب ملایم و $w > y_{c1}$ می‌باشد جایی که y_{c1} عبارت است

از عمق بحرانی دبی ورودی Q_1 در مقطع ۱ شکل (۱۱-۱). در انتهای پایین دست، عمق نرمال کانال با دبی Q_2 حاکم بوده و لذا $y_2 = y_t$ که عمق پایاب در نظر گرفته شده است. عمق جریان در مقطع ۱، (y_1) از y_{c1} بیشتر و از عمق نرمال کانال بالادست که دارای شدت جریان $Q_0 = Q_1$ است، کمتر می باشد. با استفاده از معادله انرژی مخصوص، واضح است که در شرایط زیر بحرانی و با توجه به شیب ملایم کانال، عمق جریان به تدریج در طول سرریز افزایش یافته تا از y_1 به y_2 برسد. مقطع کنترل برای این حالت عمق جریان پایین دست $y_2 = y_t$ خواهد بود.



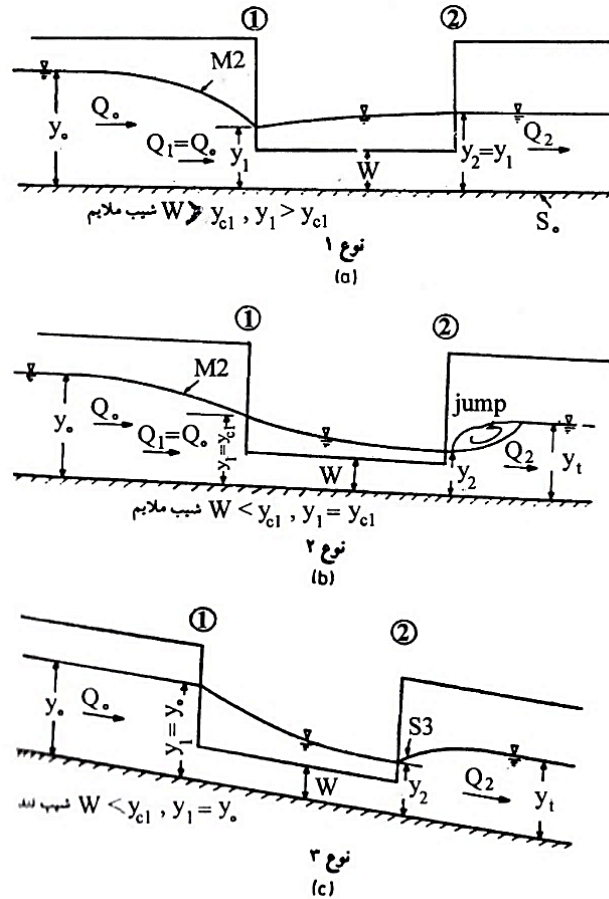
شکل (۱۱-۱) شمای یک سرریز جانبی

ب - نوع ۲ کانال مطابق شکل (۱۲-۱) دارای شیب ملایم ($y_0 > y_{c1}$) ولی $W < y_{c1}$ می باشد. چنانچه سرریز طولانی باشد، امکان ایجاد جریانی با عمق کمتر از عمق بحرانی وجود دارد. در انتهای بالادست سرریز عمق y_1 می تواند مساوی y_{c1} در نظر گرفته شود و در پایین دست عمق y_2 از طریق یک پرش^۱ به y_t خواهد رسید. لازم به ذکر است که بسته به عمق پایاب، پرش می تواند به داخل منطقه سرریز نفوذ کرده و مقطع کنترل برای نیمرخ نوع ۲، مقطع ۱ خواهد بود.

ج - نوع ۳ شیب کانال تند ($y_0 < y_{c1}$) و $W < y_{c1}$ است. در طول سرریز به تدریج عمق جریان از $y_1 = y_0$ در مقطع ۱ کاهش پیدا کرده و در مقطع ۲ به حداقل خود می رسد و از آنجا برای رسیدن به

^۱ Jump

عمق جریان پایاب (y_t) پروفیل سطح آب ناحیه S_3 را طی می‌کند. مقطع کنترل این نوع جریان $y_1 = y_0$ در ابتدای سرریز است.



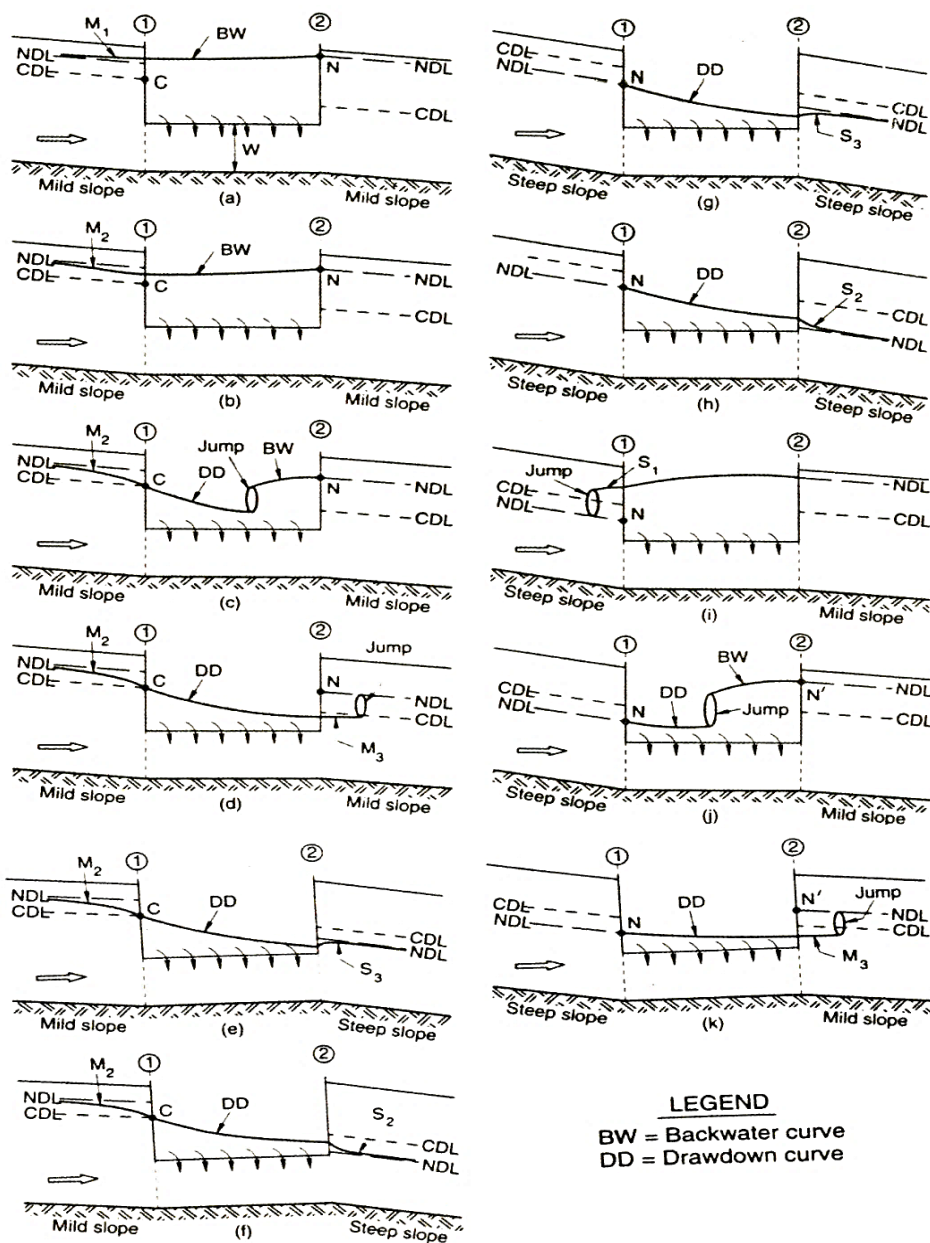
شکل (۱-۱۲) انواع جریان‌های ممکن بر روی سرریزهای جانبی

هم‌چنین پروفیل‌های جریان برای حالت‌های مختلف در بازه‌های ۱ و ۲ در جدول (۱-۱) به‌طور کامل خلاصه‌شده و مطابق شکل (۱-۱۳) مورد بررسی قرار گرفته‌اند که خود گویای مطلب هست.

جدول (۱-۱) نوع پروفیل سطح آب در کانال با جریان خروجی (جین، ۱۳۸۳)

| پروفیل جریان | | بازه ۱ | کنترل فعال | شکل | کنترل | شیب | بازه ۱ |
|--------------------|--------|----------------|-------------|-------|-------------|---------|---------|
| بازه ۲ | تبدیل | بازه ۱ | کنترل فعال | شکل | کنترل | شیب | بازه ۱ |
| UF | BW | M _۱ | N در مقطع ۲ | ۱۳-۲a | C در مقطع ۱ | ملازم M | ملازم M |
| UF | BW | M _۲ | N در مقطع ۲ | ۱۳-۲b | | | |
| UF | DD & J | M _۲ | C در مقطع ۱ | ۱۳-۲c | | | |
| M _۳ & J | DD | M _۲ | C در مقطع ۱ | ۱۳-۲d | | | |
| S _۳ | DD | M _۲ | C در مقطع ۱ | ۱۳-۲e | C در مقطع ۱ | تند S | ملازم M |
| S _۲ | DD | M _۲ | C در مقطع ۱ | ۱۳-۲f | | | |

| پروفیل جریان | | | ادامه جدول (۱-۱) | | | | |
|--------------------|--------------|--------------------|----------------------------|-------|-------------|---------|-------|
| S _۳ | DD | UF | N در مقطع ۱ | ۱۳-۲g | ۱ در مقطع N | تند S | تند S |
| S _۲ | DD | UF | N در مقطع ۱ | ۱۳-۲h | | | |
| M _۳ & J | DD | UF | N در مقطع ۱ | ۱۳-۲i | ۱ در مقطع N | ملايم M | تند S |
| UF | BW | J & S _۱ | ۲ در مقطع N | ۱۳-۲j | | | |
| UF | DD & J BW | UF | ۱ در مقطع N ۲ در مقطع N | ۱۳-۲k | | | |



شکل (۱-۱۳) حالت‌های مختلف پروفیل جریان در سرریزهای جانبی (جین، ۱۳۸۳)

۶-۱ اهداف تحقیق

اهداف پژوهش حاضر را می‌توان در قالب سؤالات زیر ارائه نمود:

۱- آیا تئوری‌ها و فرضیات حاکم بر سرریزهای جانبی لبه تیز ساده در سرریزهای مرکب نیز قابل کاربرد است؟

با بررسی تحقیقات گذشته مشخص شد که باوجود مطالعات فراوان در زمینه سرریزهای جانبی لبه تیز ساده، سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب که توانایی اندازه‌گیری دقیق دبی عبوری و خروج میزان قابل توجهی از جریان در زمان رخداد سیلاب را دارد، تاکنون مورد توجه اندکی قرار گرفته‌اند. یکی از مطالعاتی که در این زمینه لازم است انجام شود آن است که آیا فرضیات و روابط بنیادی جریان عبوری از سرریزهای جانبی لبه تیز ساده در نوع مرکب نیز اعتبار دارد؟

۲- آیا می‌توان دبی کل عبوری از سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب را از مجموع دبی‌های جزء محاسبه شده به کمک ضرایب دبی^۱ پیشنهادی توسط سایر محققین برای مقاطع ساده، با دقت مناسب تعیین نمود؟

در مطالعاتی که توسط برخی از محققین همچون مارتینز و همکاران^۲ (۲۰۰۵) به همراه پیراتیپان و همکاران^۳ (۲۰۰۶) بر روی سرریزهای لبه تیز مرکب نرمال انجام گرفته است سرریز مرکب به دو یا چند سرریز ساده تجزیه، سپس به کمک روابط پیشنهادی ضرایب دبی برای سرریزهای ساده و بر اساس پارامترهای هندسی مربوط به هر بخش، دبی عبوری جزء تعیین و از مجموع آن دبی کل عبوری از سرریز مرکب محاسبه گردیده است. لازم به توضیح است که پارامترهای هیدرولیکی مؤثر بر تعیین دبی از جمله عمق جریان بالادست در سرریزهای نرمال برای تمام بخش‌های جزء سرریز یکسان است درحالی‌که در سرریزهای جانبی این‌گونه نبوده و به همین دلیل شرایط در نوع سرریز جانبی کمی شرایط پیچیده‌تر می‌گردد.

۳- به چه روش‌هایی می‌توان دبی کل عبوری از سرریز مرکب را برآورد کرد؟ کدام روش از دقت بیشتری

¹ Discharge Coefficient

³ Piratheepan et al. (2006)

² Martinez et al. (2005)

در برآورد دبی عبوری از سرریز برخوردار است؟

در پژوهش‌های گذشته محققین بسیاری ضریب دبی و دبی عبوری از سرریز لبه تیز ساده را به روش‌های مختلفی از جمله مستقیم^۱ (استفاده مستقیم از روابط تغییرات دبی در طول سرریز)، دیمارچی^۲ (رابطه بنیادی ارائه شده توسط دی مارچی در سال ۱۹۳۴) و روش المانی^۳ (تجزیه سرریز به المان‌های متعدد و حل همزمان معادلات جریان متغیر مکانی با کاهش دبی به همراه روابط تغییرات دبی در طول سرریز در هریک در المان‌ها به کمک روش رانگ - کوتا و الگوریتم ژنتیک) برآورد نموده‌اند؛ اما تاکنون قابلیت به کارگیری همه این روش‌ها در سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مورد توجه قرار نگرفته است. در این پژوهش سعی بر آن است چگونگی و میزان دقت روش‌های مذکور برای تعیین ضریب دبی و دبی کل عبوری از سرریز مرکب مورد بررسی جامع قرار گیرد. از آنجایی که برای طراحی هر نوع سرریز، تعیین مقادیر ضریب دبی ضروری است، لذا ارائه روابط مذکور در توسعه کاربرد سرریزهای جانبی مرکب در کانال‌ها و دستگاه‌های انتقال و توزیع آب مؤثر خواهند بود. بررسی میزان دقت محاسبات مستلزم تعیین آماره‌های خطا برای هر یک از روابط پیشنهادی در سه روش مذکور است که با تحلیل آن امکان پاسخگویی به سؤال را فراهم می‌کند. اگرچه فقط مقدار خطا ملاک انتخاب نوع روش محاسبات نخواهد بود.

۴- آیا امکان ارائه روابط برای محاسبه ضریب دبی کل مقطع مرکب سرریز با توجه به تغییرات مشخصات

هندسی در طول آن وجود دارد؟ چنانچه پاسخ مثبت باشد چه راهکاری پیشنهاد می‌شود؟

از آنجایی که در سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب از جمله مقاطع مستطیلی - مستطیلی و مثلثی - مستطیلی مشخصات هندسی شامل طول و ارتفاع تاج متغیر است و در تمامی معادلات حاکم که سرریزهای ساده را دربر می‌گیرد پارامترهای مذکور ثابت می‌باشد ضروری است با ارائه راهکاری بتوان این معادلات را در سرریزهای مرکب نیز تعمیم داد.

۵- در هریک از روش‌های محاسبه دبی عبوری از سرریز، ضریب دبی به چه پارامترهایی وابسته است؟

¹ Direct

³ Elementary

² De Marchi

برای ارائه روابط تعیین ضریب دبی، یافتن پارامترهای مؤثر بر آن بسیار ضروری است. در روابط پیشنهادی محققین مختلف برای سرریزهای ساده، پارامترهای بی بعد مؤثر متعددی مدنظر قرار گرفته است که برخی از آنها همچون عدد فرود جریان در بالادست سرریز عمومیت بیشتری دارد. یکی از روش‌های متداول برای تعیین پارامترهای بی بعد مؤثر استفاده از روش آنالیز ابعادی است. شاید بتوان اذعان کرد که شرایط هیدرولیکی و هندسی آزمایش‌ها در تعیین این پارامترهای بی بعد تأثیرگذار باشد. به عبارتی هرچقدر مشخصات هندسی سرریزها و کانال به همراه شرایط هیدرولیکی جریان متنوع‌تر باشد بررسی پارامترهای مؤثر نیز جامع‌تر خواهد بود که لحاظ آن در روابط سبب افزایش بیشتر دقت محاسبات می‌گردد. در این پژوهش تلاش شده است با متنوع نمودن مشخصات هندسی سرریزها، فلوم و شرایط جریان آزمایش‌ها تأثیر پارامترهای بی بعد مؤثر با دقت بیشتری کنترل گردد.

۶- شیب طولی کانال چه تأثیری بر ضریب دبی سرریز مرکب دارد؟

از آنجایی که در بیشتر تحقیقات گذشته بر روی سرریزهای ساده از تأثیر شیب طولی کانال بر مقادیر دبی عبوری به روش‌های مستقیم و دیمارچی صرف نظر گردیده، با تکرار آزمایش‌ها در دو شیب طولی متفاوت برای برخی از مقاطع اثر این پارامتر در روابط سرریزهای مرکب بررسی می‌شود. لازم به توضیح است که در روش المانی تأثیر شیب طولی در معادلات پایه لحاظ شده است.

همچنین جهت بررسی دقیق رفتار سازه‌های هیدرولیکی در بسیاری مواقع لازم است که مدل‌های آزمایشگاهی از سازه موردنظر، به گونه‌ای مورد تحلیل قرار گیرند که اثرات تغییر ابعاد هندسی سازه و یا کانال بر روی مشخصات هیدرولیکی به طور کامل لحاظ شود. قیود اجرایی و اقتصادی معمول مدل‌های هیدرولیکی را به سمت کوچک شدن هر چه بیشتر پیش می‌برد که به تبع آن تأثیرات مقیاس اهمیت بیشتری پیدا می‌کند. از طرفی در مقیاس‌های خیلی کوچک خطای اندازه‌گیری مشخصات جریان نیز افزایش می‌یابد. در اکثر مباحث هیدرولیکی که نیروی ثقل بر عملکرد جریان حاکم است، مبنای پایه مدل‌سازی، عدد فرود^۱ می‌باشد. این عدد تضمین‌کننده تشابه نیروهای اینرسی و ثقل مدل با نمونه

^۱ Froude Number

واقعی^۱ است. به منظور تحقیق مطلب اخیر در سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب برخی از آزمایش‌ها در دو فلوم با ابعاد و مشخصات متفاوت انجام شده که با بررسی نتایج می‌توان میزان تأثیر این تغییرات و همچنین دقت روابط پیشنهادی را ارزیابی نمود.

رساله حاضر در پنج فصل نگارش و تدوین شده است. فصل اول که شامل مقدمه و کلیات بود. تحقیقات گذشته و سوابق مطالعاتی در زمینه سرریزهای لبه تیز جانبی در فصل دوم ارائه شده است. فصل سوم رساله تئوری و معادلات حاکم، روش‌های محاسبه ضرایب دبی و پروفیل سطح آب به همراه معرفی تجهیزات و دستگاه‌های مورد استفاده و نحوه انجام آزمایش‌ها را شامل می‌گردد. نتایج تحقیق و بحث در فصل چهارم ارائه شده است و فصل پنجم هم خلاصه نتایج، دستاوردهای تحقیق و پیشنهادها را در برمی‌گیرد. منابع مورد استفاده در تحقیق به همراه مقالات استخراج شده از این پژوهش به همراه سایر مطالب مورد نیاز نیز به صورت پیوست ارائه گردیده است.

^۱ Prototype

فصل دوم

مروری بر تحقیقات گذشته

اولین تحقیقات در مورد سرریزهای جانبی از اوایل قرن ۱۹ میلادی آغاز شد که منتهی به ارائه معادله ارزشمند دیمارچی در سال ۱۹۳۴ گردید. دیمارچی سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی را مورد مطالعه قرار داد. وی در تحقیقات خود با صرف نظر از افت انرژی در طول سرریز و لحاظ سایر فرضیات، حل تحلیلی معادلات حاکم بر جریان در محدوده سرریزهای جانبی را ارائه نمود. ایشان در روابط خود ضریب دبی دیمارچی (آبگذری) را به عنوان یک پارامتر ضروری در تعیین دبی عبوری از سرریز معرفی نمود. به دلیل عدم شناخت کافی از عوامل مؤثر بر ضریب دبی و چگونگی تعیین آن، بیشتر تحقیقات پس از وی در راستای ارائه روابط جهت برآورد و تخمین دقیق تر این ضریب بوده است. به طور کلی مطالعاتی که در زمینه سرریزهای جانبی انجام شده اند به صورت زیر طبقه بندی می شوند:

۱. محاسبه ضریب دبی سرریز و بررسی مسائل مربوط به آن در سرریزها در شرایط هیدرولیکی مختلف
 ۲. تعیین پروفیل سطح آب در سرریزهای جانبی
 ۳. ارائه روش های مختلف برای طراحی آبگیرهای جانبی
 ۴. انجام تمهیدات لازم برای رفع مشکلات کارکرد آبگیرهای جانبی در شبکه های انتقال آب
- در ادامه تعدادی از پژوهش هایی که تاکنون توسط محققین مختلف در زمینه های فوق الذکر انجام شده به صورت مختصر ارائه می شود.

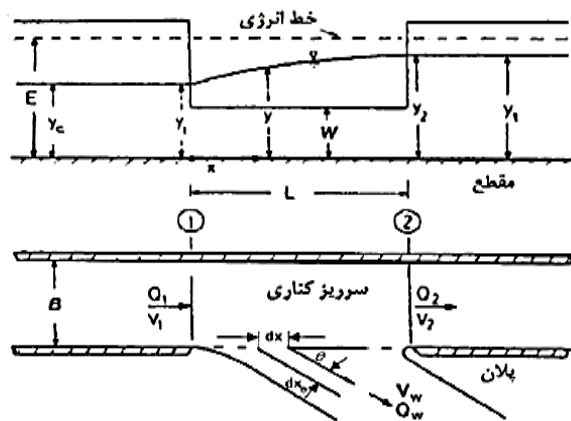
۲-۲ مطالعات انجام گرفته در زمینه سرریزهای جانبی لبه تیز ساده

۱-۲-۲ مطالعات سابرامانیا و آواستی^۱ (۱۹۷۲)

سابرامانیا و آواستی (۱۹۷۲) معادله دیفرانسیل عمومی جریان متغیر مکانی با کاهش دبی در یک کانال مستطیلی افقی را که در دیواره آن مطابق شکل (۲-۲) یک سرریز جانبی لبه تیز با ارتفاع تاج صفر یا محدود نصب شده را در نظر گرفتند و با انجام آزمایش ها متعدد برای حالت های جریان زیر بحرانی و

¹ Subramanya and Awasthy

فوق بحرانی، روابطی را جهت محاسبه ضریب دبی سرریزهای مذکور پیشنهاد کردند. این مطالعات که در آزمایشگاه انستیتو فناوری هندوستان واقع در شهر کانپور انجام گرفت، به طور کلی مکانیک جریان به همراه تغییرات ضریب دیمارچی در سرریزهای جانبی را با دقت مدنظر قرار داده است.



شکل (۱-۲) نمایی کلی از یک سرریز جانبی (سابرامانیا و آواستی، ۱۹۷۲)

سابرامانیا و آواستی (۱۹۷۲) برای تعیین ضریب دبی (C_m) رابطه زیر را به صورت تجربی ارائه دادند:

$$C_m = C_m^* \sqrt{1 - \left(\frac{3Fr_1^2}{Fr_1^2 + 2} \right)} \quad (1-2)$$

که در آن C_m^* نمایانگر ضریب ثابت انقباض است.

مقدار ضریب انقباض C_m^* در اثر عبور جریان از روی سرریز با ارتفاع تاج صفر است را می توان برابر

۰,۶۱۱ انتخاب نمود. در این صورت رابطه (۱-۲)(۱-۲) به شکل زیر خواهد شد:

$$C_m = 0.611 \sqrt{1 - \left(\frac{3Fr_1^2}{Fr_1^2 + 2} \right)} \quad (2-2)$$

که در آن Fr_1 نشان دهنده عدد فرود جریان در بالادست سرریز است.

سابرامانیا و آواستی (۱۹۷۲) با تجزیه و تحلیل داده ها نتایج زیر را عنوان کردند:

الف- در جریان های زیر بحرانی با ارتفاع تاج سرریز صفر، داده های آزمایشگاهی با نتایج حاصل از رابطه

(۱-۲)(۱-۲) همخوانی مناسبی داشته و پارامترهای بی بعد L/B ، y_1/L و w/y_1 تأثیر اندکی بر ضریب

C_m دارند.

ب- در جریان فوق بحرانی ضریب دبی به کندی با مقادیر Fr_1 تغییر می کند، برای تعیین ضریب دبی در این حالت از رابطه زیر استفاده می شود:

$$C_m = 0.36 - 0.08Fr_1 \quad (3-2)$$

ج- رابطه دیمارچی را می توان در صورت تعیین مقادیر C_m جهت محاسبه میزان دبی انحراف از سرریز مورد استفاده قرار داد.

د- ضریب دبی سرریز با ارتفاع تاج محدود تقریباً برابر ضریب دبی سرریز با ارتفاع تاج صفر است.

۲-۲-۲ یوتج^۱ (۱۹۷۲)

یوتج در سال ۱۹۷۲ با مطالعه کارهای سابرامانیا و آواستی ابراز کرد که معادله ارائه شده توسط ایشان برای ارتفاع سرریز ($w > 0$) و عدد فرود ($Fr > 0.6$) دارای خطا است و رابطه ای را برای تعیین ضریب شدت جریان در سرریزهای جانبی مستطیل شکل پیشنهاد کرد.

۳-۲-۲ نادسوراتی و تامسون^۲ (۱۹۷۲)

نادسوراتی و تامسون^۳ ضمن نقد و بررسی روابط ضریب شدت جریان سابرامانیا و آواستی رابطه ای را برای محاسبه ضریب تخلیه جریان ارائه نمودند.

۴-۲-۲ مطالعات رانگراجو و همکاران^۴ (۱۹۷۹)

تحقیقات رانگراجو و همکاران (۱۹۷۹) در ابتدا به منظور بررسی صحت معادله دیمارچی در برآورد میزان تخلیه جریان از سرریزهای جانبی لبه تیز و لبه پهن انجام شد و در نهایت منجر به ارائه روابطی به منظور محاسبه ضریب دبی برای سرریزهای شکل (۲-۲) و شکل (۳-۲) گردید. در این تحقیق جداشدگی جریان از گوشه بالادست سرریز جانبی کاملاً مشهود بوده و خروج آب به سمت پایین دست سرریز افزایش می یابد. به همین دلیل و با توجه به توزیع غیریکنواخت جریان، برای محاسبه ضریب دبی

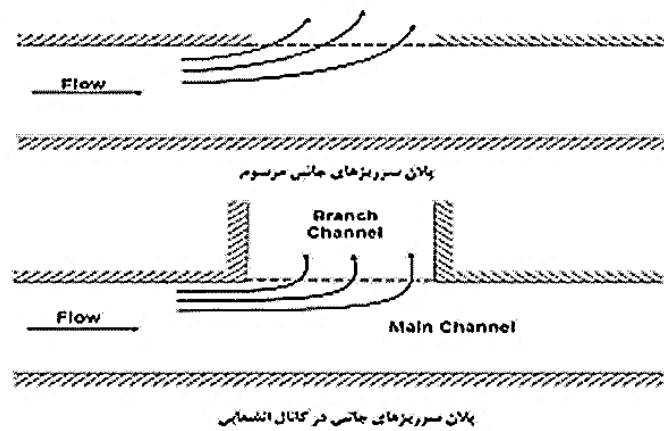
¹ Yu-Tek

² Nadesamoorthy and Thomson

³ Nadesamoorthy and Thomson

⁴ Ranga Raju et al.

سرریز جانبی پارامتر عرض مؤثر B_e در نظر گرفته شد.

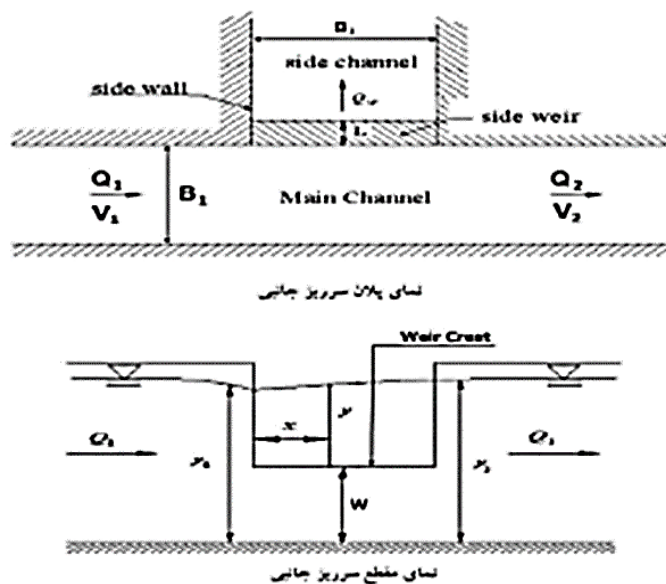


شکل (۲-۲) نمایی از خطوط جریان در سرریزهای جانبی (رانگاراچو و همکاران، ۱۹۷۹)

با فرض ثابت بودن طول سرریز، رابطه زیر برای سرریزهای نصب شده در دیواره کانال مستطیلی ارائه شد:

$$C_m = \frac{3 B_1}{2 B_2} \left(F \left(\frac{y}{E} \right)_2 - F \left(\frac{y}{E} \right)_1 \right) \quad (4-2)$$

که در آن B_1 عرض کانال اصلی، B_2 عرض سرریز و E انرژی مخصوص است.



شکل (۳-۲) پلان و مقطع سرریز جانبی لبه پهن (رانگاراچو و همکاران، ۱۹۷۹)

با توجه به توضیحات فوق می توان نوشت:

$$C_m = \frac{3 B_1}{2 B_e} \left(F \left(\frac{y}{E} \right)_2 - F \left(\frac{y}{E} \right)_1 \right) \quad (5-2)$$

این محققین ضمن مقایسه نتایج با داده‌های آزمایشگاهی نشان دادند که استفاده از B_e به صورت زیر، در رابطه (5-2) بسیار مناسب می‌باشد:

$$B_e = B_2 - 0.05 \quad (6-2)$$

همچنین رابطه زیر را برای تعیین ضریب دبی سرریز جانبی لبه تیز پیشنهاد نمودند:

$$C_m = 0.81 - 0.6Fr_1 \quad (7-2)$$

ایشان متذکر شد میزان تخلیه جریان بر روی سرریز لبه پهن هنگامی که سرریزها به طور معمول در راستای جریان آب قرار دارند، کمتر از میزان تخلیه در سرریز لبه تیز است. همچنین رابطه تعیین ضریب دبی سرریز لبه تیز را به صورت زیر ارائه دادند:

$$C_m = (0.81 - 0.6Fr_1) \left(0.8 + 0.1 \frac{y_1 - w}{L} \right) \quad (8-2)$$

که در آن y_1 عمق جریان در بالادست سرریز، L و w به ترتیب طول و ارتفاع تاج سرریز می‌باشند.

۵-۲-۲ مطالعات کومار و پاتاکی^۱ (۱۹۸۷)

کومار و پاتاکی (۱۹۸۷) سرریز جانبی لبه تیز مثلثی در شرایط جریان زیر بحرانی را به صورت آزمایشگاهی بررسی کردند. ایشان پس از انجام آزمایش‌های متعدد ضریب دبی سرریز را محاسبه و روابط زیر را پیشنهاد دادند:

$$C_m = 0.642 - 0.042Fr_1 \quad \theta = 60^\circ \quad (9-2)$$

$$C_m = 0.668 - 0.381Fr_1 \quad \theta = 90^\circ \quad (10-2)$$

$$C_m = 0.619 - 0.203Fr_1 \quad \theta = 120^\circ \quad (11-2)$$

این روابط که برای سرریزهای مثلثی با زوایای رأس مختلف (۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه) ارائه شده فقط تابعی از عدد فرود جریان در بالادست سرریز می‌باشند. کومار و پاتاکی (۱۹۸۷) از پارامتر (w/y_1) در روابط

¹ Kumar and Pathak

پیشنهادی به دلیل ناچیز بودن تأثیر آن صرف نظر نمودند.

۶-۲-۲ هاگر^۱ (۱۹۸۷)

هاگر با انجام آزمایش متعدد ضمن صادق ندانستن فرض رابطه دبی سرریز نرمال در سرریزهای جانبی فرمول جدیدی را برای سرریزهای جانبی پیشنهاد کرد و اظهار داشت که ضریب شدت جریان وابسته به پارامترهای سرعت به عمق جریان، زاویه جریان خروجی و شکل کانال می‌باشد.

۷-۲-۲ چیونگ^۲ (۱۹۹۱)

چیونگ^۳ در سال ۱۹۹۱ تحقیقات خود را بر روی سرریزهای جانبی مستطیلی در کانال‌های ذوزنقه‌ای متمرکز نمود و رابطه‌ای برای محاسبه ضریب دبی (تخلیه) در این حالت ارائه داد.

۸-۲-۲ مطالعات سوامی و همکاران^۴ (۱۹۹۴)

در مطالعه سوامی و همکاران (۱۹۹۴) برای نخستین بار روش عددی جهت حل همزمان معادله دیمارچی و معادله دینامیکی جریان متغیر مکانی مورد توجه قرار گرفت. ایشان با معرفی ضریب دبی المانی توانست مقدار دبی انحراف از سرریزهای جانبی لبه تیز و لبه پهن مستطیلی و مثلثی شکل (۴-۲) را با دقت مناسب محاسبه نماید. از مزایای این روش امکان تعیین پروفیل سطح جریان در کانال اصلی و در محل قرارگیری سرریز است.

سوامی (۱۹۸۸) نشان داد که ضریب دبی المانی تابعی از نسبت عمق جریان روی سرریز به ارتفاع تاج سرریز است. معادله زیر فرم کلی رابطه سوامی و همکاران (۱۹۹۴) است که برای تعیین ضریب دبی المانی سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی در شرایط جریان زیربحرانی ارائه شد:

$$C_e = K_0 \left[\left(\frac{K_1}{K_2 + \eta_w} \right)^{K_3} + \eta_w^{K_4} \right]^{K_5} \quad (۱۲-۲)$$

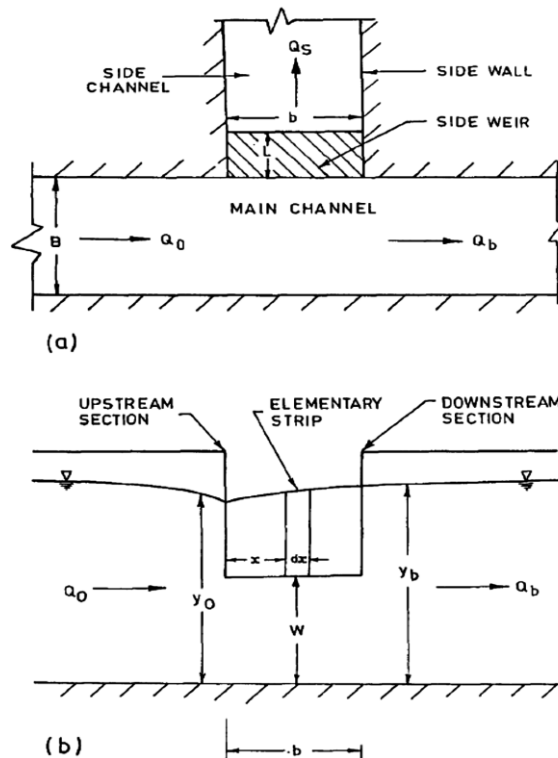
¹ Hager

² Cheong

³ Cheong

⁴ Swamee et al.

که در آن K_0 تا K_5 ضرایب ثابت و مجهولی هستند که با استفاده از داده‌های آزمایش و به‌کارگیری روش‌های عددی پیشرفته محاسبه می‌شوند. $\eta_w = (y - w/w)$ نسبتی است از عمق جریان روی سرریز به ارتفاع تاج سرریز.



شکل (۲-۴) مشخصات سرریز جانبی در پلان و نمای مقابل

ایشان پس از انجام آزمایش‌های متعدد رابطه (۲-۱۳) را برای سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی با مقدار میانگین خطای ۶,۶ درصد معرفی نمود:

$$C_e = 0.447 \left[\left(\frac{44.7w}{49w + y} \right)^{6.67} + \left(\frac{y - w}{y} \right)^{6.67} \right]^{-0.15} \quad (2-13)$$

سوامی و همکاران (۱۹۹۴) همین روش را برای سرریز لبه پهن مستطیلی نیز استفاده کردند و در نهایت رابطه زیر را پیشنهاد دادند:

$$C_e = 0.425 + 0.1 \left(\frac{\eta_L^{3.3} + 0.025\eta_L^7}{1 + 5.5\eta_L^{0.02}} \right) \quad (2-14)$$

به‌طوری‌که $\eta_L = (y - w/L)$ و L ضخامت سرریز لبه پهن است.

برای سرریز لبه تیز مثلثی:

$$C_e = 0.447 \left\{ \left[\frac{44.7}{55 \exp(-0.0386(\theta - \pi/2)^2) + \eta_w} \right]^p + \left[\frac{\eta_w}{[1 + 0.05(\pi - \theta)^{1.773}](\eta_w + 1)} \right]^{-1/p} \right\} \quad (15-2)$$

که در آن:

$$p = 2.167 \left[\frac{\theta^{2.5} + 1.342(\pi - \theta)^{2.5}}{\theta^{0.045} + (\pi - \theta)^{0.045}} \right]^{0.4} \quad (16-2)$$

با استفاده از روابط بالا مقدار ضریب دبی المانی و همزمان دبی عبوری از سرریز جانبی محاسبه گردید که تشریح چگونگی محاسبات آن در فصل بعد آورده شده است.

۹-۲-۲ مطالعات سینگ و همکاران^۱ (۱۹۹۴)

سینگ و همکاران (۱۹۹۴) نشان دادند که ضریب دبی در سرریزهای جانبی لبه تیز مستطیلی علاوه بر عدد فرود بالادست جریان (Fr_1) به نسبت ارتفاع سرریز به عمق جریان بالادست سرریز (w/y_1) نیز بستگی دارد و با استفاده از روش رگرسیون چند متغیره رابطه‌ای خطی برحسب Fr_1 و w/y_1 برای محاسبه ضریب دبی به دست آوردند.

سینگ و همکاران (۱۹۹۴) نیز از اتلاف انرژی در طول سرریز جانبی صرف نظر کردند. در بیشتر تحقیقات قبل از ایشان ضریب دبی فقط تابعی از عددی فرود بالادست جریان (Fr_1) لحاظ شده بود. اما در پژوهش ایشان بررسی توأم عدد فرود بالادست و نسبت عمق آب روی سرریز به ارتفاع تاج سرریز بر ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز مستطیلی در شرایط جریان زیربحرانی در یک کانال اصلی مستطیلی منشوری مورد توجه قرار گرفته است. نتایج کلی تحقیق سینگ و همکاران (۱۹۹۴) به شرح زیر می‌باشد:

الف- اندازه‌گیری پروفیل سطح آب نشان داد که عمق جریان در طول سرریز به سمت پایین دست

^۱ Singh et al.

افزایش یافته و این شرایط در تمامی آزمایش‌ها مشاهده شد. با توجه به نتایج آزمایش‌ها مشخص گردید فرض ثابت بودن انرژی مخصوص در طول سرریز، قابل قبول است.

ب- در این تحقیق نشان داده شد که مطابق رابطه زیر با افزایش عدد فرود جریان در بالادست سرریز (Fr_1)، مقادیر C_d کاهش می‌یابد:

$$C_d = 0.99 - 1.26Fr_1 \quad (17-2)$$

ج- همچنین نتیجه‌گیری شد مطابق رابطه زیر با افزایش w/y_1 ، مقدار C_d هم بیشتر می‌شود:

$$C_d = 0.24 + 0.24(w/y_1) \quad (18-2)$$

د- با توجه به نتایج به دست آمده از این تحقیق مشخص شد که مقدار C_d به هر دو پارامتر بی بعد Fr_1 و w/y_1 وابسته است. سینگ و همکاران (۱۹۹۴) در نهایت با استفاده از رگرسیون چند متغیره رابطه زیر را که بهترین انطباق با نتایج آزمایشگاهی را نشان داد پیشنهاد دادند:

$$C_d = 0.33 - 0.18Fr_1 + 0.49(w/y_1) \quad (19-2)$$

ه- اشاره شد که متوسط مقدار C_d به دست آمده از رابطه فوق برابر ۰٫۶ و درصد خطای میانگین آن ۰٫۰۷ است.

۱۰-۲-۲ مطالعات ایزدجو و شفاعی بجستان (۱۳۷۵)

ایزدجو و شفاعی بجستان (۱۳۷۵) روابط متعدد ارائه شده برای ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز را به منظور انتخاب یک رابطه مناسب مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها در این تحقیق تعداد ۶ مدل سرریز لبه تیز مستطیلی را در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه شهید چمران اهواز تحت شرایط هیدرولیکی مختلف آزمایش نموده و نتایج به دست آمده را تجزیه و تحلیل نمودند. در این بررسی مشخص شد رابطه سینگ و همکاران (۱۹۹۴) بهترین جواب را برای تخمین ضریب دبی سرریز می‌دهد و همچنین رابطه جدیدی برای ضریب دبی این سرریز استخراج شد.

ایزدجو و شفاعی بجستان (۱۳۷۵) پارامترهای بی بعد مؤثر بر ضریب دبی را به شکل زیر معرفی نمودند:

$$C_d = f\left(Fr_1^2, Re, \frac{L}{y_1}, \frac{w}{y_1}, \frac{b}{y_1}, \frac{B}{y_1}\right) \quad (20-2)$$

که در آن Fr_1 عدد فرود جریان در بالادست سرریز، Re عدد رینولدز جریان، L طول سرریز، y_1 عمق جریان در بالادست سرریز، w ارتفاع تاج، b عرض کانال جانبی و B عرض کانال اصلی است. رابطه ارائه شده برای C_d در این تحقیق که به کمک رگرسیون چند متغیره محاسبه شده است مطابق زیر می باشد:

$$C_d = -0.0759Fr_1^2 + 0.7364\frac{w}{y_1} - 0.0187\frac{L}{y_1} + 0.199 \quad (21-2)$$

ایشان ضمن مقایسه آماری و ترسیمی روابطی که در گذشته برای ضریب دبی در سرریزهای جانبی ارائه شده با نتایج تحقیق خود نشان دادند رابطه سینگ و همکاران (۱۹۹۴) با انحراف معیار ۹۹٪. بیشترین نزدیکی را با نتایج تحقیق حاضر دارد و به طور متوسط با نتایج آزمایش حدود ۳٪ اختلاف دارد.

۲-۱۱ مطالعات جلیلی قاضی زاده و همکاران (۱۳۷۶)

در مطالعات جلیلی قاضی زاده و همکاران (۱۳۷۶) تأثیر پارامترهای مختلف از جمله L/B ، w/y_1 ، S_0 و Fr_1 بر ضریب دبی سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی بررسی و رابطه‌ای را نیز ارائه کردند. در این پژوهش تغییرات C_d بر حسب Fr_1 از درجه ۲ فرض شد و بهترین منحنی با داده‌های آزمایشگاهی برازش داده شد که در نهایت رابطه زیر پیشنهاد گردید:

$$C_d = 0.55 - 0.47Fr_1^2 \quad (22-2)$$

انحراف معیار داده‌های آزمایشگاهی نسبت به رابطه فوق ۰٫۶۹ محاسبه شد اما بررسی نتایج نشان داد معادله فوق کارایی لازم را نداشته زیرا ضریب دبی تنها به Fr_1 وابسته شده است. از طرفی بر اساس آنالیز ابعادی، پارامترهای بی بعد w/y_1 ، L/B و S_0 که بر مقدار C_d مؤثر هستند وارد روابط شدند. بر این اساس رابطه (۲۳-۲) برای تخمین ضریب دبی ارائه شد:

$$C_d = a + b(Fr_1) + c\left(\frac{w}{y_1}\right) + d\left(\frac{L}{B}\right) + e(S_0) \quad (23-2)$$

که در آن y_1 عمق آب در بالادست سرریز، w ارتفاع تاج سرریز از کف کانال، L طول سرریز، B عرض

کانال، S_0 شیب طولی کانال و Fr_1 عدد فرود جریان در بالادست سرریز است.

ایشان با بررسی‌های خود نشان دادند حذف پارامترهای (L/B) و S_0 در مقادیر C_d تأثیر چندانی نمی‌گذارد و می‌توان از آن‌ها صرف‌نظر کرد. بنابراین با توجه به داده‌های آزمایشگاهی رابطه زیر را پیشنهاد دادند:

$$C_d = 0.71 - 0.41Fr_1 - 0.22\left(\frac{w}{y_1}\right) \quad (2-24)$$

در تحقیق ایشان مقدار متوسط کاهش نسبی انرژی مخصوص در طول سرریز ۳٫۷ درصد به دست آمد. درحالی‌که این مقدار در تحقیقات الخشاب و اسمیت^۱ (۱۹۷۶) به همراه رانگراجو و همکاران^۲ (۱۹۷۹) به ترتیب ۵ و ۲ درصد محاسبه شده بود. ایشان نتیجه‌گیری کردند که فرض ثابت بودن انرژی مخصوص در طول سرریز قابل قبول تلقی می‌گردد.

۱۲-۲-۲ مطالعات قدسیان (۱۹۹۷)

قدسیان (۱۹۹۷) مفهوم جدید ضریب دبی تحت عنوان ضریب دبی المانی را به صورت تابعی از نسبت عمق جریان به ارتفاع سرریز ارائه نمود و به کمک روش رانگ-کوتای^۳ مرتبه چهارم و روش‌های عددی توانست دبی عبوری از سرریز لبه تیز جانبی مستطیلی را محاسبه نماید. وی معادلات زیر را برای معرفی ضریب دبی المانی سرریز مستطیلی در نظر گرفت:

$$C_e = K_1 + K_2\eta_w \quad \text{اگر } \eta_w \leq 5 \quad (2-25)$$

$$C_e = K_3 \cdot (1 + \eta_w^{-1})^{K_4} \quad \text{اگر } \eta_w \geq 15 \quad (2-26)$$

که $\eta_w = (y - w/w)$ و K_1 تا K_4 ضرایب ثابت و مجهولی هستند که می‌توان آن‌ها را به کمک نتایج آزمایش‌ها تعیین نمود. در این تحقیق وی با استفاده از روش‌های عددی توانست مقادیر ثابت‌ها را به صورت زیر محاسبه نماید:

$$C_e = 0.5 + 0.01\eta_w \quad \text{اگر } \eta_w \leq 5 \quad (2-27)$$

¹ El Khashab and Smith

³ Runge-Kutta Method

² Ranga Raju et al.

$$C_e = 0.447(1 + \eta_w^{-1}) \quad \text{اگر } \eta_w \geq 15 \quad (28-2)$$

درصد خطای نسبی دبی انحراف برای کل داده‌ها بر اساس روابط فوق به ترتیب ۵ و ۵,۸۸ محاسبه شد. ایشان با توجه به ضرورت ارائه یک رابطه عمومی C_e که بتواند برای تمام η_w قابل استفاده باشد دو رابطه فوق را ترکیب نمود و در نهایت رابطه (۲۹-۲) را جهت تعیین ضریب دبی المانی سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی پیشنهاد کرد:

$$C_e = 0.446 \left[\left(\frac{44.7}{50 + \eta_w} \right)^{6.67} + \left(\frac{\eta_w}{1 + \eta_w} \right)^{6.67} \right] \quad (29-2)$$

وی ضمن محاسبه مقدار میانگین خطای ۶,۶ درصد بر اساس رابطه اخیر نتیجه‌گیری کرد به کارگیری رابطه (۲۹-۲) برای کلیه مقادیر η_w قابل قبول می‌باشد.

مطالعات بعدی وی نشان داد C_e علاوه بر η_w می‌تواند تابع عدد فرود موضعی Fr نیز باشد و با تحلیل داده‌های آزمایشگاهی رابطه زیر را ارائه داد:

$$C_e = (0.611 + 0.075\eta_w)(1 - 0.63Fr^{0.33}) \quad \text{اگر } \eta_w \leq 5 \quad (30-2)$$

در این تحقیق ضمن ارائه مفهوم جدیدی از ضریب دبی، معادلات مناسب و دقیقی جهت تعیین ضریب دبی المانی سرریزهای جانبی لبه تیز مستطیلی در شرایط جریان زیربحرانی ارائه شده است. با استفاده از این روابط پیشنهادی و حل همزمان معادلات جریان‌های متغیر مکانی می‌توان دبی عبوری از سرریز و پروفیل جریان در امتداد آن را به دست آورد. البته قدسیان در سال ۲۰۰۳ سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی را تحت شرایط جریان فوق بحرانی مورد مطالعه قرار داد و روابطی را نیز جهت تعیین ضریب دبی المانی ارائه نمود.

۱۳-۲-۲ مطالعات برقی و همکاران (۱۹۹۹)

برقی و همکاران در سال ۱۹۹۹ سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی را به صورت کامل مورد مطالعه قرار دادند. ایشان ضریب دبی سرریز مذکور را با انجام آزمایش‌ها متعدد و به کمک رابطه دیمارچی محاسبه نمودند. از ویژگی‌های بارز این پژوهش بررسی اثر شیب طولی کانال بر مقادیر ضریب دبی است. ایشان

با اشاره بر این موضوع که در اکثر تحقیقات گذشته ضریب دبی بر اساس پارامترهای بی‌بعد عدد فرود بالادست جریان (Fr_1) و نسبت ارتفاع تاج سرریز به عمق جریان (w/y_1) بنا شده و سایر متغیرها همچون شیب طولی کانال (S_0) و نسبت طول سرریز به عرض کانال اصلی (L/B) نیز می‌تواند تأثیرگذار باشد آزمایش‌های خود را پایه‌ریزی نمود و رابطه زیر را استخراج کرد:

$$C_m = 0.687 - 0.46Fr_1 - 0.3 \frac{w}{y_1} + 0.06 \frac{L}{B} + 1.2 S_0 \quad (31-2)$$

ایشان پس از محاسبه مقادیر خطا نتیجه‌گیری کرد اثر شیب طولی کانال بسیار ناچیز بوده و می‌توان آن را از روابط تعیین ضریب دبی حذف نمود:

$$C_m = 0.687 - 0.46Fr_1 - 0.3 \frac{w}{y_1} + 0.06 \frac{L}{B} \quad (32-2)$$

درصد میانگین خطای رابطه (32-2) حدود 4,7 برآورد شد.

ایشان همچنین در سال 2003 با تکمیل آزمایش‌ها و انجام اصلاحات رابطه زیر را برای محاسبه ضریب دبی در سرریزهای جانبی لبه تیز مستطیلی پیشنهاد دادند:

$$C_m = 0.82 - 0.38Fr_1 - 0.22(w/y_1) + 0.008(L/B) \quad (33-2)$$

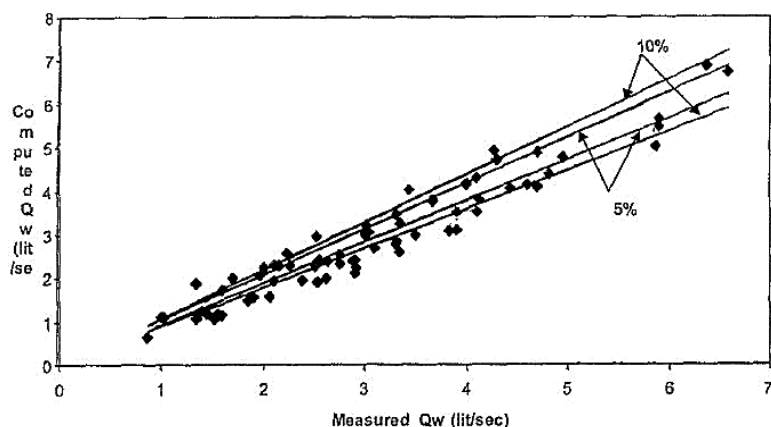
۱۴-۲-۲ مطالعات برقی و صالحی (۱۳۸۲)

برقی و صالحی (۱۳۸۲) نتایج به‌دست‌آمده از پروفیل طولی و عرضی سطح آب در سرریز را در مطالعات خود مدنظر قرار دادند و با در نظر گرفتن عمق روی سرریز به‌عنوان عمق بحرانی، دبی سرریز جانبی را محاسبه و رابطه‌ای برای محاسبه ضریب دبی (تخلیه) ارائه نمودند.

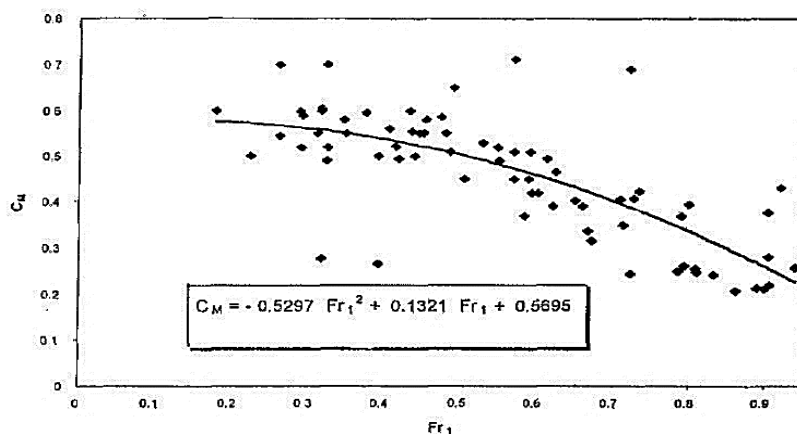
در این تحقیق برای هر آزمایش عمق آب روی سرریز در بیش از ۱۰۰ نقطه بالادست سرریز جانبی تا پایین‌دست آن به کمک لیمینومتر و پیزومتر اندازه‌گیری شده است. اندازه‌گیری در دو جهت به فواصل ۲/۵ و ۵ سانتیمتر از یکدیگر انجام شده است.

با انجام آزمایش‌ها و جمع نمودن دبی تک‌تک‌المان‌ها دبی عبوری از سرریز را محاسبه نمودند که نتایج آن در شکل (۲-۵) ارائه شده است. آنچه در شکل نشان داده شده تخمین نسبتاً خوبی از دبی با استفاده

از این روش می‌باشد. در این روش در حقیقت از رابطه کلی سرریزها استفاده می‌شود ولی به‌جای هد کل انرژی و یا عمق آب، دبی از عمق بحرانی اندازه‌گیری شده به دست می‌آید. حال بر اساس اینکه مؤثرترین پارامتر روی ضریب تخلیه، عدد فرود است لذا در شکل (۲-۶) تابع ضریب تخلیه برحسب عدد فرود ارائه شده است. در این شکل مشخص است که در محدوده $\pm 10\%$ ، بیشتر نقاط از این تابع پیروی می‌کنند.



شکل (۲-۵) رابطه دبی اندازه‌گیری شده با دبی محاسبه شده (برقی و صالحی، ۱۳۸۲)

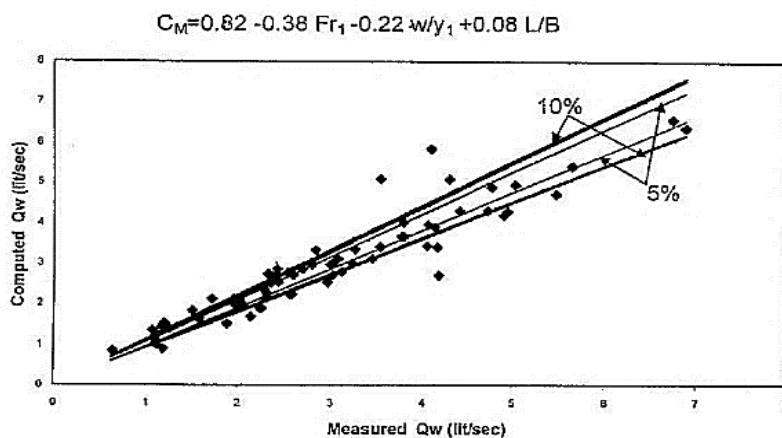


شکل (۲-۶) رابطه ضریب دبی سرریز با عدد فرود (برقی و صالحی، ۱۳۸۲)

نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد که:

الف- با استفاده از عمق آب روی سرریز به‌عنوان عمق بحرانی جریان خروجی، تخمین نسبتاً خوبی از دبی عبوری از روی سرریز می‌توان به دست آورد.

ب- شکل (۷-۲) و رابطه ارائه شده در آن به عنوان رابطه اصلی در این تحقیق معرفی شد.



شکل (۷-۲) رابطه دبی اندازه گیری شده با دبی محاسبه شده و محاسبه فرمول آن (برقی و صالحی، ۱۳۸۲)

۱۵-۲-۲ مطالعات ایزدی نیا و همکاران (۱۳۸۶)

ایزدی نیا و همکاران (۱۳۸۶) با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی به دست آمده از تحقیقات برقی و همکاران (۱۹۹۹) و حل معادلات متغیر مکانی به روش عددی رانگ کوتای مرتبه ۴ پروفیل سطح آب را بر روی سرریز جانبی تعیین نمودند. عمق محاسبه شده به روش عددی انطباق قابل قبولی را با داده‌های آزمایشگاهی نشان داد و میزان خطای نسبی کمتر از ۵٪ به دست آمد، به همین دلیل ایشان این روش عددی را به عنوان راه حلی مناسب برای تعیین پروفیل سطح آب بر روی سرریز جانبی معرفی نمود.

۱۶-۲-۲ مطالعات قدسیان در خصوص سرریزهای جانبی مثلثی لبه تیز (۲۰۰۴)

قدسیان در سال ۲۰۰۴ با انجام آزمایش‌های متعدد سرریز جانبی مثلثی لبه تیز را مورد مطالعه قرار داد. وی این آزمایش‌ها را در شرایط جریان زیر بحرانی و با تغییر پارامترهای هیدرولیکی جریان ورودی و همچنین مشخصات هندسی از جمله زاویه رأس مثلث انجام داد. سپس ضریب دبی سرریز را به روش دیمارچی و برای زوایای مختلف (۳۰، ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه) محاسبه نمود. وی پس از بررسی‌های متعدد روابط زیر را جهت تعیین ضریب دبی متوسط سرریز مثلثی به روش دیمارچی را پیشنهاد داد:

$$C_m = 0.6246 - 0.367Fr_1 + 0.196 \frac{w}{y_1} \quad \theta = 30^\circ \quad (۳۴-۲)$$

$$C_m = 0.5707 - 0.2932Fr_1 + 0.1426 \frac{w}{y_1} \quad \theta = 60^\circ \quad (35-2)$$

$$C_m = 0.5607 - 0.2511Fr_1 + 0.1661 \frac{w}{y_1} \quad \theta = 90^\circ \quad (36-2)$$

$$C_m = 0.5523 - 0.1317Fr_1 + 0.0868 \frac{w}{y_1} \quad \theta = 120^\circ \quad (37-2)$$

در این روابط ضریب دبی تابعی از عدد فرود بالادست جریان (Fr_1) و نسبت ارتفاع تاج سرریز به عمق آب بالادست سرریز (w/y_1) به عنوان پارامترهای مؤثر در نظر گرفته شده است. بررسی‌های وی همچنین نشان داد که افت انرژی در طول سرریز بسیار کم است.

۲-۲-۱۷ یوماز^۱ (۲۰۰۵)

یوماز^۲ در سال ۲۰۰۵ سرریز جانبی در کانال‌های مثلی را مورد مطالعه قرارداد. وی مدل عددی تفاضل محدود را بر اساس فرض ثابت بودن انرژی در شرایط زیربحرانی و فوق بحرانی برای محاسبه دبی تخلیه و پروفیل سطح آب ارائه نمود. در همین سال خورچانی و بلانپاین^۳ (۲۰۰۵) نیز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، ضریب تخلیه سرریزهای جانبی را با دقت بالایی برآورد نموده و رابطه ساده‌ای را نیز ارائه نمودند.

۲-۲-۱۸ مطالعات پاتیرانا و همکاران^۴ (۲۰۰۶)

پاتیرانا و همکاران (۲۰۰۶) با انجام آزمایش بر روی شش مقطع سرریز لبه تیز مستطیلی به بررسی ضریب دبی آن در شرایط جریان فوق بحرانی پرداختند. آن‌ها همچنین تأثیر پارامترهای بی‌بعد عدد فرود بالادست سرریز جانبی (Fr_1)، نسبت ارتفاع سرریز به ارتفاع آب بالادست (w/y_1)، مجذور نسبت طول سرریز به عرض کانال اصلی $(L/B)^2$ را ارزیابی نمودند. این آزمایش‌ها در جریان فوق بحرانی و با فرض ثابت بودن انرژی مخصوص در طول سرریز انجام شد و از روش عددی رانگ کوتای مرتبه ۴ برای حل معادلات متغیر مکانی با کاهش دبی استفاده گردید. ایشان پس از بررسی‌ها مختلف رابطه زیر را

¹ Uyumaz

² Uyumaz

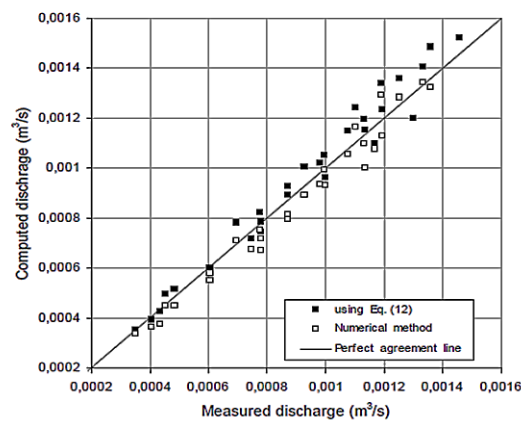
³ Khorchani and Blanpain

⁴ Pathirana et al.

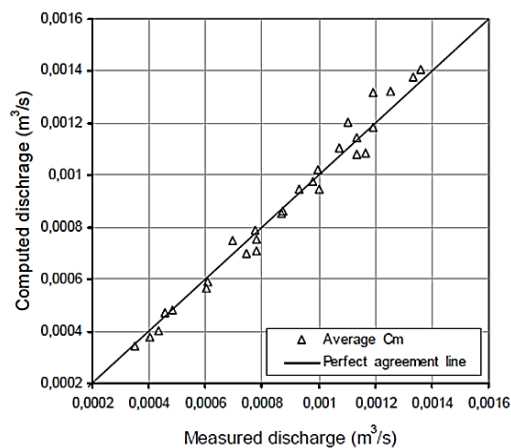
جهت محاسبه C_m ارائه دادند:

$$C_m = -0.511 + 0.93Fr_1 - 0.199(w/y_1) - 0.137(L/B)^2 \quad (38-2)$$

نتایج حاصل از این تحقیقات در محدوده فرود ۱,۱ تا ۱,۲۵ به دست آمد و مطابق شکل (۸-۲) نشان داد که افزایش Fr_1 باعث افزایش C_m می‌گردد که رفتاری عکس را نسبت به نتایج تحقیقات برقی و همکاران (۱۹۹۹) برای شرایط جریان زیر بحرانی نشان می‌دهد. پاتیرانا در شکل (۹-۲) وضعیت انطباق نتایج به دست آمده از حل معادلات به روش عددی با مقادیر آزمایشگاهی برای دبی عبوری از سرریز جانبی را نشان داده است.



شکل (۸-۲) نمودار مقایسه نتایج دبی جریان حاصل از حل عددی با مقادیر آزمایشگاهی (پاتیرانا و همکاران ۲۰۰۶)



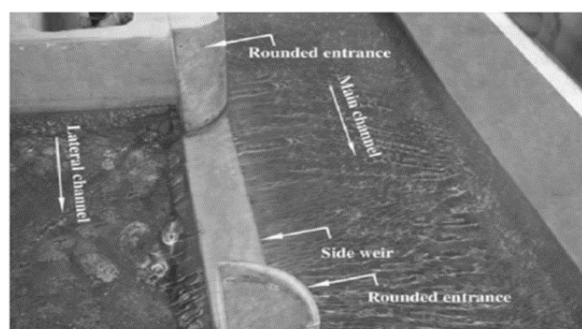
شکل (۹-۲) نمودار مقایسه نتایج دبی جریان محاسباتی با مقادیر آزمایشگاهی (پاتیرانا و همکاران ۲۰۰۶)

۱۹-۲-۲ رامامورتی و همکاران^۱ (۲۰۰۶)

رامامورتی و همکاران^۲ در سال ۲۰۰۶ بر اساس پارامترهای بی‌بعد جریان و هندسه سرریز، ضریب دبی اصلاح‌شده‌ای را برای سرریزهای جانبی مستطیلی و دایره‌ای ارائه کردند. در این تحقیق از روش حداقل مربعات جزئی چندمتغیره غیرخطی استفاده شد. قبادیان و شفافی بگستان (۲۰۰۶) همچنین هنر و طرزکار (۲۰۰۷) نیز با استفاده از شبکه عصبی مصنوعی، ضریب تخلیه سرریزهای جانبی را بهینه‌سازی نمودند.

۲۰-۲-۲ مطالعات هنر و کشاورزی (۲۰۰۹)

هنر و کشاورزی (۲۰۰۹) مطابق شکل (۱۰-۲) به بررسی اثر گرد گوشه کردن دیواره‌های ورودی بر ضریب دبی جریان در سرریزهای جانبی واقع در کانال‌های مستطیلی پرداختند. در این تحقیق تعداد ۹۰ آزمایش انجام شد که نتایج حاصل از آن‌ها مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت و اثر پارامترهای بی‌بعد مختلف در شرایط فوق‌الذکر بر ضریب دبی سرریز بررسی شد. نتایج حاصل از این تجزیه و تحلیل مشخص ساخت که دبی عبوری از سرریز جانبی در حالت گرد گوشه کردن دیواره‌ها حدود ۱۰٪ بیشتر از حالت معمول است. آزمایش‌های این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک گروه مهندسی آب دانشگاه شیراز انجام شد.



شکل (۱۰-۲) تصویر سرریز جانبی استفاده شده در آزمایشات (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹)

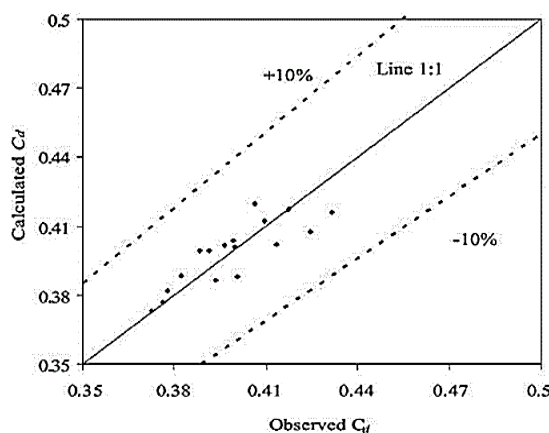
^۱ Ramamurthy

^۲ Ramamurthy

این محققین فرمول زیر را با استفاده از روش حداقل مجموع مربعات خطا (RSS) برای محاسبه C_m در سرریزهای جانبی بدون گرد شدگی در دیواره‌های ورودی، به صورت زیر ارائه دادند:

$$C_m = 0.466 - 0.126 \left(\frac{v_2}{v_1} \right) + 0.017 \left(\frac{h_2}{w} \right) - 0.019 \left(\frac{h_2}{w} \right)^2 \quad (39-2)$$

که در آن v_2 سرعت متوسط جریان در ابتدا و انتهای سرریز برحسب (m/s)، h_2 عمق آب پایین دست سرریز است. شکل (۱۱-۲) مقایسه ضریب دبی مشاهده‌ای و محاسبه شده توسط رابطه (۳۹-۲) را برای محدوده خطای $\pm 10\%$ درصد را نشان می‌دهد.



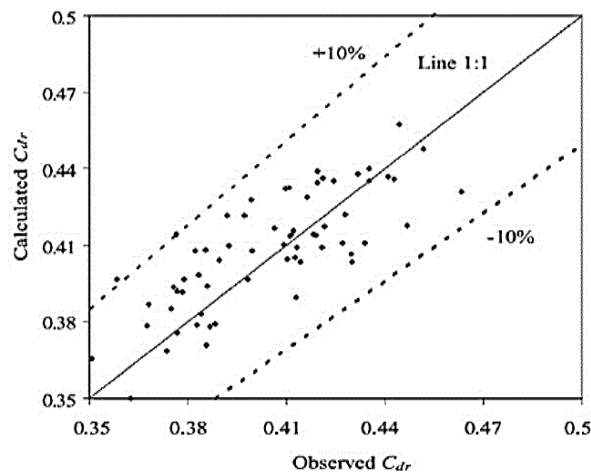
شکل (۱۱-۲) مقایسه ضریب دبی مشاهده‌ای و محاسبه شده توسط رابطه (۳۹-۲) (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹)

ایشان همچنین برای محاسبه C_m در سرریزهای جانبی همراه با گرد شدگی در دیواره‌های ورودی رابطه (۴۰-۲) را معرفی نمودند:

$$C_{dr} - C_m = 0.044 \left(\frac{L}{2w} \right) - 0.449 \left(\frac{2r}{L} \right) - 0.029 \left(\frac{w}{y_2} \right) + 0.309 \quad (40-2)$$

که در آن C_{dr} ضریب دبی در حالتی که دیواره‌های ورودی سرریز جانبی گرد است، L محیط ناحیه گرد شده، r شعاع ناحیه گرد شده، w ضخامت سرریز، y_2 عمق آب در انتهای سرریز و مرکز کانال می‌باشد. شکل (۱۱-۲) مقایسه ضریب دبی مشاهده‌ای و محاسبه شده برای سرریز گرد گوشه را نشان می‌دهد. نتایج حاصل از تحقیق ایشان نشان داد که با فرض طول یکسان برای سرریز، در حالتی که دیواره‌های ورودی سرریز گرد گوشه باشند دبی عبوری از آن بیشتر از حالتی است که دیواره‌های کناری آن لبه

تیز باشند. بنابراین برای عبور و یا انحراف دبی خاصی از کانال اصلی، با گرد کردن دیواره‌های ورودی می‌توان ابعاد اجرائی سرریز را کاهش داد.



شکل (۲-۱۲) مقایسه ضریب دبی مشاهداتی و محاسبه‌شده در حالت گرد گوشه (هنر و کشاورزی، ۲۰۰۹)

۲-۲-۲۱ مطالعات امیرآقلو و همکاران^۱ (۲۰۱۰)

امیرآقلو و همکاران ابتدا در سال ۲۰۱۰ سرریز زیگزاگی را به‌عنوان یک سرریز جانبی بررسی نمودند. آن‌ها تأثیر شرایط هیدرولیک جریان و هندسه این نوع سرریز و پارامترهای بی‌بعد مختلف را بر ضریب دبی، پروفیل سطح آب و سرعت در طول کانال اصلی موردبررسی قرار دادند. ایشان سپس در سال ۲۰۱۱ در تحقیقات خود، سرریز لبه تیز مستطیلی را به‌عنوان یک سرریز جانبی در کانالی مستقیم و در شرایط جریان زیربحرانی بررسی نمودند. آن‌ها چگونگی تأثیر متغیرهای هندسی سرریز و پارامترهای بی‌بعد را بر ضریب دبی، پروفیل سطح آب و سرعت طولی جریان در کانال اصلی را موردتحقیق قرار دادند. ایشان پس از انجام آزمایش‌های متعدد، ضریب دبی را به‌صورت مستقیم از رابطه زیر محاسبه نمود:

$$C_d = \frac{(3/2)Q_w}{\sqrt{2g}(y_1 - w)^{1.5}L} \quad (۲-۴۱)$$

که در آن C_d ضریب دبی و Q_w دبی عبوری از سرریز و L طول سرریز است.

سپس با استفاده از آنالیز ابعادی پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی را مشخص و درنهایت رابطه (۲-۴۲) را

^۱ Emiroglu et al.

برای محاسبه آن ارائه نمودند.

$$C_d = \left[0.836 + (-0.035 + 0.39 \left(\frac{w}{y_1}\right)^{12.69} + 0.158 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.59} + 0.49 \left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.42} + 0.244 Fr_1^{2.125} \right]^{5.36} \quad (42-2)$$

ایشان در تمامی آزمایشات خود ملاحظه کرد که سطح آب در ابتدای تاج سرریز دارای افت محسوسی است که دلیل آن را اثر ورودی سرریز بر شرایط جریان در بالادست تلقی نمود. همچنین اشاره گردید عمق جریان با نزدیک شدن به پایین دست سرریز افزایش می یابد. ایشان یادآور شد که در انتهای پایین دست سرریز منطقه جداشدگی جریان و جریان چرخشی معکوس دیده می شود و دلیل این جدایش را به انحراف آب از مسیر اصلی که سرعت زیادی دارد ارتباط داد. ایشان ابراز داشت منطقه تشکیل ناحیه جداشدگی و جریان چرخشی معکوس به عدد فرود Fr_1 و نسبت L/B بستگی دارد. هرچه عدد فرود بیشتر باشد، این ناحیه به سمت انتهای پایین دست سرریز نزدیک تر می شود.

۲-۲-۲ قبادیان (۲۰۱۱)

قبادیان در سال ۲۰۱۱ با استفاده از نتایج مدل آزمایشگاهی، مدل ریاضی پروفیل سطح آب در محدوده سرریز جانبی را و اسنجی نمود. وی نتیجه گیری کرد که مدل ریاضی پیشنهادی دارای دقت بهتری نسبت به روابط معمول سرریزهای جانبی است، اما این روابط معمول از نظر کاربرد مزیت دارد چون به صورت صریح و فقط بر اساس عمق جریان روی سرریز، دبی عبوری از سرریز و سایر پارامترهای هندسی که به راحتی تعیین می شوند، قابل محاسبه می باشد. مقیسه و اسماعیلی (۲۰۱۱) نیز با بررسی آزمایشگاهی سرریزهای جانبی با تراز تاج متغیر، ضریب دبی این گونه سرریزها را مورد مطالعه قرار داده و افزایش راندمان آن ها را نسبت به سرریزهای با تراز تاج ثابت نشان دادند. در همین سال (۲۰۱۱) اکبری و قدسیان نیز آزمایشات خود را بر روی سرریزهای لبه تیز مثلثی متمرکز نمودند.

۲-۲-۲۳ مطالعات سیاری و همکاران (۱۳۹۱)

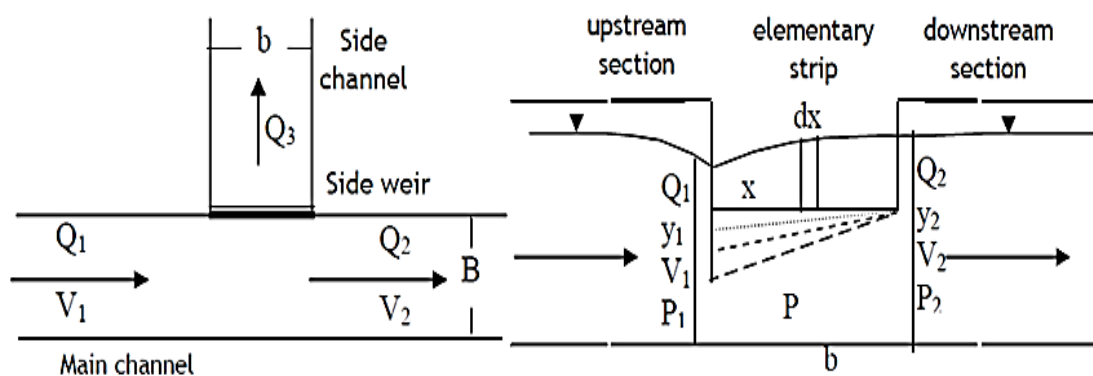
سیاری و همکاران (۱۳۹۱) با استفاده از روش عددی رانج-کوتای مرتبه ۴ معادلات دینامیکی جریان-های متغیر مکانی با کاهش دبی بر روی سرریز جانبی دوزنقه‌ای لبه پهن را حل نمودند و پروفیل سطح آب را نیز محاسبه کردند.

ایشان از مقایسه نتایج آزمایشگاهی با نتایج محاسبه‌شده نتیجه‌گیری کرد که دقت پیش‌بینی پروفیل سطح آب با استفاده از روش عددی رانج-کوتای مرتبه ۴ خطای اندکی دارد. آن‌ها برای اطمینان از دقت روش از تحلیل رگرسیون استفاده نمودند که مشخص شد در شیب جانبی ۱٫۵ درصد میزان $R^2 = 0.978$ و برای شیب جانبی ۲ درصد میزان $R^2 = 0.989$ می‌باشد.

نتایج ضریب همبستگی نشان داد که عمق‌های محاسبه‌شده با زیاد شدن شیب جانبی انطباق بیشتری با داده‌های آزمایشگاهی دارند.

۲-۲-۲۴ مطالعات احمد^۱ (۲۰۱۱)

احمد (۲۰۱۱) با انجام آزمایش بر روی ۵ مدل فیزیکی سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی با زوایای مختلف نسبت به راستای کانال اصلی مطابق شکل (۲-۱۳)، به مطالعه و بررسی ضریب دبی المانی آن پرداخت.



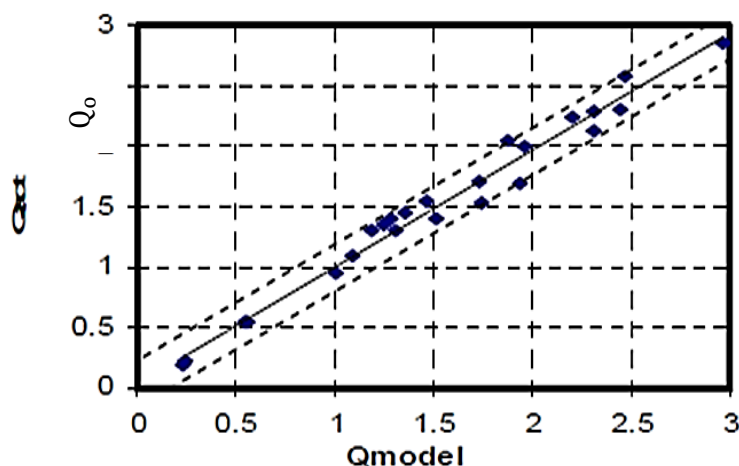
شکل (۲-۱۳) نمای سرریز جانبی مستطیلی (احمد ۲۰۱۱)

وی با ادغام معادلات متغیر مکانی رابطه زیر را برای تعیین ضریب دبی المانی ارائه نمودند:

¹ Ahmed

$$C_e = C_1 \left[\left(\frac{C_2}{C_3 + \left(\frac{y-p}{p} \right)} \right)^2 \right] + \left[\left(\frac{\left(\frac{y-p}{p} \right)}{\left(\frac{y-p}{p} \right) + 1} \right)^{-10} \right]^{C_4} \quad (43-2)$$

که در آن C_1 تا C_4 ضرایب ثابت، y عمق جریان و p ارتفاع تاج سرریز جانبی می‌باشد. او با حل عددی معادلات متغیر مکانی به روش رانج- کوتای مرتبه ۴ مقادیر عمق جریان و دبی را در طول سرریزها محاسبه نمود و مطابق شکل (۱۴-۲) نشان داد نتایج محاسباتی مطابقت بسیار خوبی را با داده‌های آزمایشگاهی دارد. سپس تأثیر دو پارامتر بی‌بعد عدد فرود بالادست جریان (Fr_1) و نسبت عمق جریان به ارتفاع تاج سرریز ($y-p/p$) بر C_e را بررسی نمود. وی نتیجه‌گیری کرد ضریب دبی المانی C_e با Fr_1 و $(y-p)/p$ رابطه مستقیم دارد. وی همچنین دریافت که میزان ضریب دبی المانی در سرریزهای جانبی مایل نسبت به سرریز ۹۰ درجه بزرگتر بوده و دبی انحراف نیز حدود ۴۰٪ بیشتر است.



شکل (۱۴-۲) مقایسه نتایج محاسباتی با داده‌های آزمایشگاهی (احمد ۲۰۱۱)

۲-۲-۲۵ مطالعات احمد (۲۰۱۳)

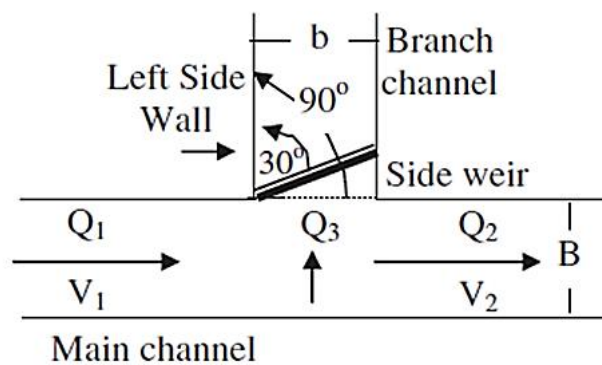
احمد در سال ۲۰۱۳ با استفاده از حل عددی اویلر، ضریب دبی در سرریز جانبی مستطیلی با زوایای ۳۰، ۴۵، ۶۰، ۷۵ و ۹۰ درجه نسبت به راستای اصلی جریان (θ) در کانال را مورد مطالعه قرارداد و تأثیر زاویه قرارگیری سرریز جانبی بر ضریب دبی و میزان دبی خروجی را بررسی نمود. وی نتیجه

گرفت که از بین زوایای مذکور، دبی انحراف در زاویه ۳۰ درجه دارای بیشترین مقادیر می‌باشد. این در شرایطی است که در زاویه ۹۰ درجه مقادیر دبی ۷۰ درصد کمتر از آن بود. وی رابطه زیر را نیز برای تعیین ضریب دبی ارائه نمود:

$$C_d = 1.275 - 0.612Fr_1 - 0.522(P/y_1) + 0.028(L/b) - 0.132\theta \quad (۴۴-۲)$$

شکل (۱۵-۲) چگونگی قرارگیری سرریز جانبی نسبت به محور طولی کانال در تحقیق احمد (۲۰۱۳) را نشان می‌دهد.

که در آن θ زاویه سرریز نسبت به محور کانال اصلی، b عرض کانال جانبی، Fr_1 عدد فرود بالادست جریان، y_1 ارتفاع آب در بالادست، P ارتفاع تاج سرریز و L طول سرریز جانبی است.



شکل (۱۵-۲) سرریز جانبی مایل

در جدول (۱-۲) مهم‌ترین روابط ضریب دبی در سرریزهای جانبی لبه تیز مستطیلی ساده که توسط محققین مختلف ارائه گردیده به صورت خلاصه نشان داده شده است.

جدول (۱-۲) روابط پیشنهاد شده برای محاسبه ضریب دبی سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی

| ملاحظات | رابطه پیشنهادی | نام محقق (سال تحقیق) | ردیف |
|----------------------------------|--|--------------------------------|------|
| زیربحرانی $0 \leq w \leq 0.6$ | $C_m = 0.611 \sqrt{1 - \frac{3Fr_1^2}{2 + Fr_1^2}}$ | سابرامانیا و آواستی (۱۹۷۲) | ۱ |
| $0 \leq w \leq 0.6$ | $C_m = 0.622 - 0.222Fr_1^2$ | یوتک (۱۹۷۲) | ۲ |
| $0 \leq w \leq 0.6$ | $C_m = 0.432 \sqrt{\frac{2 - Fr_1^2}{1 + 2Fr_1^2}}$ | نادسامورتی و تامسون (۱۹۷۲) | ۳ |
| $0.2 \leq w \leq 0.5$ | $C_m = 0.81 - 0.6Fr_1$ | رانگاراچو و همکاران (۱۹۷۹) | ۴ |
| | $C_m = \frac{0.611 + 2.23 \left(\frac{B}{T} - 1\right)^{0.7}}{1 + 3.8 \left(\frac{B}{T} - 1\right)^{0.7}} + \frac{0.075 - 0.011 \left(\frac{B}{T} - 1\right)^{1.46}}{1 + 4.8 \left(\frac{B}{T} - 1\right)^{1.46}} \frac{h}{P}$ | فرنچ (۱۹۸۶) | ۵ |
| $w = 0$ | $C_m = 0.485 \sqrt{\frac{2 + Fr_1^2}{2 + 3Fr_1^2}}$ | هاگر (۱۹۸۷) | ۶ |
| $w = 0$ | $C_m = 0.45 - 0.22Fr_1^2$ | چیونگ (۱۹۹۱) | ۷ |
| | $C_m = 0.33 - 0.018Fr_1 + 0.49 \left(\frac{w}{y_1}\right)$ | سینگ و همکاران (۱۹۹۴) | ۸ |
| $0 \leq w \leq 0.6$ | $C_e = 0.447 \left[\left(\frac{44.7w}{49w + y}\right)^{6.67} + \left(\frac{y-w}{y}\right)^{6.67} \right]^{-0.15}$ | سوامی و همکاران (۱۹۹۴) | ۹ |
| | $C_d = -0.0759Fr_1^2 + 0.7364 \frac{w}{y_1} - 0.0187 \frac{L}{y_1} + 0.199$ | ایزدجو و شفافی بستان (۱۹۹۶) | ۱۰ |
| | $C_d = 0.71 - 0.41Fr_1 - 0.22 \left(\frac{w}{y_1}\right)$ | جلیلی و برقی (۱۹۹۶) | ۱۱ |
| | $C_m = 0.33 - 0.147 \left(\frac{w}{y_1}\right)$ | پینه‌ریو و سیلوا (۱۹۹۷) | ۱۲ |
| $\frac{y_1 - w}{w} \leq 5$ | $C_e = (1 - 0.63Fr^{0.33}) \left[0.611 + 0.075 \frac{y_1 - w}{w} \right]$ | قدسیان (۱۹۹۷) | ۱۳ |
| | $C_m = 0.55 - 0.47Fr_1$ | برقی و همکاران (۱۹۹۹) | ۱۴ |
| | $C_m = 0.82 - 0.38Fr_1 - 0.22(w/y_1) + 0.008(L/B)$ | برقی و همکاران (۲۰۰۳) | ۱۵ |
| | $C_d = \left[0.836 + (-0.035 + 0.39 \left(\frac{P}{h_1}\right)^{12.69} + 0.158 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.59} + 0.49 \left(\frac{L}{h_1}\right)^{0.42} + 0.244F_1^{2.125} \right]^{3.018} \cdot 5.36$ | امیراگلو (۲۰۱۱) | ۱۶ |

در جدول (۲-۲) مهمترین روابط تعیین ضریب دبی در سرریزهای جانبی مثلثی لبه تیز ساده که توسط کومار (۱۹۸۷) و قدسیان (۲۰۱۱) به روش دیمارچی ارائه شده آورده شده است.

جدول (۲-۲) روابط پیشنهاد شده برای محاسبه ضریب دبی در سرریزهای جانبی لبه تیز مثلثی

| ردیف | نام محقق (سال تحقیق) | رابطه پیشنهادی | ملاحظات |
|------|----------------------|---|----------------------|
| ۱ | کومار (۱۹۸۷) | $C_m = 0.668 - 0.381Fr_1$ | $\theta = 60^\circ$ |
| ۲ | کومار (۱۹۸۷) | $C_m = 0.619 - 0.203Fr_1$ | $\theta = 90^\circ$ |
| ۳ | کومار (۱۹۸۷) | $C_m = 0.642 - 0.042Fr_1$ | $\theta = 120^\circ$ |
| ۴ | قدسیان (۲۰۰۴) | $C_m = 0.6246 - 0.367Fr_1 + 0.196\frac{w}{y_1}$ | $\theta = 30^\circ$ |
| ۵ | قدسیان (۲۰۰۴) | $C_m = 0.5707 - 0.2932Fr_1 + 0.1426\frac{w}{y_1}$ | $\theta = 60^\circ$ |
| ۶ | قدسیان (۲۰۰۴) | $C_m = 0.5607 - 0.2511Fr_1 + 0.1661\frac{w}{y_1}$ | $\theta = 90^\circ$ |
| ۷ | قدسیان (۲۰۰۴) | $C_m = 0.5523 - 0.1317Fr_1 + 0.0868\frac{w}{y_1}$ | $\theta = 120^\circ$ |

جدول (۳-۲) نیز مهم‌ترین روابط تعیین ضریب دبی در سایر سرریزهای جانبی لبه تیز ساده را که توسط محققین مختلف ارائه شده نشان می‌دهد.

جدول (۳-۲) روابط پیشنهاد شده برای محاسبه ضریب دبی در سایر سرریزهای لبه تیز ساده

| ردیف | نام محقق (سال تحقیق) | رابطه پیشنهادی | ملاحظات |
|------|-----------------------------|---|-------------------------------|
| ۱ | باس وهمکاران (۱۹۷۶) | $C_d = 0.6085 - 0.0525\theta + 0.02135\theta^2$ $k = 3.9058 - 3.8558\theta + 1.194\theta^2$ | سرریز مثلثی نرمال |
| ۲ | LMNO (۱۹۹۹) | $C_d = 0.6072 - 0.000874\theta + 6.1 \cdot 10^{-6}\theta^2$ $k = 4.42 - 0.1035\theta + 1.005 \cdot 10^{-3}\theta^2 - 3.24 \cdot 10^{-6}\theta^3$ | سرریز مثلثی نرمال |
| ۳ | کشاورز وهمکاران (۲۰۱۰) | $C_d = -2.236 + 7.41 Fr_1 + 3.898\frac{w}{y_1} + 0.083\frac{B}{y_1} - 0.945\frac{l}{y_1}$ | سرریز دوزنقه ایی $Z = 2$ |
| ۴ | کشاورز وهمکاران (۲۰۱۰) | $C_d = 1.128 + 2.552 Fr_1 - 1.809\frac{B}{y_1} - 0.898\frac{l}{y_1} - 0.945\frac{w}{y_1}$ | سرریز دوزنقه ایی $Z = 1.5$ |
| ۵ | کشاورز وهمکاران (۲۰۱۰) | $C_d = -0.937 + 3.767 Fr_1 + 1.723\frac{B}{y_1} + 1.069\frac{l}{y_1} - 1.913\frac{w}{y_1}$ | سرریز دوزنقه ایی $Z = 1$ |
| ۶ | اکبری طائمه وهمکاران (۲۰۱۱) | $C_d = 0.458 Fr_1^{-0.176} \frac{h_u}{y_1} \theta^{-0.057}$ | سرریز جانبی مثلثی |

۳-۲ مطالعات انجام شده در مورد سرریزهای مرکب

همان گونه که ملاحظه شد، اگرچه سرریزهای جانبی ساده به صورت گسترده‌ای توسط محققین مختلف مورد مطالعه قرار گرفته‌اند، اما در زمینه سرریزهای جانبی مرکب مطالعه آزمایشگاهی محدودی انجام شده است.

۱-۳-۲ سرریزهای لبه تیز نرمال مرکب

البته مطالعات آزمایشگاهی در خصوص سرریزهای لبه تیز مرکب نرمال (که در عرض کانال و عمود بر جهت جریان احداث می‌شوند) انجام نیز محدود بوده است.

اولین بار سازمان احیای اراضی امریکا^۱ (۱۹۶۳) از یک سرریز لبه تیز مثلثی - مستطیلی برای اندازه‌گیری دبی جریان استفاده نمود.

یاسی و عباسپور (۲۰۰۵) با بررسی جریان در سرریز لبه تیز مرکب نرمال مثلثی - مستطیلی و با زاویه رأس ۹۰ درجه به این نتیجه رسیدند که با افزایش ارتفاع سطح آب روی سرریز و در مرز تماس سرریزهای مثلثی و مستطیلی، ضریب دبی به صورت متناوب افزایش و کاهش می‌یابد.

مارتینز و همکاران^۲ (۲۰۰۵) با بررسی آزمایشگاهی سرریز لبه تیز مرکب نرمال مثلثی - مثلثی، این نوع سرریز را برای استفاده در سدهای رسوب‌گیر در حوضه‌های کوهستانی پیشنهاد نمودند. انتخاب این نوع سرریز به دلیل پیوستگی رابطه دبی - اشل در تمامی عمق‌های جریان روی سرریز و نیز دقت مناسب اندازه‌گیری دبی در محدوده وسیعی از شرایط جریان (کم‌آب تا سیلابی) است.

پیراتیپان و همکاران^۳ (۲۰۰۶) نیز با بررسی آزمایشگاهی همین نوع سرریز مرکب با زوایای رأس مختلف، رابطه دقیقی برای محاسبه دبی جریان سرریز مرکب مثلثی - مثلثی ارائه نمودند.

جان و همکاران^۴ (۲۰۰۶) با الگو گرفتن از تحقیقات مارتینز و با انجام یک سری آزمایش بسیار محدود، دبی جریان برای چهار نوع سرریز لبه تیز مرکب نرمال را اندازه‌گیری نمودند. در این آزمایش‌ها،

¹ USBR

² Martinez et al.

³ Piratheepan et al.

⁴ Jan et al.

از ترکیب سرریزهای مستطیلی - مستطیلی، مستطیلی - دوزنقه‌ای، مثلثی - مستطیلی و مثلثی - دوزنقه‌ای استفاده شده است. محدودیت چهار نوع سرریز مرکب مذکور این است که به دلیل ایجاد ناپیوستگی در منحنی دبی - اشل سرریز، اندازه‌گیری تراز سطح آب در محل اتصال سرریزهای پایین و بالا دارای حساسیت زیادی بوده و محاسبه دقیق دبی در این ناحیه غیرممکن است. کشاورز و همکاران (۲۰۱۱) تعیین ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز دوزنقه‌ای را مورد مطالعه قرار دادند و روابطی را نیز ارائه کردند.

ظهیری (۲۰۱۳) به‌عنوان ایده‌ای جدید با حل عددی مدل ریاضی شبه دوبعدی شیونو و نایت، دبی عبوری از سرریزهای لبه تیز مرکب نرمال را محاسبه نمود. لازم به توضیح است در هیچ‌یک از تحقیقات انجام‌شده در خصوص سرریزهای نرمال مرکب، رابطه جدیدی برای محاسبه ضریب دبی سرریز ارائه نشده است.

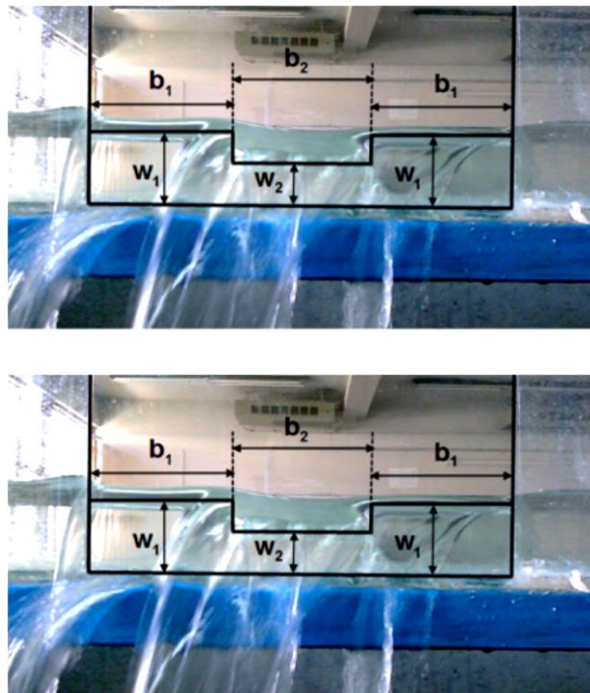
در این مطالعات ابتدا مقطع مرکب به چند مقطع ساده تقسیم و سپس دبی عبوری از آن‌ها با استفاده از روابط پیشنهادی محققان برای سرریزهای ساده محاسبه شده و از جمع دبی‌های جزء، دبی کل به‌دست آمده است.

در این تحقیقات فقط نحوه ترکیب دبی‌ها و چگونگی تعیین مشخصات هندسی مقاطع جهت دستیابی به دبی کل با حداقل خطا پیشنهاد شده است. آنچه در همه این مطالعات قابل توجه است ترکیب خطی دبی‌های جزء به روش‌های پیشنهادی برای سرریزهای لبه تیز مرکب نرمال دارای دقت مناسبی است.

۲-۳-۲ سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب

ظهیری و همکاران در سال ۲۰۱۳ به مطالعه سرریزهای جانبی لبه تیز با مقطع مرکب پرداختند. ایشان برای محاسبه ضریب دبی، حدود ۱۱۰ آزمایش را بر روی سرریز جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی با ابعاد هندسی متغیر انجام دادند. شکل (۲-۱۶) سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی را نشان می‌دهد. لازم به ذکر است که آزمایش‌های نامبرده نیز دارای محدودیت‌های هیدرولیکی و هندسی

می باشد.



شکل (۲-۱۶) سرریز لبه تیز مرکب با مقطع مستطیلی-مستطیلی (باقری و همکاران ۱۳۹۱)

ایشان برای استفاده از معادله دیمارچی جهت تعیین ضریب دبی متوسط سرریز، پارامتر ارتفاع وزنی تاج^۱ (\bar{w}) مطابق رابطه زیر را معرفی نمود:

$$\bar{w} = \frac{2w_1b_1 + w_2b_2}{2b_1 + b_2}$$

که b_1 و b_2 به ترتیب طول تاج سرریزهای بالایی و پایینی و w_1 و w_2 به ترتیب ارتفاع تاج مقاطع بالایی و پایینی سرریز می باشد. ایشان دبی عبوری از سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب را به روش دیمارچی محاسبه نمود. سپس با استفاده از تحلیل ابعادی و نیز مدل سازی فیزیکی رابطه ای را به صورت کلی برای تخمین دبی سرریزهای جانبی مرکب مستطیلی-مستطیلی پیشنهاد کردند:

$$C = aFr_1^b + c(\bar{w}/y_1)^d + e(B/y_1)^f + h$$

ایشان با انجام مراحل مختلف بهینه سازی رابطه نهایی زیر را برای برآورد ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب در شرایط جریان زیربحرانی ارائه نمودند:

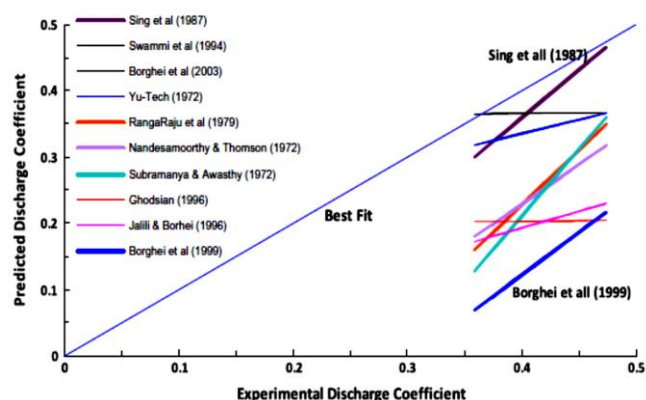
¹ The crest weight height

$$C_d = -0.0551 Fr_1 + 0.1063 \left(\frac{\bar{w}}{y_1} \right)^{2.1065} + 0.00168 \left(\frac{B}{y_1} \right)^{1.179} + 0.412$$

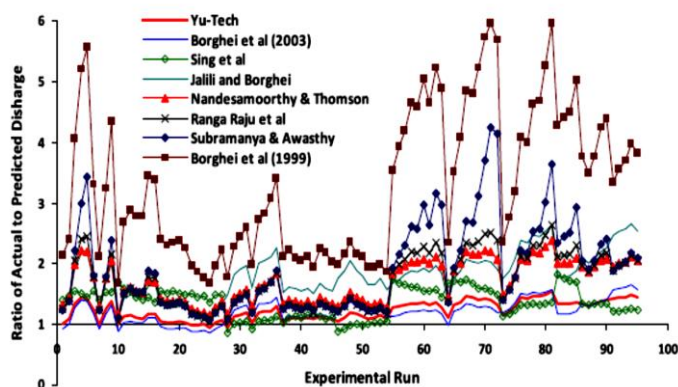
که در آن Fr_1 و y_1 به ترتیب عدد فرود و عمق جریان در بالادست سرریز و B عرض کانال اصلی است. با بررسی روابط ارائه شده برای تخمین ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز ساده توسط محققان پیشین مطابق روش زیر، مشخص نمودند که هیچ یک از روابط دقت مناسبی برای برآورد دبی عبوری از سرریزهای جانبی مرکب را ندارند به طوری که ضریب دبی و دبی جریان عبوری از سرریز جانبی مرکب را کمتر از واقع برآورد می کنند. این نتایج به صورت نمودار در نمودارهای زیر نشان داده شده است.

$$Q = 2Q_1 + Q_2 = 2 \left(\frac{2}{3} C_{m1} \sqrt{2g} L_1 (y_1 - w_1)^{1.5} \right) + \frac{2}{3} C_{m2} \sqrt{2g} L_2 (y_1 - w_2)^{1.5}$$

که در آن w_1 و w_2 به ترتیب ارتفاع تاج در بخش کناری و میانی سرریز مرکب است. L_1 و L_2 هم طول تاج در مقاطع مذکور می باشند.



شکل (۲-۱۷) مقایسه نتایج ضریب دبی به دست آمده از روابط سرریزهای جانبی ساده با مقادیر آزمایشگاهی

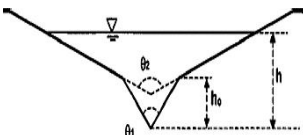
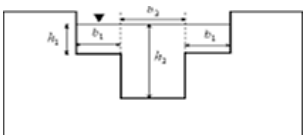
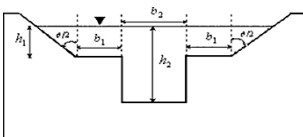
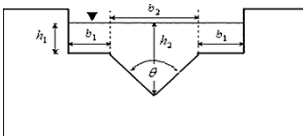
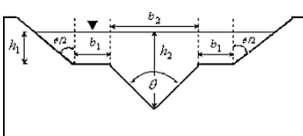
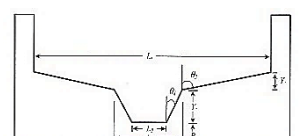
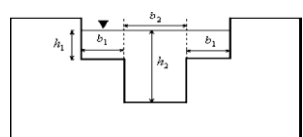


شکل (۲-۱۸) مقایسه نتایج دبی جریان به دست آمده از روابط سرریزهای جانبی ساده با مقادیر آزمایشگاهی

جدول (۴-۲) مهمترین روابط ضریب دبی ارائه شده توسط محققین مختلف برای سرریزهای لبه تیز

مرکب را نشان می دهد.

جدول (۴-۲) روابط پیشنهاد شده برای محاسبه ضریب تخلیه سرریز لبه تیز مرکب نرمال و جانبی

| ردیف | نام محقق | رابطه پیشنهادی | ملاحظات |
|------|-------------------------|--|---|
| ۱ | مارتینز وهمکاران (۲۰۰۵) | $C_d = \frac{C_{d1} \tan\left(\frac{\theta_1}{2}\right) \left[\frac{1}{(1-\frac{h_0}{h})^{\frac{5}{2}}} - 1 \right] + C_{d2} \tan\left(\frac{\theta_2}{2}\right)}{\tan\left(\frac{\theta_1}{2}\right) \left[\frac{1}{(1-\frac{h_0}{h})^{\frac{5}{2}}} - 1 \right] + \tan\left(\frac{\theta_2}{2}\right)}$ $Q = \frac{8}{15} \cdot C_d \cdot \sqrt{2g} \cdot \left[\tan\left(\frac{\theta_1}{2}\right) \cdot \left[h^{\frac{5}{2}} - (h-h_0)^{\frac{5}{2}} \right] + \tan\left(\frac{\theta_2}{2}\right) \cdot (h-h_0)^{\frac{5}{2}} \right]$ |  |
| ۱-۲ | جان وهمکاران (۲۰۰۶) | $Q_t = \frac{2}{3} \cdot C_{rd1} \cdot \sqrt{2g} (2b_1) h_1^{1.5} + \frac{2}{3} \cdot C_{rd2} \cdot \sqrt{2g} b_2 h_2^{1.5}$ <p>C_{rd}: از رابطه فرنچ (۱۹۸۶) C_{td} از روابط باس (۱۹۷۶)</p> |  |
| ۲-۲ | جان وهمکاران (۲۰۰۶) | $Q_t = \frac{2}{3} \cdot C_{rd2} \cdot \sqrt{2g} b_2 h_2^{1.5} + \frac{2}{3} \cdot C_{rd1} \cdot \sqrt{2g} (2b_1) h_1^{1.5} + \frac{8}{15} \cdot C_{td} \cdot \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta_1}{2}\right) h_{1e}^{2.5}$ |  |
| ۳-۲ | جان وهمکاران (۲۰۰۶) | $Q_t = \frac{8}{15} \cdot C_{td} \cdot \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) (h_{2e}^{2.5} - h_{1e}^{2.5}) + \frac{2}{3} \cdot C_{rd} \cdot \sqrt{2g} (2b_1) h_1^{1.5}$ |  |
| ۴-۲ | جان وهمکاران (۲۰۰۶) | $Q_t = \frac{8}{15} \cdot C_{td} \cdot \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta_2}{2}\right) (h_{2e}^{2.5} - h_{1e}^{2.5}) + \frac{2}{3} \cdot C_{rd} \cdot \sqrt{2g} (2b_1) h_1^{1.5} + \frac{8}{15} \cdot C_{td} \cdot \sqrt{2g} \tan\left(\frac{\theta_1}{2}\right) h_{1e}^{2.5}$ |  |
| ۳ | جانگ وهمکاران (۲۰۱۲) | $C_d = 7.83 - 15.75 \frac{P}{H_1} + 12.83 \left(\frac{P}{H_1}\right)^2 - 4.68 \left(\frac{P}{H_1}\right)^3 + 0.64 \left(\frac{P}{H_1}\right)^4$ |  |
| ۴ | ظهیری وهمکاران (۲۰۱۳) | $C_d = -0.0551 Fr_1 + 0.1063 \left(\frac{\bar{w}}{y_1}\right)^{2.1065} + 0.00168 \left(\frac{B}{y_1}\right)^{1.1789} + 0.412$ |  |

با بررسی تحقیقات گذشته مشخص شد که باوجود مطالعات فراوان درزمینه سرریزهای جانبی لبه تیز ساده، سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب که ضمن قابلیت اندازه‌گیری دقیق دبی عبوری، توانایی خروج میزان قابل توجهی از جریان در زمان رخداد سیلاب را دارند، تاکنون موردتوجه جدی قرار نگرفته‌اند.

۴-۲ تحقیقات گذشته در زمینه تأثیر لزجت و کشش سطحی بر عبور جریان از سرریزها

ضریب دبی تابع پارامترهای مختلفی ازجمله لزجت و کشش سطحی است. عوامل مختلفی همچون دمای آب، جرم حجمی سیال، عمق آب روی تاج سرریز، ضخامت تاج و شرایط جریان بر مقادیر آن تأثیر دارد. جهت شناخت بیشتر این عوامل و تعیین کمی اثرات آن و همچنین محدوده تغییرات پارامترها، تحقیقات متعددی درگذشته انجام شده است که به برخی از آنها به صورت مختصر اشاره می‌شود:

کولمن و همکاران^۱ (۱۹۲۳) با انجام مطالعات آزمایشگاهی نتیجه‌گیری کرد چنانچه ارتفاع جریان روی تاج سرریز بیشتر از ۱۹ میلی‌متر باشد می‌توان از اثرات کشش سطحی صرف‌نظر کرد. رهبوک^۲ (۱۹۲۹) با مطالعه ضریب دبی سرریزهای مستطیلی لبه تیز پارامترهای ارتفاع تاج سرریز، عمق آب روی تاج و کشش سطحی آب را مؤثر دانسته و معادله زیر را برای تعیین ضریب دبی سرریز مذکور پیشنهاد کرده است:

$$C_d = 0.611 + 0.075 \frac{h}{w} + \frac{0.36}{H_d \sqrt{\frac{\rho g}{\sigma} - 1}} \quad (۴۵-۲)$$

که در آن:

σ = کشش سطحی آب، ρ = جرم واحد حجم آب، w = ارتفاع تاج سرریز، h = عمق آب روی تاج سرریز و g شتاب ثقل است.

کیندسووتر و کارتر^۳ (۱۹۵۶) اثر لزجت و کشش سطحی را بر ضریب تخلیه مطالعه کرده و دریافتند که

¹ Coleman et al.

² Rehbock

³ Kindsvater and Carter

اثرات لزجت و کشش سطحی در صورت افزایش ارتفاع آب به اندازه ۱ میلی‌متر و کاهش عرض سرریز به اندازه ۰,۹ میلی‌متر می‌تواند قابل‌بررسی باشد. بر این اساس رابطه زیر را جهت تعیین ضریب دبی در سرریزهای مستطیلی لبه تیز معرفی کرده‌اند:

$$C_d = (0.611 + 0.075 \frac{h}{w}) (1 - \frac{0.0009}{b}) (1 + \frac{0.001}{h}) \quad (۴۶-۲)$$

در این رابطه b طول سرریز است.

رانگاراچو و آساوا (۱۹۷۷) با در نظر گرفتن اثر کشش سطحی و لزجت، با وارد نمودن ضریب K در رابطه فوق C_d پیشنهادی کیندسواتر و کارتر را به صورت زیر اصلاح کردند:

$$C_d = (0.611 + 0.075 \frac{h}{w}) K \quad (۴۷-۲)$$

به طوری که:

$$K = f(Re^{0.2}, We^{0.2})$$

$$Re = \frac{g^{0.5} h^{1.5}}{\nu}$$

$$We = \frac{\rho g H_d^2}{\sigma}$$

که در آن We و Re به ترتیب عدد رینولدز و عدد وبر می‌باشند.

گیل^۱ (۱۹۸۵) بر اساس تحقیقات رانگاراچو و آسا، رابطه زیر را برای تأثیر لزجت و کشش سطحی ارائه کرد:

$$C_d = 1.576 - 0.088 \log_e(Re^{0.2} We^{0.6}) \quad (۴۸-۲)$$

همچنین سارگینسون^۲ (۱۹۸۷) با در نظر گرفتن تأثیر کشش سطحی رابطه زیر را ارائه کرده است:

$$C_d = 0.613 + 0.0745 \frac{h}{w} + \frac{1.492\sigma}{\rho g h^2} \quad (۴۹-۲)$$

سوامی و همکاران^۳ (۲۰۰۱) با ارائه رابطه زیر اثر پارامترهای لزجت و کشش سطحی را در ضریب دبی سرریز مستطیلی لبه تیز، لحاظ نمودند. سپس با مقایسه نتایج آزمایشگاهی به کمک داده‌های شودر و

¹ Gill

² Sarginson

³ Swamee et al.

ترنر (۱۹۲۹) صحت رابطه پیشنهادی را بررسی کردند.

$$C_d = 0.611 + 0.0745 \frac{h}{w} + 0.84 \left(\frac{gh^2}{v} \sqrt{\frac{\rho h}{\sigma} - 1} \right)^{-0.27} \quad (50-2)$$

که در آن:

$$v = 1.792 * 10^{-6} \left[1 + \left(\frac{T}{25} \right)^{1.165} \right]^{-1} \quad (51-2)$$

$$\sigma = 0.0762 \exp(-0.00233 T) \quad (52-2)$$

$$\rho = 958.4 + 41.5 \left[\left(\frac{71}{100 - T} \right)^5 + \left(\frac{415}{415 + T} \right)^6 \right]^{-0.18} \quad (53-2)$$

ایشان نتیجه‌گیری کردند در صورتی که اثر لزجت و کشش سطحی به میزان ۵ درصد مقدار جریان غیر چرخشی (۰,۶۱۱) در نظر گرفته شود، حداقل عمق آب روی تاج سرریز بایستی به ۳۲ میلی‌متر محدود شود تا بتوان از تأثیر این پارامترها به‌طور کامل صرف‌نظر نمود.

قدسیان و همکاران در سال ۱۳۷۵ اثر لزجت و کشش سطحی بر سرریزهای لبه تیز مثلثی را در دو حالت جریان آزاد و مستغرق بررسی نمودند. ایشان دریافت در شرایطی که ارتفاع جریان روی تاج زیاد باشد، کشش سطحی و لزجت قابل صرف‌نظر کردن بوده و پارامترهای مؤثر شامل زاویه سرریز، ارتفاع جریان و ارتفاع سرریز می‌باشند. قدسیان در مطالعات خود با اطمینان از اینکه ارتفاع آب روی تاج در همه شرایط از ۵ میلی‌متر بیشتر بوده از اثر کشش سطحی صرف‌نظر نموده است.

سوابق تحقیقات اخیر نشان می‌دهد که مطالعات چندانی در خصوص ضریب دبی سرریزهای مرکب لبه تیز جانبی انجام نشده است. لذا با توجه به توانایی این سرریزها در عبور جریان با محدوده تغییرات بیشتر نسبت به سرریزهای ساده و همچنین امکان اندازه‌گیری دبی عبوری با داشتن حداقل پارامترهای هندسی و هیدرولیکی، ضروری است که مورد مطالعات آزمایشگاهی گسترده‌تری قرار گرفته و با ارائه روابط ضریب دبی بکارگیری آن در پروژه‌های هیدرولیکی را فراهم نمود.

فصل سوم

مواد و روش‌ها

۱-۳ مقدمه

همان‌طور که در فصل‌های قبلی اشاره شد چنانچه ضخامت تاج سرریز آن‌قدر کم باشد که بر رابطه دبی - هد سرریز تأثیر نداشته باشد ($H_1/t > 15$) سرریز را لبه تیز نامند. در عمل ضخامت تاج معمولاً برابر یا کوچک‌تر از ۲ میلی‌متر در نظر گرفته می‌شود به طوری که حتی در حداقل هد ۳ میلی‌متری جریان تیغه آب^۱ به صورت کاملاً آزاد از لبه سرریز و بدون هیچ‌گونه چسبندگی بتواند عبور نماید. همچنین عمق پایاب بایستی به قدری پایین باشد تا جریان عبوری از روی تاج سرریز به راحتی وارد اتمسفر شده و به صورت آزاد صورت گیرد. به عبارت دیگر در حین ریزش آب از روی تاج یک بسته‌هوا از مقدار هوایی که به صورت پیوسته در اثر سقوط جت آب خارج می‌شود، در زیر تیغه جریان ایجاد می‌گردد (هندرسون ۱۹۶۶). اگر فشار درونی این بسته به دلیل عدم هوادهی کاهش یابد می‌تواند اثرات زیر را به همراه داشته باشد:

الف- به علت افزایش فشار زیرین تیغه جریان، انحنای جت آب بیشتر می‌شود که این امر سبب افزایش ضریب دبی (C_d) خواهد شد.

ب- تغییرات نامنظم بسته‌هوا سبب لرزش جت خروجی جریان همانند جریان غیردائمی می‌شود که این مسئله می‌تواند به سرریز و سازه‌های اطراف آسیب جدی وارد نماید.

در این فصل ابتدا معادلات حاکم بر جریان عبوری از سرریزهای لبه تیز مستطیلی و مثلثی تشریح شده و سپس روش‌های تعیین ضریب دبی متوسط به روش‌های مستقیم، دیمارچی و المانی در این سرریزها ارائه می‌گردد و در ادامه آنالیز ابعادی، مشخصات تجهیزات و دستگاه‌های مورد استفاده در آزمایشگاه، چگونگی انجام آزمایش‌ها به همراه محدوده پارامترهای هیدرولیکی و مشخصات هندسی مقاطع مختلف سرریز ارائه و توضیح داده می‌شود. نحوه تعیین ضرایب ثابت روابط پیشنهادی در روش‌های مختلف و چگونگی محاسبه آماره‌های خطا نیز بخش پایانی این فصل خواهد بود.

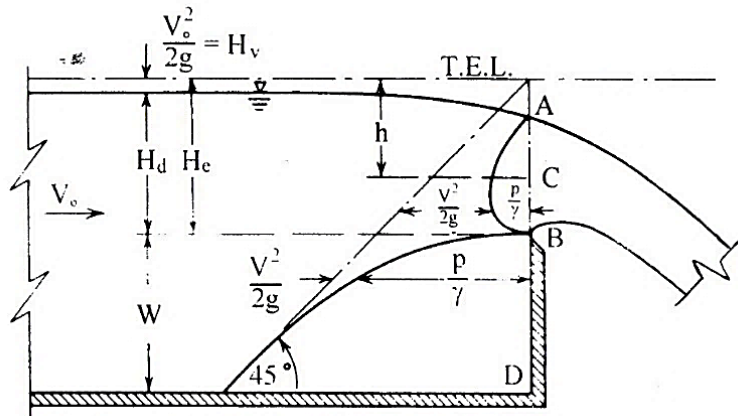
^۱ Nape

۲-۳ ضریب دبی مستقیم^۱ در سرریزهای لبه تیز

۱-۲-۳ سرریزهای ساده

۱-۱-۲-۳ ضریب دبی مستقیم در سرریز لبه تیز مستطیلی

- شکل (۳-۱) پروفیل جریان عبوری از روی یک سرریز لبه تیز مستطیلی را نشان می‌دهد. در این تصویر مشخص است که برای محاسبه دبی عبوری از سرریز و به‌طور کلی سرریزهای لبه تیز، مفهوم عمق بحرانی روی تاج سرریز قابل کاربرد نیست، لذا جهت استخراج روابط موردنیاز فرض می‌شود:
- الف - ارتفاع آب روی سرریز همان H_d باقی‌مانده و انقباض یا کاهش عمقی وجود ندارد.
 - ب - جهت بردار سرعت آب بر روی سرریز تقریباً افقی است.
 - ج - فشار در تمام مقطع AB شکل (۳-۱) همان فشار اتمسفر باشد (سرریز همانند ارفیس عمل می‌کند).
 - د - هد سرعت جریان ورودی $(V_0^2/2g)$ ناچیز است.



شکل (۳-۱) جریان از روی سرریز لبه تیز

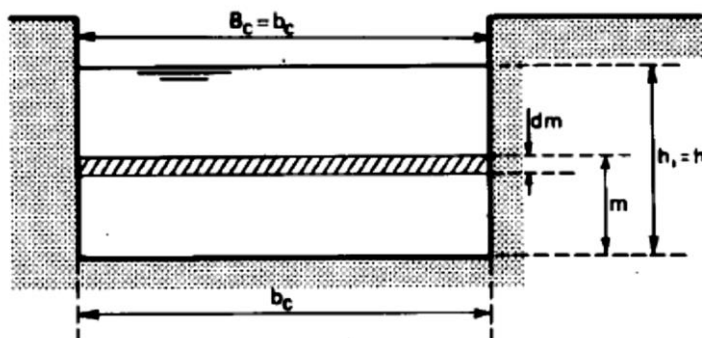
با توجه به فرضیات فوق و در نظر گرفتن $h = v^2/2g$ در نقطه نظیر C در مقطع AB رابطه زیر به دست می‌آید:

$$V = \sqrt{2gh} \quad (۱-۳)$$

و مقدار دبی عبوری از سرریز، برابر می‌شود با:

^۱ Direct

$$Q = Lq = L \int_{H_v}^{H_e} V dh = L \cdot \sqrt{2g} \int_{H_v}^{H_e} h^{1/2} \cdot dh = \frac{2}{3} \sqrt{2g} L [H_e^{1.5} - H_v^{1.5}] \quad (2-3)$$



شکل (۲-۳) سرریز لبه تیز مستطیلی

چون در استخراج معادلات فوق فرض می‌گردد شتاب گریز از مرکز در جریان عبوری از سرریز وجود ندارد، از اثرات لزجت و آشفتگی جریان صرف نظر می‌شود. همچنین توزیع پروفیل سرعت نیز یکنواخت باشد. در عمل این فرضیات به‌طور کامل صحیح نیست لذا با معرفی ضریب C_d به‌عنوان ضریب دبی (ضریب تخلیه یا شدت جریان)، سعی می‌گردد تا حدودی اثرات عوامل نامبرده در تعیین دبی عبوری لحاظ گردد. مقدار ضریب دبی به مشخصات هندسی سرریز، کانال اصلی، وضعیت دیواره‌های کانال خروجی و همچنین مشخصات هیدرولیکی جریان بستگی دارد. لذا رابطه (۲-۳) به‌صورت زیر تصحیح می‌گردد:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} L C_d [H_e^{1.5} - H_v^{1.5}] \cong \frac{2}{3} \sqrt{2g} L C_d (y_1 - w)^{1.5} \quad (3-3)$$

که در آن Q دبی عبوری از سرریز جانبی، L طول سرریز، g شتاب ثقل، y_1 عمق آب بالادست سرریز و w ارتفاع تاج سرریز است.

ضریب C_d شامل اثرات عدم یکنواختی پروفیل سرعت و انقباض جریان در حین عبور از سرریز نیز می‌باشد. تغییرات C_d که تابعی از (H_d/w) است، به‌وسیله رابطه ره‌بوک (۱۹۲۹) به‌صورت زیر ارائه شد:

$$C_d = 0.611 + 0.08 \frac{H_d}{w} \quad \frac{H_d}{w} \leq 5 \quad (4-3)$$

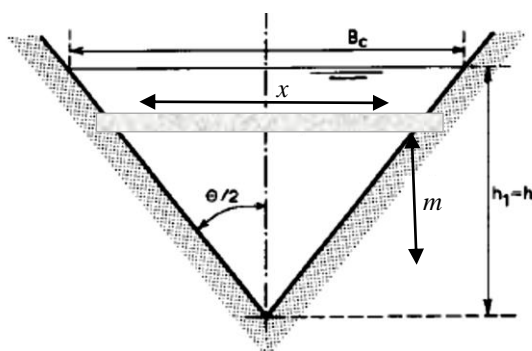
از بررسی رابطه فوق ملاحظه می‌شود چنانچه مقدار w بسیار زیاد باشد، C_d مساوی ۰٫۶۱۱ می‌گردد که

برابر مقدار عددی $\frac{\pi}{(\pi+2)}$ است. این عدد به عنوان ضریب انقباض^۱ یک جت آبی بدون افت انرژی که تحت تأثیر ثقل قرار نگرفته و از یک تانک بزرگ خارج شود، در قرن ۱۹ میلادی توسط کرشلف معرفی گردید. برای سایر مقادیر (H_d/w) ، رابطه مذکور تغییر نموده و در صورتی که $(H_d/w) > 20$ باشد تجربه ثابت نموده که در چنین حالتی جریان بالادست سرریز بحرانی شده و مقدار C_d برابر می شود با:

$$C_d = 1.06 \left(1 + \frac{w}{H_d}\right)^{3/2} \quad (5-3)$$

۲-۱-۲-۳ ضریب دبی متوسط سرریز لبه تیز مثلثی

سرریزهای لبه تیز مثلثی که به صورت متقارن در یک صفحه نازک و عمود بر کناره‌ها و کف کانال قرار می گیرند، به جهت دارا بودن سطح مقطع کوچک تر، در دبی های کم حساسیت بیشتری نسبت به تغییر ارتفاع داشته و لذا در اندازه گیری دبی های کم در مقایسه با سرریزهای مستطیلی از دقت بیشتری برخوردارند. به همین دلیل جهت انجام اندازه گیری های حساس با دبی کم و در تحقیقات آزمایشگاهی، بیشتر از سرریزهای مثلثی که به سرریزهای V شکل موسوم اند، استفاده می شود.



شکل (۳-۳) سرریز لبه تیز مثلثی شکل

رابطه تعیین دبی این نوع سرریزها از طریق حل تحلیلی و با گرفتن انتگرال روی جزء المان با همان فرضیاتی که برای سرریزهای مستطیلی در نظر گرفته شده بود، به دست می آید.

$$x = 2m \tan\left(\frac{\theta}{2}\right) \quad \text{برای مقطع کنترل مثلث شکل (۳-۳):}$$

که در آن θ زاویه رأس سرریز مثلثی است.

^۱ Contraction Coefficient

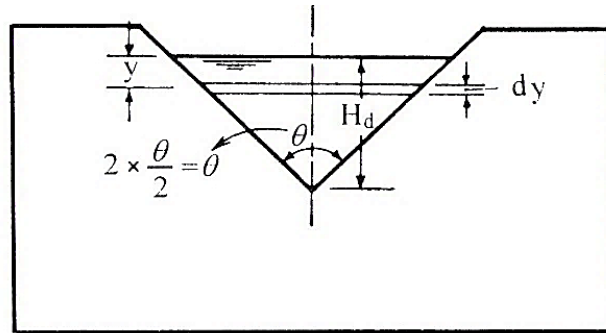
برای سرریز مثلثی:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} C_d \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) H_d^{2.5} \approx \frac{8}{15} \sqrt{2g} C_d \tan \left(\frac{\theta}{2} \right) (y_1 - w)^{2.5} \quad (۶-۳)$$

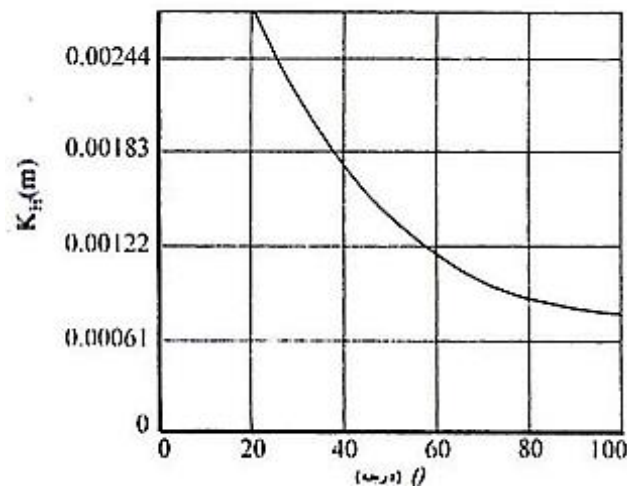
که در آن y_1 عمق جریان در بالادست سرریز است. در استخراج رابطه فوق از انرژی حرکتی $(v_0^2/2g)$ صرف نظر گردیده است. چون مقدار واقعی دبی از آنچه از رابطه (۶-۳) به دست می آید، کمتر است، باس^۱ (۱۹۷۶) جهت اصلاح آن، رابطه زیر را پیشنهاد داد:

$$Q = \frac{8}{15} \sqrt{2g} C_{de} \left(\tan \frac{\theta}{2} \right) H_{de}^{2.5} \quad (۷-۳)$$

که $H_{de} = H_d + K_H$. ضریب C_{de} تابعی از زاویه θ بوده که از منحنی‌های زیر قابل محاسبه است.



شکل (۴-۳) شمای یک سرریز لبه تیز مثلثی

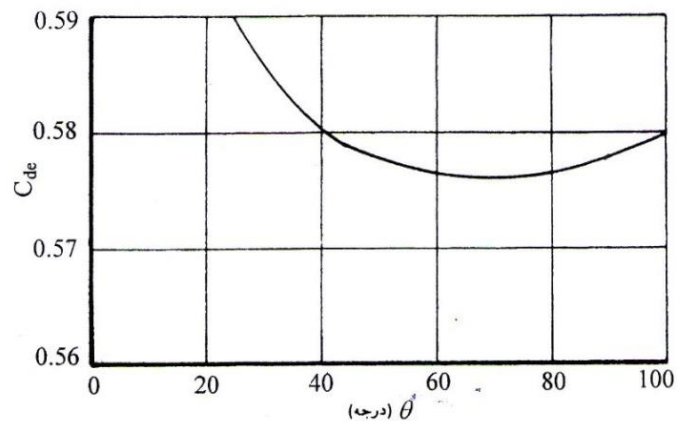


شکل (۵-۳) مقادیر K_H برحسب زاویه θ

در بسیاری از تحقیقات گذشته ضریب دبی متوسط به روش مستقیم و از روابط (۳-۳) و (۶-۳)

^۱ Henderson

محاسبه شده‌اند. در این روش کافی است پس از انجام آزمایش‌ها و استخراج نتایج، ضریب دبی سرریزهای مستطیلی و مثلثی را برای تمام آزمایش‌ها مطابق روابط (۸-۳) و (۹-۳) محاسبه، سپس با به کارگیری روش آنالیز ابعادی پارامترهای بی‌بعد مؤثر را شناسایی نمود.



شکل (۶-۳) مقادیر C_{de} بر حسب زاویه θ

در گام بعد با ارائه رابطه برای ضرایب دبی، به کمک روش رگرسیون غیرخطی نسبت به تعیین ضرایب ثابت و مجهول آن اقدام کرد. این ضرایب به نحوی تعیین می‌شوند که کمترین خطای نسبی (مجموع مربعات خطا) را نسبت به داده‌های آزمایش ایجاد نماید.

$$C_d = \frac{Q_w}{\frac{2}{3} \sqrt{2g} L (y_1 - w)^{1.5}} \quad (۸-۳)$$

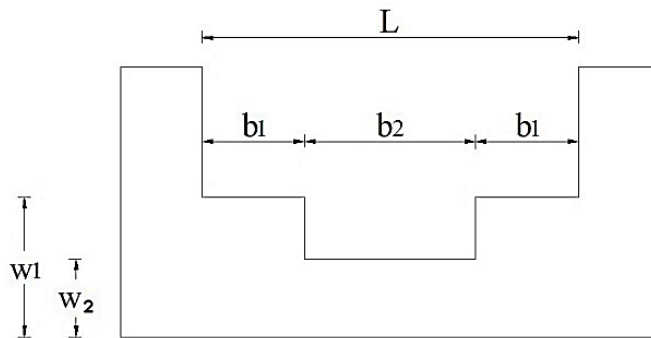
$$C_d = \frac{Q_w}{\frac{8}{15} \sqrt{2g} \left(\tan \frac{\theta}{2}\right) (y_1 - w)^{2.5}} \quad (۹-۳)$$

که در آن Q_w دبی عبوری از سرریز است.

در این شیوه چون از حداقل داده‌های آزمایشگاهی استفاده می‌شود و نقاط کنترلی آن نیز اندک است تأثیر عوامل و پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی کمتر لحاظ می‌گردد که در نتیجه از دقت رابطه پیشنهادی نیز کاسته می‌شود؛ اما از مزایای این روش سهولت و سرعت انجام محاسبات است که با داشتن چند پارامتر هیدرولیکی و هندسی می‌توان نسبت به تعیین مقدار دبی انحراف اقدام نمود. در این روش امکان محاسبه پروفیل جریان وجود ندارد.

۲-۲-۳ سرریزهای مرکب

در پژوهش حاضر روابط ضریب دبی متوسط سرریزهای مرکب مستطیلی- مستطیلی و مثلثی - مستطیلی علاوه بر سایر روش‌ها از روش مستقیم نیز محاسبه و ارائه شده است.



شکل (۷-۳) سرریز جانبی لبه تیز مرکب با مقطع مستطیلی- مستطیلی

به دلیل تغییر تراز تاج در سرریزهای مرکب در این شیوه از دو روش استفاده شده است. در روش نخست که از مطالعات مارتینز و همکاران (۲۰۰۴) برای سرریزهای نرمال مرکب مثلثی - مثلثی الگو گرفته شده است مقطع مرکب^۱ سرریز به چند سرریز ساده تجزیه شده و سپس با استفاده از پارامترهای هیدرولیکی و هندسی مربوط به هر بخش، نسبت به تعیین دبی عبوری جزء اقدام می‌شود. با مجموع دبی‌های جزء، دبی کل عبوری از سرریز محاسبه می‌شود. لازم به ذکر است در این شیوه، جهت محاسبه ضریب دبی از روابط پیشنهادی سایر محققین برای سرریزهای ساده استفاده می‌گردد. به طوری که برای تعیین ضریب مذکور، مشخصات هندسی و هیدرولیکی همان بخش مقطع مرکب بکار گرفته می‌شود.

اما در روش دوم به کارگیری پارامتر ارتفاع وزنی تاج است که توسط ظهیری و همکاران (۲۰۱۳) معرفی شد. به طوری که ضریب دبی برای سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی شکل به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$C_d = \frac{Q_s}{\frac{2}{3} \sqrt{2gL}(y_1 - \bar{w})^{1.5}} \quad (۱۰-۳)$$

که در آن \bar{w} ارتفاع وزنی تاج سرریز بوده و برای این سرریز به صورت زیر به دست می‌آید:

^۱ Compound Section

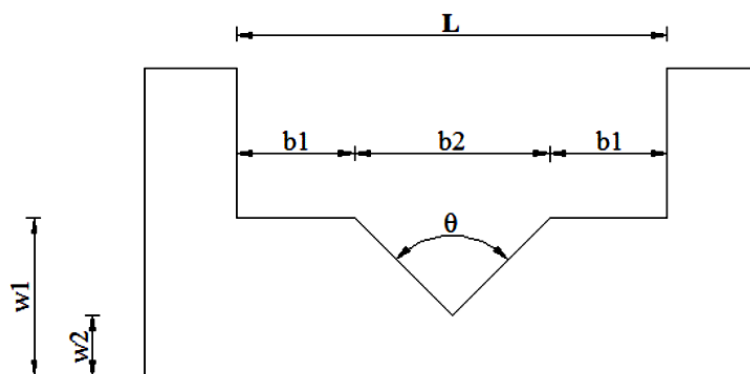
$$\bar{w} = \frac{2w_1b_1 + w_2b_2}{2b_1 + b_2} \quad (11-3)$$

در این رابطه b_1 و w_1 به ترتیب طول و ارتفاع تاج سرریز قسمت‌های کناری، b_2 و w_2 طول و ارتفاع تاج سرریز در قسمت مرکزی مقطع مرکب است.

برای سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی شکل (۸-۳) ضریب دبی از رابطه زیر به دست می‌آید:

$$C_d = \frac{Q_w}{\frac{8}{15} \sqrt{2g} \left(\tan \frac{\theta}{2}\right) (y_1 - \bar{w})^{2.5}} \quad (12-3)$$

که در آن ارتفاع وزنی تاج (\bar{w}) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:



شکل (۸-۳) سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی

$$\bar{w} = \frac{2w_1b_1 + w_2b_2 + 0.5b_2(w_1 - w_2)}{2b_1 + b_2} \quad (13-3)$$

در این شیوه سرریزهای مرکب به یک سرریز مستطیلی ساده با سطح بازشدگی یکسان و با ارتفاع تاج \bar{w} معادل شده‌اند.

۳-۳ ضریب دبی دیمارچی در سرریزهای لبه تیز

۱-۳-۳ سرریزهای جانبی لبه تیز ساده مستطیلی و مثلثی

دیمارچی، در سال ۱۹۳۴ برای به دست آوردن رابطه‌ای جهت سرریزهای کناری و با توجه به شکل

(۹-۳)، فرضیات زیر را در نظر گرفت:

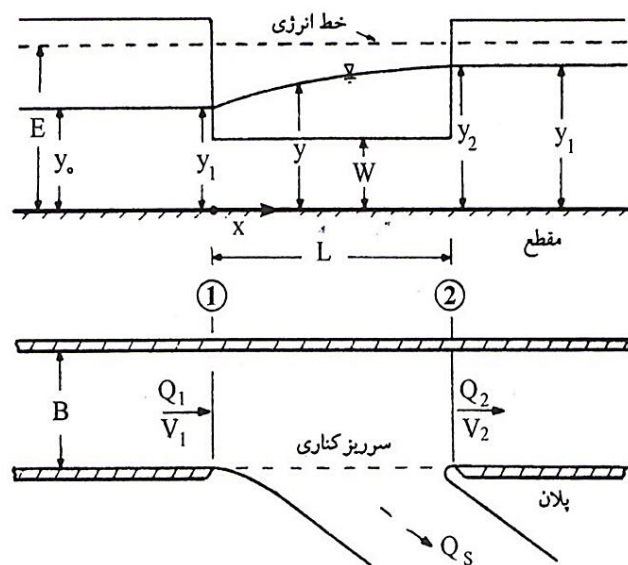
۱- کانال مستطیلی و منشوری^۱ است.

۲- سرریز جانبی دارای طول کوتاه بوده و انرژی مخصوص بین مقاطع ۱ و ۲ ثابت است. این امر معادل

فرض $S_0 - S_f = 0$ بوده که نتایج تجربی نشان می‌دهد یک فرض تقریباً قابل قبول است.

۳- سرریز جانبی به صورت لبه تیز با هوادهی کامل بوده و آب به صورت آزاد از روی آن ریزش می‌کند.

۴- ضریب تصحیح سرعت در رابطه انرژی (α) مساوی یک باشد.



شکل (۹-۳) شمای یک سرریز کناری

چنانچه در فصل دوم مشاهده شد رابطه دینامیکی جریان متغیر مکانی با کاهش دبی به صورت زیر به

دست آمد:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2}\right) \cdot \left(\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - \alpha Fr^2} \quad (۱۴-۳)$$

^۱ Prismatic Channel

با در نظر گرفتن فرضیات مطرح شده رابطه (۴-۱۳) به شکل زیر درمی آید:

$$\frac{d_y}{d_x} = \frac{\frac{Q}{gB^2y^2} \left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - \frac{Q^2}{gy^3B^2}} = \frac{Qy \left(-\frac{dQ}{dx}\right)}{gB^2y^3 - Q^2} \quad (۱۵-۳)$$

که در آن dy/dx تغییرات عمق جریان در طول سرریز و B عرض کانال است.

از طرفی تغییرات دبی در طول سرریز مستطیلی لبه تیز $\left(\frac{dQ}{dx}\right)$ که توسط هندرسون (۱۹۶۶) ارائه شد،

برابر است با :

$$q = -\left(\frac{dQ}{dx}\right) = \left(\frac{dQ_w}{dx}\right) = \frac{2}{3} C_m \sqrt{2g}(y-w)^{1.5} \quad (۱۶-۳)$$

و برای سرریز مثلثی لبه تیز، توسط کومار و پاتااک (۱۹۸۷) به صورت زیر پیشنهاد داده شد:

$$q = -\left(\frac{dQ}{dx}\right) = \left(\frac{dQ_w}{dx}\right) = \frac{4}{15} C_m \sqrt{2g}(y-w)^{1.5} \quad (۱۷-۳)$$

که در آن C_m ضریب دبی بوده و به ضریب دیمارچی موسوم است. با توجه به فرض ثابت بودن انرژی

مخصوص (E) در طول سرریز مقدار دبی در مقطع کانال، از عبارت زیر حاصل می گردد:

$$Q = By\sqrt{2g(E-y)} \quad (۱۸-۳)$$

با جایگذاری معادلات (۳-۱۶) و (۳-۱۸) در (۳-۱۴) رابطه زیر برای سرریز مستطیلی به دست می آید:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{4 C_m \sqrt{(E-y)(y-W)^3}}{3 B (3y-2E)} \quad (۱۹-۳)$$

و همین طور با قرار دادن روابط (۳-۱۷) و (۳-۱۸) در (۳-۱۴) برای سرریز مثلثی می شود:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{8 C_m \sqrt{(E-y)(y-W)^3}}{15 B (3y-2E)} \quad (۲۰-۳)$$

با فرض این که C_m مستقل از x باشد، پس از انجام عملیات انتگرال گیری و ساده سازی رابطه زیر که به

رابطه دیمارچی معروف است به دست می آید:

$$\Phi_2 - \Phi_1 = \frac{2E-3w}{E-w} \left[\left(\frac{E-y_2}{y_2-w}\right)^{0.5} - \left(\frac{E-y_1}{y_1-w}\right)^{0.5} \right] - 3 \left[\sin^{-1} \left(\frac{E-y_2}{E-w}\right)^{0.5} - \sin^{-1} \left(\frac{E-y_1}{E-w}\right)^{0.5} \right] \quad (۲۱-۳)$$

در این رابطه Φ_1 و Φ_2 تابع جریان متغیر دیمارچی^۱ در بالادست و پایین دست سرریز جانبی است. همچنین y_1 و y_2 به ترتیب اعماق جریان در بالادست و پایین دست سرریز می باشند. رابطه (۳-۲۱) به رابطه دیمارچی معروف بوده و چنانچه خواسته شود فاصله بین دو مقطع ۱ و ۲ (L) محاسبه گردد کافی است با داشتن پارامترهای عمق و دبی در بالادست و پایین دست مقادیر x_1 و x_2 را محاسبه و از تفاضل آن ها طول سرریز را مطابق زیر به ترتیب برای سرریز مستطیلی و مثلثی ساده به دست آورد:

$$L = x_2 - x_1 = \frac{3B}{2C_m} (\Phi_2 - \Phi_1) \quad (۳-۲۲)$$

$$L = x_2 - x_1 = \frac{15B}{4C_m} (\Phi_2 - \Phi_1) \quad (۳-۲۳)$$

مسلماً برای حل رابطه فوق نیاز به ضریب دیمارچی C_m نیز است و در فصل قبل اشاره شد که محققین زیادی، روابطی را به صورت تجربی برای محاسبه آن ارائه داده اند. مقادیر این ضریب وابسته به پارامترهای مختلفی از جمله مشخصات جریان در کانال اصلی و شرایط هندسی سرریز است.

با داشتن داده های آزمایش می توان ضریب دبی دیمارچی را از روابط زیر به ترتیب سرریز مستطیلی و مثلثی ساده محاسبه نمود:

$$C_m = \frac{3B}{2L} \Delta\Phi + const \quad (۳-۲۴)$$

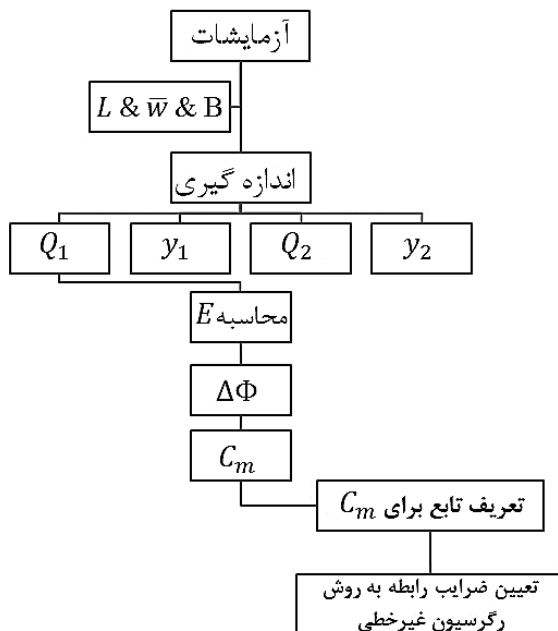
$$C_m = \frac{15B}{4L} \Delta\Phi + const \quad (۳-۲۵)$$

لازم به توضیح است که بر اساس رابطه دیمارچی، فقط مقدار دبی عبوری از سرریز قابل محاسبه است و امکان ترسیم پروفیل آب وجود ندارد. با داشتن مشخصات جریان کانال در مقطع بالادست سرریز مرکب (Q_1 و y_1) و هندسه آن به همراه C_m مقادیر y_2 از رابطه (۳-۲۰) به دست آمده و سپس به کمک رابطه (۳-۱۷) مقادیر دبی در کانال و پایین دست سرریز (Q_2) محاسبه می شود. در نهایت دبی عبوری از سرریز (Q_w) به کمک رابطه زیر تعیین می گردد:

$$Q_w = Q_1 - Q_2 \quad (۳-۲۶)$$

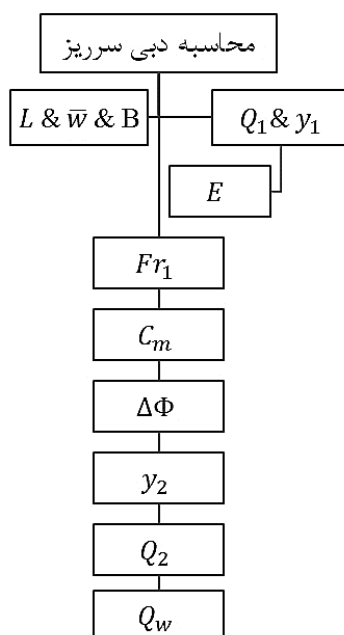
^۱ De-Marchi Varied Flow Function

نکته: مقادیر y_2 از روش سعی و خطا به دست می‌آیند و برای همگرا شدن محاسبات تغییرات آن باید بسیار جزئی باشد. نمودار گردش گام‌های محاسبه ضریب دبی دیمارچی (C_m) را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۱۰) نمودار گردش گام‌های محاسبه ضریب دبی دیمارچی

در صورت وجود رابطه ضریب دبی، برای تعیین دبی عبوری از سرریز جانبی مطابق الگوریتم زیر اقدام می‌شود:



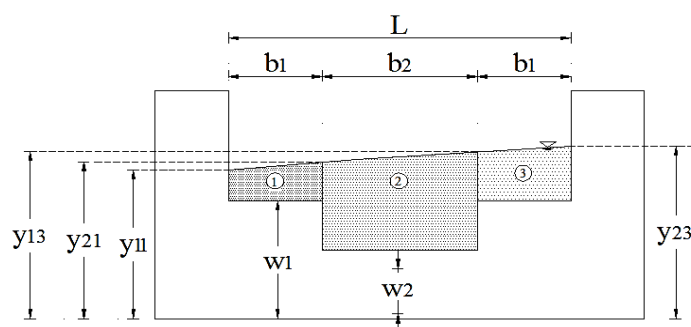
شکل (۳-۱۱) نمودار گردش گام‌های محاسبه دبی عبوری از سرریز به روش دیمارچی

۲-۳-۳ ضریب دبی دیمارچی در سرریزهای مرکب

اصول کلی تعیین ضریب دبی دیمارچی در سرریزهای ساده و مرکب تفاوت زیادی ندارد. فقط مشکلی که در سرریزهای مرکب وجود دارد تغییر تراز تاج سرریز در طول آن است. از آنجایی که رابطه کلی دیمارچی بر اساس تراز تاج ثابت استخراج گردیده، جهت حل این معضل می‌توان به روش‌های مختلفی نسبت به آن اقدام نمود که در ادامه تشریح می‌گردند.

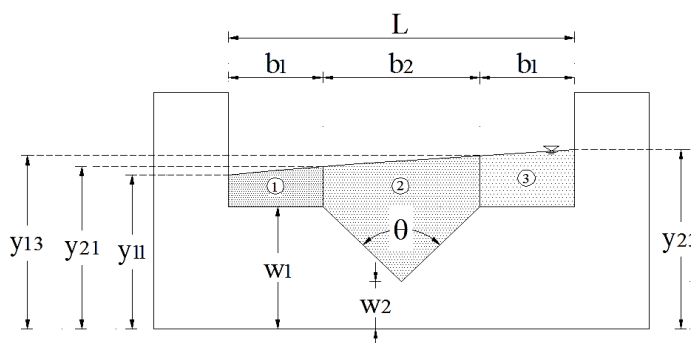
۱-۲-۳-۳ تجزیه سرریز به مقاطع ساده

در روش نخست سرریز جانبی لبه تیز مرکب را می‌توان به‌عنوان ترکیبی از دو یا چند سرریز ساده لبه تیز در نظر گرفت. شکل (۱۲-۳) یک سرریز متقارن را نشان می‌دهد که شامل دو سرریز مستطیلی در طرفین و یکی در مرکز است.



شکل (۱۲-۳) سرریز جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی

همچنین شکل (۱۳-۳) سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی را نشان می‌دهد که شامل یک سرریز مثلثی در مرکز و دو سرریز مستطیلی در طرفین است.



شکل (۱۳-۳) سرریز جانبی لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی

این روش که برگرفته از مطالعه مارتینز و همکاران (۲۰۰۵) برای سرریز مرکب مثلثی نرمال است، فرض می‌شود مقاطع سرریز مرکب به سه قسمت ساده مستطیلی یا مثلثی در مرکز و مستطیلی در طرفین تقسیم شود. سپس به کمک روابط ضریب دبی سایر محققین که در گذشته برای این دو نوع سرریز پیشنهاد شده، مقدار دبی عبوری هر کدام از دو مقطع سرریز محاسبه و سپس باهم جمع جبری می‌شوند. نکته‌ای که در اینجا باید به آن دقت داشت در انجام محاسبات لازم است از مشخصات هندسی و هیدرولیکی مربوط به همان مقطع سرریز ساده استفاده شود به عبارتی در این روش برای سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی:

$$Q_w = Q_{wr1} + Q_{wr2} + Q_{wr1} \quad (۲۷-۳)$$

که در آن Q_{wri} دبی عبوری از مقطع i ام سرریز لبه تیز مرکب است. در این روش ضریب دبی هر بخش سرریز به کمک برخی از روابط ضریب دبی دیمارچی که توسط دیگر محققین برای سرریزهای ساده ارائه شده (فصل قبل) تعیین می‌شود. مراحل انجام محاسبات این روش به شرح زیر است:

۱- با داشتن پارامترهای هیدرولیکی عمق و دبی جریان در بالادست سرریز (Q_{11} و y_{11}) مقدار انرژی مخصوص از رابطه زیر بدست می‌آید:

$$E = y_{11} + \frac{Q_{11}^2}{2gB_1^2y_{11}^2} \quad (۲۸-۳)$$

۲- با تعیین عدد فرود جریان در بالادست سرریز (Fr_1) مقدار ضریب دبی دیمارچی (C_{m1}) از روابط پیشنهادی محققین، برای مقطع اول سرریز بدست می‌آید.

$$Fr_1 = \frac{Q_{11}}{B\sqrt{gy_{11}^3}} \quad (۲۹-۳)$$

۳- با فرض عدم اتلاف انرژی در طول سرریز ($E_1 = E_2 = E$) مقدار عمق جریان در پایین دست مقطع اول سرریز با استفاده از روابط (۳۰-۳) و (۳۱-۳) محاسبه می‌گردد. این فرض تا پایان محاسبات در نظر گرفته می‌شود.

$$\Delta\Phi = \frac{2b_1C_{m1}}{3B} \quad (۳۰-۳)$$

$$\frac{2b_1 C_{m1}}{3B} = \frac{2E - 3w_1}{E - w_1} \left[\left(\frac{E - y_{21}}{y_{21} - w_1} \right)^{0.5} - \left(\frac{E - y_{11}}{y_{11} - w_1} \right)^{0.5} \right] - 3 \left[\sin^{-1} \left(\frac{E - y_{21}}{E - w_1} \right)^{0.5} - \sin^{-1} \left(\frac{E - y_{11}}{E - w_1} \right)^{0.5} \right] \quad (31-3)$$

۴- با تعیین y_{21} دبی پایین دست مقطع ۱ از رابطه (۳۲-۳) محاسبه می‌شود.

$$Q_{21} = B y_{21} \sqrt{2g(E - y_{21})} \quad (32-3)$$

۵- حال مقدار دبی انحراف از مقطع ۱ سرریز مرکب مطابق زیر تعیین می‌گردد:

$$Q_{w1} = Q_{11} - Q_{21} \quad (33-3)$$

۶- برای بخش میانی سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی با در نظر داشتن ($y_{21} = y_{12}$) مراحل ۳ تا

۵ به ازای مشخصات هیدرولیکی جریان و هندسی آن مجدد تکرار می‌شود، به عبارتی:

$$Fr_2 = \frac{Q_{21}}{B \sqrt{g y_{21}^3}} \quad (34-3)$$

$$\frac{2b_2 C_{m2}}{3B} = \frac{2E - 3w_2}{E - w_2} \left[\left(\frac{E - y_{22}}{y_{22} - w_2} \right)^{0.5} - \left(\frac{E - y_{12}}{y_{12} - w_2} \right)^{0.5} \right] - 3 \left[\sin^{-1} \left(\frac{E - y_{22}}{E - w_2} \right)^{0.5} - \sin^{-1} \left(\frac{E - y_{12}}{E - w_2} \right)^{0.5} \right] \quad (35-3)$$

چنانچه مقطع مرکزی سرریز مثلثی باشد:

$$\frac{4b_2 C_{m2}}{15B} = \frac{2E - 3w_2}{E - w_2} \left[\left(\frac{E - y_{22}}{y_{22} - w_2} \right)^{0.5} - \left(\frac{E - y_{12}}{y_{12} - w_2} \right)^{0.5} \right] - 3 \left[\sin^{-1} \left(\frac{E - y_{22}}{E - w_2} \right)^{0.5} - \sin^{-1} \left(\frac{E - y_{12}}{E - w_2} \right)^{0.5} \right] \quad (36-3)$$

لازم به ذکر است ضریب دبی دیمارچی سرریز مثلثی (C_{m2}) از روابط پیشنهادی متناظر آن محاسبه می‌شود.

$$Q_{22} = B y_{22} \sqrt{2g(E - y_{22})} \quad (37-3)$$

و با لحاظ $Q_{12} = Q_{21}$

$$Q_{w2} = Q_{12} - Q_{22} \quad (38-3)$$

۷- پس از تعیین عمق و دبی جریان در پایین دست مقطع میانی (y_{22}, Q_{22}) محاسبات برای بخش

سوم و پایین دست سرریز مطابق زیر دنبال می شود:

$$Fr_3 = \frac{Q_{22}}{B\sqrt{gy_{22}^3}} \quad (39-3)$$

$$\frac{2b_2C_{m3}}{3B} = \frac{2E - 3w_1}{E - w_1} \left[\left(\frac{E - y_{23}}{y_{23} - w_1} \right)^{0.5} - \left(\frac{E - y_{13}}{y_{13} - w_1} \right)^{0.5} \right] - 3 \left[\sin^{-1} \left(\frac{E - y_{23}}{E - w_1} \right)^{0.5} - \sin^{-1} \left(\frac{E - y_{13}}{E - w_1} \right)^{0.5} \right] \quad (40-3)$$

مقدار C_{m3} از روابط پیشنهادی سایر محققین برای سرریزهای ساده با توجه به مشخصات هیدرولیکی و هندسی مربوط به آن محاسبه می شود.

$$Q_{23} = By_{23}\sqrt{2g(E - y_{23})} \quad (41-3)$$

$$Q_{w3} = Q_{22} - Q_{23} \quad (42-3)$$

۸- حال با مشخص شدن دبی عبوری از هر سه بخش سرریز به کمک رابطه زیر کل دبی انحراف از

سرریز مرکب (Q_{wt}) تعیین می گردد:

$$Q_{wt} = Q_{w1} + Q_{w2} + Q_{w3} \quad (43-3)$$

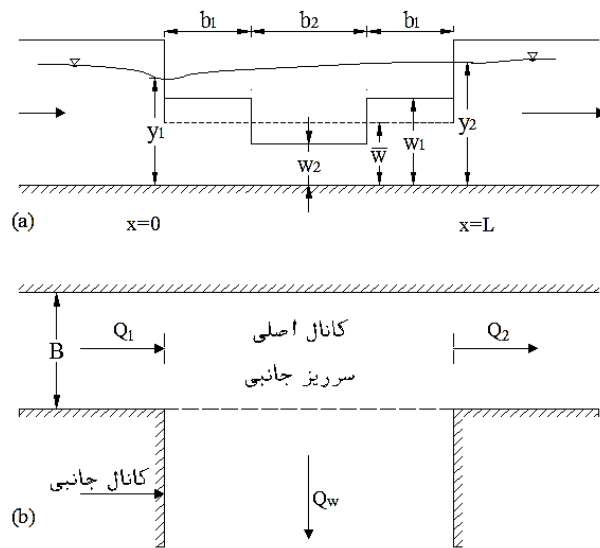
۲-۲-۳-۳ معادل نمودن سرریز مرکب با یک سرریز مستطیلی

اما روش دوم تحقیق بر مبنای معادل سازی سرریز مرکب با یک سرریز مستطیلی به ارتفاع وزنی تاج (\bar{w}) استوار شده است. شکل (۱۴-۳) و شکل (۱۵-۳) چگونگی این معادل سازی را نشان می دهند. در این روش به دلیل تغییرات تراز تاج در طول سرریز و مشکل استفاده از ضریب دبی در روابط دیمارچی مقطع مرکب با یک سرریز مستطیلی به ارتفاع وزنی تاج \bar{w} معادل می شود. به عبارتی سطح بازشدگی دو مقطع یکسان در نظر گرفته می شود. پارامتر \bar{w} توسط روابط (۱۱-۳) و (۱۳-۳) به ترتیب برای سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی و مثلثی - مستطیلی محاسبه می گردد.

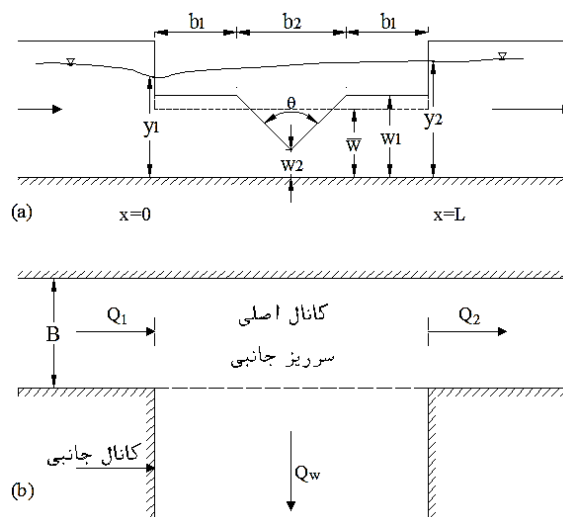
با استفاده از رابطه دیمارچی مقادیر ضریب دبی برای مقطع سرریز معادل به شرح زیر تعیین می شود:

۱- با داشتن پارامترهای هیدرولیکی عمق و دبی جریان در بالادست سرریز (Q_1 و y_1) آزمایشها مقدار

انرژی مخصوص از رابطه (۲۸-۳) محاسبه می گردد.



شکل (۳-۱۴) معادل نمودن سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی با یک سرریز مستطیلی



شکل (۳-۱۵) معادل نمودن سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی با یک سرریز مستطیلی

۲- پارامتر ارتفاع وزنی تاج (\bar{w}) به کمک روابط (۳-۱۱) یا (۳-۱۳) تعیین می‌شود.

۳- با داشتن عمق جریان در پایین دست سرریز (y_2)، دبی عبوری از آن (Q_w) و با فرض عدم اتلاف

انرژی در طول سرریز ضریب دبی دیمارچی (C_m) مطابق روابط زیر به دست می‌آید:

$$\Delta\Phi = \frac{2E - 3\bar{w}}{E - \bar{w}} \left[\left(\frac{E - y_2}{y_2 - \bar{w}} \right)^{0.5} - \left(\frac{E - y_1}{y_1 - \bar{w}} \right)^{0.5} \right] - 3 \left[\sin^{-1} \left(\frac{E - y_2}{E - \bar{w}} \right)^{0.5} - \sin^{-1} \left(\frac{E - y_1}{E - \bar{w}} \right)^{0.5} \right] \quad (3-44)$$

$$C_m = \frac{3B}{2L} \Delta\Phi + const \quad (45-3)$$

۴- با تعیین مقادیر C_m برای کلیه داده‌ها، به کمک آنالیز ابعادی پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی مشخص می‌شوند.

۵- رابطه‌ای برای ضریب دبی که دربرگیرنده پارامترهای بی‌بعد مؤثر باشد ارائه می‌گردد.

۶- ضرایب مجهول و ثابت رابطه پیشنهادی به کمک روش رگرسیون غیرخطی به نحوی مشخص می‌گردند که درصد میانگین خطای بین مقادیر مشاهداتی و محاسباتی ضریب دبی حداقل شود. (حداقل مجموع مربعات خطا)

چنانچه خواسته شود دبی عبوری از سرریز مرکب تعیین گردد، کافی است با برداشت مقادیر دبی ورودی (Q_1)، عمق بالادست جریان (y_1) انرژی مخصوص محاسبه، سپس به کمک رابطه پیشنهادی، ضریب دبی مشخص شود.

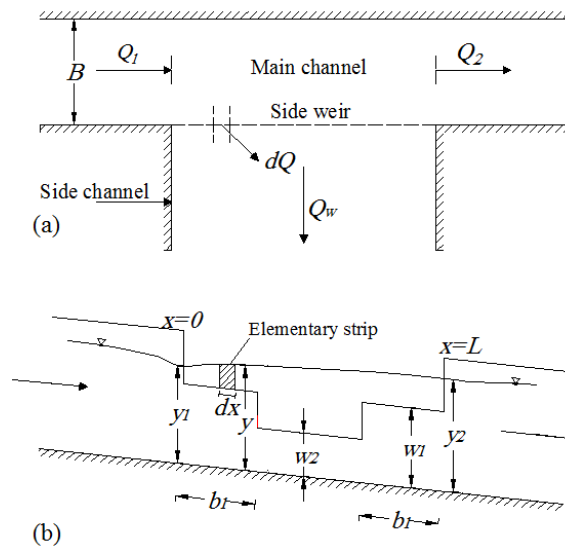
با قرارگیری پارامترهای اخیر در رابطه (۳-۴۴) مقدار عمق جریان پایین‌دست سرریز (y_2) به دست می‌آید. با فرض عدم اتلاف انرژی در طول سرریز، مقدار دبی پایین‌دست محاسبه و به دنبال آن دبی عبوری از سرریز تعیین می‌گردد.

۳-۴ ضریب دبی المانی در سرریزهای مرکب مستطیلی و مثلثی

یکی دیگر از روش‌های محاسبه دبی عبوری از سرریز استفاده از ایده ضریب دبی المانی^۱ است. در این روش که اولین بار توسط سوامی و همکاران (۱۹۹۴) ارائه شد طول سرریز مطابق شکل (۳-۱۷) به المان‌های مساوی و به عرض Δx تقسیم و به کمک رابطه دینامیکی جریان متغیر تدریجی دبی عبوری از هر المان محاسبه و با جمع دبی المان‌ها، دبی کل عبوری از سرریز محاسبه می‌شود. حل این رابطه نیازمند تعیین ضریب دبی برای هر المان است.

همچنین جهت شروع محاسبات داشتن مقادیر شرایط مرزی اولیه شامل عمق جریان بالادست سرریز و دبی ورودی کانال اصلی ضروری است.

¹ Elementary Discharge Coefficient



شکل (۳-۱۶) سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی

همان‌گونه که قبلاً اشاره شد رابطه عمومی جریان متغیر مکانی با کاهش دبی در طول سرریز جانبی به صورت زیر است (چو، ۱۹۵۳):

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2}\right) \cdot \left(\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - \left(\frac{\alpha Q^2 T}{gA^3}\right)} \quad (۴۶-۳)$$

که در آن α ضریب تصحیح سرعت در رابطه انرژی، S_0 شیب طولی کانال، S_f شیب خط انرژی، dQ/dx تغییرات دبی در واحد طول سرریز، A سطح مقطع جریان در کانال اصلی، T عرض جریان، Q دبی جریان و g شتاب ثقل است. با استفاده از رابطه مانینگ^۱، شیب خط انرژی S_f عبارت می‌شود از:

$$S_f = \left(\frac{nQ}{AR^{2/3}}\right)^2 \quad (۴۷-۳)$$

که در آن n ضریب زبری مانینگ و R شعاع هیدرولیکی است.

چنانچه تغییرات دبی در واحد طول سرریز مستطیلی dQ/dx به صورت زیر باشد:

$$g(y_i) = \frac{dQ}{dx} = -\frac{2}{3} C_e \sqrt{2g} (y_i - w)^{1.5} \quad (۴۸-۳)$$

در این رابطه C_e ضریب دبی المانی است.

با جاگذاری روابط (۴۷-۳) و (۴۸-۳) در رابطه دینامیکی جریان متغیر مکانی و با فرض $\alpha = 1$ رابطه

^۱ Manning Equation

(۴۶-۳) در یک کانال مستطیلی شکل عبارت خواهد بود از:

$$f(y_i, Q_i) = \frac{S_0 - \frac{Q^2 n^2}{B^2 y_i^{10/3}} \left(1 + \frac{2y_i}{B}\right)^{4/3} + \frac{2\sqrt{2}}{3} C_e (y_i - w)^{1.5} \frac{Q}{B^2 y_i^2 \sqrt{g}}}{1 - \frac{Q^2}{g B^2 y_i^3}} \quad (۴۹-۳)$$

همان‌گونه که اشاره شد در این روش برای حل معادلات نیاز به شرایط مرزی به‌عنوان داده‌های اولیه است و چون محاسبات از بالادست سرریز آغاز می‌گردد از مقدار دبی ورودی (Q_1) و عمق آب بالادست سرریز (y_1) می‌توان به‌عنوان شرایط اولیه استفاده نمود، یعنی:

$$x = 0 \quad \gg \gg \quad Q = Q_1, \quad y = y_1$$

برای حل معادلات فوق می‌توان از روش عددی رانگ-کوتای مرتبه چهارم (فوکس و مایر، ۱۹۶۸) به شرح زیر استفاده نمود.

$$Q_{i+1} = Q_i + \frac{1}{6}(T_1 + T_2 + T_3 + T_4) \quad (۵۰-۳)$$

$$y_{i+1} = y_i + \frac{1}{6}(K_1 + K_2 + K_3 + K_4) \quad (۵۱-۳)$$

که در آن $Q_i, Q_{i+1}, y_i, y_{i+1}$ به ترتیب دبی‌ها و عمق‌های جریان در ابتدا و انتهای جزء i ام و ضرایب T_1 تا T_4 و K_1 تا K_4 ضرایب رانگ-کوتا بوده که بصورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$T_1 = \Delta x \cdot g(h_i) \quad (۵۲-۳)$$

$$K_1 = \Delta x \cdot f(y_i, Q_i) \quad (۵۳-۳)$$

$$T_2 = \Delta x \cdot g\left(y_i + \frac{K_1}{2}\right) \quad (۵۴-۳)$$

$$K_2 = \Delta x \cdot f\left(y_i + \frac{K_1}{2}, Q_i + \frac{T_1}{2}\right) \quad (۵۵-۳)$$

$$T_3 = \Delta x \cdot g\left(y_i + \frac{K_2}{2}\right) \quad (۵۶-۳)$$

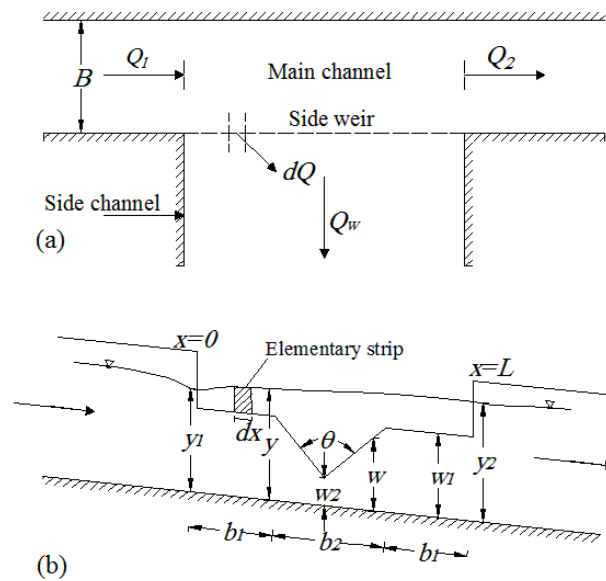
$$K_3 = \Delta x \cdot f\left(y_i + \frac{K_2}{2}, Q_i + \frac{T_2}{2}\right) \quad (۵۷-۳)$$

$$T_4 = \Delta x \cdot g(y_i + K_3) \quad (۵۸-۳)$$

$$K_4 = \Delta x \cdot f(y_i + K_3, Q_i + T_3) \quad (۵۹-۳)$$

جهت محاسبه ضریب دبی المانی لازم است ابتدا رابطه‌های مطابق (۳-۱۲) که سوامی و همکاران یا

(۳-۳۰) که قدسیان پیشنهاد داده شد، تعریف نمود. سپس به کمک روش رانگ - کوتای مرتبه ۴ نسبت به حل معادلات اقدام نمود. برای تعیین ضرایب ثابت رابطه پیشنهادی ضریب دبی معمولاً از روش‌های محاسبات عددی پیشرفته همانند الگوریتم ژنتیک استفاده می‌شود. به طوری که به کارگیری رابطه ضریب دبی المانی در روند حل روابط، کمترین خطای محاسباتی نسبت به داده‌های آزمایش را ایجاد نماید.



شکل (۳-۱۷) شمای یک سرریز جانبی مثلثی - مستطیلی

همین روند نیز در سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی قابل کاربرد است. در سرریز مثلثی همانند شکل (۳-۱۷) نیز سرریز به المان‌های متعدد و مساوی به عرض Δx تقسیم می‌شوند که این عرض المان‌ها نسبت به ارتفاع آن‌ها بسیار کوچک است با تقریب مناسب دارای شکل مستطیل خواهند بود. برای تعیین تغییرات دبی در طول سرریز مثلثی نیز رابطه (۳-۴۸) بکار گرفته می‌شود. منتهی در کلیه روابط ارتفاع تاج در هر المان دارای مقدار متفاوت است و بایستی از همان المان استفاده گردد به عبارتی:

$$g(y_i) = \frac{dQ}{dx} = -\frac{2}{3} C_e \sqrt{2g} (y_i - w_i)^{1.5} \quad (۳-۶۰)$$

$$f(y_i, Q_i) = \frac{S_0 - \frac{Q^2 n^2}{B^2 y_i^{10/3}} \left(1 + \frac{2y_i}{B}\right)^{4/3} + \frac{2\sqrt{2}}{3} C_e (y_i - w_i)^{1.5} \frac{Q}{B^2 y_i^2 \sqrt{g}}}{1 - \frac{Q^2}{g B^2 y_i^3}} \quad (۳-۶۱)$$

۳-۵ مرور کلی بر الگوریتم ژنتیک^۱ (GA)

به دنبال پیشرفت سریع علوم مختلف در قرن بیستم، توابع غیرخطی غیر تحلیلی مختلفی از معادلات ریاضی توصیف‌کننده پدیده‌های مختلف در طبیعت به وجود آمدند که برای طراحی‌های مختلف مهندسی نیاز به حل آن‌ها و یافتن پاسخ بود. به تدریج معادلات توصیف‌کننده دستگاه‌های طبیعی کامل‌تر شدند و این موجب افزایش درجات آزادی و پارامترهای مختلف موجود در سیستم گردید. از سوی دیگر نیاز به بهینه‌سازی هر ساختار موجب می‌شد تا که در یک فضای نمونه گسترده و بر اساس دقت موردنظر طراح تابع مربوطه یا سیستم خاص موردبحث، بارها مورد تحلیل عددی قرار گیرد که این امر از نظر زمانی و اقتصادی بسیار غیر بهینه بود. در حدود ۶۰ سال پیش اولین ایده‌های الگوریتم ژنتیک با بهره‌گیری و الهام از ساختارهای طبیعی به وجود آمد. در روش‌های معمول آنالیز ریاضی بر اساس نوع سیستم و دقت موردنظر طراح، سیستم باید با تعدادی تکرار در مقادیر پارامترهای مختلف موردبررسی قرار گیرد که این امر در بسیاری دستگاه‌ها با پیچیدگی بالا زمان‌بر، غیراقتصادی و مردود هست. از سوی دیگر روش حل نیز بر اساس مسئله موردبحث تغییر می‌کند که این امر برای کسانی که فقط نیازمند حل مسئله خود هستند و بعضاً تسلط کافی به آنالیز ریاضی ندارند مشکل‌ساز می‌باشد. الگوریتم ژنتیک به‌عنوان روشی نسبتاً بهینه، پربازده و مؤثر با قابلیت به‌کارگیری در طیف بسیار گسترده‌ای از مسائل بدون مشکل واگرایی در اکثر موارد، بدون نیاز به درک عمیق ریاضی به‌عنوان روشی بسیار کارا برای اکثر محققین و طراحان علوم مختلف قابل استفاده است.

در روش GA جهت بهینه‌سازی تابع هدف در هر مرحله از یک نسل تحت عنوان کروموزوم‌ها (والدین) که در حقیقت پاسخ‌های اولیه مسئله می‌باشند به یک نسل جدید از کروموزوم‌ها (فرزندان) که در حقیقت پاسخ‌های ثانویه مسئله مفروض می‌باشند) می‌رسیم. در الگوریتم ژنتیک هر کروموزوم نشان‌دهنده پاسخی از مسئله موردنظر می‌باشد، این پاسخ بسته به نوع کد سازی مسئله که با توجه به خصوصیات مسئله تعیین می‌شود می‌تواند به‌صورت ماتریسی از اعداد حقیقی (کد سازی حقیقی)، یک‌رشته از

^۱ Genetic Algorithm

بیت‌های صفر و یک (کد سازی باینری) مطرح گردد. در فرآیند الگوریتم ژنتیک برای ایجاد نسل‌های جدید با محاسبه میزان برازندگی هر عضو نسل فعلی به آن عضو امتیازی تعلق می‌گیرد. سپس عملگرهای ژنتیکی شامل بازتولید، ادغام، جهش و انتخاب اعمال شده و جمعیت جدید ایجاد می‌گردد و نسل جدید جایگزین نسل پیشین شده و این چرخه ادامه می‌یابد که معمولاً نسل جدید برازندگی بیشتری را نسبت به نسل‌های پیشین دارد. این فرآیند جستجو زمانی به پایان می‌رسد که یا به حداکثر نسل موردنظر رسیده باشیم یا همگرایی موردنظر حاصل شده باشد و یا معیارهای توقف دیگری برآورده شوند. در الگوریتم ژنتیک عملگرهای شاخص گذاری، انتخاب، برش و جهش دارای اهمیت و کارایی بالایی هستند.

در این تحقیق به منظور تعیین ضرایب ثابت روابط پیشنهادی به کمک الگوریتم ژنتیک از نرم‌افزار متلب استفاده شد.

۳-۶ آنالیز ابعادی^۱

هدف از آنالیز ابعادی پیدا نمودن رابطه‌ای بین کمیت‌های فیزیکی در یک پدیده طبیعی است. با استفاده از روش آنالیز ابعادی می‌توان در بسیاری از حالات روابط پیچیده را تجزیه و تحلیل نمود و بین متغیرهای مختلف آن پدیده روابط صحیحی ایجاد کرد. در پدیده‌های مختلف هیدرولیکی که متغیرهای متعددی در چگونگی تغییرات آن‌ها دخالت دارند با کمک آنالیز ابعادی می‌توان رابطه‌ای نسبتاً ساده‌تر و منطبق با شرایط فیزیکی مسئله به وجود آورد. مسائل مربوط به ضریب شدت جریان نیز از پدیده‌هایی هستند که از گذشته توسط آنالیز ابعادی مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. به این نحو که ابتدا همه متغیرهایی را که در ضریب دبی (شدت جریان) مؤثر هستند انتخاب شده، سپس به کمک تئوری باکینگهام^۲ پارامترهای بی‌بعد مؤثر را که ترکیبی از متغیرهای اولیه می‌باشند مشخص کرد. در این روش می‌توان تعدادی از پارامترهای بی‌بعد را با توجه به تجربیاتی که از مطالعات گذشته حاصل شده و محرز گردیده که در آن پدیده تأثیر ناچیزی دارند، نادیده گرفت و در نتیجه آن‌ها را از روابط حذف نمود. سپس با انجام آزمایش‌های متعدد و یا عملیات صحرایی، نحوه تأثیر پارامترهای مورد نظر در پدیده را مورد بررسی قرار داده و در نهایت رابطه ریاضی که دارای کمترین خطا نسبت به مقادیر مشاهداتی دارد، ارائه نمود. چون تحقیق حاضر به صورت آزمایشگاهی است انجام آنالیز ابعادی ضریب دبی عبوری از سرریز ضروری بوده که در ادامه برای سرریزهای مرکب مستطیلی - مستطیلی و مثلثی - مستطیلی ارائه می‌شود.

۳-۶-۱ آنالیز ابعادی ضریب دبی در سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی

به‌طور کلی پارامترهای مهم مؤثر بر روی ضریب دبی سرریز شکل (۳-۱۸) را می‌توان به شرح زیر دسته‌بندی نمود:

- ۱- خصوصیات مربوط به سیال شامل: جرم حجمی مایع (ρ)، لزجت دینامیکی مایع (μ)، کشش سطحی (σ) و شتاب ثقل (g).

¹ Dimensional Analysis

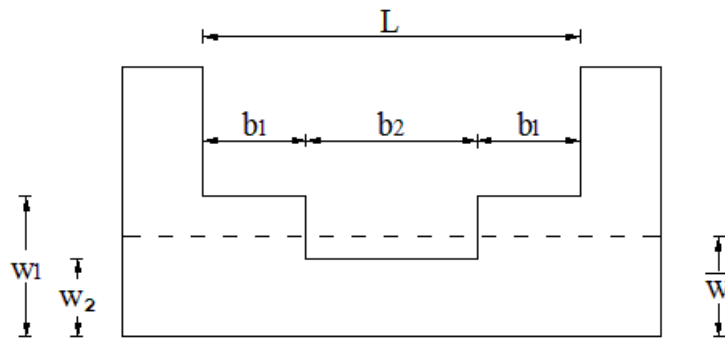
² Buckingham Theory

۲- خصوصیات مربوط به جریان شامل: دبی جریان در بالادست سرریز (Q)، عمق جریان در بالادست

سرریز (y_1) و سرعت جریان در بالادست سرریز (V_1).

۳- مشخصات هندسی سرریز شامل: طول سرریز (L) و ارتفاع سرریز (w).

۴- خصوصیات هندسی کانال شامل: عرض کانال (B).



شکل (۳-۱۸) سرریز جانبی لبه تیز مرکب با مقطع مستطیلی-مستطیلی

با توجه به مواد فوق ضریب شدت جریان به متغیرهای زیر وابسته می‌گردد:

$$C_d = f(\rho, \mu, g, Q_1, y_1, V_1, w_1, w_2, b_1, b_2, b_3, B, \sigma, \psi, S_0) \quad (۳-۶۲)$$

چون دبی جریان در بالادست سرریز (Q_1) تابعی از y_1 و B است، می‌توان آن را از رابطه فوق حذف

نمود، همچنین به دلیل اینکه $b_1 = b_3$ است b_3 نیز از روابط حذف می‌شود بعبارتی:

$$C_d = f(\rho, \mu, g, y_1, V_1, w_1, w_2, b_1, b_2, B, \sigma, \psi, S_0) \quad (۳-۶۳)$$

بطوریکه ρ جرم حجمی سیال، μ ویسکوزیته دینامیکی سیال، g شتاب ثقل، y_1 عمق جریان در بالادست

سرریز، V_1 سرعت جریان در بالادست سرریز، w_i ارتفاعات تاج سرریز و b_i طول‌های سرریز، B عرض

کانال و σ ضریب کشش سطحی آب است.

پس از انجام آنالیز ابعادی به کمک تئوری باکینگهام، پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر ضریب دبی به صورت

زیر به دست می‌آیند:

$$C_d = f \left(Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}, \frac{b_i}{B}, \frac{b_i}{y_1}, \frac{w_i}{y_1}, \psi, S_0, We = \frac{\rho y_1 V_1^2}{\sigma}, Re = \frac{\rho V_1 R}{\mu} \right) \quad (64-3)$$

که در آن Fr_1 به ترتیب عدد فرود جریان در بالادست سرریز، We عدد وبر^۱، ρ جرم حجمی آب، σ کشش سطحی آب، Re عدد رینولدز^۲ جریان و R شعاع هیدرولیکی است.

زاویه انحراف جریان^۳ ψ که میزان انحراف لایه عبوری آب از روی سرریز نسبت به امتداد سرریز جانبی است به صورت زیر تعریف می شود:

$$\sin \psi = \sqrt{1 - \left(\frac{V_1}{V_s}\right)^2} \quad (65-3)$$

که در آن V_1 سرعت متوسط جریان کانال در مجاورت سرریز و در امتداد کانال اصلی و V_s سرعت جریان جزئی دبی عبوری از لبه سرریز جانبی است.

الخشاب (۱۹۷۵) نشان داد که پارامتر بی بعد (L/B) سرریز، شامل اثرات زاویه انحراف در ضریب دبی نیز است.

همچنین برقی و همکاران (۱۹۹۹) پس از انجام آزمایش‌های متعدد گزارش دادند که می توان از اثر شیب کانال (S_0) در شرایط زیر بحرانی جریان صرف نظر کرد.

مطالعات کولمن و همکارانش (۱۹۲۳) نیز نشان داد ارتفاع آب روی تاج سرریز بایستی بیشتر از ۱۹ میلی متر باشد تا اثر کشش سطحی را بتوان نادیده گرفت.

از طرفی قدسیان (۲۰۰۴) با علم به این موضوع که حداقل ارتفاع آب روی سرریز هنگام برداشت داده‌های آزمایشگاه همواره تأمین شده است یعنی $(\gamma_0 > 5 \text{ mm})$ ، از مقدار عدد وبر (we) در محاسباتش صرف نظر نمود. (چون این معیارها در آزمایش‌ها این پژوهش نیز رعایت شد اثر وبر از روابط حذف می گردد).

از طرفی در جریان‌های آشفته^۴ تأثیر نیروی لزجت در مقایسه با نیروهای اینرسی بسیار ناچیز است و چنانچه در کانال‌های باز $Re > 2000$ گردد جریان آشفته شده و می توان از تأثیر رینولدز صرف نظر نمود. (محاسبات رینولدز نشان داد که در کلیه آزمایش‌ها جریان به صورت آشفته بوده لذا پارامتر عدد رینولدز

¹ Weber

² Reynolds Number

³ Deviation Angle

⁴ Turbulent

از روابط این تحقیق حذف شد). بر اساس توضیحات فوق پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر ضریب دبی سرریز مستطیلی مرکب عبارت می‌شود:

$$C_d = f\left(Fr_1, \frac{b_i}{B}, \frac{b_i}{y_1}, \frac{w_i}{y_1}\right) \quad (3-66)$$

که شامل عدد فرود جریان ورودی در کانال اصلی (Fr_1)، نسبت طول تاج‌ها به عرض کانال (b_i/B)، نسبت طول تاج‌ها به عمق آب بالادست سرریز (b_i/y_1) و نسبت ارتفاع تاج‌ها به عمق آب بالادست سرریز (w_i/y_1).

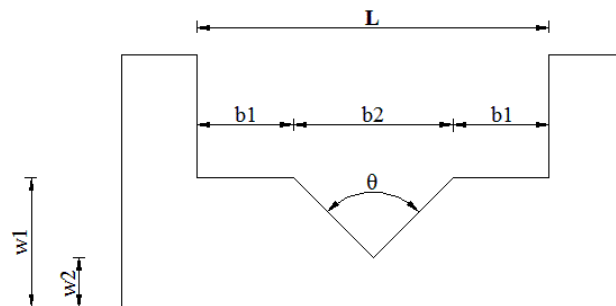
۳-۶-۲ آنالیز ابعادی ضریب دبی در سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی

از آنجایی که این سرریز مرکب مطابق شکل (۳-۱۹) از ترکیب سرریز جانبی مثلثی در بخش تحتانی و مستطیلی در قسمت فوقانی تشکیل شده، لازم است تا پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی سرریز مثلثی نیز مشخص گردد.

پس از انجام آنالیز ابعادی در نهایت پارامترهای بی‌بعد زیر مشخص شدند:

$$C_d = f\left(Fr_1 = \frac{V_1}{\sqrt{gy_1}}, \frac{b_i}{B}, \frac{b_i}{y_1}, \frac{w_i}{y_1}, \theta\right) \quad (3-67)$$

که نسبت به سرریز مستطیلی پارامتر زاویه رأس مثلث (θ) اضافه شده است.



شکل (۳-۱۹) سرریز جانبی لبه تیز مرکب با مقطع مثلثی - مستطیلی

قدسیان (۲۰۰۴) نشان داد که در سرریز مثلثی پارامترهای (b_i/y_1) و (b_i/B) دقت محاسبات را به

میزان اندکی افزایش می‌دهند. در نتیجه ضریب دبی در سرریز مثلی تابع پارامترهای زیر خواهد بود:

$$C_d = f\left(Fr_1, \frac{w_i}{y_1}, \theta\right) \quad (۶۸-۳)$$

ملاحظه می‌شود که در روابط (۶۶-۳) و (۶۸-۳) اثر پارامترهای هندسی سرریز که با اندیس i ($i = 1, 2$) مشخص شده در محاسبه ضریب دبی لحاظ گردیده است، در این تحقیق پارامترهای مذکور به دو روش برای محاسبه دبی کل مورداستفاده قرار گرفته‌اند که در فصل بعد تشریح می‌شود.

با انجام آنالیز ابعادی مشخص گردید آزمایش‌ها باید به نحوی طراحی شوند که پارامتر عدد فرود (Fr_1) و عمق جریان در بالادست سرریز (v_1) به‌عنوان پارامترهای هیدرولیکی متغیر و ابعاد سرریز شامل طول تاج‌ها (b_i)، ارتفاع تاج‌ها (w_i) و زاویه رأس مثلث (θ) به‌عنوان پارامترهای هندسی متغیر در نظر گرفته شوند. چون تغییر عدد فرود از طریق تغییر دبی ورودی جریان (Q_1) یا تغییر عمق جریان بالادست (v_1) امکان‌پذیر است برای گستردگی بیشتر بررسی تأثیر پارامترها و افزایش داده‌های آزمایش، دبی ورودی و عمق جریان به‌صورت توأمان تغییر داده شدند. البته این تغییرات به‌گونه‌ای برنامه‌ریزی شد که جریان در تمام شرایط به‌صورت زیربحرانی باقی بماند.

۷-۳ محدوده پارامترهای هیدرولیکی و هندسی آزمایش‌ها

با توجه به نکات مطرح‌شده در بخش قبل، آزمایش‌ها طوری طراحی شدند که دربرگیرنده اکثر شرایط موردنظر باشند. چون یکی از اهداف این تحقیق بررسی اثر مقیاس بر نتایج بود آزمایش‌ها برای تعدادی از مقاطع در دو فلوم با مشخصات متفاوت انجام شد. در هر دو فلوم ۴ دبی ورودی انتخاب شد و در هریک از این دبی‌ها ۵ عمق جریان بالادست متفاوت ایجاد گردید به‌طوری‌که این تغییرات در محدوده شرایط جریان زیربحرانی قرار داشت.

محدوده پارامترهای هیدرولیکی و هندسی آزمایشات در جداول (۱-۳) تا (۶-۳) نشان داده شده است. در این جداول پارامتر \bar{w} ارتفاع وزنی تاج سرریز مرکب است که نحوه محاسبه و کاربرد آن در ادامه همین فصل ارائه می‌شود.

جدول (۱-۳) محدوده آزمایش‌های سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی - مستطیلی در فلوم A

| Variable | Source |
|---------------------------|-----------------|
| | Section 1 |
| <i>Channel width (cm)</i> | 0.26 |
| Q_1 (l/s) | 4.17-6.67 |
| Fr_1 | 0.16 – 0.75 |
| w_1 (cm) | 5, 6, 7, 7.5, 8 |
| w_2 (cm) | 0, 1, 2, 3 |
| b_1 (cm) | 6.25 – 10 |
| b_2 (cm) | 5 – 12.5 |
| L (cm) | 25 |
| <i>Number of runs</i> | 220 |

جدول (۲-۳) مشخصات هندسی مقاطع سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی در فلوم A

| Run number | Channel | | Characteristics of compound Side Weirs | | | | |
|------------|------------|-------|--|------------|------------|------------|----------------|
| | Width (cm) | Slope | b_1 (cm) | b_2 (cm) | w_1 (cm) | w_2 (cm) | \bar{w} (cm) |
| 1 | 26 | 0.001 | 10 | 5 | 8 | 3 | 7 |
| 2 | 26 | 0.001 | 8.33 | 8.33 | 8 | 3 | 6.33 |
| 3 | 26 | 0.001 | 7.5 | 10 | 8 | 3 | 6 |
| 4 | 26 | 0.001 | 6.25 | 12.5 | 8 | 3 | 5.5 |
| 5 | 26 | 0.001 | 8.33 | 8.33 | 8 | 2 | 6 |
| 6 | 26 | 0.001 | 8.33 | 8.33 | 8 | 1 | 5.67 |
| 7 | 26 | 0.001 | 8.33 | 8.33 | 8 | 0 | 5.33 |
| 8 | 26 | 0.001 | 8.33 | 8.33 | 7.5 | 3 | 6 |
| 9 | 26 | 0.001 | 8.33 | 8.33 | 7 | 3 | 5.67 |
| 10 | 26 | 0.001 | 8.33 | 8.33 | 6 | 3 | 5 |
| 11 | 26 | 0.001 | 8.33 | 8.33 | 5 | 3 | 4.33 |

جدول (۳-۳) محدوده آزمایش‌های سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی-مستطیلی در فلوم B

| Variable | Source |
|---------------------------|--------------|
| | Section 1 |
| <i>Channel width (cm)</i> | 0.6 |
| Q_1 (l/s) | 60 – 110 |
| Fr_1 | 0.16 – 0.7 |
| w_1 (cm) | 6, 9, 10, 14 |
| w_2 (cm) | 3, 6, 10 |
| b_1 (cm) | 15 – 20 |
| b_2 (cm) | 20 – 30 |
| L (cm) | 60 |
| <i>Number of runs</i> | 340 |

جدول (۳-۴) مشخصات هندسی مقاطع سرریز مرکب مستطیل - مستطیل در فلوم B

| Run number | Channel | | Characteristics of compound Side Weirs | | | | |
|------------|------------|-------|--|---------------------|---------------------|---------------------|----------------|
| | Width (cm) | Slope | b ₁ (cm) | b ₂ (cm) | w ₁ (cm) | w ₂ (cm) | \bar{w} (cm) |
| 1 | 60 | 0.002 | 20 | 20 | 14 | 10 | 12.67 |
| 2 | 60 | 0.002 | 20 | 20 | 14 | 6 | 11.33 |
| 3 | 60 | 0.002 | 20 | 20 | 10 | 6 | 8.67 |
| 4 | 60 | 0.002 | 15 | 30 | 9 | 6 | 7.5 |
| 5 | 60 | 0.002 | 15 | 30 | 9 | 3 | 6 |
| 6 | 60 | 0.002 | 15 | 30 | 6 | 3 | 4.5 |

جدول (۳-۵) محدوده آزمایش‌های سرریز جانبی لبه تیز مثلثی - مستطیلی در فلوم B

| Variable | Source | | |
|----------------------|----------------|----------------|------------------|
| | Section 1 | Section 2 | Section 3 |
| Channel width (cm) | 60 | 60 | 60 |
| Q ₁ (l/s) | 50 - 110 | 50 - 110 | 50 - 110 |
| Fr ₁ | 0.16 - 0.7 | 0.16 - 0.7 | 0.16 - 0.7 |
| w ₁ (cm) | 15, 17, 19, 21 | 15, 17, 19, 21 | 14, 16, 18, 20 |
| w ₂ (cm) | 3, 5, 7, 9 | 3, 5, 7, 9 | 2.5, 4.5, 6.5, 8 |
| b ₁ (cm) | 10.75 - 28.1 | 4 - 23 | 5.75 - 16 |
| b ₂ (cm) | 11.55 - 18.5 | 20 - 32 | 28 - 48.5 |
| L(cm) | 40, 50, 60, 70 | 40, 50, 60, 70 | 60 |
| θ | 60 | 90 | 120 |
| Number of runs | 440 | 260 | 160 |

جدول (۳-۶) مشخصات هندسی مقاطع سرریز مرکب مثلثی - مستطیل در فلوم B

| Run number | Channel | | Characteristics of compound Side Weirs | | | | | | |
|------------|------------|----------------|--|---------------------|----|---------------------|---------------------|--------|----------------|
| | Width (cm) | Slope (*0.001) | b ₁ (cm) | b ₂ (cm) | θ° | w ₁ (cm) | w ₂ (cm) | L (cm) | \bar{w} (cm) |
| 1 | 60 | 2, 3 | 13.07 | 13.86 | 60 | 14.5 | 2.5 | 40 | 12.42 |
| 2 | 60 | 2, 3 | 13.07 | 13.86 | 60 | 16.5 | 4.5 | 40 | 14.42 |
| 3 | 60 | 2, 3 | 13.07 | 13.86 | 60 | 18.5 | 6.5 | 40 | 16.42 |
| 4 | 60 | 2, 3 | 13.07 | 13.86 | 60 | 20.5 | 8.5 | 40 | 18.42 |
| 5 | 60 | 2, 3 | 11.92 | 16.17 | 60 | 16.5 | 2.5 | 40 | 13.67 |
| 6 | 60 | 2, 3 | 14.23 | 11.55 | 60 | 16.5 | 6.5 | 40 | 15.06 |
| 7 | 60 | 2, 3 | 15.38 | 9.24 | 60 | 16.5 | 8.5 | 40 | 15.58 |
| 8 | 60 | 2, 3 | 14.23 | 11.55 | 60 | 14.5 | 4.5 | 40 | 13.06 |
| 9 | 60 | 2, 3 | 11.92 | 16.17 | 60 | 18.5 | 4.5 | 40 | 15.68 |
| 10 | 60 | 2, 3 | 10.76 | 18.48 | 60 | 20.5 | 4.5 | 40 | 16.8 |
| 11 | 60 | 2, 3 | 18.07 | 13.86 | 60 | 16.5 | 4.5 | 50 | 14.84 |
| 12 | 60 | 2, 3 | 23.07 | 13.86 | 60 | 16.5 | 4.5 | 60 | 15.11 |
| 13 | 60 | 2, 3 | 28.07 | 13.86 | 60 | 16.5 | 4.5 | 70 | 15.3 |

ادامه جدول (۳-۶)

| Channel | | | Characteristics of compound Side Weirs | | | | | | |
|------------|------------|----------------|--|---------------------|----------------|---------------------|---------------------|--------|----------------|
| Run number | Width (cm) | Slope *(0.001) | b ₁ (cm) | b ₂ (cm) | θ° | w ₁ (cm) | w ₂ (cm) | L (cm) | \bar{w} (cm) |
| 14 | 60 | 2, 3 | 8 | 24 | 90 | 14.35 | 2.35 | 40 | 10.75 |
| 15 | 60 | 2, 3 | 8 | 24 | 90 | 16.35 | 4.35 | 40 | 11.35 |
| 16 | 60 | 2, 3 | 8 | 24 | 90 | 18.35 | 6.35 | 40 | 14.75 |
| 17 | 60 | 2, 3 | 8 | 24 | 90 | 20.35 | 8.35 | 40 | 16.75 |
| 18 | 60 | 2, 3 | 6 | 28 | 90 | 16.35 | 2.35 | 40 | 11.45 |
| 19 | 60 | 2, 3 | 10 | 20 | 90 | 16.35 | 6.35 | 40 | 13.85 |
| 20 | 60 | 2, 3 | 12 | 16 | 90 | 16.35 | 8.35 | 40 | 14.75 |
| 21 | 60 | 2, 3 | 10 | 20 | 90 | 14.35 | 4.35 | 40 | 11.85 |
| 22 | 60 | 2, 3 | 6 | 28 | 90 | 6.35 | 4.35 | 40 | 13.42 |
| 23 | 60 | 2, 3 | 4 | 32 | 90 | 20.35 | 4.35 | 40 | 15.68 |
| 24 | 60 | 2, 3 | 13 | 24 | 90 | 16.35 | 4.35 | 50 | 14.03 |
| 25 | 60 | 2, 3 | 18 | 24 | 90 | 16.35 | 4.35 | 60 | 13.47 |
| 26 | 60 | 2, 3 | 23 | 24 | 90 | 16.35 | 4.35 | 70 | 13.95 |

| Channel | | | Characteristics of compound Side Weirs | | | | | | |
|------------|------------|-------|--|---------------------|----------------|---------------------|---------------------|--------|----------------|
| Run number | Width (cm) | Slope | b ₁ (cm) | b ₂ (cm) | θ° | w ₁ (cm) | w ₂ (cm) | L (cm) | \bar{w} (cm) |
| 27 | 60 | 0.002 | 9 | 42 | 120 | 16.4 | 4.3 | 60 | 12.17 |
| 28 | 60 | 0.002 | 5.75 | 48.5 | 120 | 16.35 | 2.3 | 60 | 10.67 |
| 29 | 60 | 0.002 | 16 | 28 | 120 | 16.3 | 8.1 | 60 | 14.38 |
| 30 | 60 | 0.002 | 12 | 34.4 | 120 | 16.3 | 8 | 60 | 11.34 |
| 31 | 60 | 0.002 | 12.8 | 35 | 120 | 16.4 | 6.5 | 60 | 13.51 |
| 32 | 60 | 0.002 | 9.2 | 41.6 | 120 | 20.25 | 8.1 | 60 | 16.04 |
| 33 | 60 | 0.002 | 9.2 | 41.6 | 120 | 18.75 | 6.3 | 60 | 14.43 |
| 34 | 60 | 0.002 | 9.2 | 41.6 | 120 | 14.35 | 2.15 | 60 | 10.12 |

۳-۸ دستگاه‌ها و تجهیزات آزمایشگاه

از آنجایی که اساس رساله حاضر مطالعه آزمایشگاهی است به همین منظور فراهم شدن دستگاه‌ها و تجهیزات جانبی که بتواند شرایط موردنیاز و با دقت کافی را ایجاد نماید لازم و ضروری بود. به‌طور کلی آزمایش‌ها در دو فلوم آزمایشگاهی انجام شد. فلوم A دارای طول ۵ متر، عرض ۲۶ سانتی‌متر و ارتفاع ۴۰ سانتی‌متر با حداکثر دبی ورودی ۴۰۰ لیتر در دقیقه بوده که مقدار آن توسط یک روتامتر^۱ اندازه‌گیری شد. بخشی از آزمایش‌های سرریز جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی به‌منظور برآورد اولیه نتایج و برنامه ریزی مناسب تر در فلوم A انجام گرفت. در مجاورت سرریز جانبی این فلوم

¹ Rotameter

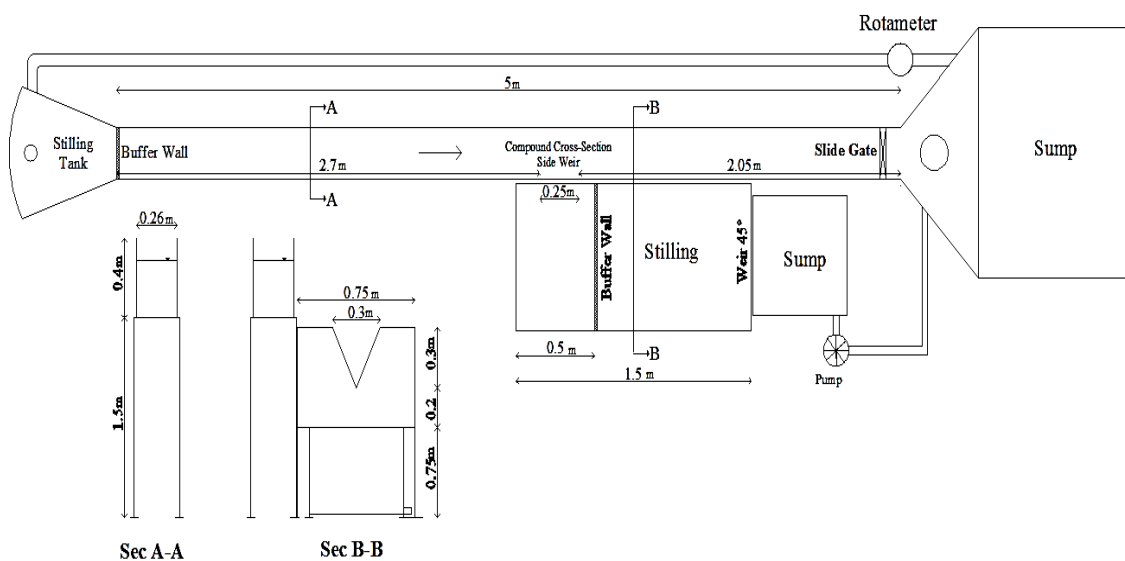
یک مخزن فلزی جهت جمع‌آوری آب خروجی از سرریز و انتقال آن به منبع اصلی طراحی شد. همچنین در انتهای این کانال جانبی سرریز ۴۵ درجه جهت اندازه‌گیری دبی خروجی از سرریز نصب و کالیبره شد. در شکل (۳-۳) شمای فلوم آزمایشگاهی و اجزاء آن شامل سرریز جانبی، سرریز مثلثی ۴۵ درجه و عمق سنج نشان داده شده است.



شکل (۳-۲۰) فلوم آزمایشگاهی A، سرریز جانبی، سرریز مثلثی و عمق سنج

همچنین شکل (۳-۲۱) نمای شماتیک مجموعه فلوم A به همراه کانال جانبی و تجهیزات آن را نشان می‌دهد. اشاره شد به منظور اندازه‌گیری دبی خروجی از سرریز جانبی از یک سرریز مثلثی ساخته شده در انتهای یک مخزن فلزی استفاده شد. رابطه دبی - اشل سرریز مذکور به صورت زیر تعریف شد:

$$Q = a(h - h_0)^b \quad (۳-۶۹)$$



شکل (۳-۲۱) نمای شماتیک فلوم آزمایشگاهی

که در آن Q دبی عبوری از سرریز برحسب لیتر بر ثانیه، $(h - h_0)$ ارتفاع تیغه آب روی تاج سرریز برحسب متر، h_0 ارتفاع تاج سرریز و a و b ضرایب ثابت هستند. برای انجام آزمایش‌ها، سرریز مثلثی ۴۵ درجه ترتیب زیر کالیبره شد:

- ۱- مخزن فلزی که سرریز در بدنه آن تعبیه شده بود به بیرون آزمایشگاه منتقل گردید.
- ۲- لوله‌ای ۴ اینچی از جنس پلاستیک توسط یک بست فلزی به لوله پمپ متصل و سر لوله داخل مخزن فلزی قرار داده شد.
- ۳- شیر لوله رانش پمپ به‌طور کامل بسته شد و برای تهیه دبی‌های مختلف عبوری از پمپ، از شیر لوله کنارگذر استفاده گردید.
- ۴- شیر لوله کنارگذر را باز کرده و آب وارد مخزن فلزی شد. ارتفاع تیغه جریان روی تاج سرریز توسط یک پیزومتر که در بدنه مخزن فلزی نصب شده بود اندازه‌گیری و یادداشت گردید.
- ۵- سپس بدون تغییر در میزان دبی و بدون کم و زیاد کردن شیر لوله کنارگذر، لوله پلاستیکی ۴ اینچی را خیلی سریع داخل یک مخزن فلزی ساده کوچک‌تر قرار داده و به‌طور همزمان، توسط کرنومتر زمان پر شدن مخزن اندازه‌گیری و یادداشت شد.
- ۶- مرحله ۴ و ۵ تا ۱۳ بار تکرار شد.
- ۷- حجم مخزن فلزی ساده محاسبه شد.
- ۸- در هر آزمایش حجم مخزن نسبت به زمان به‌دست‌آمده در هر مرحله تقسیم و دبی در هر آزمایش محاسبه شد.

۹- اعداد به‌دست‌آمده دبی (Q) و ارتفاع تیغه جریان روی تاج سرریز (h) وارد نرم‌افزار اکسل شد و با برازش یک منحنی بین دو پارامتر Q و h ، ضرایب ثابت a و b به‌صورت زیر محاسبه شدند:

$$Q = 725.35(h - 0.2)^{2.456} \quad (l/s) \quad (70-3)$$

چون بررسی‌ها نشان داد در فلوم A امکان انجام آزمایش‌ها در محدوده جریان با فرودهای موردنیاز را ندارد و از طرفی طول فلوم نیز نسبتاً کوتاه بوده و احتمالاً جریان تا محل سرریز به حالت توسعه‌یافته

نیز نمی‌رسد لذا تصمیم گرفته شد تا اکثر آزمایش‌ها در یک فلوم بزرگ‌تر و پیشرفته‌تر که دارای ضریب دقت بیشتر باشد انجام گیرد. این فلوم تحقیقاتی (B) شیب پذیر به طول ۱۰ متر، عرض ۶۰ سانتی‌متر و ارتفاع ۷۵ سانتی‌متر ساخته شد. جنس کف از ورق فلزی رنگ‌آمیزی شده و دیوارها شیشه به ضخامت ۸ میلی‌متر در نظر گرفته شد. محل قرارگیری سرریز جانبی به فاصله ۴,۵ متری از ابتدای کانال تعبیه گردید. برای تأمین آب موردنیاز دو مخزن با مصالح بنایی و فلزی به مجموع ۱۸ مترمکعب طراحی و ساخته شد. جهت تأمین دبی ورودی موردنیاز از یک پمپ گریز از مرکز با توان خروجی ۱۲۰ لیتر در ثانیه استفاده شد و با نصب دو شیر کشویی امکان تغییر مقدار دبی ورودی فراهم گردید. دبی ورودی توسط یک فلومتر آلتراسونیک^۱ با دقت ۰/۰۱ اندازه‌گیری گردید. جهت تعیین دبی خروجی سرریز جانبی مرکب، یک مخزن فلزی به طول ۳ متر، عمق ۶۰ سانتی‌متر و عرض یک متر ساخته و به‌منظور اندازه‌گیری دبی خروجی از سرریز جانبی، سرریز نرمال مثلثی ۹۰ درجه انتهای مخزن نصب و کالیبره شد. برای جلوگیری از ورود تلاطم به دلیل ریزش جریان از روی سرریز جانبی به داخل مخزن جانبی، از ورق‌های عرضی سوراخ‌دار به‌عنوان آرام‌کننده جریان^۲ به‌صورت عرضی در فاصله ۲ متری از سرریز مثلثی نصب شد. عمق جریان داخل این مخزن به کمک یک پیزومتر^۳ که در فاصله ۱,۵ متری از سرریز مثلثی تعبیه گردیده بود قرائت شد. همچنین از یک عمق سنج دیجیتالی^۴ با دقت ۰/۰۱ میلی‌متر نیز برای اندازه‌گیری تراز سطح آب در داخل فلوم و در محدوده سرریز جانبی بکار گرفته شد. به‌منظور سهولت قرائت عمق‌های جریان و کاهش خطا یک ارابه فلزی طراحی و ساخته شد که بر روی ریل قرار گرفت. با نصب عمق سنج دیجیتال بر روی این ارابه امکان حرکت آن در هر دو جهت طولی و عرضی کانال فراهم گردید. به‌منظور تنظیم سطح آب داخل کانال و در بالادست سرریز جانبی، یک دریچه متحرک^۵ فولادی با ضخامت ۴ میلی‌متر در قسمت انتهایی فلوم نصب گردید. این دریچه توسط یک فرمان قابل تنظیم بود. در آزمایش‌هایی که ارتفاع تاج سرریز زیاد بود، جهت تأمین تراز آب موردنیاز و افزایش سطح

¹ Ultrasonic Flowmeter

² Buffer

³ Piezometer

⁴ Point gauge

⁵ Slide Gate

آب تا بالای تاج سرریز از این دریچه متحرک استفاده شد. بدین صورت که با پایین آوردن دریچه، تراز سطح آب افزایش یافته و امکان قرائت و برداشت داده‌ها فراهم گردید. ادامه شکل (۳-۲۰) تصاویر فلوم آزمایشگاهی *B* به همراه تجهیزات آن را نشان می‌دهد.

همان‌گونه که اشاره شد برای تعیین دبی ورودی از یک فلومتر آلتراسونیک با دقت 0.01 استفاده شد. این فلومتر از مدل TFM3100-F1 ساخت کارخانه اکتک ترکیه بود. برای آنکه این دستگاه بتواند کارایی و دقت لازم را داشته باشد بایستی دستورالعمل‌های آن را به دقت رعایت نمود. از جمله تعریف جنس و ضخامت لوله ورودی، قطر لوله ورودی، نحوه و فاصله قرارگیری سنسورها نسبت به هم فاصله نصب سنسورها نسبت به محل قرارگیری شیر کشویی تنظیم شدت جریان و کنترل قدرت سیگنال جزو بخش‌های اصلی کار با این دستگاه است. شکل زیر فلومتر آلتراسونیک مذکور به همراه اتصال نوع *V* سنسورها را نشان می‌دهد.



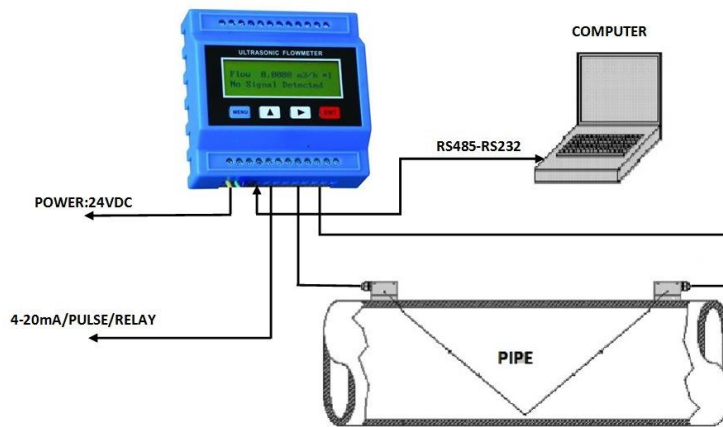
شکل (۳-۲۲) تصاویر فلوم تحقیقاتی *B* به همراه تجهیزات آن



ادامه شکل (۳-۲۳) تصاویر فلوم تحقیقاتی B به همراه تجهیزات آن



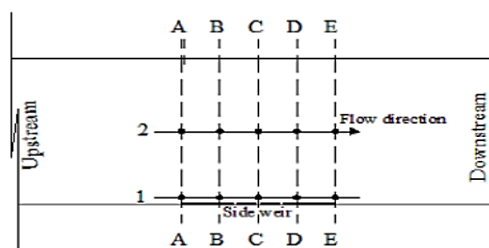
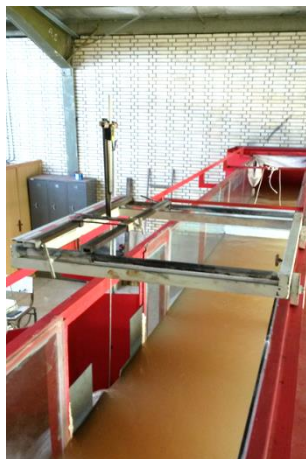
ادامه شکل (۲۲-۳)



شکل (۲۴-۳) فلومتر الٹراسونیک مذکور به همراه اتصال نوع V سنسورها

یکی از قسمت‌های مهم کار با این فلومتر، تنظیم سری زمانی^۱ به منظور متوسط‌گیری شدت جریان اندازه‌گیری شده می‌باشد؛ زیرا با توجه به عملکرد پمپ، نوساناتی در مقادیر دبی ایجاد می‌شود، اگرچه این نوسانات دارای دامنه کوچکی بوده ولی جهت کاهش خطا و جلوگیری از قرائت لحظه‌ای تنظیم دمپینگ برای دستگاه ضروری است. به منظور افزایش دقت فلوم تر، دستگاه توسط شرکت پشتیبانی آن کالیبره شد. علاوه بر آن به روش حجمی نیز در آزمایشگاه مجدداً کنترل شد.

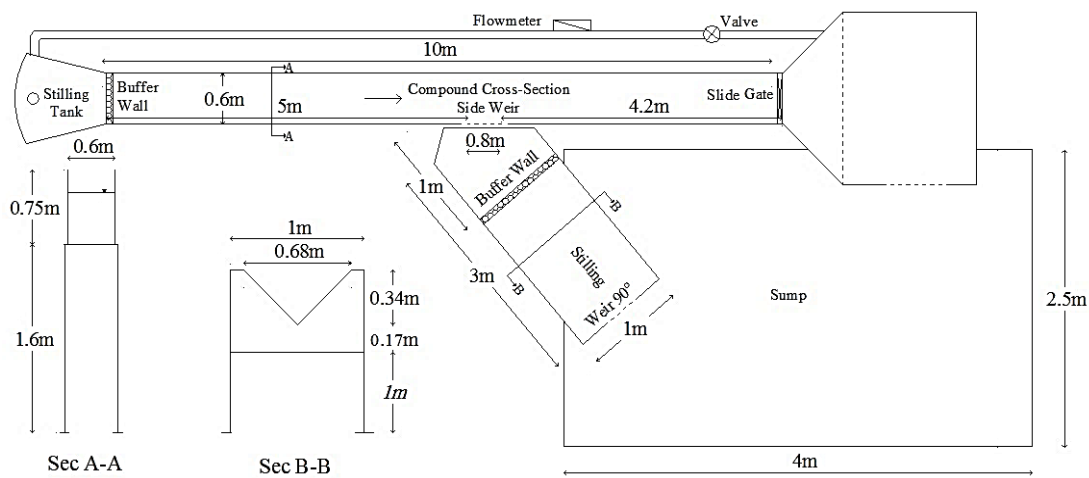
یکی دیگر از تجهیزات بکار گرفته شده در این آزمایش‌ها، عمق سنج دیجیتال با دقت ۰,۱ میلی‌متر بود. چون در کلیه روش‌های محاسبه ضریب دبی، عمق جریان از اهمیت زیادی برخوردار است لذا در برداشت تراز آب دقت بسیاری صورت گرفت. در تمام آزمایش‌ها عمق‌های جریان در میانه کانال (محل قرارگیری سرریز جانبی) و روی تاج سرریز قرائت و ثبت شد. فواصل اندازه‌گیری عمق جریان به گونه‌ای تعیین شد که محل تغییر ارتفاع تاج جزو نقاط برداشت باشد. شکل (۳-۲۶) عمق سنج دیجیتال و محل‌های برداشت عمق جریان را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۲۵) عمق سنج دیجیتالی و محل‌های برداشت عمق جریان

^۱ Time History

با توجه به طول سرریزها که بین ۴۰ تا ۷۰ سانتی متر طراحی گردید در مجموع ۱۱ نقطه برداشت در وسط کانال و روی تاج در امتداد طولی فلوم در نظر گرفته شد که فواصل این نقاط در سرریزهای مختلف با توجه به مشخصات هندسی آن متغیر بود. مجموعه فلوم تحقیقاتی A به همراه تجهیزات آن در شکل زیر نمایش داده شده است. یکی از قابلیت‌های این فلوم شیب پذیری آن بود که امکان انجام آزمایش‌ها برای شیب‌های طولی مختلف را فراهم نمود. ملاحظه می‌گردد که از آرام‌کننده‌های جریان در فلوم و مخزن سرریز جانبی جهت کاهش نوسانات سطح آب استفاده شده است.

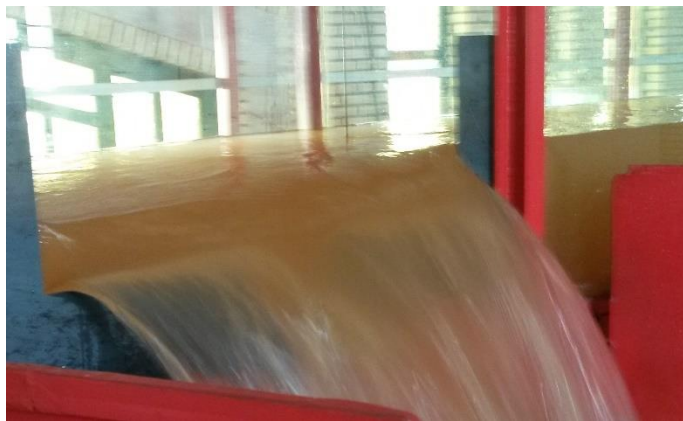


شکل (۳-۲۶) مجموعه فلوم B به همراه تجهیزات جانبی آن

شکل (۳-۲۷) تا شکل (۳-۲۸) تصاویر عبور جریان از سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی و مثلثی - مستطیلی در هر دو فلوم را نشان می‌دهد.



شکل (۳-۲۷) جریان عبوری از سرریزهای مرکب مستطیلی - مستطیلی در فلوم A



شکل (۳-۲۸) جریان عبوری از سرریزهای مرکب مثلثی - مستطیلی در فلوم *B*

۹-۳ مروری بر نحوه پردازش داده‌ها و استخراج روابط

پس از آنکه اطلاعات مورد نیاز برداشت شد تمام آن به نرم افزار اکسل انتقال یافت. در این نرم افزار جدولی طراحی شد که تمام مشخصات هندسی و هیدرولیکی جریان، سرریز و کانال را در برگیرد. تمام محاسبات مورد نیاز این پژوهش با داده‌های ثبت شده در این جداول انجام شد. برای محاسبه دبی عبوری از سرریز به روش دیمارچی که به صورت سعی خطا صورت می گیرد برنامه‌ای در محیط اکسل نوشته شد. همچنین تعیین ضرایب ثابت روابط پیشنهادی در روش‌های مستقیم و دیمارچی از طریق رگرسیون غیرخطی در محیط نرم افزار اکسل به نحوی انجام شد که مقادیر محاسباتی کمترین درصد میانگین خطا را نسبت به داده‌های مشاهداتی داشته باشند.

اما تعیین ضرایب روابط پیشنهادی ضریب دبی سرریزهای جانبی مورد تحقیق به روش المانی با پیچیدگی بیشتری همراه است و می‌بایست از روش‌های عددی پیشرفته‌تر استفاده نمود. یکی از این روش‌ها استفاده از الگوریتم ژنتیک (GA) است که خیلی مختصر در فصل چهارم به آن اشاره شد.

به منظور استفاده از قابلیت الگوریتم ژنتیک نرم افزار متلب مورد استفاده قرار گرفت و برنامه‌ای در محیط این نرم افزار نوشته شد، به طوری که بتواند اطلاعات مورد نیاز را از فایل اکسل آماده شده دریافت نموده و سپس به کمک روش رانگ - کوتای مرتبه چهارم معادلات دیفرانسیل جریان متغیر مکانی با کاهش دبی و تغییرات دبی در طول تاج سرریز را به صورت همزمان حل نماید.

با حل این معادلات ضرایب ثابت رابطه پیشنهادی ضریب دبی المانی به نحوی محاسبه می‌شود که کمترین درصد خطای میانگین را نسبت به مقادیر مشاهداتی ایجاد کند. در واقع در این برنامه کامپیوتری که در پیوست ارائه شده از قابلیت بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک استفاده می‌گردد. البته در برنامه مذکور از توابع GA و $Fmincon$ متلب برای بهینه‌سازی بکار گرفته شد که مقایسه خطاها نشان داد هر دو تابع از دقت لازم در انجام محاسبات برخوردار هستند.

۱۰-۳ آماره‌های ارزیابی

به منظور کنترل دقت روابط پیشنهادی در محاسبه پارامترهای مورد نیاز با داده‌های آزمایشگاهی از کمیت آماره‌های ارزیابی شامل موارد زیر استفاده شد:

۱- میانگین مطلق خطا (درصد خطای میانگین): (Mean Absolute Percentage Error)

$$MAPE = E = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \left| \frac{C_{mc} - C_{mo}}{C_{mo}} \right| \quad (71-3)$$

۲- خطای متوسط: (Mean Error)

$$ME = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{mc} - C_{mo}) \quad (72-3)$$

۳- ماکزیمم خطای نسبی: (Maximum Relative Error)

$$MRE = \max\left(\frac{C_{mc} - C_{mo}}{C_{mo}}\right) \quad (73-3)$$

۴- میانگین نسبت مقادیر محاسباتی به مشاهداتی: (σ)

$$\sigma = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \frac{C_{mc}}{C_{mo}} \quad (74-3)$$

۵- جذر میانگین مربعات خطا (Root-mean-square error):

خطای جذر میانگین مربعات یا انحراف جذر میانگین مربعات یا خطای جذر میانگین مربع‌ها تفاوت میان مقدار پیش‌بینی شده توسط مدل یا برآوردگر آماری و مقدار واقعی می‌باشد. $RMSE$ یک ابزار خوبی است برای مقایسه خطاهای پیش‌بینی توسط یک مجموعه داده است و برای مقایسه چند مجموعه داده کاربرد ندارد.

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (C_{mc} - C_{mo})^2} \quad (75-3)$$

۶- ضریب همبستگی: (Correlation coefficient)

بیان‌کننده میزان همبستگی بین نتایج برآورد شده مدل و داده‌های واقعی می‌باشد. بدیهی است که هر

چه مقدار آن به یک نزدیک تر باشد، نشان‌دهنده نزدیکی بیشتر مقادیر برآورد شده به مقادیر واقعی است. در واقع ضریب همبستگی ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند و یک ابزار ریاضی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌ها بسیار کاربرد دارد.

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n (C_{mo} - \overline{C_{mo}})(C_{mc} - \overline{C_{mc}})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (C_{mo} - \overline{C_{mo}})^2 \sum_{i=1}^n (C_{mc} - \overline{C_{mc}})^2}} \quad (۷۶-۳)$$

در این روابط اندیس‌های mc نشان‌دهنده مقادیر محاسباتی و mo بیانگر مقادیر آزمایشگاهی یا مشاهداتی است.

فصل چهارم

نتایج و بحث

در فصل‌های گذشته اشاره شد که هدف از این پژوهش ارزیابی جریان بر روی سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی و مثلثی - مستطیلی در شرایط زیربحرانی بر اساس مطالعات آزمایشگاهی است، به طوری که بتوان با استفاده از نتایج آن روابطی را برای تعیین دبی کل عبوری از سرریزهای مذکور ارائه داد. بر همین اساس مجموعه آزمایش‌ها مطابق توضیحات فصل سوم طراحی و برنامه‌ریزی گردید و پس از انجام بیش از ۱۴۰۰ آزمایش شامل ۲۲۰ آزمون در فلوم کوچک A و مابقی در فلوم بزرگ B، دیتاهای موردنیاز برداشت، گردآوری و پردازش شد و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. فصل چهارم به طور کلی شامل موارد زیر می‌باشد:

۱- بررسی کاربرد روابط ضریب دبی سرریزهای لبه تیز ساده ارائه شده توسط محققین برای تعیین دبی کل عبوری از سرریزهای مرکب.

۲- ارائه ضریب دبی متوسط به روش مستقیم برای سرریز لبه تیز جانبی مرکب مستطیلی - مستطیلی با تقسیم سرریز به سه مقطع ساده مستطیلی.

۳- ارائه ضریب دبی متوسط به روش مستقیم برای سرریز لبه تیز جانبی مرکب مستطیلی - مستطیلی و کنترل فرض اتلاف ناچیز انرژی در طول سرریز.

۴- ارائه ضریب دبی متوسط به روش دیمارچی برای سرریز لبه تیز جانبی مرکب مستطیلی - مستطیلی و کنترل فرض اتلاف ناچیز انرژی در طول سرریز.

۵- ارائه ضریب دبی متوسط به روش مستقیم برای سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب مثلثی - مستطیلی با استفاده از ایده ارتفاع وزنی تاج.

۶- ارائه ضریب دبی متوسط به روش دیمارچی برای سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب مثلثی - مستطیلی و کنترل فرض اتلاف ناچیز انرژی در طول سرریز.

۷- ارائه و پیشنهاد ضریب دبی المانی برای سرریز لبه تیز جانبی مرکب مستطیلی - مستطیلی با

استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و کنترل دقت محاسبه پروفیل سطح آب.

۸- ارائه و پیشنهاد ضریب دبی المانی برای سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب مثلثی - مستطیلی با

استفاده از روش بهینه‌سازی الگوریتم ژنتیک و کنترل دقت محاسبه پروفیل سطح آب.

۹- بررسی تأثیر شیب طولی کانال بر ضریب دبی سرریزهای لبه تیز مرکب مذکور.

۱۰- بررسی و مقایسه نتایج تعیین دبی عبوری از سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی با استفاده از

نتایج آزمایش‌های فلوم‌های A، B و مطالعات ظهیری و همکاران (۲۰۱۳).

۲-۴ بررسی کاربرد روابط ضریب دبی سرریزهای ساده در تعیین دبی کل عبوری

سرریزهای مرکب

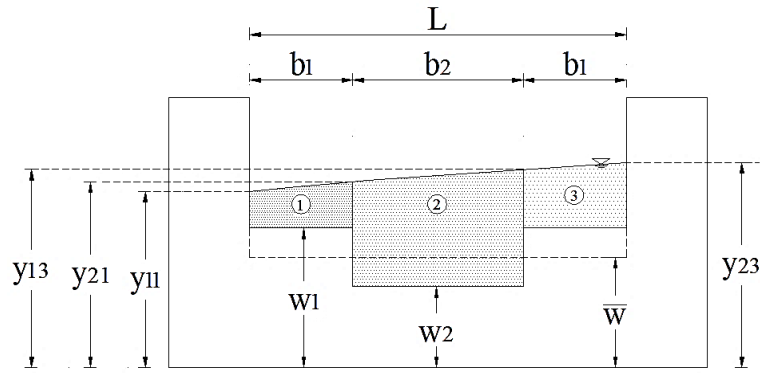
در فصل دوم رساله ملاحظه شد که تاکنون تحقیقات بسیار اندکی در زمینه سرریزهای مرکب، بخصوص جانبی انجام گرفته است. در مطالعاتی هم که توسط مارتینز و همکاران (۲۰۰۵)، جان و همکاران (۲۰۰۶) به همراه پیراتیپان و همکاران (۲۰۰۶) بر روی سرریزهای لبه تیز مرکب نرمال انجام گرفته، رابطه جدیدی برای کل مقطع مرکب ارائه نشده است. در همه این تحقیقات، دبی کل عبوری از مقطع مرکب با تجزیه آن به سه یا چند مقطع ساده و به کارگیری روابط ضریب دبی سرریزهای ساده که توسط سایر محققین پیشنهاد گردیده محاسبه شده است و جهت افزایش دقت محاسبات، نحوه تجزیه سرریز و چگونگی جمع دبی‌های جزء را ارائه نموده‌اند. ایشان در نهایت نشان دادند که به کارگیری روابط ضریب دبی سرریزهای ساده سایر محققین با روشی که پیشنهاد داده‌اند برای سرریزهای لبه تیز مرکب نرمال با دقت کافی قابل کاربرد باشد.

بر همین اساس در پژوهش حاضر، از شیوه مذکور برای سرریزهای لبه تیز مرکب جانبی استفاده شد تا مشخص شود که آیا در مورد این نوع سرریزها نیز این روش قابل کاربرد است یا خیر؟

۱-۲-۴ سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب مستطیلی - مستطیلی

در این روش که برگرفته از مطالعه مارتینز و همکاران (۲۰۰۵) برای سرریز مرکب مثلثی نرمال است، فرض می‌شود مطابق شکل (۱-۴) مقطع سرریز مرکب به سه المان سرریز ساده مستطیلی در دو سمت کناری و در مرکز تقسیم گردد. سپس به کمک روابط ضریب دبی که محققین در گذشته برای سرریزهای جانبی لبه تیز مثلثی و مستطیلی منفرد (ساده) پیشنهاد نموده‌اند مقدار دبی عبوری هر کدام از المان‌ها محاسبه شده و سپس جمع جبری آن‌ها دبی کل عبوری به دست می‌آید.

در اینجا باید دقت داشت که برای روابط دیمارچی از مشخصات هندسی و هیدرولیکی مربوط به آن مقطع سرریز ساده استفاده شود. مراحل محاسبات این روش عبارت است از:



شکل (۱-۴) تقسیم سرریز مرکب به سه المان

$$Q_w = Q_{w1} + Q_{w2} + Q_{w3} \quad (۱-۴)$$

برای سرریز مستطیلی شماره ۱ با داشتن ضریب دبی سرریز مستطیلی (C_{m1}):

$$\frac{2b_1 C_{m1}}{3B} = \frac{2E - 3w_1}{E - w_1} \left[\left(\frac{E - y_{21}}{y_{21} - w_1} \right)^{0.5} - \left(\frac{E - y_{11}}{y_{11} - w_1} \right)^{0.5} \right] - 3 \left[\sin^{-1} \left(\frac{E - y_{21}}{E - w_1} \right)^{0.5} - \sin^{-1} \left(\frac{E - y_{11}}{E - w_1} \right)^{0.5} \right] \quad (۲-۴)$$

$$E = y_{11} + \frac{Q_1^2}{2gB^2 y_{11}^2} \quad (۳-۴)$$

پس از محاسبه y_{21} از رابطه فوق، مقدار دبی عبوری از سرریز مستطیلی شماره ۱ به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q_{21} = B y_{21} \sqrt{2g(E - y_{21})} \quad (۴-۴)$$

$$Q_{w1} = Q_1 - Q_{21} \quad (۵-۴)$$

سپس برای سرریز مثلثی با داشتن ضریب دبی سرریز مثلثی (C_{m2}):

از آنجایی که $y_{12} = y_{21}$ و $Q_{12} = Q_{21}$ از رابطه زیر مقادیر y_{22} محاسبه می‌شود:

$$\frac{2b_2 C_{m2}}{3B} = \frac{2E - 3w_2}{E - w_2} \left[\left(\frac{E - y_{22}}{y_{22} - w_2} \right)^{0.5} - \left(\frac{E - y_{12}}{y_{12} - w_2} \right)^{0.5} \right] - 3 \left[\sin^{-1} \left(\frac{E - y_{22}}{E - w_2} \right)^{0.5} - \sin^{-1} \left(\frac{E - y_{12}}{E - w_2} \right)^{0.5} \right] \quad (۶-۴)$$

$$Q_{22} = B y_{22} \sqrt{2g(E - y_{22})} \quad (۷-۴)$$

$$Q_{w2} = Q_{21} - Q_{22} \quad (۸-۴)$$

مجدداً از رابطه دیمارچی برای محاسبه دبی در المان مستطیلی شماره ۳ استفاده می‌شود. با داشتن مقادیر ضریب دبی سرریز مستطیلی مذکور (C_{m3}) و از آنجایی که $y_{13} = y_{22}$ و $Q_{13} = Q_{22}$ از رابطه زیر مقادیر y_{23} محاسبه می‌شود:

$$\frac{2b_1 C_{m3}}{3B} = \frac{2E - 3w_1}{E - w_1} \left[\left(\frac{E - y_{23}}{y_{23} - w_1} \right)^{0.5} - \left(\frac{E - y_{13}}{y_{13} - w_1} \right)^{0.5} \right] - 3 \left[\sin^{-1} \left(\frac{E - y_{23}}{E - w_1} \right)^{0.5} - \sin^{-1} \left(\frac{E - y_{13}}{E - w_1} \right)^{0.5} \right] \quad (9-4)$$

$$Q_{23} = B y_{23} \sqrt{2g(E - y_{23})} \quad (10-4)$$

$$Q_{w3} = Q_{22} - Q_{23} \quad (11-4)$$

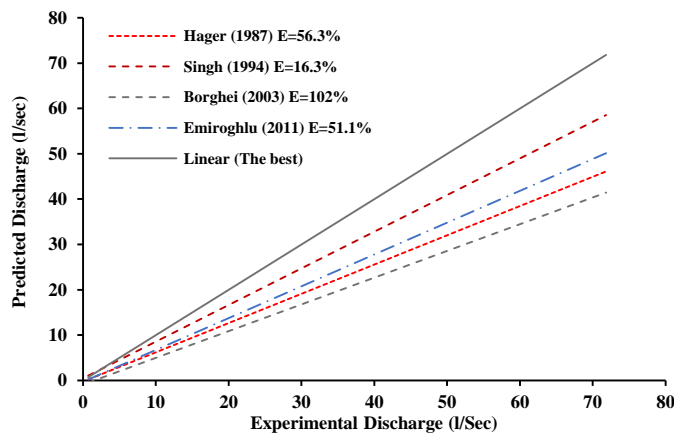
حال به کمک رابطه (۱-۴) مقدار دبی کل عبوری از سرریز مرکب به دست می‌آید. در انجام محاسبات از ضرایب دبی پیشنهادشده توسط محققین مختلف مندرج در جدول (۱-۴) استفاده شد. لازم به ذکر است چنانچه ضریب دبی مستقیم باشد بایستی از همین روش جهت تعیین دبی انحراف استفاده کرد و به‌کارگیری این ضریب به روش دیمارچی مجاز نیست.

جدول (۱-۴) روابط ارائه‌شده توسط محققین برای سرریز لبه تیز مستطیلی ساده

| Author (year) | Proposed equation | Section |
|------------------------|--|-------------|
| Hager (1987) | $C_d = 0.485 \sqrt{\frac{2 + Fr_1^2}{2 + Fr_1^2}}$ | Rectangular |
| Singh et al. (1994) | $C_m = 0.33 - 0.018Fr_1 + 0.49 (w/y_1)$ | Rectangular |
| Borghei et al. (2003) | $C_m = 0.82 - 0.38Fr_1 - 0.22 (w/y_1) + 0.08(L/B)$ | Rectangular |
| Emiroglu et al. (2011) | $C_d = \left[0.836 + (-0.035 + 0.39 (w/y_1)^{12.69} + 0.158(L/B)^{0.59} + 0.049(L/y_1)^{0.42} + 0.244Fr_1^{2.125} \right]^{3.018} \cdot 5.36$ | Rectangular |

معیار انتخاب این محققین بر اساس اعتبار رابطه پیشنهادی و تعداد پارامتر بکار گرفته‌شده و در بازه‌های مختلف زمانی بوده است. نمودار شکل (۲-۴) میزان دقت روش مذکور در محاسبه دبی کل عبوری از مقطع مرکب را نشان می‌دهد. برای محاسبه دبی عبوری از سرریز جانبی لبه تیز مرکب از روابط پیشنهادی هاگر (۱۹۸۷)، سینگ و همکاران (۱۹۹۴)، برقی و همکاران (۲۰۰۳) به همراه امیراوغلو و همکاران (۲۰۱۱) که در بازه‌های زمانی مختلف پیشنهادشده و از اعتبار بیشتری نیز برخوردار می‌باشند بکار گرفته شد. لازم به ذکر است برای هر سه مقطع از روشی که محققین مذکور ارائه نموده‌اند استفاده

شد.



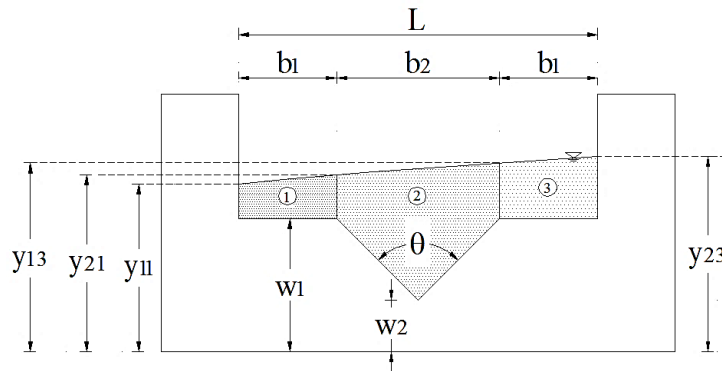
شکل (۲-۴) مقایسه نتایج روش مذکور با مقادیر آزمایشگاهی برای سرریز مستطیلی - مستطیلی

همان‌گونه که ملاحظه می‌گردد دبی عبوری محاسبه‌شده به این روش و با استفاده از ضرایب دبی پیشنهادی سرریزهای ساده مقادیر کمتری را نسبت به نتایج مشاهداتی نشان می‌دهند و دارای خطای قابل ملاحظه‌ای هستند به طوری که درصد میانگین خطا با استفاده از رابطه ضریب دبی سینگ (۱۹۹۴) که نسبت به روابط دیگر نسبتاً دقیق‌تر است حدود ۱۶٫۱ درصد است. بررسی این نتایج نشان می‌دهد به کارگیری روابط ضریب دبی سرریز ساده برای سرریز جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی به روش فوق دارای دقت کافی نیست.

۲-۲-۴ سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب مثلثی - مستطیلی

اما برای سرریز جانبی لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی که در شکل (۳-۴) نشان داده شده است روش محاسبات همانند بخش قبلی است به عبارتی سرریز به سه بخش تجزیه می‌شود که شامل دو سرریز ساده مستطیلی در طرفین و یک سرریز مثلثی در مرکز. پس از محاسبه دبی عبوری از سرریز مستطیلی بالادست به روش دیمارچی، مقادیر دبی و عمق جریان پایین دست آن در کانال اصلی به دست می‌آید که برای سرریز مثلثی به عنوان مقادیر اولیه تلقی می‌گردد. نکته‌ای که در اینجا لازم است به آن اشاره گردد فرض امتداد اضلاع سرریز مثلثی تا سطح آب می‌باشد. اگرچه بخش کوچکی از سرریز دو بار محاسبه می‌شود با این حال نتایج نشان می‌دهد در همه حالت‌ها دبی کل، کمتر از مقادیر واقعی

برآورد می‌شوند.



شکل (۳-۴) تقسیم سرریز مرکب به سه المان

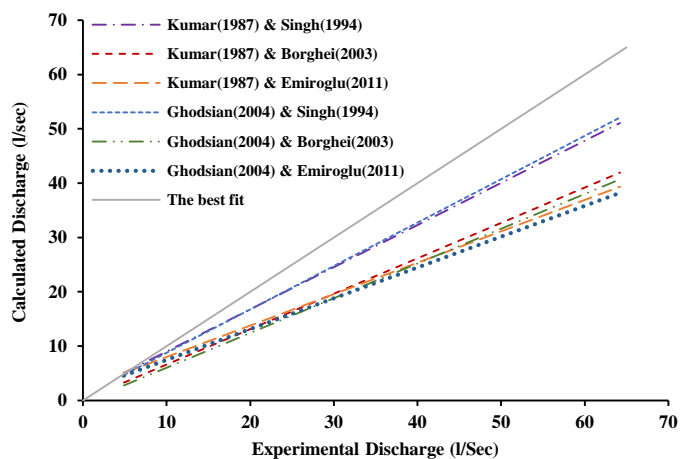
$$\frac{4b_2 C_{m2}}{15B} = \frac{2E - 3w_2}{E - w_2} \left[\left(\frac{E - y_{22}}{y_{22} - w_2} \right)^{0.5} - \left(\frac{E - y_{12}}{y_{12} - w_2} \right)^{0.5} \right] - 3 \left[\sin^{-1} \left(\frac{E - y_{22}}{E - w_2} \right)^{0.5} - \sin^{-1} \left(\frac{E - y_{12}}{E - w_2} \right)^{0.5} \right] \quad (۱۲-۴)$$

در محاسبات سرریز جانبی لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی از ضرایب دبی پیشنهادی مندرج در جدول (۲-۴) استفاده شد.

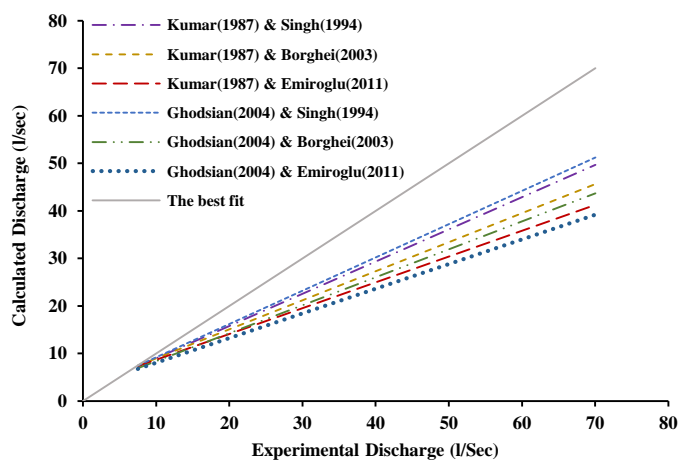
جدول (۲-۴) روابط ارائه شده توسط محققین برای سرریز لبه تیز مثلثی و مستطیلی ساده

| Author (year) | Proposed equation | Section |
|------------------------|--|-------------------------------|
| Kumar et al. (1987) | $C_m = 0.668 - 0.381Fr_1$ | Triangular ($\theta = 60$) |
| Kumar et al. (1987) | $C_m = 0.619 - 0.203Fr_1$ | Triangular ($\theta = 90$) |
| Kumar et al. (1987) | $C_m = 0.42 - 0.042Fr_1$ | Triangular ($\theta = 120$) |
| Ghodsian (2004) | $C_m = 0.5707 - 0.2932Fr_1 + 0.1426 (w/y_1)$ | Triangular ($\theta = 60$) |
| Ghodsian (2004) | $C_m = 0.5607 - 0.2511Fr_1 + 0.1661 (w/y_1)$ | Triangular ($\theta = 90$) |
| Ghodsian (2004) | $C_m = 0.5523 - 0.1317Fr_1 + 0.0868 (w/y_1)$ | Triangular ($\theta = 120$) |
| Singh et al. (1994) | $C_m = 0.33 - 0.018Fr_1 + 0.49 (w/y_1)$ | Rectangular |
| Borghei et al. (2003) | $C_m = 0.82 - 0.38Fr_1 - 0.22 (w/y_1) + 0.08(L/B)$ | Rectangular |
| Emiroglu et al. (2011) | $C_m = \left[0.836 + (-0.035 + 0.39 (w/y_1)^{12.69} + 0.158(L/B)^{0.59} + 0.049(L/y_1)^{0.42} + 0.244Fr_1^{2.125} \right]^{3.018} \cdot 5.36$ | Rectangular |

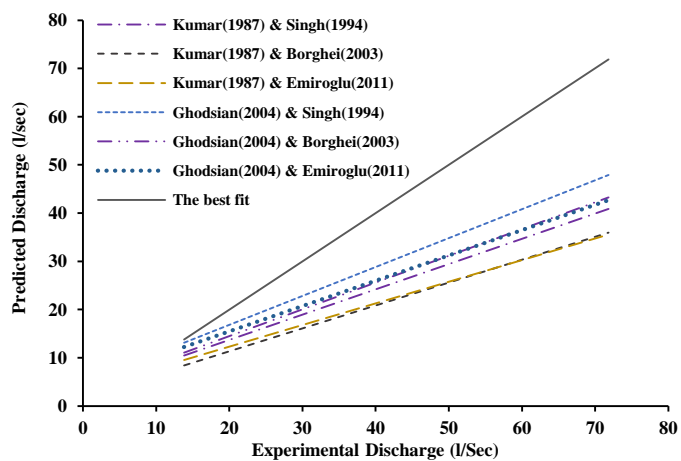
مقایسه نتایج این روش با مقادیر آزمایشگاهی برای سرریزهای مرکب مثلثی - مستطیلی با زوایای رأس ۹۰، ۶۰ و ۱۲۰ درجه در شکل‌های زیر نشان داده شده است.



شکل (۴-۴) مقایسه نتایج روش مذکور با مقادیر آزمایشگاهی برای سرریز مرکب با زاویه رأس ۶۰ درجه



شکل (۵-۴) مقایسه نتایج روش مذکور با مقادیر آزمایشگاهی برای سرریز مرکب با زاویه رأس ۹۰ درجه



شکل (۶-۴) مقایسه نتایج روش مذکور با مقادیر آزمایشگاهی برای سرریز مرکب با زاویه رأس ۱۲۰ درجه

مقادیر میانگین خطای نسبی برای هر کدام از حالت‌های مختلف تعیین دبی به روش اول در جدول زیر ارائه شده است.

جدول (۳-۴) مقادیر میانگین خطای نسبی بر اساس روش اول تحقیق (برحسب درصد)

| ردیف | ترکیب ضرایب دبی پیشنهادی برای سرریز ساده | سرریز جانبی لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی | | |
|------|--|--|---------------------|----------------------|
| | | $\theta = 60^\circ$ | $\theta = 90^\circ$ | $\theta = 120^\circ$ |
| ۱ | کومار و همکاران (۱۹۸۷) & سینگ و همکاران (۱۹۹۴) | ۱۶,۴ | ۲۳,۵ | ۲۷,۴ |
| ۲ | کومار و همکاران (۱۹۸۷) & برقی و همکاران (۲۰۰۳) | ۳۵,۲ | ۳۰ | ۳۳,۴ |
| ۳ | کومار و همکاران (۱۹۸۷) & امیر اوگلو (۲۰۱۱) | ۳۲,۹ | ۳۴,۳ | ۳۲,۵ |
| ۴ | قدسیان (۲۰۰۴) & سینگ و همکاران (۱۹۹۴) | ۱۹,۰۵ | ۲۶,۵ | ۱۹,۳ |
| ۵ | قدسیان (۲۰۰۴) & برقی و همکاران (۲۰۰۳) | ۳۸,۲ | ۳۳,۵ | ۲۵ |
| ۶ | قدسیان (۲۰۰۴) & امیر اوگلو (۲۰۱۱) | ۳۵,۹ | ۳۷,۸ | ۲۴,۱ |

بررسی مقادیر مندرج در جدول قبل نشان می‌دهد به‌کارگیری روابط پیشنهادی ضریب دبی برای محاسبه دبی کل عبوری از سرریز مرکب دارای خطای نسبتاً زیادی است. لذا می‌توان نتیجه گرفت که به‌کارگیری روش تجزیه مقطع مرکب به سرریزهای ساده و جمع جبری دبی‌های جزء به کمک روابط ضریب دبی سرریزهای ساده در سرریزهای مرکب مورد مطالعه مناسب نبوده و از دقت کافی برخوردار نیست. لذا بهتر است سرریزهای جانبی مرکب به‌صورت یک سرریز خاص مورد بررسی قرار گرفته و با ارائه ضریب دبی به‌روش‌های دیگر نسبت به محاسبه دبی عبوری از آن اقدام شود. بر همین اساس در ادامه چگونگی تعیین ضریب دبی سرریزهای مرکب و محاسبه دبی عبوری از آن به روش‌های مختلف ارائه می‌گردد.

۳-۴ ضریب شدت جریان در سرریز لبه تیز جانبی مرکب مستطیلی - مستطیلی و محاسبه

دبی عبوری از آن

این بخش به‌طور کامل اختصاص به سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب مستطیلی - مستطیلی دارد و در آن نحوه محاسبه ضریب شدت جریان و دبی کل عبوری به روش‌های مستقیم، دیمارچی تشریح می‌گردد و برای هریک از روش‌های فوق روابطی جهت محاسبه ضریب دبی ارائه، سپس فرض عدم اتلاف انرژی مخصوص در طول سرریز مرکب هم بررسی می‌شود.

۴-۳-۱ ضریب دبی متوسط سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی به روش مستقیم

در روش مستقیم که ساده و سریع‌ترین شیوه محاسبه دبی عبوری از سرریز است بر اساس رابطه تغییرات دبی در واحد طول سرریز، با داشتن پارامترهای هندسی و هیدرولیکی موردنیاز ضریب شدت جریان و به دنبال آن دبی عبوری از سرریز محاسبه می‌گردد.

در فصل قبل ملاحظه شد که رابطه تغییرات دبی در طول سرریز مستطیلی عبارت است از:

$$Q = \frac{2}{3} \sqrt{2g} L C_d (y_1 - w)^{1.5} \quad (۱۳-۴)$$

اما مشکلی که برای استفاده از رابطه فوق در سرریز مرکب مستطیلی وجود دارد ثابت نبودن ارتفاع تاج سرریز (w) در طول آن است. برای حل این معضل دو روش بررسی می‌گردد. در روش اول که از یک ضریب دبی مستقیم برای کل مقطع استفاده می‌شود سرریز به سه بخش مستطیلی با دو ارتفاع تاج مختلف تجزیه شده و دبی کل مطابق رابطه زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q_w = Q_1 + 2Q_2 = \frac{2}{3} C_d \sqrt{2g} [2b_1 (y_1 - w_1)^{1.5} + b_2 (y_1 - w_2)^{1.5}] \quad (۱۴-۴)$$

که در آن b_1 و b_2 به ترتیب طول تاج قسمت‌های کناری و میانی سرریز، w_1 و w_2 ارتفاع تاج قسمت‌های کناری و میانی سرریز مرکب است. حال چنانچه مقادیر دبی عبوری از سرریز (Q_w) از نتایج آزمایشگاه مشخص باشد می‌توان ضریب شدت جریان (C_d) را به صورت زیر محاسبه نمود:

$$C_d = \frac{Q_w}{\left(\left(\frac{2}{3} \right) \sqrt{2g} [2b_1 (y_1 - w_1)^{1.5} + b_2 (y_1 - w_2)^{1.5}] \right)} \quad (۱۵-۴)$$

حال با این ایده به کمک رابطه (۴-۴) و با داشتن نتایج آزمایشات مقادیر ضریب دبی محاسبه و با استفاده از آنالیز ابعادی پارامترهای آن مشخص می‌شود. بر اساس آنالیز ابعادی رابطه زیر جهت برآورد ضریب دبی پیشنهاد می‌گردد:

$$C_d = h + a F r_1^b + c \left(\frac{w_1}{y_1} \right)^d + e \left(\frac{w_2}{y_1} \right)^f + g \left(\frac{L}{y_1} \right)^h \quad (۱۶-۴)$$

در این روابط، ضرایب a, b, c, d, e, f, g, h ضرایب ثابتی هستند که به کمک داده‌های آزمایشگاهی و با حداقل سازی مجموع مربعات خطا به دست می‌آیند. لازم به توضیح است که به دلیل برابر بودن ارتفاع

تاج قسمت اول و سوم مقطع مرکب، فقط w_1 در نظر گرفته شد. به کمک رابطه (۴-۴) و با توجه به معلوم بودن ضریب دبی و پارامترهای بدون بعد، ضرایب ثابت مجهول طوری محاسبه می‌شوند که ضریب دبی محاسباتی در مقایسه با ضریب دبی واقعی کمترین اختلاف را داشته باشد. به این منظور از پارامتر آماری مجموع مربعات خطا به‌عنوان تابع هدف و از ضرایب مجهول مذکور به‌عنوان متغیرهای تصمیم‌گیری استفاده شد. مراحل بهینه‌سازی ضرایب به کمک نرم‌افزار اکسل انجام گردید. بر همین اساس دو روابط زیر جهت تعیین ضریب دبی کل مقطع مرکب سرریز جانبی لبه‌تیز پیشنهاد می‌شود:

$$C_d = 0.3709 + 0.398Fr_1^{0.205} - 0.053\left(\frac{w_1}{y_1}\right) \quad (17-4)$$

$$C_d = 0.15 + 0.249Fr_1^2 - 0.035\left(\frac{w_1}{y_1}\right)^{0.05} + 0.32\left(\frac{w_2}{y_1}\right)^{0.02} + 0.186\left(\frac{L}{y_1}\right)^{-0.05} \quad (18-4)$$

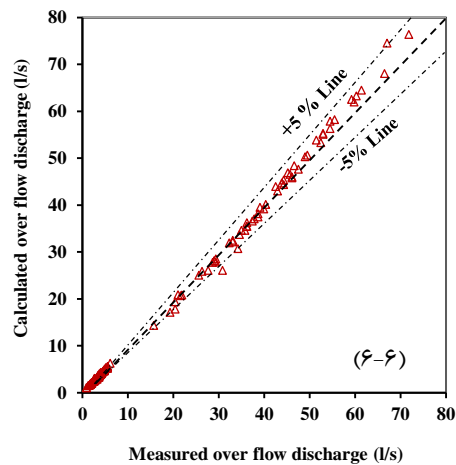
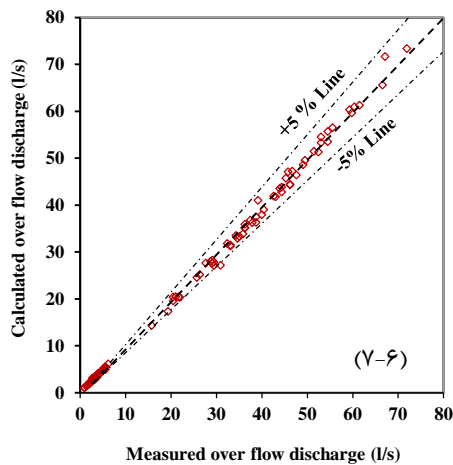
که در آن Fr_1 عدد فرود بالادست جریان، w_1 و w_2 ارتفاع تاج مقطع بالایی و زیرین سرریز، y_1 عمق جریان در بالادست سرریز و L طول سرریز است.

رابطه (۷-۴) به دلیل مرکب بودن شکل هندسی سرریز برحسب عدد فرود جریان در کانال اصلی و در بالادست سرریز مرکب و همچنین نسبت طول و ارتفاع‌های تاج سرریز به عمق جریان در بالادست سرریز ارائه گردیده است. آماره‌های خطا بر اساس روابط اخیر در جدول (۴-۴) ارائه شده است.

جدول (۴-۴) مقایسه آماره‌های ارزیابی دبی عبوری از سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب

| MAPE | RMSE | ME | آماره‌های ارزیابی |
|------|--------|---------|-------------------|
| ۳/۴۷ | ۰/۰۳۲ | ۰/۰۰۰۲۲ | رابطه (۶-۴) |
| ۳,۲۳ | ۰,۰۲۶۳ | ۰,۰۰۰۳۵ | رابطه (۷-۴) |

شکل (۷-۴) تغییرات دبی محاسباتی در مقابل دبی مشاهداتی بر اساس رابطه (۶-۴) و (۷-۴) را در محدوده خطای $\pm 5\%$ درصد را نشان می‌دهد. در این نمودار با صرف نظر کردن از چند پراکندگی، انطباق مناسبی بین نتایج مشاهده می‌شود.



شکل (۷-۴) محدوده تغییرات دبی مشاهداتی و محاسباتی بر اساس روابط (۶-۴) و (۷-۴)

اما روش دوم به کارگیری پارامتر ارتفاع وزنی تاج است که اولین بار توسط ظهیری و همکاران (۲۰۱۳) معرفی شد. در این روش سرریز مرکب با یک مقطع مستطیلی به ارتفاع وزنی تاج (\bar{w}) معادل می‌شود. به طوری که ضریب دبی برای سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی شکل به صورت زیر ارائه می‌شود:

$$C_d = \frac{Q_w}{\frac{2}{3} \sqrt{2gL} (y_1 - \bar{w})^{1.5}} \quad (19-4)$$

که در آن \bar{w} مطابق شکل (۱-۴) ارتفاع وزنی تاج سرریز بوده و برای سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$\bar{w} = \frac{2w_1b_1 + w_2b_2}{2b_1 + b_2} \quad (20-4)$$

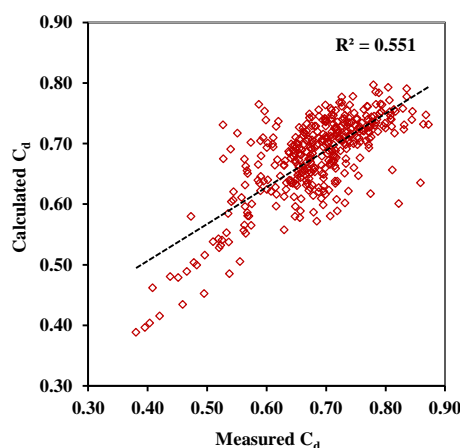
در این رابطه b_1 و w_1 به ترتیب طول و ارتفاع تاج سرریز قسمت‌های کناری، b_2 و w_2 طول و ارتفاع تاج سرریز در قسمت مرکزی مقطع مرکب است.

بعد از اتمام آزمایش‌ها، با داشتن پارامترهای آزمایشگاهی موردنظر، مقادیر C_d محاسبه شد. سپس به کمک نتایج و با استفاده از روش حداقل سازی مجموع مربعات خطا و تحلیل ابعادی، رابطه‌ای برای تخمین ضریب دبی سرریز جانبی لبه تیز مرکب پیشنهاد گردید.

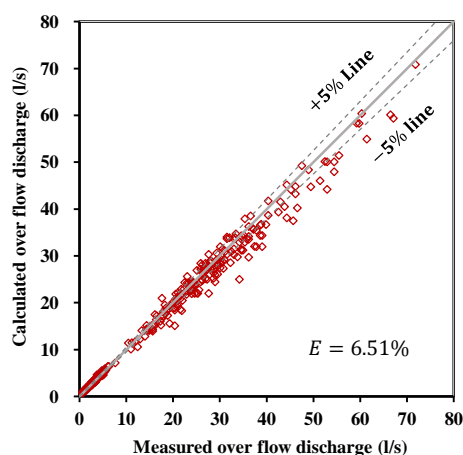
پس از انجام محاسبات و رگرسیون غیرخطی در محیط اکسل ضرایب مجهول محاسبه و رابطه زیر استخراج شد:

$$C_d = 0.7698 - 0.3327Fr_1^{0.1722} + 0.5685 \left(\frac{\bar{W}}{y_1}\right)^{0.5885} - 0.2163\left(\frac{L}{B}\right)^{0.5348} \quad (21-4)$$

در این رابطه Fr_1 عدد فرود بالادست سرریز، L طول سرریز، y_1 عمق آب در وسط کانال و بالادست سرریز، B عرض کانال و \bar{W} ارتفاع وزنی تاج سرریز است. شکل (۸-۴) تغییرات ضریب دبی محاسباتی در مقابل مقادیر آزمایشگاهی و شکل (۹-۴) تغییرات دبی محاسباتی در مقابل دبی مشاهده‌ای در محدوده خطای $\pm 5\%$ درصد را نشان می‌دهند. در این نمودار با صرف نظر کردن از چند پراکندگی، انطباق مناسبی بین نتایج مشهود است. به کارگیری رابطه (۸-۴) درصد خطای میانگین حدود ۶.۵ درصد را برای مقادیر دبی عبوری از سرریز ایجاد نموده است.



شکل (۸-۴) مقایسه مقادیر ضریب دبی بر اساس ضریب دبی رابطه (۶-۲۰) با نتایج آزمایشگاهی



شکل (۹-۴) مقایسه مقادیر دبی محاسباتی با مقادیر آزمایشگاهی

مقادیر آماره‌های ارزیابی شامل خطای متوسط، جذر میانگین مربعات خطا، درصد میانگین مطلق خطا

برای داده‌های بر اساس رابطه (۴-۸) محاسبه و نتایج آن در جدول (۴-۵) ارائه شده است. بررسی مقادیر آماره‌های خطا نشان می‌دهد رابطه پیشنهادی از دقت مناسبی برخوردار است.

جدول (۴-۵) مقایسه آماره‌های ارزیابی مقادیر محاسباتی دبی عبوری از سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب

| MAPE | RMSE | ME | آماره‌های ارزیابی |
|------|--------|--------|-------------------|
| ۶/۵۱ | ۰/۰۰۳۳ | ۰/۰۰۴۴ | رابطه (۶-۱۰) |

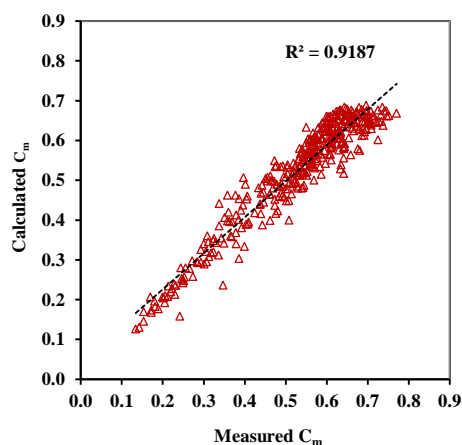
۲-۳-۴ ضریب دبی دیمارچی در سرریز جانبی مرکب مستطیلی - مستطیلی

در روش دیمارچی نیز جهت حل مشکل تغییر ارتفاع تاج در طول سرریز، همانند شکل زیر مقطع مرکب با یک سرریز مستطیلی ساده به ارتفاع تاج (\bar{W}) معادل شد. مطابق بخش قبلی پس از محاسبه ضریب دبی به کمک نتایج آزمایش‌ها (C_{mo}) برای تمامی داده‌ها، ضرایب رابطه پیشنهادی با انجام رگرسیون غیرخطی مشخص گردید. لازم به یادآوری است که جهت تعیین رابطه ضریب دبی، ابتدا با استفاده از تحلیل ابعادی باکینگهام پارامترهای مهم و تأثیرگذار تعیین شدند. بر همین اساس در نهایت رابطه زیر برای تعیین ضریب دبی دیمارچی سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی به دست آمد:

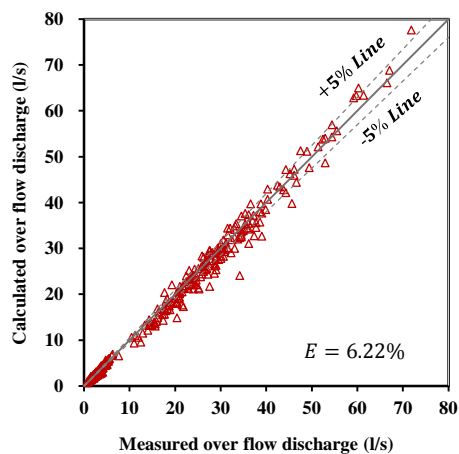
$$C_m = 0.4874 - 0.5829Fr_1^{1.663} + 0.481\left(\frac{\bar{W}}{y_1}\right)^{0.0491} - 0.2462\left(\frac{L}{B}\right)^{0.2194} \quad (۴-۲۲)$$

مقایسه ضریب دبی به دست آمده از رابطه اخیر با نتایج آزمایشگاهی در شکل (۴-۱۰) نشان داده شده است. همچنین در شکل (۴-۱۱) دبی محاسباتی با استفاده از رابطه (۴-۱۰) به روش دیمارچی با مقادیر مشاهده‌ای مقایسه شده است. درصد خطای میانگین در این حالت ۶,۲۲ درصد می‌باشد.

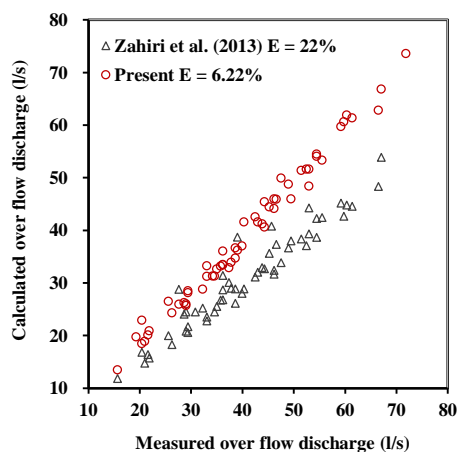
شکل (۴-۱۲) مقایسه دبی عبوری از سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی که با استفاده از رابطه پیشنهادی ضریب دبی ظهیری و همکاران (۲۰۱۳) و رابطه (۴-۱۰) به دست آمده است را با داده‌های مشاهده‌ای نشان می‌دهد. ملاحظه می‌گردد رابطه ظهیری و همکاران با میانگین خطای ۲۲ درصد مقادیر دبی را کمتر از مقادیر واقعی نشان می‌دهد. مهم‌ترین دلیل این اختلاف را بر اساس اطلاعات جدول (۴-۶) می‌توان به محدود بودن مشخصات هندسی و هیدرولیکی آزمایش‌های ایشان دانست.



شکل (۱۰-۴) مقایسه مقادیر ضریب دبی دیمارچی رابطه (۱۰-۴) با نتایج آزمایشگاهی



شکل (۱۱-۴) مقایسه مقادیر دبی بر اساس ضریب دبی رابطه (۱۰-۴) با نتایج آزمایشگاهی



شکل (۱۲-۴) مقایسه مقادیر دبی بر اساس ضریب دبی رابطه (۲۱-۶) با نتایج آزمایشگاهی

در تحقیق حاضر بیش از ۵۶۰ آزمایش برای سرریز جانبی مستطیلی - مستطیلی انجام شد و مشخصات هندسی سرریزها به گونه‌ای طراحی گردید که ضمن داشتن تناسب، از تنوع لازم نیز برخوردار

باشد. همچنین آزمایش‌های این سرریز جهت کنترل بیشتر پارامترهای موثر در دو فلوم مختلف صورت گرفت که گستردگی نتایج بیشتری را شامل می‌شود.

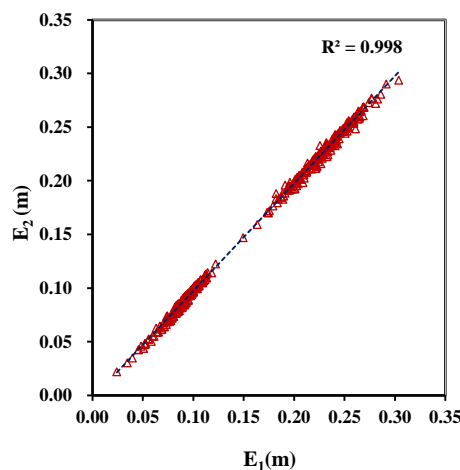
جدول (۴-۶) محدوده آزمایش‌های سرریز جانبی لبه تیز مرکب برای تحقیق حاضر و ظهیری و همکاران (۲۰۱۳)

| Variable | Source | |
|---------------------|---------------|----------------------|
| | Present study | Zahiri et al. [2013] |
| Channel width (m) | 0.26 and 0.6 | 0.30 |
| Discharge (l/s) | 4.17 - 110 | 1.69 - 16.5 |
| Weir length (m) | 0.25-0.6 | 0.30 |
| Froude number | 0.16 - 0.75 | 0.42 - 0.96 |
| b_2/b_1 | 0.5 - 1.38 | 1 - 2 |
| w_2/w_1 | 0.375 - 0.7 | 0 - 0.75 |
| \bar{w}/y_1 ratio | 0.33 - 0.78 | 0.07 - 3.4 |
| b_2/B (min & max) | 0.19 - 0.48 | 0.33 - 0.5 |
| y_1/B | 0.15 - 0.55 | 0.062 - 0.35 |
| Number of runs | 520 | 118 |

۳-۳-۴ کنترل فرض ناچیز بودن اتلاف انرژی در طول سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی

جهت بررسی فرضیه دیمارچی در مورد سرریزهای مرکب مقادیر انرژی مخصوص مقاطع بالادست و

پایین دست سرریز محاسبه و نمودار تغییرات آن مطابق شکل (۴-۱۳) ترسیم شد.



شکل (۴-۱۳) تغییرات انرژی مخصوص مقاطع بالادست و پایین دست سرریز مرکب

مقدار میانگین خطای نسبی (E) ۲,۳۱ درصد است که نشان می‌دهد این فرض در مورد سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی نیز صادق است.

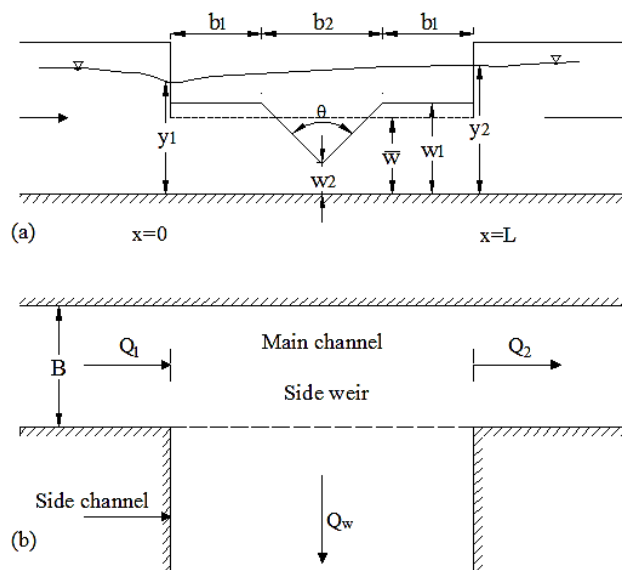
۴-۴ ضریب شدت جریان در سرریز لبه تیز جانبی مرکب مثلثی - مستطیلی و محاسبه

دبی عبوری از آن

این بخش به بررسی سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب مثلثی - مستطیلی اختصاص دارد که در آن نحوه محاسبه ضریب دبی و دبی کل عبوری به روش‌های مستقیم، دیمارچی و المانی تشریح می‌گردد.

۱-۴-۴ ضریب دبی متوسط سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی به روش مستقیم

در این روش تعیین ضریب دبی، با استفاده از روابط ارائه شده فصل چهارم ضریب دبی متوسط برای کل مقطع سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی شکل (۴-۱۴) طوری تعیین می‌شود که کمترین مقدار خطا را نسبت به داده‌های مشاهداتی ایجاد نماید.



شکل (۴-۱۴) شماتیک سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی

اما متغیر بودن ارتفاع تاج سرریز در قسمت‌های بالایی و زیرین، سبب اشکال در به‌کارگیری روابط می‌گردد. برای رفع این معضل، راه‌حلی که موردنظر قرار گرفت همانند سرریزهای مستطیلی - مستطیلی استفاده از پارامتر ارتفاع وزنی تاج (\bar{w}) است. به عبارتی مقطع مرکب با یک مقطع مستطیلی ساده با ارتفاع تاج (\bar{w}) معادل می‌شود. این پارامتر در سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی شکل (۴-۱۴) از رابطه زیر به دست می‌آید که در آن w_2 و w_1 به ترتیب ارتفاع تاج در قسمت‌های مستطیلی و مثلثی مقطع

مرکب هستند.

$$\bar{w} = \frac{2w_1b_1 + w_2b_2 + 0.5b_2(w_1 - w_2)}{2b_1 + b_2} \quad (23-4)$$

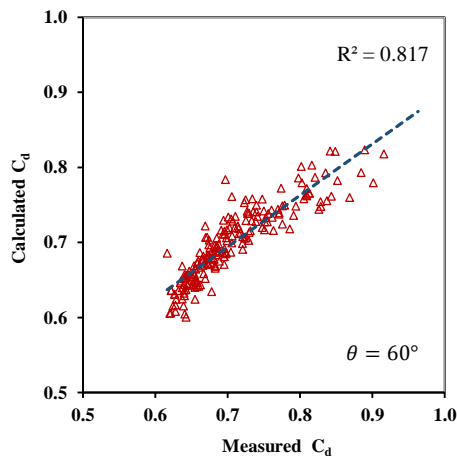
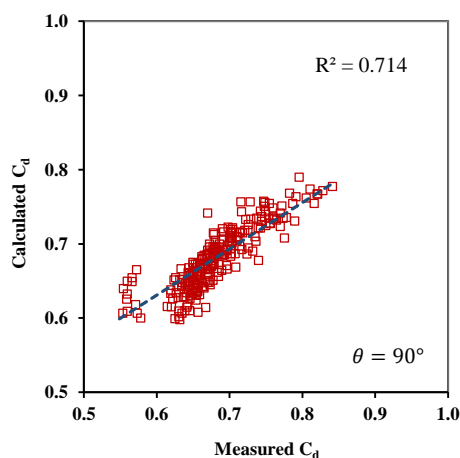
پس از انجام رگرسیون و بررسی پارامترهای مؤثر به کمک آنالیز ابعادی، روابط زیر جهت محاسبه ضریب دبی در سرریزهای مرکب با زوایای رأس ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه به ترتیب زیر استخراج شدند:

$$C_d = 0.3356 - 0.051Fr_1^{0.583} + 0.3682\left(\frac{\bar{w}}{y_1}\right)^{1.103} + 0.1245\left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.53} \quad (24-4)$$

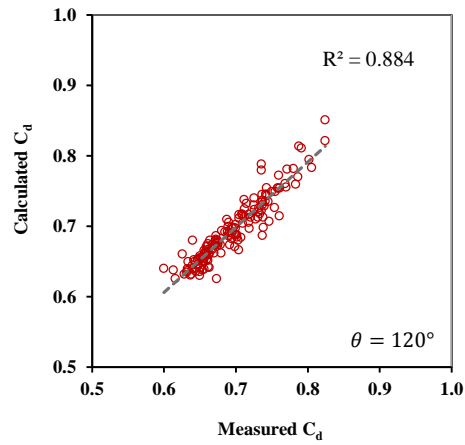
$$C_d = 0.4243 + 0.0327Fr_1^{1.299} + 0.3762\left(\frac{\bar{w}}{y_1}\right)^{1.18} + 0.0454\left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.479} \quad (25-4)$$

$$C_d = 0.4917 + 0.1324Fr_1^{2.555} + 0.39\left(\frac{\bar{w}}{y_1}\right)^{3.33} + 0.0363\left(\frac{L}{y_1}\right)^{1.34} \quad (26-4)$$

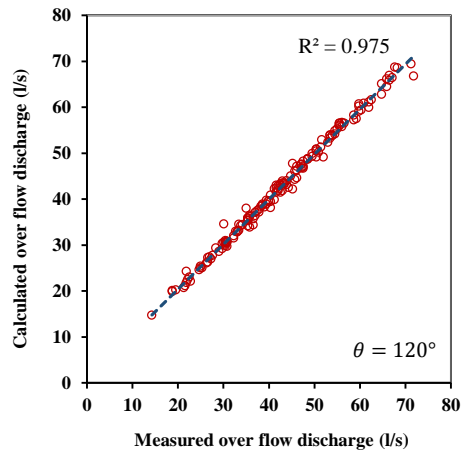
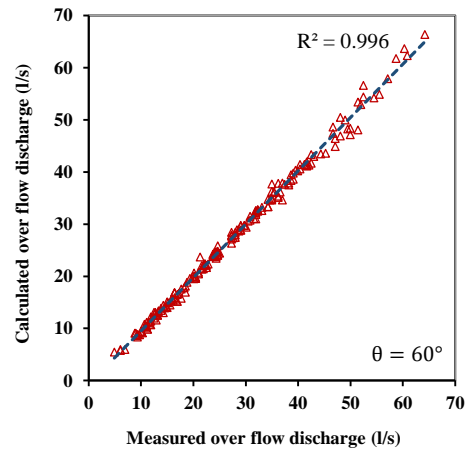
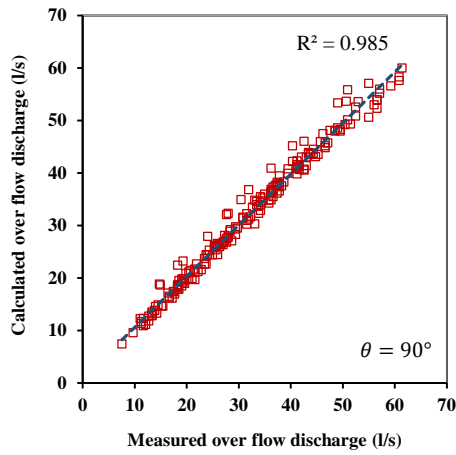
لازم به توضیح است که بررسی نتایج نشان داد به دلیل ثابت بودن عرض فلوم تحقیقاتی و همچنین محدوده کم تغییرات طول سرریز، پارامتر (L/B) تأثیر زیادی در کاهش خطای روابط فوق نداشته و در نتیجه از روابط حذف گردید. نمودارهای شکل (۴-۱۵) و شکل (۴-۱۶) مقایسه مقادیر ضرایب دبی و دبی عبوری به دست آمده از روابط اخیر با نتایج آزمایشگاهی برای مقاطع سرریز مرکب را نشان می‌دهد. با کنترل ضریب همبستگی مشخص می‌گردد در هر سه مقطع اگرچه کمی پراکندگی در نتایج وجود دارد اما انطباق مناسبی بین مقادیر محاسباتی و داده‌های مشاهداتی برقرار است.



شکل (۴-۱۵) مقایسه ضریب دبی محاسباتی و مشاهداتی برای سه تیپ مقطع با استفاده از روابط (۲۳-۴) تا (۲۵-۴).



ادامه شکل (۴-۱۵)



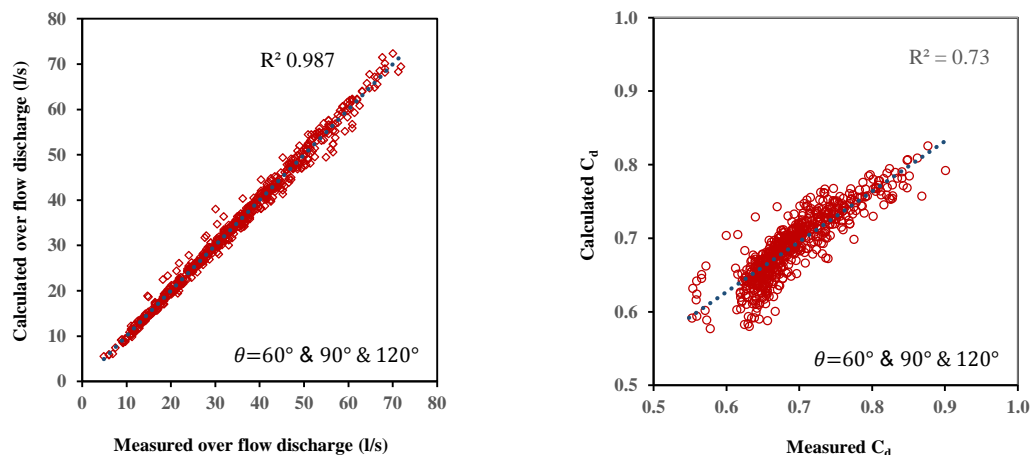
شکل (۴-۱۶) مقایسه دبی محاسباتی و مشاهداتی برای سه تیپ مقطع با استفاده از روابط (۴-۲۳) تا (۴-۲۵)

اما رابطه کلی (۴-۲۷) که برای هر سه تیپ مقطع با زوایای رأس ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه قابل کاربرد

است با تجمیع دادهای آزمایشگاهی و انجام محاسبات، به صورت زیر پیشنهاد می گردد:

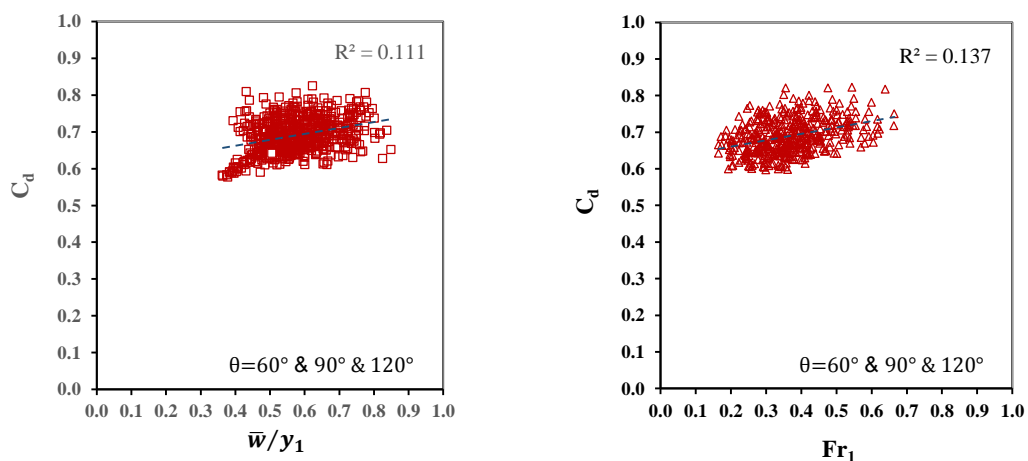
$$C_d = 0.154Fr_1^{0.166} + 0.473\left(\frac{\bar{w}}{y_1}\right)^{0.711} + 0.213\left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.201} \quad (27-4)$$

نمودارهای شکل (۱۷-۴) مقایسه مقادیر ضریب دبی و دبی به دست آمده از روابط اخیر با نتایج آزمایشگاهی را نشان می دهد. بررسی ها بیانگر آن است که استفاده از این رابطه کلی مقادیر خطا را برای مقطع مرکب با زاویه رأس ۶۰ درجه کمی افزایش و در دیگر مقاطع کاهش داده است.

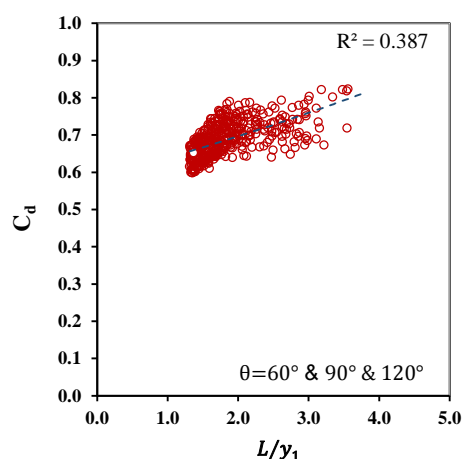


شکل (۱۷-۴) مقایسه ضریب دبی و دبی بر اساس رابطه (۲۵-۴) با مقادیر مشاهداتی

به منظور بررسی میزان تأثیر پارامترهای Fr_1 ، $\frac{\bar{w}}{y_1}$ و $\frac{L}{y_1}$ بر ضریب دبی که برای هر سه مقطع سرریز مورد مطالعه ارائه گردیده، نمودارهای شکل (۱۷-۴) ترسیم شدند.



شکل (۱۸-۴) نمودارهای ضریب دبی در مقابل پارامترهای Fr_1 و $\frac{\bar{w}}{y_1}$ با استفاده از رابطه (۲۷-۴)



ادامه شکل (۴-۱۸)

همان گونه که در این نمودارها ملاحظه می گردد ضریب دبی تابعی از سه پارامتر بدون بعد عدد فرود جریان در بالادست سرریز (Fr_1)، نسبت ارتفاع وزنی تاج سرریز به عمق جریان در بالادست سرریز ($\frac{\bar{W}}{y_1}$) و نسبت طول سرریز به عمق جریان در بالادست سرریز ($\frac{L}{y_1}$) است و با افزایش این پارامترهای بی بعد ضریب دبی نیز بیشتر می شود. اما در جدول (۴-۷) مقادیر انواع آماره های ارزیابی شامل درصد میانگین مطلق خطا (MAPE) متوسط خطا (ME)، حداکثر خطای نسبی (MRE)، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) حداکثر نسبت دبی واقعی به محاسباتی (σ) و ضریب همبستگی (R^2) برای روابط پیشنهادی محاسبه و ارائه شده است.

جدول (۴-۷) مقادیر انواع آماره های ارزیابی دبی محاسباتی سرریز جانبی لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی

| خطاها | روابط پیشنهادی | | | |
|------------------------------------|----------------|---------|---------|---------|
| | (۴-۲۴) | (۴-۲۵) | (۴-۲۶) | (۴-۲۷) |
| MAPE (%) | ۲/۸۸ | ۳/۳۴ | ۱/۶۴ | ۳/۱۴ |
| ME (%) | ۳/۸۸ | -۵/۱۶ | -۵/۸۴ | -۰/۸۷ |
| MRE (%) | ۶/۹ | ۱۰/۳ | ۶/۶ | ۱۱/۲ |
| RMSE | ۰/۰۰۰۹۴ | ۰/۰۰۱۴۹ | ۰/۰۰۰۷۵ | ۰/۰۰۱۳۱ |
| R^2 | ۰/۹۹۶ | ۰/۹۸۵ | ۰/۹۸۷ | ۰/۹۹۱ |
| $\sigma = (Q_o/Q_c)_{\text{mean}}$ | ۰/۹۹۶ | ۱/۰۰۳ | ۰/۹۸۸ | ۰/۹۹۹ |

به طور کلی با بررسی پارامترهای آماری جدول فوق ملاحظه می شود هر چهار رابطه مقادیر دبی عبوری

از سرریز را با دقت قابل قبولی برآورد نموده و همبستگی مناسبی نیز بین مقادیر محاسباتی و مشاهداتی وجود دارد. به عبارتی به کارگیری ارتفاع وزنی تاج می‌تواند در تخمین مقدار دبی عبوری از سرریزهای مرکب مثلثی - مستطیلی مفید باشد.

۲-۴-۴ ضریب دبی دیمارچی در سرریز جانبی مرکب مثلثی - مستطیلی

در سرریز لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی با استفاده از معادلات اساسی دیمارچی به شیوه‌ایی که در فصل قبل ارائه شد نسبت به تعیین ضریب دبی متوسط اقدام گردید. در اینجا نیز همانند سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی جهت حل مشکل تغییر ارتفاع تاج در طول سرریز، مقطع مرکب با یک سرریز مستطیلی ساده به ارتفاع تاج (\bar{w}) به کمک رابطه (۴-۲۳) معادل می‌شود. پس از محاسبه ضریب دبی به کمک نتایج آزمایش‌ها (C_{mo}) برای تمامی داده‌ها، ضرایب رابطه پیشنهادی با انجام رگرسیون غیرخطی مشخص می‌گردند. لازم به یادآوری است که مطابق توضیحات ارائه‌شده در فصل سوم جهت تعیین رابطه ضریب دبی، ابتدا با استفاده از تحلیل ابعادی باکینگهام پارامترهای مهم و تأثیرگذار مشخص می‌شوند. با رعایت موارد مذکور در نهایت روابط زیر به ترتیب برای تعیین ضریب دبی دیمارچی در سرریزهای لبه تیز جانبی مرکب با زوایای رأس ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه به دست آمد:

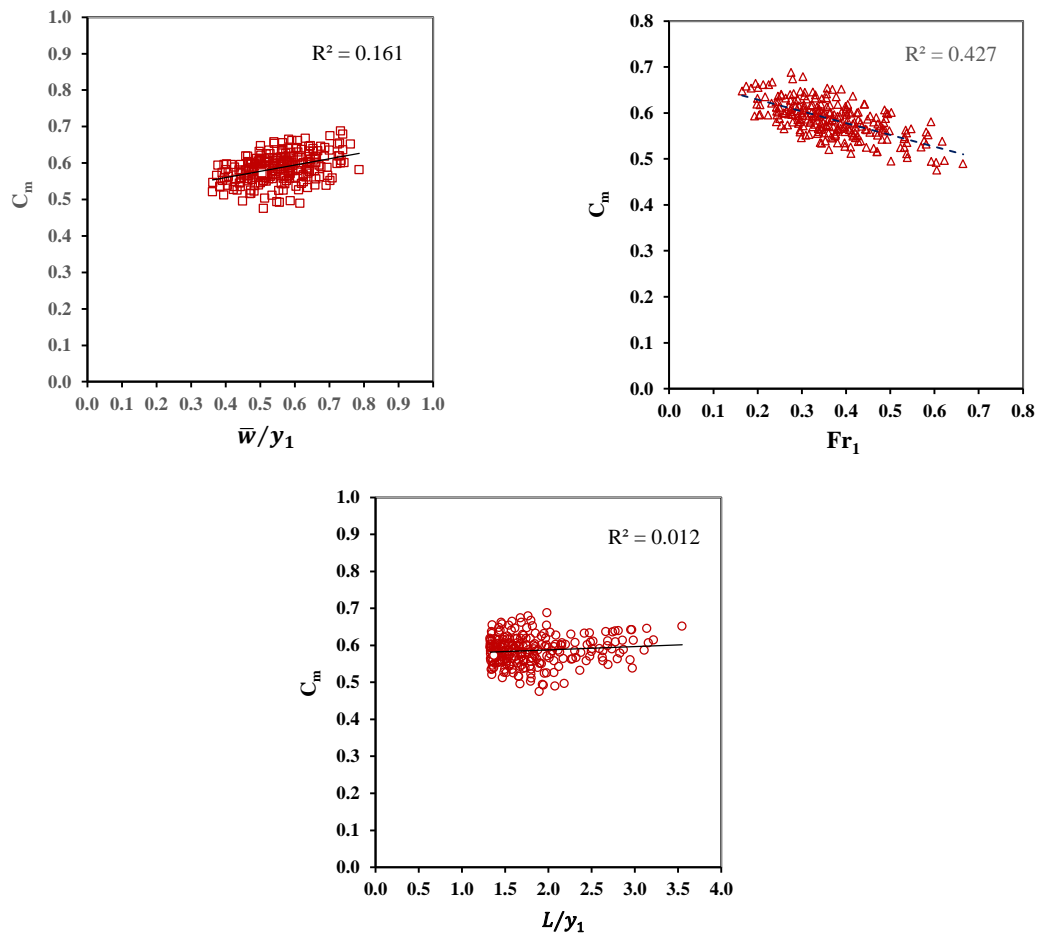
$$C_m = 0.5123 - 0.3904Fr_1 + 0.4264 \left(\frac{\bar{w}}{y_1}\right)^{4.324} + 0.1514 \left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.202} \quad (۲۸-۴)$$

$$C_m = 0.5433 - 0.402Fr_1 + 0.3399 \left(\frac{\bar{w}}{y_1}\right)^{1.115} + 0.0116 \left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.412} \quad (۲۹-۴)$$

$$C_m = 0.5327 + 0.413Fr_1 + 0.16 \left(\frac{\bar{w}}{y_1}\right)^{0.672} + 0.0255 \left(\frac{L}{y_1}\right)^{1.313} \quad (۳۰-۴)$$

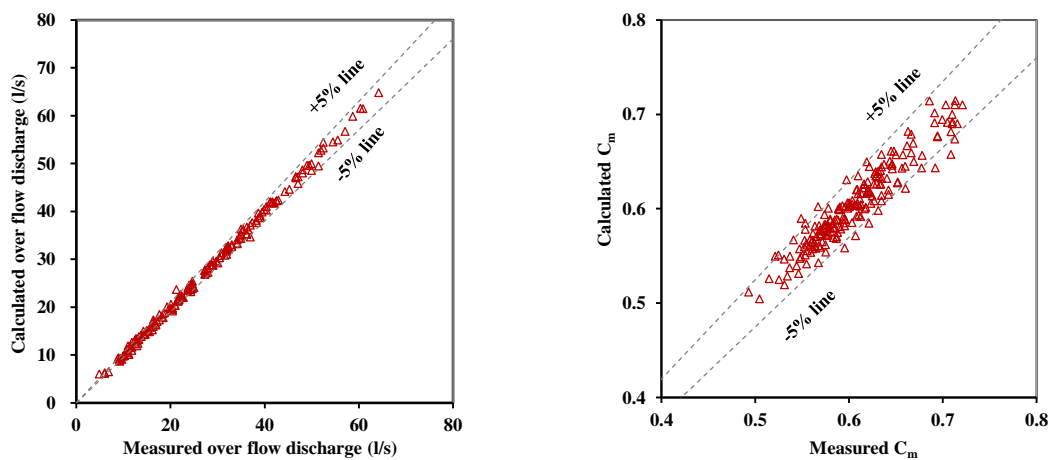
در این روابط Fr_1 عدد فرود جریان در بالادست سرریز، \bar{w} ارتفاع وزنی تاج سرریز مرکب، y_1 عمق جریان بالادست سرریز و L طول سرریز است. همچنین ضریب C_m تابعی از سه پارامتری بعد عدد فرود بالادست جریان، نسبت ارتفاع وزنی تاج به عمق جریان بالادست ($\frac{\bar{w}}{y_1}$) و نسبت طول سرریز به عمق جریان بالادست ($\frac{L}{y_1}$) است. نمودارهای شکل (۴-۱۹) ارتباط پارامترهای مذکور با ضریب دبی دیمارچی برای سرریز با زاویه رأس ۹۰ درجه را نشان می‌دهد. ملاحظه می‌شود ضریب دبی دیمارچی وابستگی

بیشتری به عدد فرود جریان در بالادست سرریز نسبت به دو پارامتر دیگر دارد.

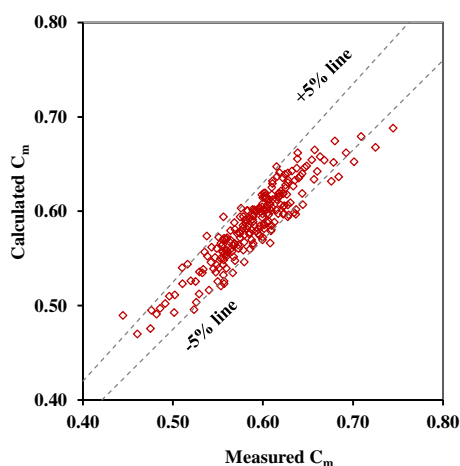
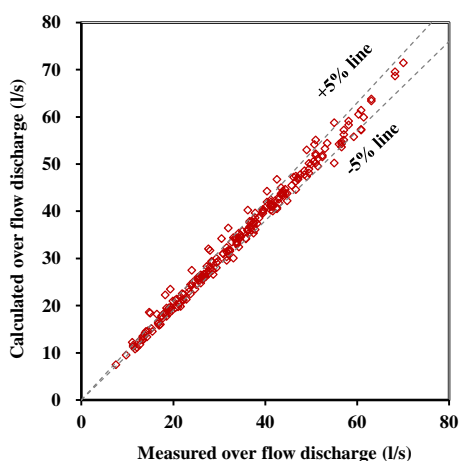


شکل (۴-۱۹) نمودارهای ضریب دبی در مقابل پارامترهای Fr_1 ، $\frac{L}{y_1}$ و $\frac{\bar{w}}{y_1}$ با استفاده از رابطه (۴-۲۹)

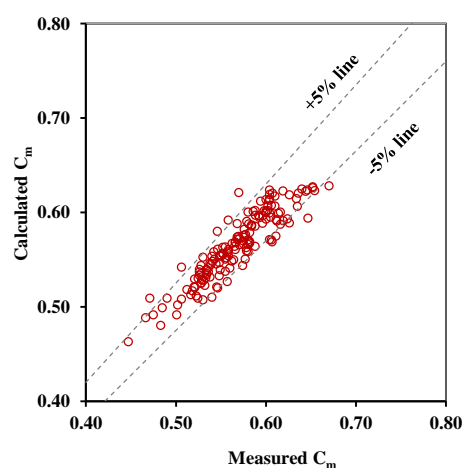
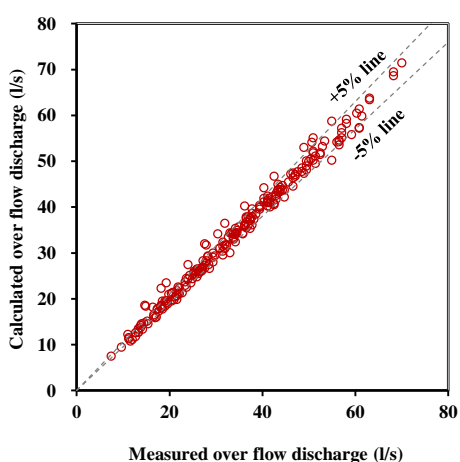
اشکال زیر مقایسه مقادیر ضرایب دبی و دبی به دست آمده از روابط اخیر را نشان می دهد.



شکل (۴-۲۰) مقایسه ضریب دبی و دبی بر اساس رابطه (۴-۲۶) با مقادیر مشاهده‌ای برای $\theta = 60^\circ$.



شکل (۴-۲۱) مقایسه ضریب دبی و دبی بر اساس رابطه (۴-۲۷) با مقادیر مشاهداتی برای $\theta = 90^\circ$.



شکل (۴-۲۲) مقایسه ضریب دبی و دبی بر اساس رابطه (۴-۲۸) با مقادیر مشاهداتی برای $\theta = 120^\circ$.

آماره‌های ارزیابی شامل $MAPE$ ، ME ، MRE ، σ و R^2 برای سرریزهای مرکب با زوایای رأس 90° و 120° درجه در جدول زیر ارائه شده است. مقادیر این جدول نشان‌دهنده کارایی مؤثر روابط پیشنهادی

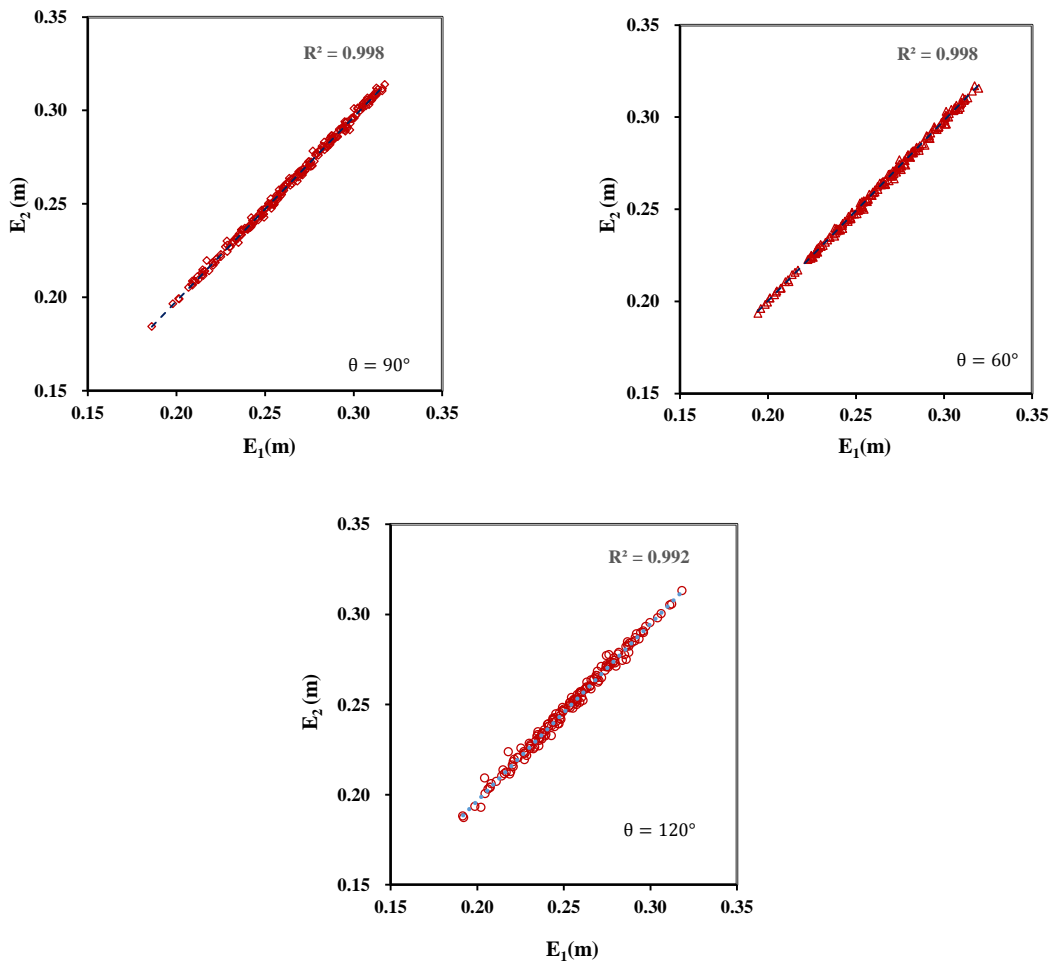
(۴-۲۸) تا (۴-۳۰) در تعیین دبی عبوری از سرریز است.

جدول (۴-۸) آماره‌های خطای دبی عبوری از سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی به روش دیمارچی

| آماره‌های خطا | نوع سرریز | | |
|------------------------|-----------|--------|--------|
| | (۶-۱۷) | (۶-۱۸) | (۶-۱۹) |
| $MAPE$ (in percentage) | ۲,۲۳ | ۳,۸۵ | ۳,۰۸ |
| ME (in percentage) | ۴,۵ | -۰,۶ | ۱,۰۲ |
| MRE (in percentage) | ۱۰,۲ | ۱۱,۱ | ۱۱,۶ |
| σ | ۱,۰۰۴ | ۰,۹۸۴ | ۱,۰۳۱ |
| R^2 | ۰,۹۹۸ | ۰,۹۸۹ | ۰,۹۹۴ |

۳-۴-۴ کنترل فرض ناچیز بودن انرژی در طول سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی

جهت بررسی فرضیه دیمارچی در مورد سرریزهای مرکب مقادیر انرژی مخصوص مقاطع بالادست و پایین دست سرریز محاسبه و نمودار تغییرات آن برای هر سه مقطع با زوایای رأس ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه مطابق شکل (۲۳-۴) ترسیم شد.



شکل (۲۳-۴) تغییرات انرژی مخصوص بالادست و پایین دست جریان در سرریزهای مرکب مثلثی - مستطیلی

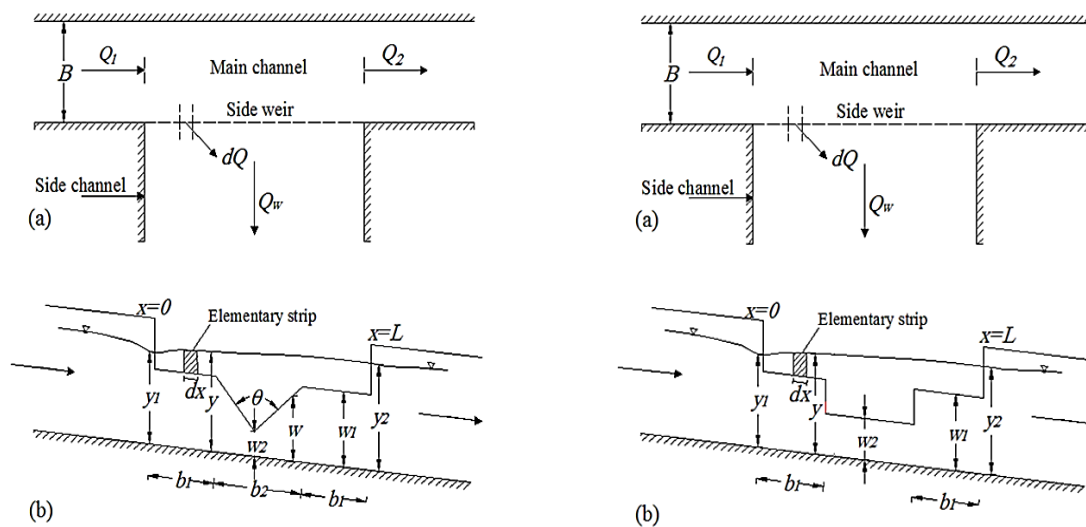
مقدار میانگین خطای نسبی (E) برای سرریزهای مرکب مثلثی - مستطیلی با زوایای رأس ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه به ترتیب ۰,۴۸، ۱,۱۵ و ۱,۸۵ درصد است که نشان می‌دهد این فرض در مورد سرریزهای مرکب مثلثی - مستطیلی نیز صادق است.

۵-۴ ضریب دبی المانی در سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب

جریان عبوری از سرریزهای جانبی از نوع متغیر مکانی با کاهش دبی است. رابطه دیفرانسیل عمومی جریان متغیر مکانی با کاهش دبی در طول سرریز شکل (۴-۲۴) توسط هندرسون (۱۹۶۶) به صورت زیر ارائه شده است:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - S_f - \left(\frac{\alpha Q}{gA^2}\right) \cdot \left(\frac{dQ}{dx}\right)}{1 - \left(\frac{\alpha Q^2 T}{gA^3}\right)} \quad (۴-۳۱)$$

که در آن y عمق جریان در کانال اصلی (متغیر در امتداد جریان) و در فاصله x از بالادست سرریز، α ضریب تصحیح انرژی، S_0 شیب کف کانال، S_f شیب اصطکاکی، dQ/dx تغییرات دبی در واحد طول سرریز، A سطح مقطع جریان در کانال اصلی، T عرض جریان، Q دبی جریان و g شتاب ثقل می باشد.



شکل (۴-۲۴) سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب

تغییرات دبی عبوری از المانی مستطیل شکل به طول dx در امتداد سرریز، به صورت زیر است:

$$\frac{dQ}{dx} = -\frac{2}{3} C_e \sqrt{2g} (y_x - w_x)^{1.5} \quad (۴-۳۲)$$

که در آن C_e ضریب دبی المانی و w_x ارتفاع تاج المان سرریز است.

با به کارگیری رابطه مانینگ برای کانال با مقطع مستطیلی به عرض B و ترکیب معادلات (۴-۳۱) و

(۴-۳۲) رابطه زیر در سیستم متریک به دست می آید:

$$\frac{dy}{dx} = \frac{S_0 - \frac{Q^2 n^2}{B^2 y^{10/3}} \left(1 + \frac{2y}{B}\right)^{4/3} + \frac{2\sqrt{2}}{3} C_e (y-w)^{1.5} \frac{Q}{B^2 y^2 \sqrt{g}}}{1 - \frac{Q^2}{g B^2 y^3}} \quad (33-4)$$

در این رابطه n ضریب زبری مانینگ بوده و فرض گردید که ضریب اصلاح انرژی جنبشی (α) برابر یک باشد.

چنانچه ضریب دبی المانی (C_e) معلوم باشد، رابطه (33-4) با استفاده از روش رانگ - کوتای مرتبه چهارم با داشتن شرایط مرزی اولیه قابل حل است. این شرایط مرزی برای شروع محاسبات عبارت است از:

$$\text{at } x = 0: y = y_1 \text{ and } Q = Q_1 \quad (34-4)$$

در شکل قبل مشاهده شد y_1 و Q_1 به ترتیب عمق و دبی جریان بالادست سرریز است. این محاسبات تا زمانی ادامه می‌یابند که عمق (y_2) و دبی جریان پایین دست سرریز (Q_2) کانال در انتهای سرریز به دست آیند. در نهایت با استفاده از رابطه زیر دبی عبوری از سرریز (Q_w) محاسبه می‌شود:

$$Q_w = Q_1 - Q_2 \quad (35-4)$$

ملاحظه می‌شود حل معادلات (32-4) و (33-4) نیازمند مقادیر C_e بوده و لازم است رابطه‌ای برای تعیین آن ارائه داد.

۱-۵-۴ تابع ضریب دبی المانی

از آنجایی که رابطه (33-4) شامل اثرات پارامترهای S_0 ، n ، عدد فرود موضعی (Fr_i) و هندسه کانال است، می‌توان فرض کرد که C_e تابع نسبت عمق جریان به ارتفاع تاج برای سرریز مرکب مورد تحقیق باشد. سوامی و همکاران (۱۹۹۴) رابطه‌ای را برای ضریب دبی المانی سرریز لبه تیز مستطیلی ساده ارائه دادند. با تبعیت از تابع پیشنهادی سوامی (۱۹۹۴) برای C_e و در نظر گرفتن $\eta_w = (y_x - w_x)/w_x$ رابطه زیر برای محاسبه ضریب دبی سرریز مرکب پیشنهاد می‌شود:

$$C_e = k_0 \left[\left(\frac{k_1}{k_2 + \eta_w} \right)^{k_3} + \left(\frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{k_4} \right]^{-k_5} \quad (36-4)$$

که در آن w_x ارتفاع تاج سرریز (در مقطع مثلثی متغیر) و k_0 تا k_5 ضرایب ثابت رابطه است. در این روش فرض شده است که جریان عبوری از سرریز تقریباً دوبعدی بوده و توزیع فشار آن علی‌رغم مقداری انحناء در جریان و نامنظمی سطح آب، به صورت هیدرو استاتیکی باشد. چون w_x در سرریز مرکب ثابت نیست با حداقل نمودن طول dx سعی می‌شود نوار المانی به شکل مستطیل نزدیک شده و از روابط حاکم بر آن تبعیت نماید.

۲-۵-۴ تعیین ضرایب ثابت روابط پیشنهادی

برای تمام داده‌ها معادلات (۳۲-۴) و (۳۳-۴) به کمک روش رانگ - کوتای مرتبه چهارم به ازای مقادیر اولیه مندرج در رابطه (۳۴-۴) و به کارگیری مقادیر پیش فرض ضرایب ثابت در رابطه (۳۶-۴) حل می‌شوند. با حل این معادلات مقادیر محاسباتی عمق (y_{2i}) و دبی جریان در هر المان (Q_{2i}) به فواصل x از ابتدای سرریز و در امتداد آن محاسبه و در نهایت مقادیر متناظر آن در پایین دست سرریز $(x = L)$ به دست می‌آیند. با داشتن مقادیر فوق سرانجام دبی عبوری از سرریز (Q_{wci}) به صورت زیر محاسبه می‌گردد:

$$Q_{wci} = Q_{1i} - Q_{2i} \quad (۳۷-۴)$$

که در آن Q_{1i} دبی بالادست در مقطع ۱ برای خط داده i ام است.

سپس با استفاده از دبی محاسباتی عبوری از سرریز (Q_{wci}) و مقادیر متناظر مشاهداتی آن (Q_{woi}) آن درصد میانگین خطا (E) به صورت زیر محاسبه می‌شود:

$$E = \frac{100}{N} \sum_{i=1}^n \left| \frac{Q_{woi} - Q_{wci}}{Q_{woi}} \right| \quad (۳۸-۴)$$

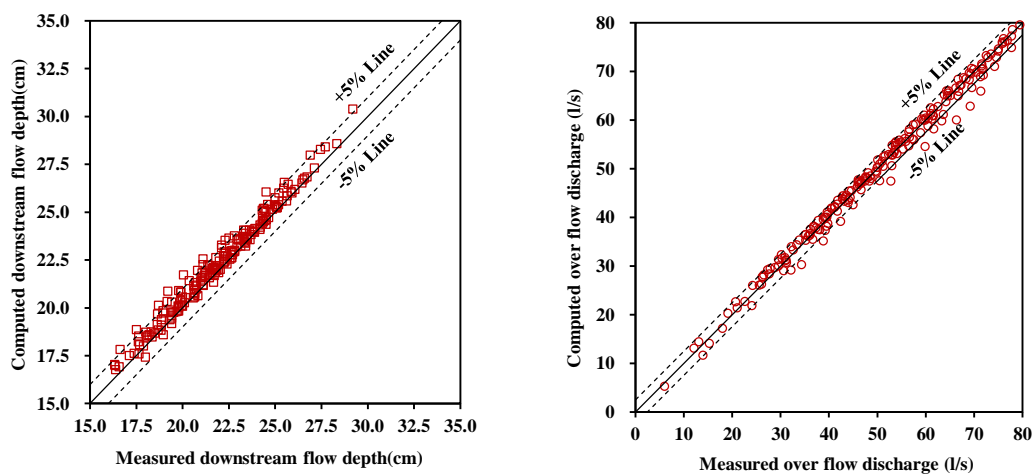
در این رابطه N تعداد آزمایش‌ها است. از آنجایی که درصد میانگین خطا (E) تابعی از مقادیر ثابت‌های معادلات ضریب دبی المانی است، به همین منظور به کمک الگوریتم ژنتیک (GA) این ضرایب ثابت به نحوی بهینه می‌شوند که مقدار E حداقل گردد.

۳-۵-۴ ارائه روابط ضریب دبی المانی و محاسبه پروفیل جریان

پس از انجام عملیات بهینه‌سازی به کمک الگوریتم ژنتیک ضرایب ثابت مشخص شدند که در نهایت منجر به ارائه رابطه پیشنهادی زیر برای تعیین ضریب دبی المانی سرریزهای مرکب مستطیلی - مستطیلی گردید:

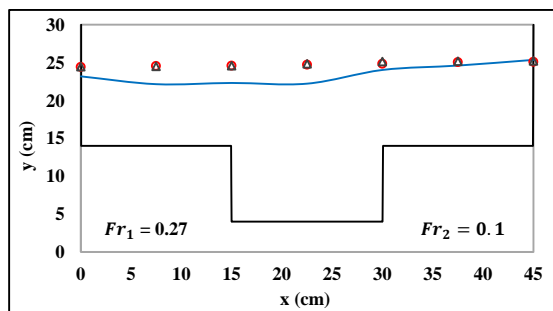
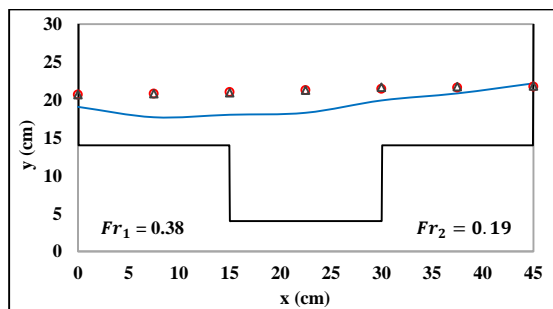
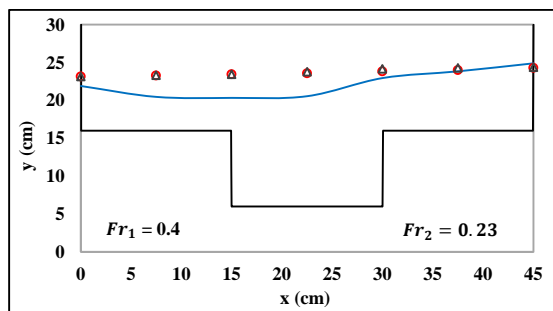
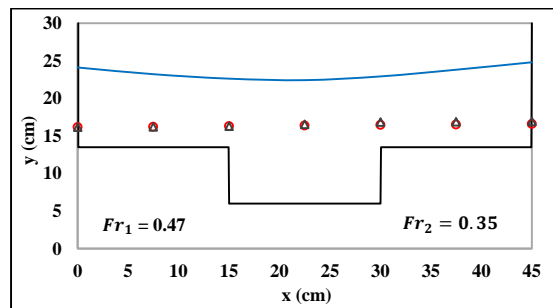
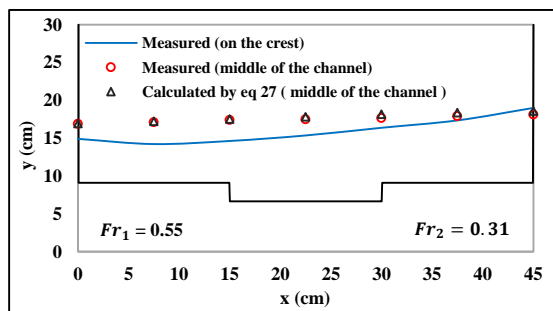
$$C_e = 0.667 \left[\left(\frac{1.218}{4.98 - \eta_w} \right)^2 + \left(\frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{10} \right]^{-0.0507} \quad (39-4)$$

مقادیر میانگین خطای نسبی (E) برای دبی عبوری از سرریز مذکور و عمق جریان در پایین دست آن (y₂) به ترتیب ۲,۷۵ و ۲,۳۹ درصد به دست آمد که نشان‌دهنده دقت مناسب رابطه (۳۹-۴) است. نمودارهای شکل (۲۵-۴) مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی دبی عبوری از سرریز به همراه عمق جریان در پایین دست سرریز را برای روابط پیشنهادی فوق نشان می‌دهد.

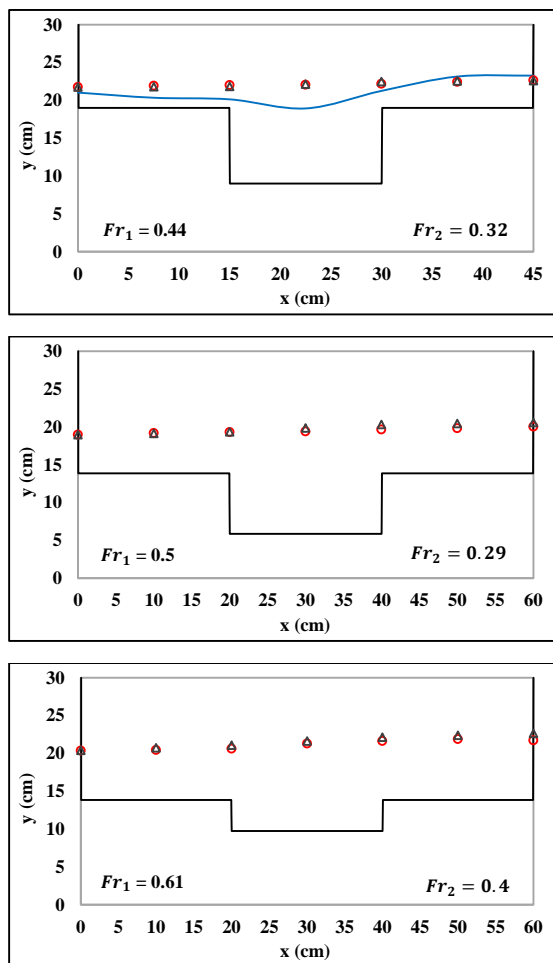


شکل (۲۵-۴) مقایسه مقادیر دبی محاسباتی و مشاهداتی به همراه y₂ بر اساس رابطه (۳۹-۴)

شکل (۲۶-۴) پروفیل‌های جریان در وسط کانال و روی تاج سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی را نشان می‌دهد. هدف از ترسیم این نمودارها مشخص نمودن دقت روش المانی در برآورد پروفیل جریان در خط مرکزی کانال و امتداد سرریز است. همچنین چگونگی تغییرات جریان در روی تاج سرریز نیز ترسیم شده است. مقایسه مقادیر محاسباتی از روش المانی با داده‌های مشاهداتی در این اشکال بیانگر قابلیت روش و رابطه (۳۹-۴) در تعیین دبی عبوری از سرریز به همراه پروفیل جریان می‌باشد.



شکل (۴-۲۶) تغییرات عمق جریان در سرریزهای مستطیلی - مستطیلی



ادامه شکل (۴-۲۶)

کاهش سرعت جریان در اثر خروج بخشی از جریان و ثابت بودن انرژی مخصوص در طول سرریز مرکب دلیل اصلی این افزایش تدریجی است. به طوری که پس از مقطع پایینی تاج بیشترین رشد جریان مشاهده می شود.

همچنین بررسی تغییرات پروفیل سطح آب در روی تاج سرریز مرکب نشان می دهد در ابتدای تاج (بالادست) به دلیل اثرات بازشدگی دیواره کانال عمق جریان به صورت محسوس کاهش یافته و این روند با توجه به مشخصات هندسی سرریز و همچنین شرایط جریان تا مقطع پایینی تاج ادامه می یابد. سپس عمق جریان به سمت پایین دست افزایش نموده و در انتهای سرریز بیشترین عمق را به خود اختصاص می دهد. علت روند صعودی پروفیل جریان از نیمه های سرریز را می توان به افزایش مجدد تاج سرریز و تغییرات سرعت در طول آن ارتباط داد.

اما برای سرریز جانبی لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی با زوایای رأس ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه روابط

ضریب دبی المانی به صورت زیر محاسبه گردید:

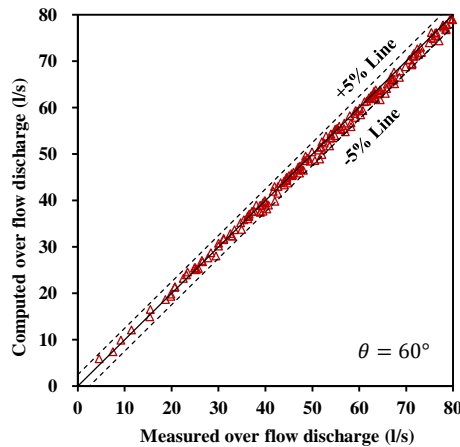
$$C_e = 0.531 \left[\left(\frac{0.883}{1.733 - \eta_w} \right)^5 + \left(\frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{10} \right]^{-0.072} \quad \theta = 60^\circ \quad (40-4)$$

$$C_e = 0.606 \left[\left(\frac{1.926}{2.422 - \eta_w} \right)^5 + \left(\frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{10} \right]^{-0.073} \quad \theta = 90^\circ \quad (41-4)$$

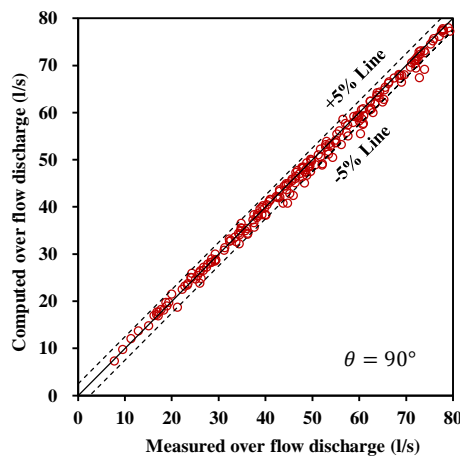
$$C_e = 0.517 \left[\left(\frac{0.268}{1.236 - \eta_w} \right)^{3.37} + \left(\frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{9.987} \right]^{-0.045} \quad \theta = 120^\circ \quad (42-4)$$

نمودارهای شکل (۲۷-۴) تا شکل (۲۹-۴) مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی دبی عبوری از سرریز

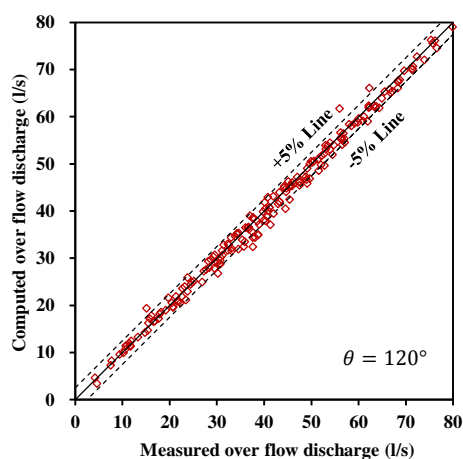
را برای روابط پیشنهادی فوق نشان می دهد.



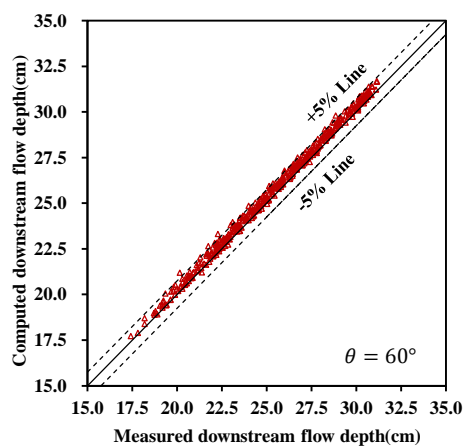
شکل (۲۷-۴) مقایسه مقادیر دبی محاسباتی و مشاهداتی بر اساس رابطه (۴۰-۴)



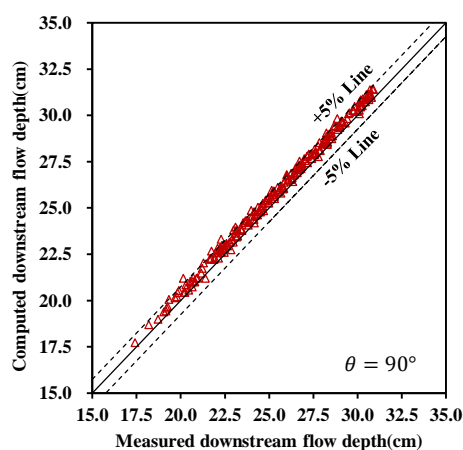
شکل (۲۸-۴) مقایسه مقادیر دبی محاسباتی و مشاهداتی بر اساس رابطه (۴۱-۴)



شکل (۲۹-۴) مقایسه مقادیر دبی محاسباتی و مشاهداتی بر اساس رابطه (۴-۴۲)



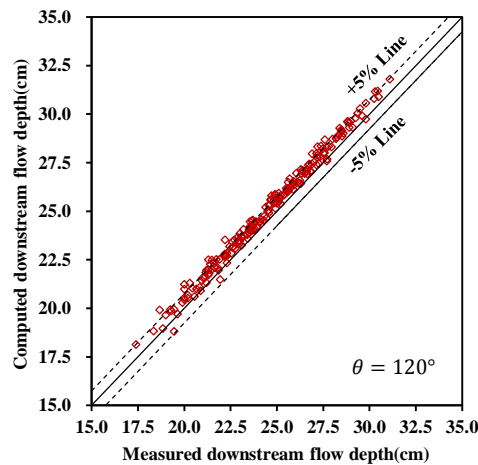
شکل (۳۰-۴) مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی عمق جریان پایین دست سرریز (V_2) بر اساس رابطه (۴-۴۰)



شکل (۳۱-۴) مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی عمق جریان پایین دست سرریز (V_2) بر اساس رابطه (۴-۴۱)

همچنین در نمودارهای شکل (۳۰-۴) تا شکل (۳۲-۴) مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی عمق

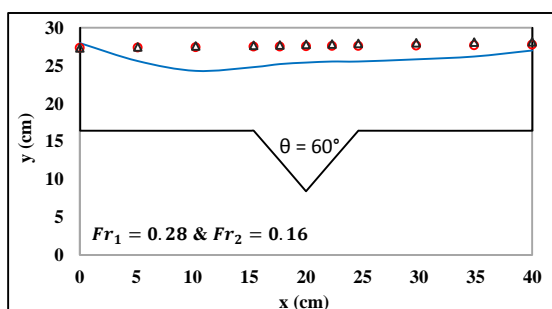
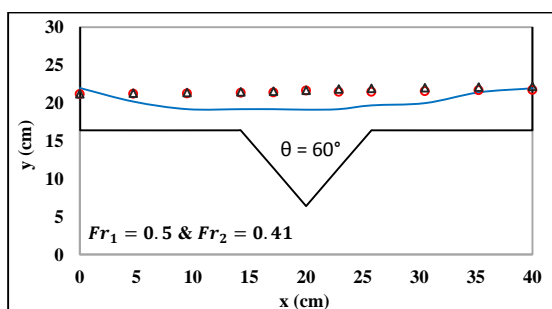
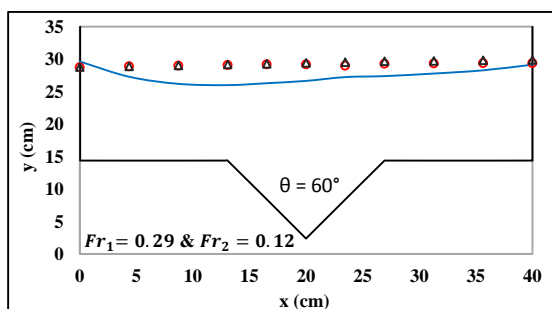
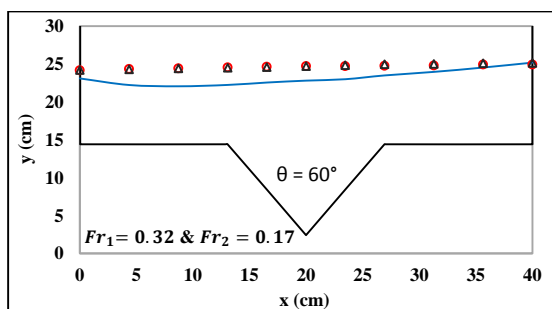
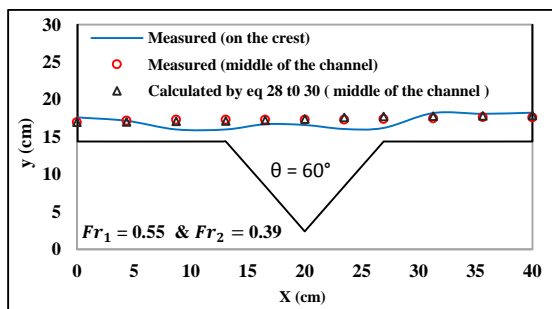
جریان پایین دست سرریز در قسمت مرکزی کانال (V_2) بر اساس روابط مذکور مشاهده می گردد.



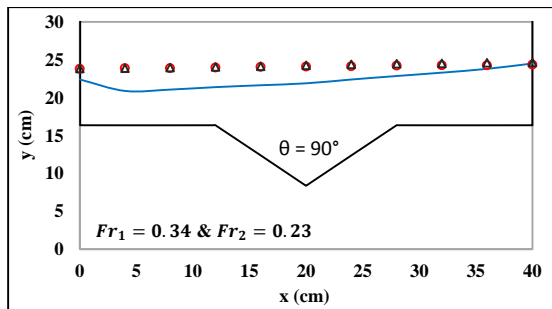
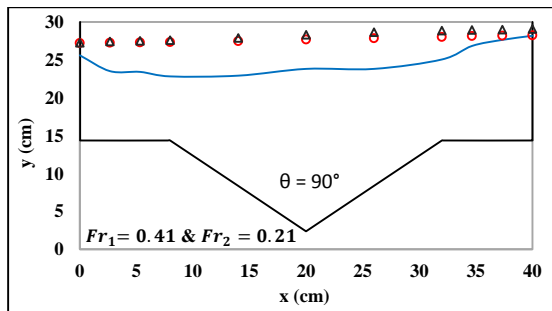
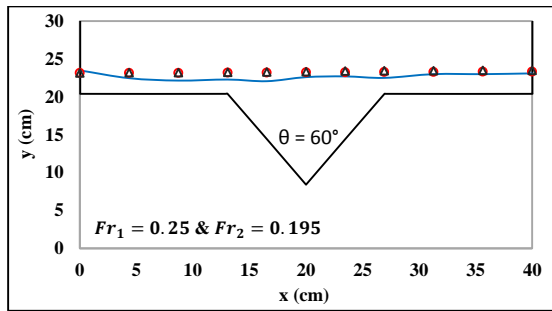
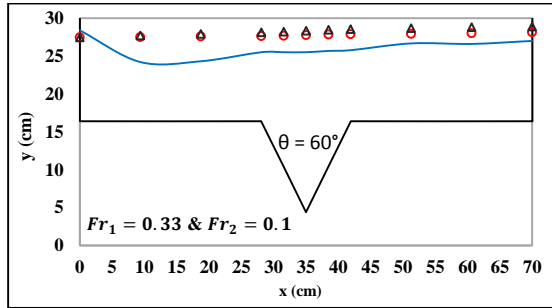
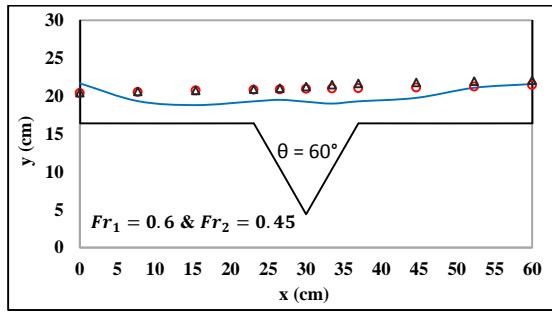
شکل (۴-۳۲) مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی عمق جریان پایین دست سرریز (V_2) بر اساس رابطه (۴-۴۲) مقدار خطای میانگین (E) دبی عبوری از سرریز به ازای روابط (۴-۴۰) تا (۴-۴۲) به ترتیب ۱,۶۶ و ۲,۲۹ و ۳,۴۴ درصد است. همچنین این خطا برای عمق جریان در پایین دست سرریز (V_2) نسبت به مقادیر مشاهداتی به ازای روابط (۴-۴۰) تا (۴-۴۲) به ترتیب ۰,۸۹، ۱,۸ و ۲,۲۲ درصد می باشد. با بررسی مقادیر خطا ملاحظه می گردد با استفاده از روابط پیشنهادی، اگرچه مقادیر خطای دبی عبوری از سرریز و اعماق جریان با افزایش زاویه رأس تاج سرریز مرکب کمی بیشتر می گردد اما نسبت به دو روش مستقیم و دیمارچی دبی انحراف را دقیق تر برآورد می کند. لازم به توضیح است که در قسمت مثلثی سرریز المانها شکل دوزنقه ای داشته که با کاهش طول آن (dx) سعی شده به مستطیل نزدیک تر گردد و نتایج هم نشان می دهد این معادل سازی تأثیر محسوسی بر دقت محاسبات نداشته است.

به منظور کنترل دقت محاسبات و تحلیل جریان، پروفیل سطح آب در خط مرکزی کانال و محل قرارگیری سرریز به همراه اعماق جریان روی تاج سرریز جانبی اندازه گیری شد که برخی از نتایج آن برای هر سه نوع سرریز جانبی لبه تیز مرکب در شکل (۴-۴) نشان داده شده است. در این نمودارها همچون سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی پروفیل جریان در خط مرکزی کانال حالت صعودی دارد. همچنین عمق جریان روی تاج در ابتدای آن به طور محسوسی کاهش می یابد و این کاهش تا اواسط سرریز ادامه،

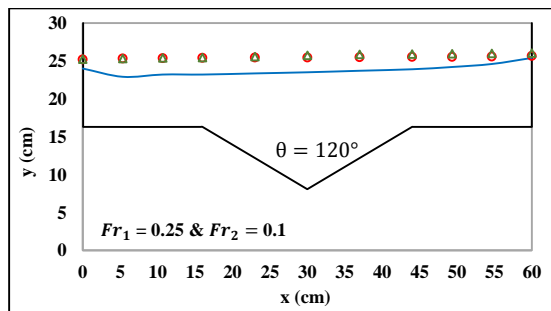
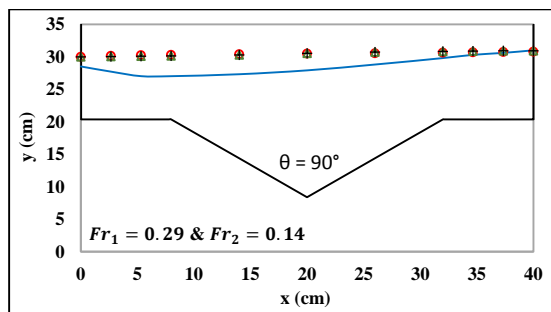
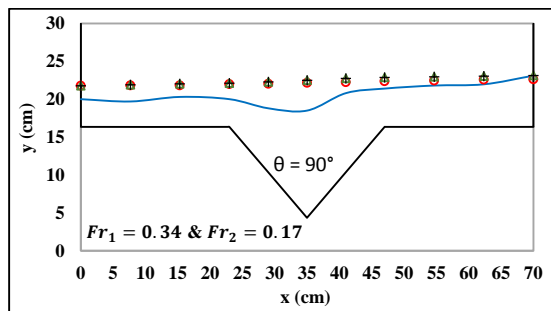
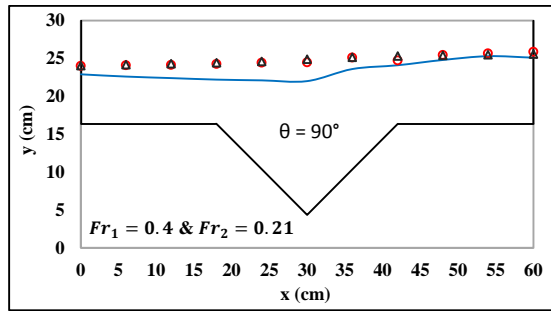
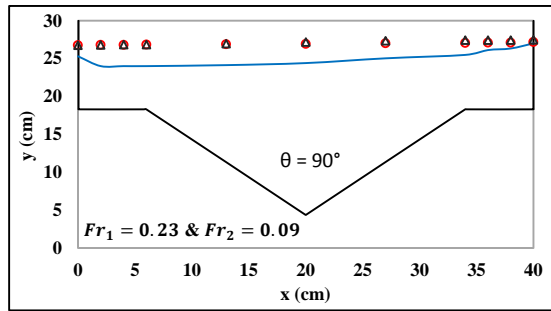
سپس روند صعودی به خود می‌گیرد.



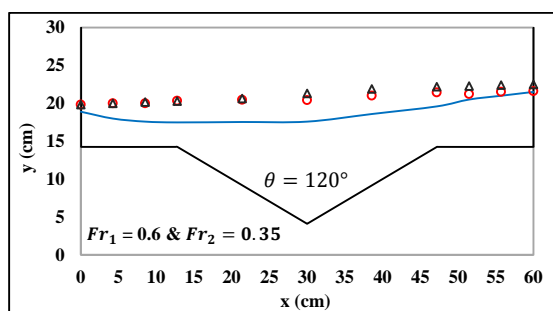
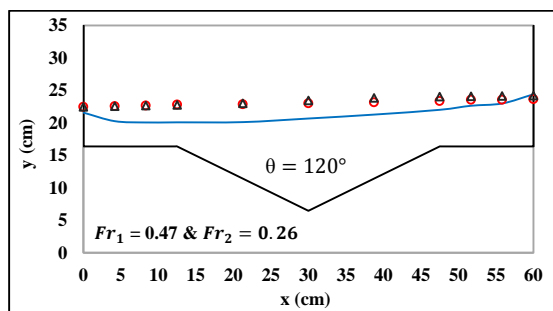
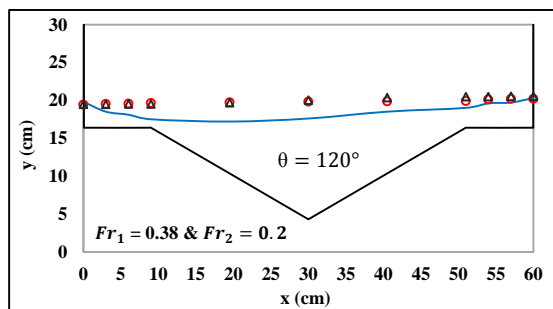
شکل (۴-۳۳) مقایسه مقادیر مشاهداتی و محاسباتی عمق جریان در خط مرکزی کانال به همراه پروفیل سطح آب بر روی تاج سرریز در شرایط مختلف هندسی و هیدرولیکی



ادامه شکل (۳۳-۴)



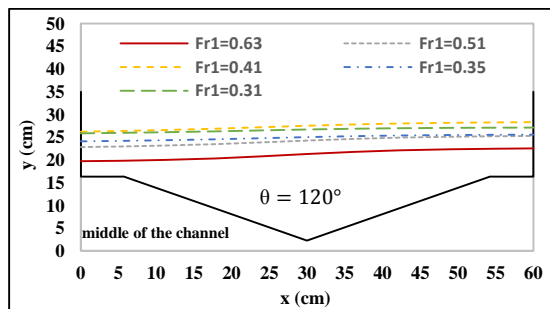
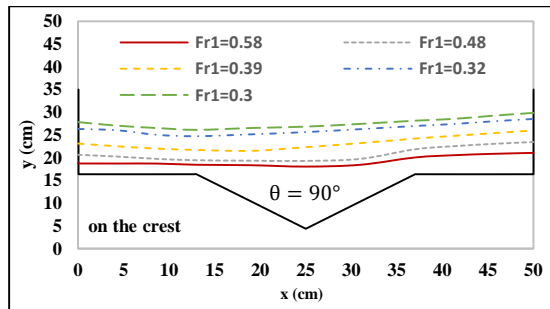
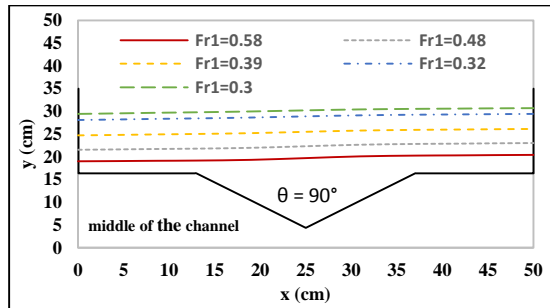
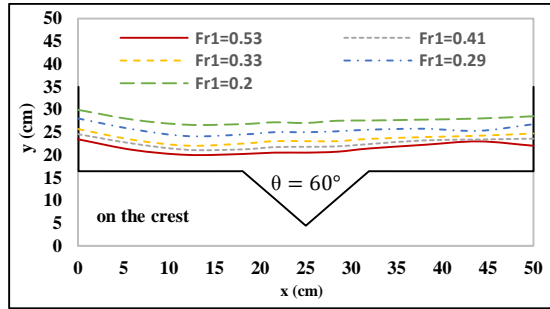
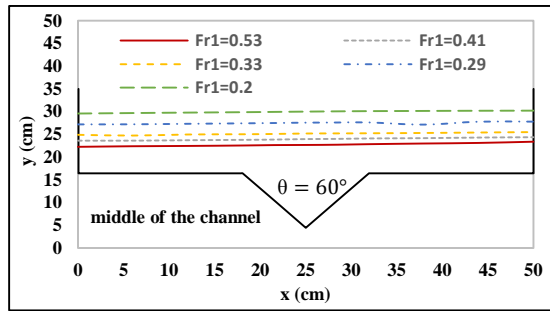
ادامه شکل (۳۳-۴)



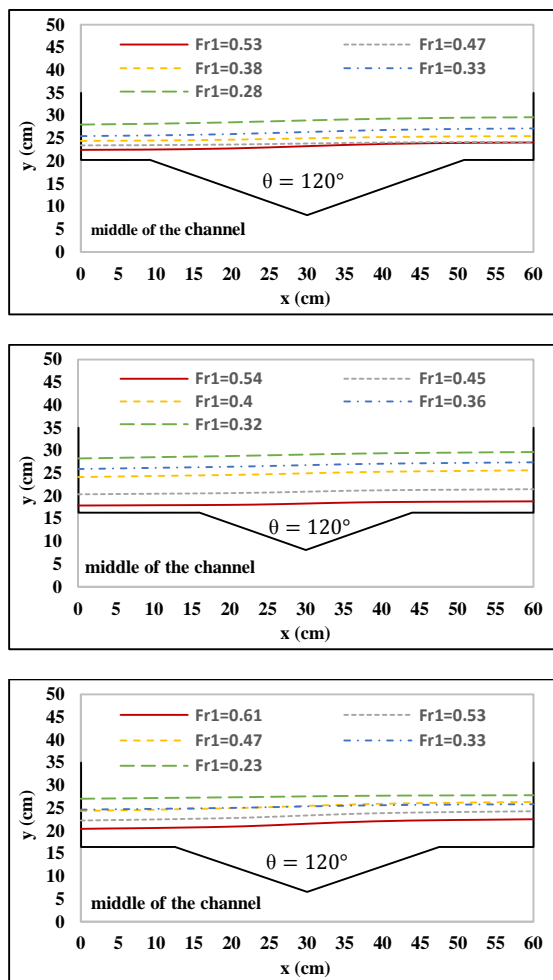
ادامه شکل (۴-۳۳)

در شکل (۴-۳۳) مشاهده می‌گردد که تراز سطح آب خط مرکزی کانال در ابتدای سرریز تقریباً افقی است و این بیانگر آن است که اثرات مدخل سرریز تا خط مرکزی کانال گسترش نمی‌یابد. مقایسه این مقادیر دقت مناسب روش و روابط مذکور در تعیین پروفیل جریان را تأیید می‌کند.

اما گراف‌های شکل (۴-۳۴) تغییرات پروفیل سطح آب در خط مرکزی کانال و روی سرریز مرکب برای اعداد فرود مختلف جریان بالادست سرریز برای یکی از مقاطع مورد آزمایش را نشان می‌دهد. از بررسی این نمودارها مشخص می‌شود که در همه مقادیر عدد فرود، عمق جریان خط مرکزی کانال با شیب کمی نسبت به پایین‌دست افزایش می‌یابد اما این تغییرات در روی سرریز قابل‌ملاحظه‌تر بوده که وابستگی بیشتری نسبت به عدد فرود، ارتفاع تاج و هندسه سرریز را نشان می‌دهد. به‌عبارت‌دیگر با افزایش عدد فرود بالادست یا کاهش ارتفاع تاج، تغییرات پروفیل جریان شدیدتر خواهد بود.

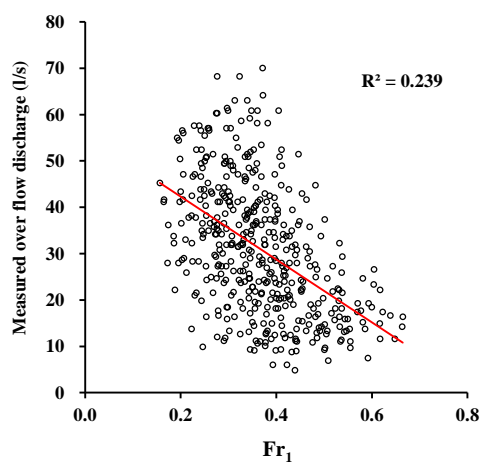


شکل (۴-۳۴) تغییرات پروفیل سطح آب در امتداد خط مرکزی کانال و بر روی تاج سرریز در شرایط هیدرولیکی مختلف



ادامه شکل (۴-۳۴)

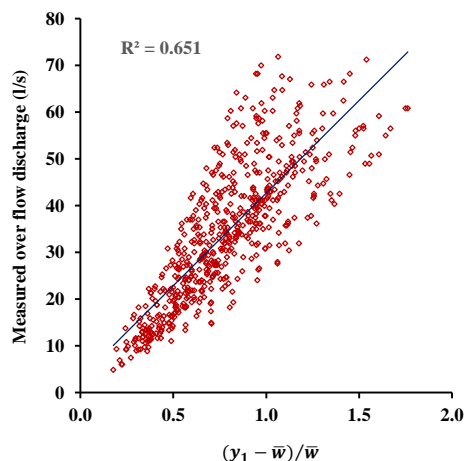
در شکل (۴-۳۵) تغییرات دبی عبوری از سرریز (Q_w) نسبت به مقادیر پارامتر عدد فرود جریان بالادست سرریز (Fr_1) برای داده‌های هر سه مقطع ترسیم شده است.



شکل (۴-۳۵) تغییرات دبی عبوری از سرریز مرکب نسبت به عدد فرود جریان بالادست آن

اگرچه در نمودار فوق پراکندگی زیادی در داده‌ها ملاحظه می‌گردد، اما خط برازش کاهش مقادیر Q_w با افزایش عدد فرود را نشان می‌دهد.

جهت بررسی تأثیر پارامتر $(y_1 - \bar{w})/\bar{w}$ بر مقادیر دبی عبوری از سرریز (Q_w) نمودار شکل (۴-۳۶) ترسیم شد. که در آن \bar{w} ارتفاع وزنی تاج سرریز بوده که از رابطه (۴-۲۳) محاسبه می‌شود.



شکل (۴-۳۶) تغییرات دبی عبوری از سرریز نسبت به پارامتر $(y_1 - \bar{w})/\bar{w}$

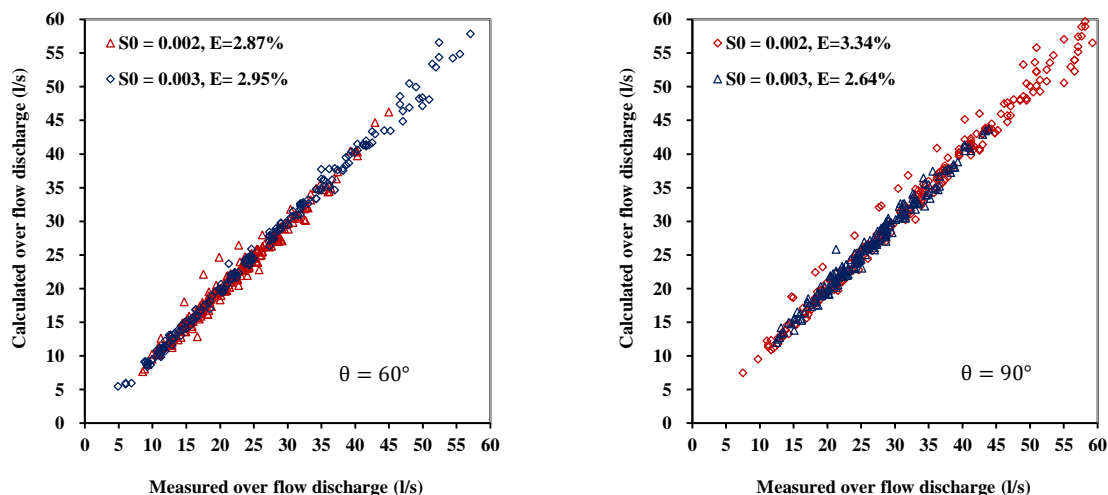
بررسی این نمودار نشان می‌دهد پارامتر $(y_1 - \bar{w})/\bar{w}$ بر مقادیر دبی عبوری از سرریز مرکب تأثیر بسزایی دارد به طوری که با افزایش آن Q_w نیز بیشتر می‌شود.

به طور کلی در این بخش یک رابطه جهت تعیین ضریب دبی المانی سرریز جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی و سه رابطه برای سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی با زوایای رأس ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه به کمک الگوریتم ژنتیک پیشنهاد شد که با به کارگیری این روابط، دبی عبوری از سرریز مرکب و عمق جریان در امتداد خط مرکزی کانال اصلی (در موقعیت نصب سرریز) محاسبه گردید. مقایسه نتایج محاسبات این روش با مقادیر آزمایشگاهی دقت بالای روابط پیشنهادی را نشان داد. همچنین با بررسی نتایج مشخص گردید در این روش دبی عبوری از سرریز به عدد فرود بالادست سرریز و نسبت عمق جریان به ارتفاع تاج سرریز وابسته است. اما تأثیر این نسبت بیشتر از عدد فرود جریان می‌باشد. اندازه‌گیری‌های عمق سطح آب در خط مرکزی کانال نشان می‌دهد در همه شرایط هندسی و هیدرولیکی آزمایش‌ها، شیب پروفیل به صورت صعودی بوده و با خروج بیشتر دبی از سرریز جانبی شیب

تغییرات آن افزایش می‌یابد. نتایج این تحقیق مؤید به‌کارگیری روش المانی در تعیین دقیق دبی عبوری و پروفیل جریان سرریزهای جانبی مرکب است اگرچه حجم محاسبات نسبت به روش‌های دیگر بیشتر می‌باشد.

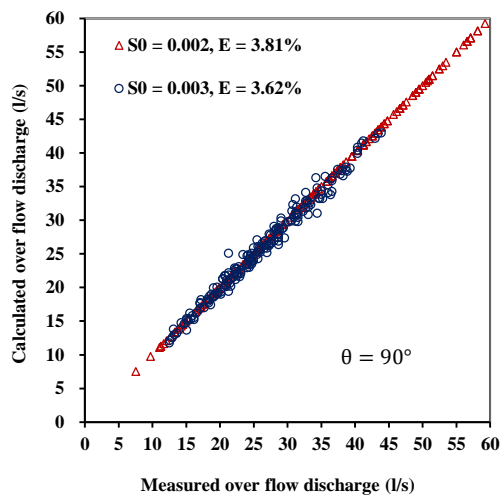
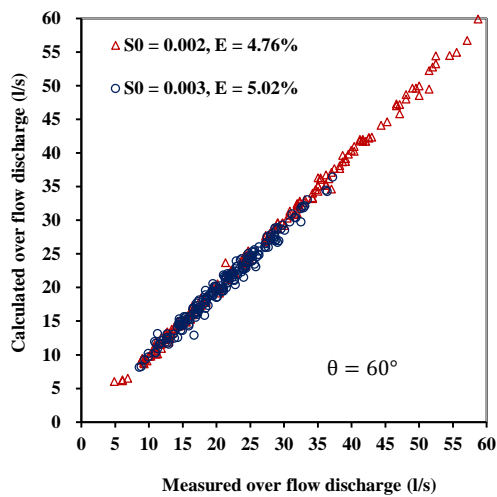
۶-۴ بررسی اثر شیب طولی کانال بر دقت محاسبات دبی

جهت کنترل اثر شیب طولی کانال بر مقادیر ضریب دبی مستقیم و دیمارچی ارائه‌شده برای سرریز جانبی لبه تیز مرکب مثلثی - مستطیلی در این تحقیق، آزمایش‌ها مجدداً با شیب طولی ۰,۰۰۳ انجام شد. شکل (۳۷-۴) و شکل (۳۸-۴) مقایسه دبی عبوری محاسبه‌شده با استفاده از رابطه ضریب دبی مستقیم و دیمارچی با مقادیر مشاهداتی برای دو سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی با زوایای رأس ۶۰ و ۹۰ درجه را نشان می‌دهد. این نمودارها برای دو شیب طولی ۰,۰۰۲ و ۰,۰۰۳ ترسیم شده است. بررسی نمودارهای مذکور نشان می‌دهد تأثیر شیب طولی کانال بر مقادیر دبی محاسباتی با به‌کارگیری ضرایب آبگذری مستقیم و دیمارچی پیشنهادی ناچیز بوده و حذف آن از آنالیز ابعادی تأثیری بر دقت محاسبات سرریز جانبی لبه تیز مثلثی - مستطیلی نداشته است.



شکل (۳۷-۴) مقایسه دبی محاسباتی و مشاهداتی بر اساس ضرایب دبی مستقیم پیشنهادی

برای دو شیب طولی مختلف



شکل (۴-۳۸) مقایسه دبی محاسباتی و مشاهداتی بر اساس ضرایب دبی دیمارچی پیشنهادی

برای دو شیب طولی مختلف

فصل پنجم

خلاصه نتایج و پیشنهادها

۱-۵ مقدمه

در این پژوهش سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی و مثلثی - مستطیلی در شرایط جریان زیربحرانی به صورت آزمایشگاهی مورد مطالعه قرار گرفتند. سرریزهای مورد تحقیق مقطع مستطیلی - مستطیلی در دو مقیاس کوچک و بزرگ به همراه مقاطع مثلثی - مستطیلی با زوایای رأس ۶۰، ۹۰ و ۱۲۰ درجه را شامل می‌شدند. با توجه به اهداف تحقیق ۱۴۲۰ آزمایش برنامه‌ریزی و اجرا شد که در مجموع ۲۲۰ آزمایش در فلوم کوچک (A) برای سرریز مستطیلی - مستطیلی و ۱۲۰۰ آزمایش در فلوم بزرگ (B) انجام گرفت که از این تعداد ۳۴۰ آزمایش آن برای سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی، ۶۸۰ آزمایش برای سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی و ۱۸۰ آزمایش جهت بررسی تأثیر شیب طولی کانال بر دبی عبوری از سرریزهای مثلثی - مستطیلی است. در تمامی مقاطع سرریز، ابعاد هندسی و مشخصات جریان به گونه‌ای طراحی گردید که تحقیق بیشتر شرایط ممکن را پوشش دهد. در تمامی آزمایش‌ها دبی ورودی توسط فلومتر آلتراسونیک (در فلوم کوچک روتامتر)، دبی عبوری از سرریز مرکب به کمک سرریز مثلثی لبه تیز کالیبره شده و پروفیل سطح آب در میانه کانال با استفاده از عمق سنج دیجیتال اندازه‌گیری شد. علاوه بر این جهت بررسی تغییرات جریان در حین عبور از سرریز مرکب در برخی از آزمایش‌ها، اعماق آب روی تاج نیز اندازه‌گیری و ثبت گردید. پس از اتمام آزمایش‌ها، عملیات آنالیز و پردازش داده‌ها در محیط نرم‌افزارهای اکسل انجام شد. همچنین جهت تعیین ضرایب ثابت روابط در روش المانی از الگوریتم ژنتیک نرم‌افزار متلب استفاده گردید. به کمک روش آنالیز ابعادی پارامترهای بی‌بعد مؤثر بر ضرایب دبی مشخص، سپس با معلوم شدن این پارامترهای بی‌بعد مؤثر در مجموع ۱۵ رابطه برای تعیین ضرایب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مذکور پیشنهاد شد. ضرایب ثابت هر یک از این روابط به نحوی تعیین شدند که دبی عبوری از سرریز دارای کمترین مقدار درصد میانگین خطا باشند. به منظور بررسی بیشتر دقت روابط پیشنهادی سایر آماره‌های خطا نیز محاسبه و کنترل شد. از دیگر بخش‌های این پژوهش، بررسی تأثیرپذیری ضرایب دبی برآورد شده به

کمک روابط پیشنهادی از پارامترهای بی بعد مؤثر است. آخرین بخش تحقیق نیز اختصاص به کنترل اثر شیب طولی کانال و تغییر ابعاد فلوم بر دقت روابط ضریب دبی داشت. در ادامه خلاصه نتایج و پیشنهادها ارائه می گردد.

۲-۵ خلاصه نتایج

در این بخش نتایج برجسته تحقیق که شامل پاسخ به سؤالات اولیه اهداف تحقیق است به صورت مختصر ارائه می شود.

۱- بررسی نتایج نشان داد تئوری‌ها و فرضیات حاکم بر سرریزهای جانبی لبه تیز ساده در مورد سرریزهای مرکب نیز اعتبار دارد. از جمله فرض اتلاف ناچیز انرژی مخصوص در طول سرریز به روش دیمارچی که در تمامی مقاطع مختلف سرریز کنترل شد و نشان داد که عدم لحاظ آن تأثیر قابل ملاحظه‌ای بر دقت روابط پیشنهادی ضرایب دبی آن ندارد.

۲- به کارگیری روش مارتینز و همکاران (۲۰۰۵) همچنين پیراتیپیان و همکاران (۲۰۰۶) در تعیین دبی کل عبوری از سرریز مرکب نرمال که در طی آن سرریز مرکب به چند مقطع ساده تجزیه شده، سپس به کمک روابط پیشنهادی ضریب آبگذری سرریزهای ساده دیگر محققین دبی جزء تعیین و با جمع آن دبی کل عبوری از سرریز محاسبه می شود در سرریزهای مرکب جانبی مورد مطالعه از دقت مطلوبی برخوردار نمی باشند.

۳- بررسی روابط ارائه شده برای ضرایب دبی در سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی و مثلثی - مستطیلی نشان می دهد هر سه روش مستقیم، دیمارچی و المانی قابلیت برآورد دبی عبوری از سرریزهای مذکور و با دقت مناسب را دارند که در بین آنها روش المانی اگرچه نیازمند برنامه نویسی و انجام محاسبات پیچیده تر در محیط رایانه است اما میزان درصد میانگین خطای آن به مراتب کمتر است. همچنین کنترل نتایج بیانگر آن است که در بین دو متد باقیمانده روش دیمارچی از دقت بیشتری در برآورد دبی برخوردار است. سهولت و سادگی محاسبات از مزایای روش مستقیم است هر چند مقدار

خطای محاسباتی در آن کمی بیشتر است.

۴- از ویژگی مهم سرریزهای مرکب تغییرات تراز تاج در طول آن است. که این شرایط، انجام محاسبات برآورد دبی عبوری از سرریز را در روش‌های مستقیم و دیمارچی با مشکل مواجه می‌کند. جهت حل این معضل استفاده از ایده ارتفاع وزنی تاج (\bar{w}) مدنظر قرار گرفت و بررسی نتایج نشان داد به کارگیری پارامتر \bar{w} در سرریزهای مرکب مورد مطالعه مؤثر و مفید بوده است. لازم به توضیح است که در روش المانی از مشخصات هندسی سرریز با ترازهای تاج مختلف استفاده شد و مشخص گردید کارآمدی لازم در برآورد دبی عبوری از سرریزهای مرکب با هر مقطعی را دارد.

۵- ضریب دبی با توجه به نوع روش محاسبه و شکل سرریز به پارامترهای مؤثر بی‌بعد مطابق زیر وابسته است:

الف - ضریب دبی مستقیم (C_d) و دیمارچی (C_m) در سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی:

$$Fr_1, \frac{\bar{w}}{y_1}, \frac{L}{B}$$

تأثیر عدد فرود بر ضریب C_m نسبت به C_d بیشتر است. این موضوع در مورد پارامتر $\frac{\bar{w}}{y_1}$ برعکس است.

ب - ضریب دبی مستقیم (C_d) و دیمارچی (C_m) در سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی:

$$Fr_1, \frac{\bar{w}}{y_1}, \frac{L}{y_1}$$

تأثیر این سه پارامتر بر C_d در سرریز مذکور تقریباً یکسان است. اما تأثیر عدد فرود جریان بالادست بر C_m بیشتر از سایر پارامترها می‌باشد.

ج- ضریب دبی المانی (C_e) در این تحقیق تابعی از نسبت عمق جریان روی تاج به ارتفاع تاج تعریف

$$\eta_w = (y_x - w_x)/w_x \quad \text{گردید:}$$

نتایج نشان داد که روابط پیشنهادی بر اساس پارامتر مذکور دبی عبوری از سرریز را با دقت خوبی برآورد می‌کنند.

۶- از دیگر بخش‌های پژوهش حاضر کنترل تأثیر شیب طولی کانال (S_0) بر ضریب دبی عبوری سرریز بود. به همین منظور آزمایش‌ها در سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی برای دو شیب متفاوت ۰,۰۰۲ و

۰,۰۰۳ انجام گرفت و بررسی‌ها نشان داد که اثر شیب طولی بر ضریب دبی مستقیم و دیمارچی سرریزهای جانبی مرکب ناچیز است. این مطلب نظر برقی و همکاران (۲۰۰۳) مبنی بر عدم تأثیر شیب طولی کانال بر ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز ساده را تأیید می‌کند.

۷- روابط استخراج شده ضرایب دبی مستقیم، دیمارچی و المانی برای سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب در این پژوهش عبارت است از:

الف - سرریزهای مستطیلی - مستطیلی:

$$C_d = 0.3709 + 0.398Fr_1^{0.205} - 0.053\left(\frac{W_1}{y_1}\right) \quad (۱)$$

$$C_d = 0.15 + 0.249Fr_1^2 - 0.035\left(\frac{W_1}{y_1}\right)^{0.05} + 0.32\left(\frac{W_2}{y_1}\right)^{0.02} + 0.186\left(\frac{L}{y_1}\right)^{-0.05} \quad (۲)$$

$$C_d = 0.7698 - 0.3327Fr_1^{0.1722} + 0.5685\left(\frac{\bar{W}}{y_1}\right)^{0.5885} - 0.2163\left(\frac{L}{B}\right)^{0.5348} \quad (۳)$$

$$C_m = 0.4874 - 0.5829Fr_1^{1.663} + 0.481\left(\frac{\bar{W}}{y_1}\right)^{0.0491} - 0.186\left(\frac{L}{B}\right)^{0.005} \quad (۴)$$

$$C_e = 0.667 \left[\left(\frac{1.218}{4.98 - \eta_w} \right)^2 + \left(\frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{10} \right]^{-0.0507} \quad (۵)$$

ب- سرریزهای مثلثی - مستطیلی:

$$C_d = 0.336 - 0.051Fr_1^{0.583} + 0.3682\left(\frac{\bar{W}}{y_1}\right)^{1.103} + 0.1245\left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.53} \quad \theta = 60^\circ \quad (۶)$$

$$C_d = 0.424 + 0.0327Fr_1^{1.299} + 0.3762\left(\frac{\bar{W}}{y_1}\right)^{1.18} + 0.0454\left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.479} \quad \theta = 90^\circ \quad (۷)$$

$$C_d = 0.492 + 0.1324Fr_1^{2.555} + 0.39\left(\frac{\bar{W}}{y_1}\right)^{3.33} + 0.0363\left(\frac{L}{y_1}\right)^{1.34} \quad \theta = 120^\circ \quad (۸)$$

$$C_d = 0.154Fr_1^{0.166} + 0.473\left(\frac{\bar{W}}{y_1}\right)^{0.711} + 0.213\left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.201} \quad \theta = 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ \quad (۹)$$

$$C_m = 0.5123 - 0.3904Fr_1 + 0.4264\left(\frac{\bar{W}}{y_1}\right)^{4.324} + 0.1514\left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.202} \quad \theta = 60^\circ \quad (۱۰)$$

$$C_m = 0.5433 - 0.402Fr_1 + 0.3399\left(\frac{\bar{W}}{y_1}\right)^{1.115} + 0.0116\left(\frac{L}{y_1}\right)^{0.412} \quad \theta = 90^\circ \quad (۱۱)$$

$$C_m = 0.5327 + 0.413Fr_1 + 0.16\left(\frac{\bar{W}}{y_1}\right)^{0.672} + 0.0255\left(\frac{L}{y_1}\right)^{1.313} \quad \theta = 120^\circ \quad (۱۲)$$

$$C_e = 0.531 \left[\left(\frac{0.883}{1.733 - \eta_w} \right)^5 + \left(\frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{10} \right]^{-0.072} \quad \theta = 60^\circ \quad (13)$$

$$C_e = 0.606 \left[\left(\frac{1.926}{2.422 - \eta_w} \right)^5 + \left(\frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{10} \right]^{-0.073} \quad \theta = 90^\circ \quad (14)$$

$$C_e = 0.517 \left[\left(\frac{0.268}{1.236 - \eta_w} \right)^{3.37} + \left(\frac{\eta_w}{\eta_w + 1} \right)^{9.98} \right]^{-0.045} \quad \theta = 120^\circ \quad (15)$$

در این روابط عدد فرود جریان در بالادست سرریز، w_1 ارتفاع بخش بالایی تاج سرریز، y_1 عمق جریان در بالادست سرریز، L طول سرریز، w_2 ارتفاع بخش پایینی تاج سرریز، B عرض کانال اصلی، \bar{w} ارتفاع وزنی تاج سرریز، η_w نسبت عمق جریان روی تاج به ارتفاع تاج سرریز است.

به کمک روابط مذکور طراحی سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب مستطیلی - مستطیلی و مثلثی - مستطیلی با توجه به دبی ورودی به کانال اصلی و مقدار موردنیاز دبی انحراف با دقت مناسب امکان پذیر خواهد بود.

۳-۵ پیشنهادها

۱- اثر تغییر عرض کانال اصلی بر ضرایب دبی سرریزهای موردتحقیق بررسی شود. در بخش آنالیز ابعادی اشاره شد یکی از پارامترهای مؤثر بر ضریب دبی عرض کانال اصلی است که در روابط تعدادی از محققین به صورت (L/B) لحاظ شده است. در پژوهش حاضر به علت گستردگی آزمایشات و محدودیت‌های موجود، عرض فلوم ثابت گردید. البته وجود پارامتر بی بعد (L/B) در روابط ضریب دبی مستقیم و دیمارچی سرریز مرکب مستطیلی - مستطیلی به دلیل تغییرات طول سرریز (L) در نظر گرفته شد که بازه کمی را پوشش می‌دهد. لذا پیشنهاد می‌شود با تغییر عرض کانال و تکرار آزمایش‌ها، تأثیر آن موردبررسی بیشتری قرار گیرد.

۲- اثر دیوارهای کانال خروجی سرریز بر ضرایب دبی سرریزهای مرکب کنترل گردد. در آزمایش‌های تحقیق حاضر به دلیل عرض زیاد کانال جانبی، عملاً جریان آب هنگام خروج از سرریز با دیواره‌های کانال تماسی نداشته و در نتیجه به صورت آزاد و به راحتی وارد کانال جانبی گردید. از آنجایی که در بسیاری از پروژه‌های برداشت و زهکشی، جریان آب به دلیل فاصله کم سرریز از دیوارهای کانال جانبی با محدودیت وارد آن می‌گردد و تحقیقات گذشته نیز تأثیر آن بر ضریب دبی سرریزهای جانبی ساده را تأیید می‌کنند لازم است برای سرریزهای مرکب هم، آزمایش‌ها در شرایط وجود دیواره‌های کانال جانبی انجام شود.

۳- آزمایش‌های این سرریزها در کانال با شعاع و زوایای قوس‌های مختلف انجام شود. در کنار مسئله انتقال آب، همواره مشکل رسوبات وارده به کانال‌ها و سیستم‌های انتقال نیز وجود داشته است، یکی از نکات مهم در طراحی آبگیر رودخانه‌ها آن است که شرایطی انتخاب شود تا آب منحرف‌شده توسط آبگیر، دارای حداکثر دبی جریان و حداقل دبی رسوب باشد.

قوس رودخانه به خاطر داشتن الگوی جریان خاص بنام جریان حلزونی که از اندرکنش جریان ثانویه و جریان اصلی به وجود می‌آید، همواره موردتوجه مهندسی هیدرولیک بوده است. جریان ثانویه نیز بر اثر اختلاف نیروهای گریز از مرکز بین لایه‌های بالایی و پایینی جریان ایجاد می‌شود. وجود جریان حلزونی

در قوس رودخانه‌ها باعث می‌شود تمایل بردارهای سرعت در سطح آب به طرف قوس خارجی و در کف به طرف قوس داخلی باشد و همی پدیده سبب انتقال بار بستر به طرف قوس داخلی می‌شود. از این رو جداره خارجی قوس رودخانه‌ها، مکان مناسبی برای آبیگری خواهد بود. از طرفی بسیاری از رودخانه‌های طبیعی به دلیل فرسایش خاک و رسوب گذاری دارای پیچان رود می‌باشند. با توجه به مطالب اخیر توصیه می‌شود با انجام مطالعات آزمایشگاهی نسبت به تعیین ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه تیز مرکب نصب شده در محل قوس کانال با زوایای مختلف اقدام شود.

۴- تأثیر شیب طولی کانال با گستردگی بیشتر تحقیق گردد.

در بخش مروری بر تحقیقات گذشته برای سرریزهای ساده ملاحظه شد که مطالعات کمی در مورد اثر شیب بر ضریب دبی انجام گرفته است و اکثراً تأثیر شیب در محاسبات را ناچیز عنوان نموده‌اند. اگرچه در تحقیق حاضر به دلیل محدودیت زمانی فقط اثر دو شیب مختلف بررسی شد اما لازم است اثر این پارامتر با آزمایش‌های گسترده‌تر و در بازه بیشتر بررسی گردد.

۵- از آنجایی که تحقیقات زیادی روی سرریزهای جانبی مرکب انجام نشده و از طرفی این نوع از سرریزها دارای تنوع هندسی می‌باشند لذا پیشنهاد می‌گردد نسبت به تعیین روابط ضرایب دبی سرریزهای مرکب مثلثی - مثلثی ، مثلثی - دوزنقه‌ای و مستطیلی - دوزنقه‌ای اقدام گردد. همچنین آزمایش‌ها برای سرریزهای جانبی لبه پهن مرکب نیز انجام شود.

پیوست

پیوست

کد نوشته شده در محیط متلب برای تعیین ضرایب معادلات به کمک الگوریتم ژنتیک

زیر برنامه

```
function
[errr1,Q2,rrr,c1,c2,sss1,sss,ynew,sss2,w]=profit_computeN2(x,Data)
K1=x(1);
K2=x(2);
K3=x(3);
K4=x(4);
K5=x(5);
K6=x(6);
s0=0.002;
n=83e-4;
g=9.81;
Ce=1;
b1=Data(1)/1e2;
b2=Data(2)/1e2;
b=Data(3)/1e2;
w1=Data(4)/1e2;
w2=Data(5)/1e2;
L=Data(6)/1e2;
wbar=Data(end)/1e2;
fr=Data(end-1);
Q2=Data(end-2)/1e3;
Q(1)=Data(end-4)/1e3;
Qs=Q(1)-Q2;
y(1:11)=Data([8:12 14 16:20])/1e2;
yb=y;
ii=0:12;
ii([6 8])=[];
sss1=y;
ynew=round([0:b1/3:b1 b1+(b2/4:b2/4:b2)
b1+b2+(b1/3:b1/3:b1)]*100)+2;
w(1)=w1;
step=0.01;
count=1;

for i=0:step:L
    if(isempty(y)==1)
        y=0;
        Q=1+1i;
        break;
    end

    if(y(count)~=0)
        Y=(y(count)-w(count))/y(count);
    else
        Y=(y(count)-w(count))/(y(count)+eps);
    end
    Ce=K1*((K2/(K3+Y))^K4+Y^K5)^(-K6);

    k1=step*f_paper(y(count),Q(count),w(count),n,g,b,Ce,s0);
```

```

T1=step*g_paper (y (count) ,w (count) ,Ce ,g) ;

k2=step*f_paper (y (count)+k1/2,Q (count)+T1/2,w (count) ,n ,g ,b ,Ce ,s0) ;
T2=step*g_paper (y (count)+k1/2,w (count) ,Ce ,g) ;

k3=step*f_paper (y (count)+k2/2,Q (count)+T2/2,w (count) ,n ,g ,b ,Ce ,s0) ;
T3=step*g_paper (y (count)+k2/2,w (count) ,Ce ,g) ;

k4=step*f_paper (y (count)+k3,Q (count)+T3,w (count) ,n ,g ,b ,Ce ,s0) ;
T4=step*g_paper (y (count)+k3,w (count) ,Ce ,g) ;

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

y (count+1)=y (count)+1/6*(k1+2*k2+2*k3+k4) ;
Q (count+1)=Q (count)+1/6*(T1+2*T2+2*T3+T4) ;
if (i<=b1 || i>=b1+b2)
    w (count+1)=w1 ;
else
    w (count+1)=w2 ;
end
count=count+1 ;
end
rrr=Q (end) ;
c1=yb (end) ;
c2=y (end) ;
sss=y (ynew) ;
sss2=w (ynew) ;
if (isreal (y)~=1 || isreal (Q)~=1)
    err1=1e3 ;
else
    err1=abs ((Q2-Q (end))/Q2)*100 ;
end
end

```

زیر برنامه شماره ۲

```

function [err]=profit2(x,a)
err=0;
for i=1:size(a,1)
    Data=a(i,:);
    err=err+profit_computeN2(x,Data);
    if(err>=1e8)
        break;
    end
end
end

```

زیر برنامه و برنامه ترسیم پروفیل جریان

```

function [yy]=f_paper(y,Q,w,n,g,b,Ce,s0)
M1=Q^2*n^2/(g*b^2*y^(10/3));
M2=(1+2*y/b)^(4/3);
M3=(2^1.5)/3*Ce*(y-w)^(1.5);
M4=Q/(b^2*y^2*(g^0.5));

```

```

M5=1-Q^2/(g*b^2*y^3);
yy=(s0-M1*M2+M3*M4)/M5;

clc;
clear all;
close all;
load 'plot_y';
sel=input('N of row= ');
plot((ynew(sel,:)-2),w(sel,:)*100);
hold on;
plot((ynew(sel,:)-2),yexp(sel,:), 'or', 'MarkerFaceColor', 'r');
hold on;
plot((ynew(sel,:)-2),ycomp(sel,:), '*k')
ylim([0 1.5*max(max(yexp(sel,:),ycomp(sel,:)))]);

```

برنامه اصلی

```

clc;
clear all;
a=xlsread('data.xls');
a(isnan(a)==1)=0;
uu=@(x) profit2(x,a);
kmin=[0.1 -5 -5 2 1 -5];
kmax=[2 -0.1 -0.1 5 10 5];
x=[1 -2 -2 5 5 1];
y = fmincon(uu,x,[],[],[],[],kmin,kmax);

for i=1:size(a,1)
    Data=a(i,:);

    [~,q2(i),qend(i),y2(i),yend(i),yexp(i,1:11),ycomp(i,1:11),ynew(i,1:11),w(i,1:11)]=profit_computeN2(y,Data);

end
q2=1e3*q2;
qend=1e3*qend;
errrq=abs((q2-qend)./q2)*100;

y2=1e2*y2;
yend=1e2*yend;
erry=abs((y2-yend)./y2)*100;
yexp=1e2*yexp;
ycomp=1e2*ycomp;

xlswrite('res',[q2;qend;errrq;y2;yend;erry]);
xlswrite('res',[yexp;ones(size(ycomp,1),1)*0;ycomp]','sheet2');

xlswrite('res',y,'profile');

mean(errrq)
mean(erry)

save('plot_y','yexp','ycomp','ynew','w');

```

فهرست علائم

| | |
|-----------|--|
| A | سطح مقطع عرضی کانال |
| B | عرض کانال اصلی |
| b_1 | طول تاج سرریز در کناره‌های سرریز مرکب |
| b_2 | طول تاج سرریز در بخش میانی سرریز |
| C_d | ضریب دبی مستقیم |
| C_M | ضریب دبی دیمارچی |
| C_e | ضریب دبی المانی |
| E | درصد میانگین خطا |
| Fr_1 | عدد فرود جریان در بالادست سرریز |
| Fr_x | عدد فرود جریان در فاصله x از بالادست سرریز |
| g | شتاب ثقل |
| i | شماره المان |
| k_0-k_5 | ضرایب ثابت مجهول |
| L | طول سرریز |
| N | تعداد داده ها |
| Q | دبی در کانال اصلی |
| Q_1 | دبی بالادست سرریز در کانال اصلی |
| Q_2 | دبی پایین دست سرریز در کانال اصلی |
| Q_{wc} | دبی عبوری از سرریز محاسباتی |
| Q_{wo} | دبی عبوری از سرریز مشاهداتی |
| Q_w | دبی عبوری از سرریز |
| n | ضریب مانینگ |
| S_f | شیب خط انرژی |
| S_0 | شیب طولی کانال |

| | |
|-----------|---|
| T | عرض سطح آزاد |
| V | سرعت متوسط جریان در کانال |
| V_x | سرعت متوسط جریان در فاصله x از ابتدای سرریز |
| w | ارتفاع تاج سرریز |
| w_1 | ارتفاع تاج سرریز در بخش میانی |
| w_2 | ارتفاع تاج سرریز در کناره‌ها |
| w_x | ارتفاع تاج سرریز در فاصله x |
| \bar{w} | ارتفاع وزنی تاج سرریز مرکب |
| x | فاصله از بالادست سرریز |
| y | عمق جریان |
| y_x | عمق جریان در فاصله x از ابتدای سرریز |
| α | ضریب تصحیح سرعت در معادله انرژی |
| η_w | نسبت هد به ارتفاع تاج سرریز |
| ρ | جرم حجمی سیال |
| σ | کشش سطحی جریان |
| θ | زاویه راس سرریز مثلثی |

اندیس های ۱ و ۲ به ترتیب شرایط بالادست و پایین دست سرریز را نشان می‌دهند.

منابع و مراجع

ایزدی نیا، ا.، م. حیدرپور و ع. کبیری سامانی. ۱۳۸۶. تعیین پروفیل سطح آب بر روی سرریز جانبی با استفاده از روش های حل عددی. ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، کرمان - دانشگاه شهید باهنر.

برقی، س. م. و صالحی، ح. ۱۳۸۲. بررسی ضریب دبی سرریز جانبی با استفاده از مدل فیزیکی. ششمین کنفرانس بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان، جلد ۳، ص. ۱۰-۳.

سیاری، س.، ح. حدادی و م. رحیم پور. ۱۳۹۱. ترسیم پروفیل سطح آب در سرریز جانبی دوزنقه‌ای لبه پهن با استفاده از روشهای عددی. یازدهمین کنفرانس هیدرولیک ایران، ارومیه - دانشگاه ارومیه، ۱۶ تا ۱۸ آبان ۱۳۹۱.

عباسپور، ا. و یاسی، م. ۱۳۸۰. جریان بر روی سرریز مرکب مثلثی - مستطیلی بدون فشردگی. جانبی. سومین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه تهران، ایران، آبان ۱۳۸۰، ص ۱۵۳-۱۴۵.

Ahmed, Y., 2011. Theoretical analysis of flow over the side weir using Runge Kutta method *Annals of Faculty Engineering Hunedoara- International-Journal of Engineering* IX, 2 (2011), pp. 47-50.

Ahmed, Y., Azza, N., Talal, A., 2013. Simulation of flow over side weir using simulink. *Scientia Iranica Int. J. Sci. Technol.*, in press.

Bos, M. G. (1989). *Discharge measurement structures*. International Institute for Land Reclamation and Improvement, Wageningen, The Netherlands.

Borghei, S.M., Jalili, M.R., Ghodsian, M., 1999. Discharge coefficient for sharp crested side weir in subcritical flow. *J. Hydraul. Eng., ASCE* 125 (10), 1051-1056.

Borghei, S.M., Jalili, M.R., Ghodsian, M., 2003. Discharge coefficient for sharp-crested side weirs in subcritical flow. *Water Marit. Eng.* 156 (2), 185-191.

Cheong, H., 1991. Discharge coefficient of lateral diversion from trapezoidal channel. *J. Irr. Drain. Eng., ASCE* 117 (4), 461-475.

Chow, V.T., 1959, *Open-channel hydraulics*: New York, McGraw-Hill, 680 p.

Coleman GS, Smith D. The discharging capacity of side weirs. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers (London)* 1923; 6:288-304.

- De Marchi, G., 1934. Essay on the performance of lateral weirs. *L'Energia Elettrica* Milano, vol. 11, No. 11, Italy, pp. 849–860.
- Emiroglu, M.E., Agaccioglu, H., Kaya, N., 2011. Discharging capacity of rectangular side weirs in straight open channels. *Flow Meas. Instrum.* 22, 319–330.
- Ghodsian, M., 1997. Elementary discharge coefficient for rectangular side weir. In: *Proceeding of 4th Int. Conf. on Civil Engineering*, Tehran, pp. 36–42.
- Ghodsian, M., 2003. Supercritical flow over rectangular side weir. *Canadian Journal of Civil Engineering* vol. 30(3), 596–600.
- Ghodsian, M., 2004. Flow over Triangular Side Weir. *Scientia Iranica*, Sharif University of Technology, Vol. 11, Nos. 1&2, 114-120.
- Gill, M. A., 1985. Flow Measurement by Triangular Broad Crested Weir, *Journal of Water Power & Dam Construction*, 47-49.
- Hager, W.H., 1987. Lateral outflow of side weirs. *J. Hydraul. Eng.*, ASCE 113 (4), 491 – 504.
- Henderson, F.M., 1966. *Open Channel Flow*, Macmillan, New York, N.Y., USA.
- Honar, T. and Keshavarzi, A. 2009. Effect of Rounded-Edge Entrance on Discharge Coefficient of Side Weir in Rectangular Channels. *Journal of Irrigation and Drainage*. 58: 482–491.
- Jalili, M.R., Borghei, S.M., 1996. Discussion of “Discharge coefficient of rectangular side weirs”, by Singh, R., Manivannan, D., Satyanarayana, T. *J. Irr. Drain. Eng.*, ASCE 122 (2), 132.
- Jan, C.D., Chang, C.D., Lee, M.H., 2006. Discussion of “Design and calibration of a compound sharp-crested weir”, by Martinez, J., Recca, J., Morillas, M.T., Lopez, J.G. *J. Hydraul. Eng.*, ASCE 132 (8), 868–871.
- Kindsvater, C. E. and Carter, R. W., 1956. Discharge Characteristics of Rectangular ThinPlate Weirs. 1. *Hydr. Div.*, ASCE, 83(6), 1453-1-1453-36.
- Kumar, C.P. and Pathak, S.K. 1987. “Triangular side weirs”, *J. Irrig. And Drain. Engrg.*, ASCE, 113(1), pp 98-105.
- Martinez, J., Recca, J., Morillas, M.T., Lopez, J.G., 2005. Design and calibration of a compound sharp-crested weir. *J. Hydraul. Eng.*, ASCE 131 (2), 112–116.
- Nadesamoorthy, T., Thomson, A., 1972. Discussion of spatially varied flow over side-weirs. *J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng.*, ASCE 98 (12), 2234–2235.

- Piratheepan, M., Winston, N.E.F., Pathirana, K.P.P., 2006. Discharge measurements in open channels using compound sharp-crested weirs. *J. Ins. Eng., Sri Lanka*. No. 03, 31.
- Ramamurthy, A., Qu, J., and Vo, D. (2006). Nonlinear PLS Method for Side Weir Flows. *J. Irrig. Drain Eng.*, 132(5), 486–489.
- RangaRaju K. G. and Asawa, G. L. (1977). Viscosity and Surface Tension Effects on Weir Flow. *J. Hydr. Div., ASCE*, 103(10), 1227-1231.
- Ranga Raju, K.G., Parasad, B., Gupta, S.K., 1979. Side weir in rectangular channel. *J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng., ASCE* 105 (5), 547–554.
- Rehbock, T. (1929). Discussion of Precise Weir Measurements, by E. W. Schader and K. B. Turner. *Trans. ASCE*, 93, 1143-1162.
- Sarginson, E. J. (1972). The Influence of Surface Tension on Weir Flow. *J. Hydr. Res.*, 4(10), 431-446.
- Singh, R., Manivannan, D., Satyanarayana, T., 1994. Discharge coefficient of rectangular side weirs. *J. Irr. Drain. Eng., ASCE* 120 (4), 814–819.
- Subramanya, K., Awasthy, S.C., 1972. Spatially varied flow over side weirs. *J. Hydraul. Div. Am. Soc. Civ. Eng., ASCE* 98 (1), 1–10.
- Swamee, P. K. (1988). Generalised Rectangular Weir Equations. *J. Hydr. Engg., ASCE*, 114(8), 945-949.
- Swamee, P.K., Pathak, S.K., Mohan, M., Agrawal, S.K., Ali, M.S., 1994. Subcritical flow over rectangular side weir. *J. Irr. Drain. Eng., ASCE* 120 (1), 212–217.
- United States Bureau of Reclamation (USBR), 1963. Compound weir study, Hydraulic Laboratory Report No. Hyd. 505, 34 p.
- Yu-Tek, L., 1972. Discussion of “Spatially varied flow over side weirs” by Subramanya, K., Awasthy, S.C. *J. Hydraul. Div., ASCE* 98 (1), 2046–2048.
- Zahiri, A., Azamathulla, H.Md., Bagheri, S.M., 2013. Discharge coefficient for compound sharp crested side weirs in subcritical flow conditions. *J. Hydro.* 480, 162-166.

Abstract

Side weir is a hydraulic control structure that is designed and installed to divert water from the main channel into lateral channels, when water level exceeds a specified level.

In many hydraulic channels, due to the severe changes in runoff in different seasons of the year, many fluctuations occur in water level. These fluctuations could play an important role in the amount of both water intake and accuracy in calculation of diverted discharge. Considering the special geometrical shape of compound weirs, they have the capability to divert a certain amount of discharge to the lateral channel when water surface in the main channel is in its lowest level. In addition, these types of weirs provide the possibility of accurate calculation of diverted discharge values and prevent any damages to the channels and adjacent structures by the flow when the flood occurs. Having widespread application and simple structure, in this study the sharp-crested compound rectangular-rectangular and triangular-rectangular side weirs were investigated experimentally. To investigate the efficiency of relations suggested by authors for simple triangular and rectangular side weirs in determining the amount of diverted discharge from the compound weirs, some of the most common relations were selected. Comparing estimated total discharge from compound weirs which obtained from simple section with experimental data showed that this method is not appropriate for side weirs and it is of limited accuracy. Therefore, in the next step, discharge coefficient was calculated using three methods including direct, De Marchi and elementary methods and parameters affecting them were determined using dimensional analysis method. Then, for each one of these methods, relations were proposed for discharge coefficients. Due to non-linearity of proposed equation in elementary method, Genetic Algorithm (GA) was employed in calculations. Afterwards, extracted relations of discharge coefficient were verified using experimental data and error statistics and investigation of statistical indicators confirmed the capability of proposed relations. In addition, water surface profile in the centerline of channel and close to the weir was calculated using elementary method and was compared with experimental results. From this comparison is concluded that in general, De Marchi and elementary methods are efficient and of good accuracy for calculation of discharge from compound weirs as well as simple weirs. However, regardless of the complexity of the calculations, elementary method is of higher accuracy in determining discharge from weirs and calculating water surface profile in channels.

Keywords: Compound sharp-crested side weir, Subcritical flow, Genetic algorithm, De Marchi coefficient, Elementary and direct coefficient.



University of shahrood

Faculty of Civil Engineering

**Flow over compound sharp crested side weirs
in subcritical flow conditions**

Mojtaba Ameri

Supervisor(s):

Dr. Ahmad Ahmadi

Dr. Amir Ahmad Dehghani

September 2015