

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ



دانشگاه صنعتی شاهرود

دانشکده مهندسی عمران

پایان نامه کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های هیدرولیکی

مدلسازی سه بعدی جریان از سرریز مایل

نگارنده: محمدرضا سرور قدمقدم

استاد راهنما

دکتر رامین امینی

شهریور ۱۳۹۵

شماره: ۹۵
تاریخ: ۹۵/۲/۲۷
ویرایش:

باسمه تعالی



مدیریت تحصیلات تکمیلی

فرم شماره ۷: صورتجلسه نهایی دفاع از پایان نامه دوره کارشناسی ارشد

با تأییدات خداوند متعال و با استعانت از حضرت ولی عصر (عج) ارزیابی جلسه دفاع از پایان نامه کارشناسی ارشد آقای محمدرضا سرورقدمقدم به شماره دانشجویی ۹۲۰۷۸۲۴ رشته عمران گرایش سازه های هیدرولیکی تحت عنوان مدل سازی سه بعدی جریان از سرریز مایل که در تاریخ ۱۳۹۵/۶/۱۸ با حضور هیأت محترم داوران در دانشگاه صنعتی شاهرود برگزار گردید به شرح ذیل اعلام می گردد:

<input type="checkbox"/> قبول (با درجه: <u>خوب</u> امتیاز ۱۷/۸۵)	<input type="checkbox"/> دفاع مجدد	<input type="checkbox"/> مردود
<input checked="" type="checkbox"/> نظری	<input type="checkbox"/> عملی	

۲- بسیار خوب (۱۸ - ۱۸/۹۹)
۴- قابل قبول (۱۴ - ۱۵/۹۹)

۱- عالی (۱۹ - ۲۰)
۳- خوب (۱۶ - ۱۷/۹۹)
۵- نمره کمتر از ۱۴ غیر قابل قبول

امضاء	مرتبه علمی	نام و نام خانوادگی	عضو هیأت داوران
	دانشیار	دکتر رامین امینی	۱- استاد راهنمای اول
			۲- استاد راهنمای دوم
			۳- استاد مشاور
	استادیار	دکتر جلیل شفاعی	۴- نماینده شورای تحصیلات تکمیلی
	استادیار	دکتر امیرعباس عابدینی	۵- استاد ممتحن اول
	استادیار	دکتر امیر بذرافشان مقدم	۶- استاد ممتحن دوم

نام و نام خانوادگی رئیس دانشکده:

تاریخ و امضاء و مهر دانشکده:

تقدیر و تشکر

با درود فراوان به روح پر فتوح پدر بزرگوارم و سپاس بیکران بر همدلی و همراهی و همگامی مادر دلسوز و مهربانم که سجده ی ایثارش گل محبت را در وجودم پروراند و دامان گهربارش لحظه های مهربانی را به من آموخت. و تقدیر و تشکر شایسته از استاد فرهیخته و فرزانه جناب آقای دکتر رامین امینی که با نکته های دلاویز و گفته های بلند ، صحیفه های سخن را علم پرور نمود و همواره راهنما و راه گشای نگارنده در اتمام واکمال پایان نامه بوده است.

تعهد نامه

دانشگاه صنعتی شاهرود نویسنده پایان نامه مدلسازی سه بعدی جریان از سرریز مایل تحت راهنمایی دکتر رامین امینی

- تحقیقات در این پایان نامه توسط اینجانب انجام شده است و از صحت و اصالت برخوردار است.
 - در استفاده از نتایج پژوهشهای محققان دیگر به مرجع مورداستفاده استناد شده است.
 - مطالب مندرج در پایان نامه تاکنون توسط خود یا فرد دیگری برای دریافت هیچ نوع مدرک یا امتیازی در هیچ جا ارائه نشده است.
 - کلیه حقوق معنوی این اثر متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است و مقالات مستخرج با نام «دانشگاه صنعتی شاهرود» و یا «**Shahrood University of Technology**» به چاپ خواهد رسید.
 - حقوق معنوی تمام افرادی که در به دست آمدن نتایج اصلی پایان نامه تأثیرگذار بوده‌اند در مقالات مستخرج از پایان نامه رعایت می‌گردد.
 - در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که از موجود زنده (یا بافتهای آنها) استفاده شده است ضوابط و اصول اخلاقی رعایت شده است.
- در کلیه مراحل انجام این پایان نامه، در مواردی که به حوزه اطلاعات شخصی افراد دسترسی یافته‌ام استفاده شده است اصل رازداری، ضوابط و اصول اخلاقی انسانی رعایت شده است.

تاریخ

امضای دانشجو

مالکیت نتایج و حق نشر

- کلیه حقوق معنوی این اثر و محصولات آن (مقالات مستخرج، کتاب، برنامه‌های رایانه‌ای، نرم‌افزارها و تجهیزات ساخته شده است) متعلق به دانشگاه صنعتی شاهرود است. این مطلب باید به نحو مقتضی در تولیدات علمی مربوطه ذکر شود.
- استفاده از اطلاعات و نتایج موجود در پایان نامه بدون ذکر مرجع مجاز نمی‌باشد.

چکیده

در کانالهای با کاربری انحراف آب که دارای ارتفاع آزاد کم و نیاز به دبی خروجی زیاد می‌باشند یک سرریز نرمال به دلیل محدودیت در ارتفاع آزاد نمی‌تواند ظرفیت خواسته شده برای تخلیه جریان را داشته باشد. استفاده از یک سرریز با طول بیشتر و به صورت مایل در همان کانال ساخته شده می‌تواند پاسخ مناسبی به این مشکل باشد. در این پایان نامه جریان عبوری از سرریز مایل در یک کانال مستطیلی مورد مطالعه قرار گرفته و به کمک نرم افزار FLOW-3D مدلسازی عددی سه-بعدی صورت پذیرفته است؛ سپس براساس مطالعه محققین دیگر و نتایج آزمایشگاهی منتشر شده، اعتبار مدل عددی به چالش کشیده میشود. پس از صحت سنجی مدل عددی و مقایسه نتایج عددی با نتایج مدل فیزیکی مشاهده شد که مدل حاضر دارای دقت قابل قبولی است و می‌توان با تغییر پارامترهای مختلف در مدل سه بعدی به بررسی همزمان تاثیر دبی ورودی، ارتفاع سرریز و زاویه سرریز بر ضریب گذردهی (Cd) پرداخت.

واژه‌های کلیدی: سرریز مایل، مدل عددی سه‌بعدی، flow-3D

فهرست مطالب

۱	فصل ۱: مقدمه
۲	۱-۱- سرریز مایل
۳	۲-۱- اهداف پایان نامه
۳	۳-۱- طرح بندی پایان نامه
۵	فصل ۲: مروری بر مطالعات پیشین
۶	۱-۲- مقدمه
۶	۲-۲- جریان در کانال های باز
۷	۳-۲- معادلات حاکم بر سرریز
۷	۱-۳-۲- سرریز نرمال
۹	۲-۳-۲- سرریز مایل
۲۴	۴-۲- انواع پروفیل تشکیل شده روی سرریز
۲۷	فصل ۳: مدلسازی جریان آشفته
۲۸	۱-۳- مقدمه
۲۹	۲-۳- معادلات حاکم بر جریان آشفته
۲۹	۱-۲-۳- معادله متوسط رینولدز ناویر استوکس (RANS)
۳۱	۲-۲-۳- معادله انرژی آشفته
۳۲	۳-۳- مدل های آشفته
۳۲	۱-۳-۳- تعریف
۳۶	۲-۳-۳- مدل $k-\epsilon$
۳۹	۴-۳- قانون دیوار
۴۱	۵-۳- مدل کردن نواحی نزدیک دیوار
۴۲	۶-۳- تابع استاندارد دیوار
۴۴	۷-۳- روش VOF
۴۶	۸-۳- روش صحت سنجی مدل های عددی
۴۷	فصل ۴: نتایج و تفسیر آنها
۴۸	۱-۴- مقدمه
۴۸	۲-۴- مدل آزمایشگاهی
۴۹	۳-۴- شبکه بندی و شرایط مرزی
۵۰	۴-۴- بررسی مدل های آشفته
۵۱	۵-۴- صحت سنجی
۵۲	۱-۵-۴- مدل سرریز مورب ۲۵ درجه

- ۴-۵-۲ صحت سنجی مدل سرریز مورب ۴۵ درجه..... ۵۷
- ۴-۵-۳ صحت سنجی سرریز مورب ۹۰ درجه..... ۶۲
- ۴-۶ صحت سنجی عملکرد سرریز مدل شده..... ۶۷
- ۴-۷- شبيه سازى مدل سرریز ۷۵ درجه..... ۶۸
- ۴-۸- مقایسه ۴۸ سرریز مدل سازی شده..... ۷۲

فصل ۵: نتیجه گیری و پیشنهادات ۷۷

- ۵-۱- مقدمه..... ۷۸
- ۵-۲- نتیجه گیری..... ۷۸
- ۵-۳- پیشنهادات پژوهشی..... ۷۹

مراجع ۸۱

فهرست اشکال

- شکل (۱-۱) نمایش سرریز نرمال و مایل در کانال..... ۲
- شکل (۲-۱) نمایش پلان سرریز مایل در کانال مستطیلی مدل‌سازی شده..... ۴
- شکل (۱-۲) خط تراز انرژی و خط تراز هیدرولیکی مربوط به جریان آب در یک کانال باز..... ۷
- شکل (۲-۲) یک مقطع طولی از سرریز [1]..... ۸
- شکل (۳-۲) مقادیر تجربی C_d نسبت به H/p ارائه شده توسط برقی برای زوایای مختلف سرریز [3]..... ۱۰
- شکل (۴-۲) نمودار C_d برحسب H/p ارائه شده توسط نوری و چیلمران برای $\alpha=30^\circ$ و $R=30\text{cm}$ با مقادیر P متفاوت [5]..... ۱۱
- شکل (۵-۲) دو نوع جریان بررسی شده توسط کبیری سامانی [6]..... ۱۲
- شکل (۶-۲) نمایش تیغه‌های راهنما در بالادست سرریز مایل [6]..... ۱۳
- شکل (۷-۲) مقایسه ضریب گذردهی سرریز مایل با وجود و بدون وجود تیغه‌های راهنما ارائه شده توسط کبیری سامانی [6]..... ۱۴
- شکل (۸-۲) تأثیر وجود تیغه‌های راهنما در افزایش مقدار C_d [6]..... ۱۴
- شکل (۹-۲) پلان شماتیک از فلوم [7]..... ۱۵
- شکل (۱۰-۲) مقادیر C_d برحسب H_t برای سرریز لبه تیز [7]..... ۱۷
- شکل (۱۱-۲) مقادیر C_d برحسب H_t برای سرریز نیم‌دایره [7]..... ۱۸
- شکل (۱۲-۲) مقادیر C_d برحسب H_t برای سرریز ربع‌دایره [7]..... ۱۹
- شکل (۱۳-۲) تغییرات ضریب گذردهی نسبت به عدد فرود جریان ارائه شده توسط توین [8]..... ۲۰
- شکل (۱۴-۲) نما و پلان سرریز مدل شده توسط یوس [9]..... ۲۰
- شکل (۱۵-۲) نحوه مشبندی یوس [9]..... ۲۱
- شکل (۱۶-۲) مقایسه ارتفاع آب در وسط طول سرریز مدل شده توسط یوس و آزمایشگاهی [9]..... ۲۱
- شکل (۱۷-۲) پروفیل سطح آب و توزیع سرعت ارائه شده برای سرریز با قطر 0.0635 توسط یوس [9]..... ۲۲
- شکل (۱۸-۲) رابطه بین متوسط ضریب گذردهی با قطر سرریز دایره‌ای ارائه شده توسط البابی [10]..... ۲۳
- شکل (۱۹-۲) رابطه بین متوسط ضریب گذردهی با زاویه تمایل سرریز مایل (سرریز با زاویه 30° درجه طول بیشتری دارد) ارائه شده توسط البابی [10]..... ۲۳
- شکل (۲۰-۲) حالت‌های مختلف جریان عبوری از سرریز [7]..... ۲۵
- شکل (۱-۳) سرعت وابسته به زمان سیال در نقطه [17]..... ۲۹
- شکل (۲-۳) تقسیم بندی لایه های نزدیک به دیوار..... ۴۱
- شکل (۳-۳) نمایش دو رویکرد مدل‌سازی دیوار [18]..... ۴۲

- شکل (۱-۴) نمایش پارامترهای جریان بر روی سریز مایل ۴۸
- شکل (۲-۴) نمایش هندسه مدل سریز به صورت پلان و سه‌بعدی ۴۹
- شکل (۳-۴) نمایش شبکه‌بندی مدل عددی ۴۹
- شکل (۴-۴) نمایش شرایط مرزی مدل عددی ۵۰
- شکل (۵-۴) نمایش جریان عبوری از روی سریز ۹۰ درجه برای مدل آشفتگی k-e ۵۱
- شکل (۶-۴) نمایش جریان عبوری از روی سریز ۹۰ درجه برای مدل آشفتگی k- ω ۵۱
- شکل (۷-۴) نمایش جریان عبوری از روی سریز ۹۰ درجه برای مدل آشفتگی RNG ۵۱
- شکل (۸-۴) جریان عبوری از سریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۴ اینچی ۵۳
- شکل (۹-۴) جریان عبوری از سریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۸ اینچی ۵۴
- شکل (۱۰-۴) جریان عبوری از سریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی ۵۴
- شکل (۱۱-۴) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۴ اینچی ۵۵
- شکل (۱۲-۴) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۸ اینچی ۵۵
- شکل (۱۳-۴) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی ۵۵
- شکل (۱۴-۴) ضریب گذردهی در سریز مورب ۲۵ درجه ۵۶
- شکل (۱۵-۴) مقایسه ضریب گذردهی مدل عددی و آزمایشگاهی در سریز مورب ۲۵ درجه ۵۷
- شکل (۱۶-۴) جریان عبوری از سریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۴ اینچی ۵۸
- شکل (۱۷-۴) جریان عبوری از سریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۸ اینچی ۵۹
- شکل (۱۸-۴) جریان عبوری از سریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی ۵۹
- شکل (۱۹-۴) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۴ اینچی ۵۹
- شکل (۲۰-۴) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۸ اینچی ۶۰
- شکل (۲۱-۴) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی ۶۰
- شکل (۲۲-۴) ضریب گذردهی در سریز مورب ۴۵ درجه ۶۱
- شکل (۲۳-۴) مقایسه ضریب گذردهی مدل عددی و آزمایشگاهی در سریز مورب ۴۵ درجه ۶۲
- شکل (۲۴-۴) جریان عبوری از سریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۴ اینچی ۶۳
- شکل (۲۵-۴) جریان عبوری از سریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۸ اینچی ۶۴
- شکل (۲۶-۴) جریان عبوری از سریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی ۶۴
- شکل (۲۷-۴) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۴ اینچی ۶۴
- شکل (۲۸-۴) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۸ اینچی ۶۵
- شکل (۲۹-۴) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی ۶۵
- شکل (۳۰-۴) مقایسه ضریب گذردهی مدل عددی و آزمایشگاهی در سریز ۹۰ درجه ۶۶
- شکل (۳۱-۴) مقایسه ضریب گذردهی مدل عددی و آزمایشگاهی در سریز ۹۰ درجه ۶۶
- شکل (۳۲-۴) جریان عبوری از سریز ۴۵ درجه با ارتفاع ۲۳/متر ۶۷
- شکل (۳۳-۴) جریان عبوری از سریز ۴۵ درجه با ارتفاع ۴۶/متر ۶۸

- شکل (۴-۳۴) جریان عبوری از سرریز ۴۵ درجه با ارتفاع ۷۵/متر..... ۶۸
- شکل (۴-۳۵) جریان عبوری از سرریز مورب ۷۵ درجه در ارتفاع ۴ اینچی ۶۹
- شکل (۴-۳۶) جریان عبوری از سرریز مورب ۷۵ درجه در ارتفاع ۸ اینچی ۶۹
- شکل (۴-۳۷) جریان عبوری از سرریز مورب ۷۵ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی ۶۹
- شکل (۴-۳۸) نمای سه بعدی جریان عبوری از سرریز مورب ۷۵ درجه با ارتفاع ۴ اینچ..... ۷۰
- شکل (۴-۳۹) نمای سه بعدی جریان عبوری از سرریز مورب ۷۵ درجه با ارتفاع ۸ اینچ..... ۷۰
- شکل (۴-۴۰) نمای سه بعدی جریان عبوری از سرریز مورب ۷۵ درجه با ارتفاع ۱۲ اینچ..... ۷۰
- شکل (۴-۴۱) ضریب گذردهی مدل عددی در سرریز مایل ۷۵ درجه ۷۱
- شکل (۴-۴۲) مقادیر Cd نسبت به پارامتر بیبعد HtP برای سرریز مایل ۷۵ درجه..... ۷۲
- شکل (۴-۴۳) مقایسه ضریب گذردهی در ۴۸ سرریز مدلسازی شده..... ۷۳
- شکل (۴-۴۴) تغییرات هد نسبت به یک دبی ثابت برای زاویه‌های مختلف در ارتفاع سرریز $p=4$ ۷۴
- شکل (۴-۴۵) تغییرات هد نسبت به یک دبی ثابت برای زاویه‌های مختلف در ارتفاع سرریز $p=8$ ۷۴
- شکل (۴-۴۶) تغییرات هد نسبت به یک دبی ثابت برای زاویه‌های مختلف در ارتفاع سرریز $p=12in$ ۷۵

فهرست جداول

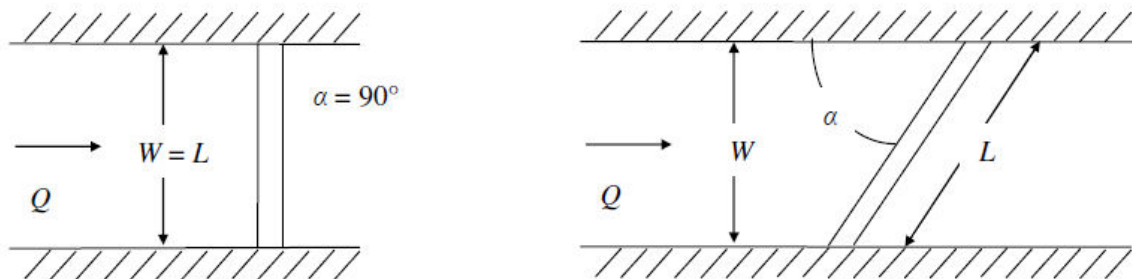
- جدول (۱-۲) مشخصات هندسی سرریزهای مورد آزمایش توسط تینجی [7]..... ۱۶
- جدول (۱-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۳۰۴۸ متری..... ۵۳
- جدول (۲-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۲۰۳۲ متری..... ۵۳
- جدول (۳-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۱۰۱۶ متری..... ۵۳
- جدول (۴-۴) پارامترهای آماری سرریز مورب ۲۵ درجه..... ۵۶
- جدول (۵-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۳۰۴۸ متری..... ۵۸
- جدول (۶-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۲۰۳۲ متری..... ۵۸
- جدول (۷-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۱۰۱۶ متری..... ۵۸
- جدول (۸-۴) پارامترهای آماری سرریز مورب ۴۵ درجه..... ۶۲
- جدول (۹-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۳۰۴۸ متری..... ۶۳
- جدول (۱۰-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۲۰۳۲ متری..... ۶۳
- جدول (۱۱-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۱۰۱۶ متری..... ۶۳
- جدول (۱۲-۴) پارامترهای آماری سرریز مورب ۹۰ درجه..... ۶۷

فصل ۱:

مقدمه

۱-۱- سرریز مایل

سرریزها در سدها، کانالها، رودخانه‌ها به منظور اندازه‌گیری جریان، انحراف جریان و کنترل دبی خروجی ساخته می‌شوند. به طور معمول برای کانالهای با کاربری انحراف آب از سرریز در وضعیت نرمال (عمود بر جریان) استفاده می‌شود. عملکرد این سازه بدین گونه است که باعث افزایش ارتفاع آب در بالادست آن شده و به آب اجازه می‌دهد که به یک کانال یا لوله دیگر منحرف شود. در سالهای گذشته به دلیل افزایش جمعیت، توسعه‌ی راه‌های ارتباطی و گسترش مناطق شهری، افزایش جمعیت و نیاز مبرم به منابع آب، محققان را بر آن داشته تا جهت مدیریت، نگهداری و استفاده بهینه از این ماده حیاتی دست به تحقیقات گسترده‌ای در رابطه با این مهم بزنند. در این راستا، سرریزها و دیگر سازه‌های کنترل جریان، جهت انتقال آب به آبراهه‌های پایین دست طراحی و ساخته می‌شوند. تعیین نوع سرریز بر اساس هدف پروژه، شرایط هیدرولوژیکی و توپولوژی منطقه و منابع مالی پروژه انجام می‌شود. در کانالهای با کاربری انحراف آب که دارای ارتفاع آزاد کم و نیاز به دبی خروجی زیاد می‌باشند یک سرریز نرمال به دلیل محدودیت در ارتفاع آزاد نمی‌تواند ظرفیت خواسته شده برای تخلیه جریان را داشته باشد. راه حل اول که به ذهن می‌رسد افزایش طول سرریز با تعریض کردن کانال برای افزایش دبی خروجی است. این راه حل معمولاً به دلیل شرایط جغرافیایی کانال و همچنین مباحث اقتصادی عملی نیست. استفاده از یک سرریز با طول بیشتر و به صورت مایل ($\alpha > 90^\circ$) در همان کانال ساخته شده می‌تواند پاسخ مناسبی به این مشکل باشد. شکل ۱-۱ سرریز نرمال و مایل را در کانال نشان می‌دهد.



شکل (۱-۱) نمایش سرریز نرمال و مایل در کانال

از آنجایی که جریان آب روی سرریز از جمله جریان‌های پیچیده است، قبل از اجرای سرریز ساخت یک مدل آزمایشگاهی و یا عددی جهت مشاهده و پیش‌بینی جریان در نقاط مختلف سرریز جهت جلوگیری از بروز خسارات احتمالی پس از اجرا، امری اجتناب‌ناپذیر است. تحقیقات و آزمایشات مختلفی بر روی سرریزهای مایل صورت گرفته است که از آنها می‌توان به آزمایشات دکتر محمود برقی که منتهی به ارائه مقادیر تجربی برای C در سرریز لبه تیز مایل برای مقادیر $0.08 < H/p < 0.21$ با هفت زاویه مختلف شد و همچنین به آزمایشات ساموئل ایگنو تینجی در سال ۲۰۱۱ در آزمایشگاه تحقیقاتی دانشگاه یوتا ایالات متحده آمریکا بر روی ۵۴ سرریز صورت گرفته، اشاره کرد.

امروزه با استفاده از رایانه‌هایی با کارایی بالا و توسعه نرم‌افزارهای قوی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، برای پژوهشگران ابزار تجزیه و تحلیل مناسبی فراهم شده است. این ابزار محاسباتی قادر به حل پیچیدگی‌های جریان می‌باشد. یکی از این ابزارهای قدرتمند نرم‌افزار flow-3D است که با استفاده از روش حجم محدود اقدام به حل معادلات حاکم بر جریان می‌نماید.

۲-۱- اهداف پایان‌نامه

۱. شبیه‌سازی سه‌بعدی جریان در کانال روباز مستطیلی شامل یک سرریز مایل با استفاده از نرم افزار flow-3D (شکل ۲-۱)
۲. به دست آوردن مشخصات جریان روی سرریز مایل
۳. با توجه به ایجاد آشفتگی در کانال، استفاده از مدل‌های آشفتگی مختلف جهت تعیین مدل آشفتگی بهینه
۴. مقایسه بین نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی عددی با نتایج آزمایشگاهی
۵. ارائه ضریب گذردهی جریان برای سرریز مایل با زاویه ۷۵ درجه

۳-۱- طرح‌بندی پایان‌نامه

ادامه بحث در مورد سرریز مایل در این پایان‌نامه به صورت زیر طبقه‌بندی می‌شود:

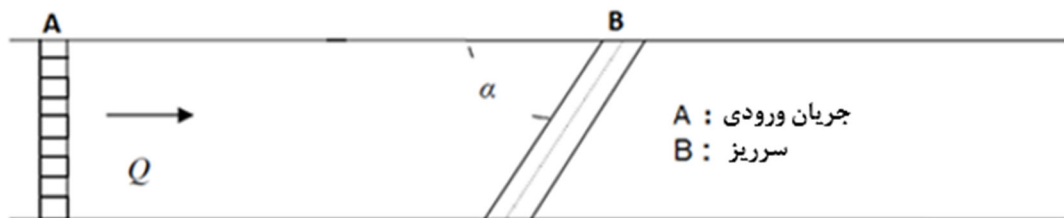
¹ Computational Fluid Dynamics

فصل دوم بابیان تئوری جریان در کانال‌های باز شروع می‌شود و در ادامه به بیان روابط حاکم بر جریان در سرریزها و انواع پروفیل‌های جریان روی سرریز می‌پردازیم و در انتها مطالعات پیشین مربوط به سرریز مایل را بیان خواهیم کرد.

در فصل سوم به بیان معادلات حاکم بر جریان آشفته، معادلات آشفتگی استفاده‌شده در این پژوهش و معرفی روش حجم سیال (VOF^1) می‌پردازیم.

فصل چهارم شامل ۳۶ مدل‌سازی انجام‌شده بر روی سرریز مایل با زوایای ۲۵، ۴۵ و ۹۰ درجه با سه ارتفاع ۴، ۸ و ۱۲ اینچ و انجام مقایسه و صحت‌سنجی آنها با نتایج آزمایشگاهی است. و در انتها ضریب گذردهی برای ۱۲ مدل شبیه‌سازی‌شده از سرریز مایل با زاویه ۷۵ درجه ارائه می‌گردد. شکل ۲-۱ نحوه جانمایی سرریز مایل مدل شده در کانال را نشان می‌دهد.

فصل پنجم شامل نتیجه‌گیری، پیشنهادات و فهرست مراجع است.



شکل (۲-۱) نمایش پلان سرریز مایل در کانال مستطیلی مدل‌سازی شده

¹ Volume Of Fluid

فصل ۲:

مروری بر مطالعات پیشین

۲-۱- مقدمه

در این فصل پس از معرفی جریان در کانالهای باز، تئوری این جریان بیان می‌شود و معادلات حاکم بر این جریان مورد مطالعه قرار می‌گیرد در ادامه نیز انواع پروفیل‌های تشکیل‌شده روی سرریز مورد بررسی قرار گرفته و در انتها پژوهش‌های پیشین درباره سرریزهای نرمال و مایل و معادلات ارائه‌شده، بیان می‌شود.

۲-۲- جریان در کانالهای باز

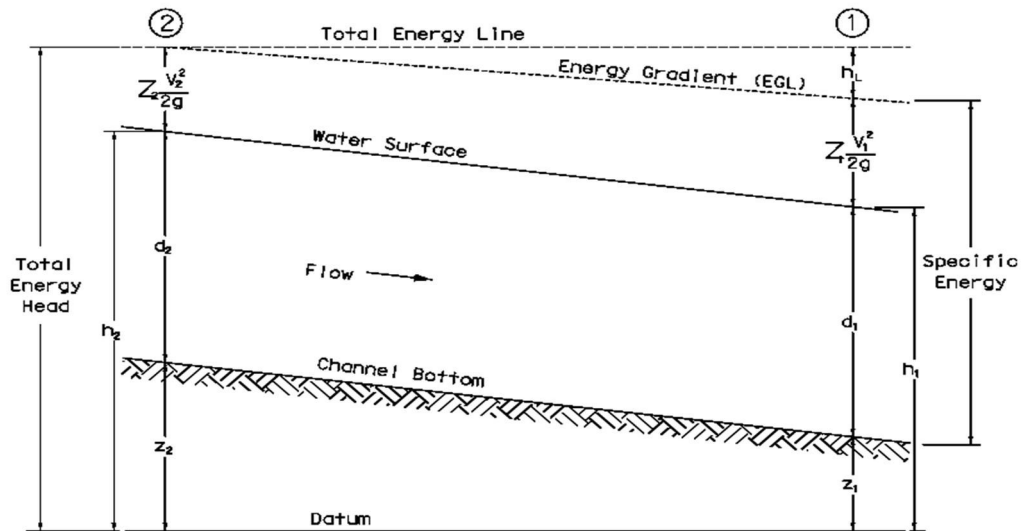
جریان مایع در یک مجرا می‌تواند به دو صورت تحت فشار و یا جریان آزاد صورت پذیرد و از این نظر می‌توان هیدرولیک مجاری را به هیدرولیک مجاری تحت فشار و هیدرولیک کانالهای باز تقسیم بندی نمود.

در کانالهای باز مایع در حرکت، در تمام مرزها در تماس با جداره جامد نمیباشد بلکه یک مرز جریان در تمام مسیر در معرض فشار اتمسفر قرار دارد و لایه جدایی محیط مایع با فضای اطراف در تعادل با این فشار ثابت عمل میکند. البته این نکته نباید از نظر دور بماند که یک مجاری بسته نیز میتواند به صورت کانال باز عمل کند و این امر مستلزم این است که جریان تعریف عمومی کانال باز را ارضاء نماید و سطح آزاد آن در معرض یک فشار ثابت قرار داشته باشد که این بحث خارج از موضوع پایان-نامه حاضر می‌باشد.

رفتار عمومی جریان در کانالهای باز را می‌توان در شکل ۱-۲ مشاهده کرد. باتوجه به علائم نشان داده‌شده انرژی مکانیکی درهرمقطع از جریان عبارت است از جمع ارتفاع معادل سرعت، ارتفاع معادل فشار، و ارتفاع از مبنا خواهد بود. انرژی کل درهرمقطع از جریان که در واحد وزن بیان می‌شود دارای بعد طول می‌باشد و از رابطه زیر بدست می‌آید :

$$H = Z + \frac{p}{\gamma} + \frac{v^2}{2g} \quad (1-2)$$

در شکل ۱-۲ خط تراز انرژی و خط تراز هیدرولیکی مربوط به جریان آب در یک کانال را نشان می-دهد در این حالت سطح پیزومتری در کانال منطبق بر سطح آزاد آب بوده و اگر مقدار ارتفاع معادل سرعت به فاصله سطح آزاد آب تا سطح مبنا دلخواه افزوده شود خط تراز انرژی به دست خواهد آمد.



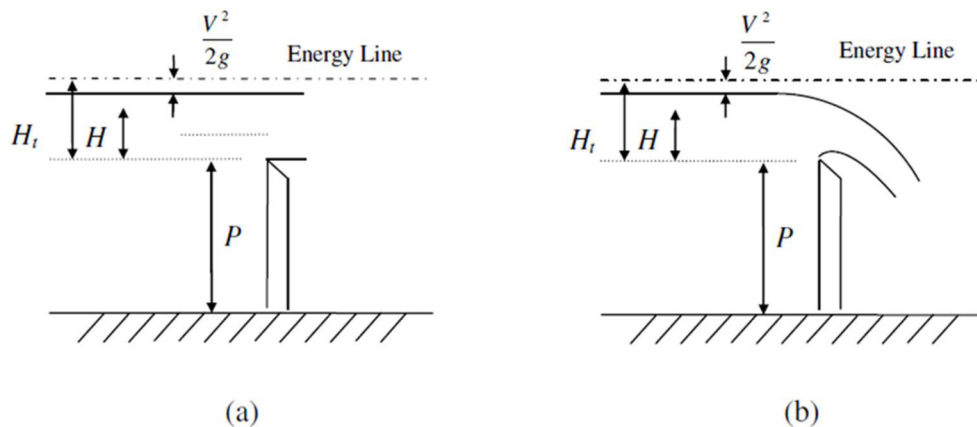
شکل (۱-۲) خط تراز انرژی و خط تراز هیدرولیکی مربوط به جریان آب در یک کانال باز

۳-۲- معادلات حاکم بر سرریز

۲-۳-۱- سرریز نرمال

هندرسن^۱ [1] با تحقیقات خود بر روی سرریز لبه تیز که به صورت نرمال (عمود بر جریان) در کانال قرار گرفته بود نشان داد که اگر سرریز تمامی عرض کانال را دربر بگیرد جریان اساساً دوبعدی است زیرا جداره‌ها مانع از تأثیرات انقباض جانبی جریان می‌شوند. شکل ۲-۲ یک مقطع طولی از جریان بر روی چنین سرریزی است.

¹ Henderson



شکل (۲-۲) یک مقطع طولی از سرریز [1]

با قبول اینکه سرعت در هر نقطه از رابطه $\sqrt{2gh}$ بدست می‌آید که در آن h فاصله خط انرژی با سطح آب است دبی در واحد عرض برابر است با :

$$q = \int_{V^2/2g}^{H_t} \sqrt{2gh} \, d\eta \quad \frac{2}{3} \sqrt{2g} \left[H_t^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{V^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (2-2)$$

با در نظر گرفتن ضریب انقباض نشان داده شده در شکل ۲-۲ (b) داریم:

$$q = \frac{2}{3} C_c \sqrt{2g} \left[H_t^{\frac{3}{2}} - \left(\frac{V^2}{2g} \right)^{\frac{3}{2}} \right] \quad (3-2)$$

که می‌توان رابطه بالا را به صورت زیر نوشت:

$$q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2g} H_t^{3/2} \quad (4-2)$$

C_d ضریب بی‌بعد گذردهی است که به صورت زیر معرفی می‌شود :

$$C_d = C_c \left[1 - \left(\frac{V^2}{2gH_t} \right)^{3/2} \right] \quad (5-2)$$

و در پایان با در نظر گرفتن عرض سرریز و رابطه ۲-۴، معادله حاکم بر سرریزها بیان می‌شود:

$$Q = C_d \frac{2}{3} \sqrt{2gL} H_t^{3/2} \quad (۶-۲)$$

۲-۳-۲- سرریز مایل

برخلاف سرریزهای نرمال که مطالعات زیادی در مورد آنها صورت گرفته اطلاعات محدودتری برای سرریزهای مایل وجود دارد. ایشل^۱ [2] یکی از اولین مطالعات را بر روی سرریز مایل انجام داده است. او رابطه ۲-۷ را بین دبی‌های خروجی از سرریزهای نرمال و مایل با زوایای مختلف ارائه نموده است.

$$\frac{q}{q_n} = 1 - \frac{H}{P} \beta_A \quad (۷-۲)$$

H = ارتفاع آب بالادست

P = ارتفاع سرریز

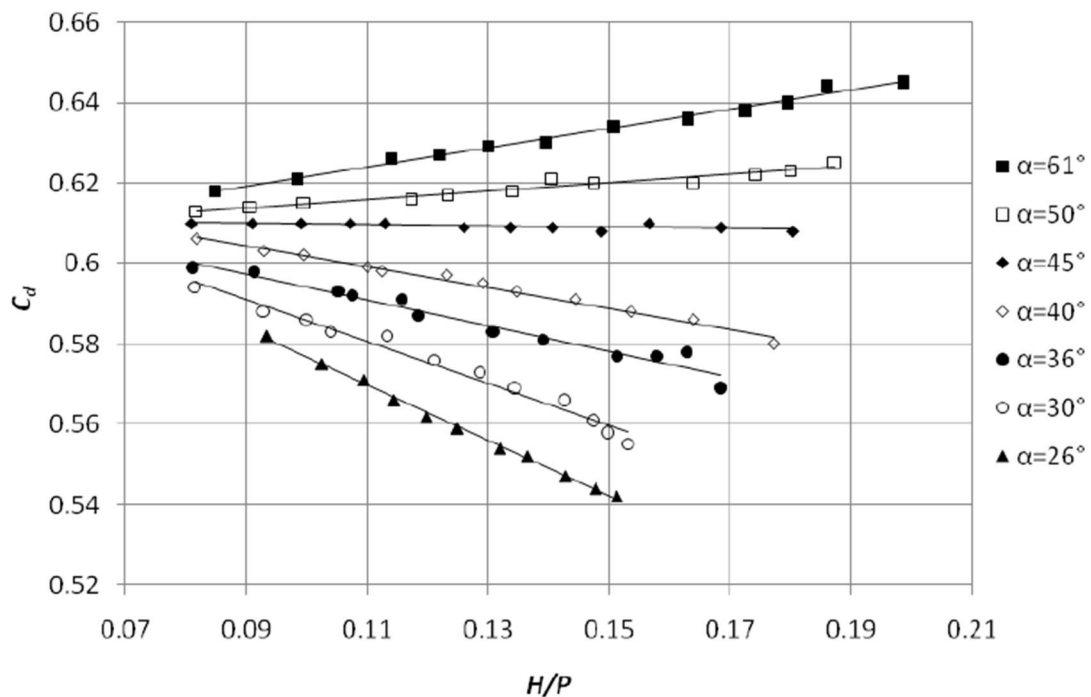
q = دبی در واحد عرض سرریز مایل

q_n = دبی در واحد عرض سرریز نرمال

β_A = یک ضریب وابسته به α (به‌عنوان مثال با کاهش α ، β_A به طور تصاعدی افزایش می‌یابد)

برقعی و همکاران [3] به طور تجربی مقدار C_d را برای سرریز لبه تیز مایل برای مقادیر کوچک $0.08 < H/p < 0.21$ با هفت زاویه مختلف بین ۲۶ تا ۶۱ درجه تعیین کردند که در شکل ۲-۳ آورده شده است.

¹ Aichel



شکل (۳-۲) مقادیر تجربی C_d نسبت به H/p ارائه شده توسط برقی برای زوایای مختلف سرریز [3]

رابطه ۸-۲ معادله کلی ارائه شده توسط دکتر برقی و همکاران برای نسبت C_{dh} به H/p است. در این رابطه تأثیر α (زاویه انحراف) با w/L بیان شده است. (w عرض کانال و L طول سرریز است).

$$C_{dh} = \left(0.701 - 0.121 \frac{W}{L}\right) + \left(2.229 \frac{W}{L} - 1.663\right) \frac{H}{P} \quad (8-2)$$

برقی و همکاران [4] با استفاده از داده های خود در [3] چهار رابطه زیر را برای خصوصیت جریان در سرریزهای مایل لبه تیز ارائه کرده اند:

$$\frac{H}{P} = 1.005 e^{-0.277 \left(\frac{L}{W}\right)} \left(\frac{K}{P}\right) \quad (9-2)$$

$$\frac{H}{P} = 0.982 \times e^{-0.129(L/W)} \left(\frac{K}{P}\right)^{0.89 \exp[0.09(L/W)]} \quad (10-2)$$

$$\frac{H}{P} = 1.34 \times 10^{-0.03(L/W)} \left(\frac{K}{P}\right)^{1.007} \quad (11-2)$$

$$\frac{H}{P} = \left[1.068 + 0.292 \left(\frac{L}{W}\right)\right] \left(\frac{K}{P}\right)^{0.939 + 0.048(L/W)} \quad (12-2)$$

که در فرمول‌های بالا K به صورت زیر تعریف می‌شود:

$$K = \left(\frac{Q}{\sqrt{gL}} \right)^{2/3} \quad (13-2)$$

مزیت اصلی روابط ۹-۲ تا ۱۲-۲ نسبت به رابطه ۸-۲ در این است که این روابط سرریزهای ۹۰ درجه (نرمال) را نیز پوشش می‌دهند.

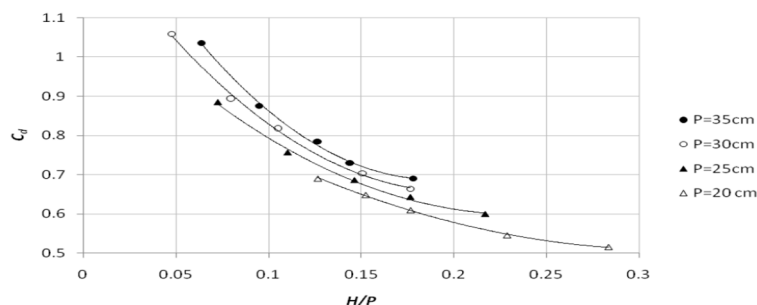
نوری و چیلمران^۱ [5] به طور تجربی ضریب گذردهی دیگری را برای سرریز نرمال و مایل با شکل تاج نیم‌دایره با شعاعهای ۵، ۷.۵ و ۱۰ سانتیمتری و مقادیر p : ۲۰، ۲۵، ۳۰ و ۳۵ سانتیمتر و همچنین زوایای α : ۳۰، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه معرفی می‌نمایند:

$$C_{dw} = \frac{0.674}{(H/p)^{0.15} (R/p)^{0.54} (\sin \alpha)^{0.86}} \quad (14-2)$$

برای بدست آوردن C_d از روی C_{dw} از رابطه زیر استفاده می‌کنیم:

$$C_d = \frac{W}{L} \frac{3}{2\sqrt{2g}} C_{dw} \quad (15-2)$$

نوری و چیلمران متوجه شدند که برای یک شعاع مشخص برای سرریز نیم‌دایره مایل، ضریب گذردهی به مقدار P بستگی دارد که در شکل ۴-۲ نشان داده شده است. کاربرد اصلی رابطه ۱۴-۲ زمانی است که H به جای H_t استفاده شود.

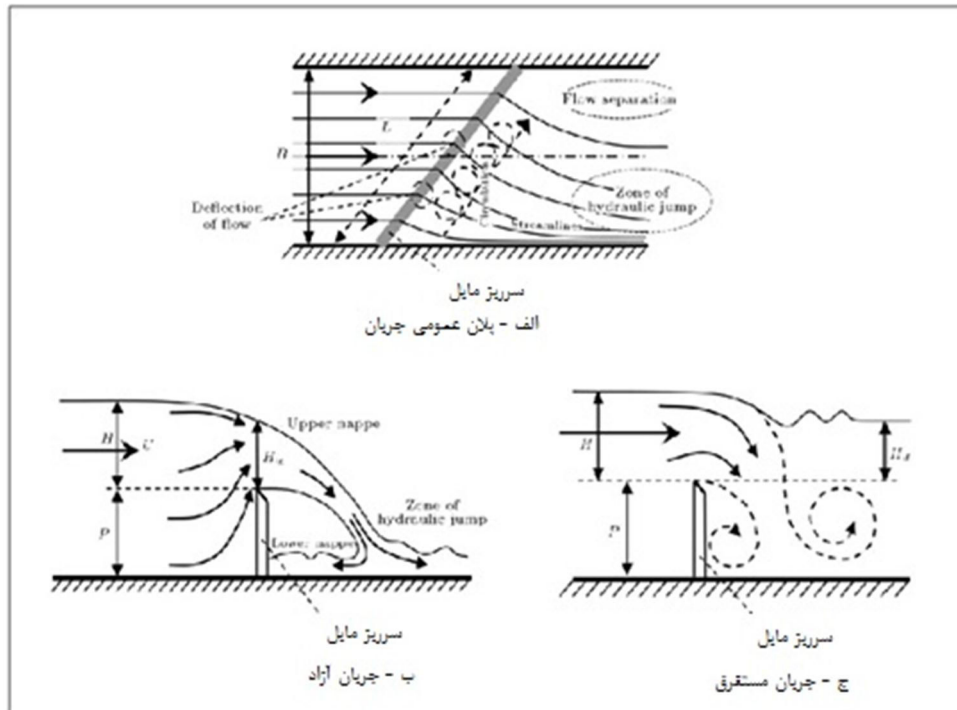


شکل (۴-۲) نمودار C_d برحسب H/p ارائه شده توسط نوری و چیلمران برای $\alpha=30^\circ$ و $R=30\text{cm}$ با مقادیر P متفاوت [5]

کبیری سامانی [6] با یک روش تحلیلی و با استفاده از معادلات انرژی، مومنتوم و پیوستگی به بررسی

¹ -Noori and Chilmeran

تأثیر خصوصیات هیدرولیکی جریان و هندسه سرریز بر زاویه انحراف جریان و ضریب گذردهی سرریز در دو حالت جریان آزاد و مستغرق در سرریز مایل پرداخته است که در شکل ۲-۵ نمایش داده شده است.



شکل (۲-۵) دو نوع جریان بررسی شده توسط کبیری سامانی [6]

کبیری سامانی برای تخمین مقادیر C روابط زیر را در دو حالت جریان آزاد و مستغرق ارائه نموده است:

جریان آزاد:

$$C_d = -0.014 \left(\frac{L}{B}\right)^2 - 0.002 \left(\frac{L}{B}\right) + 0.946 \quad (۱۶-۲)$$

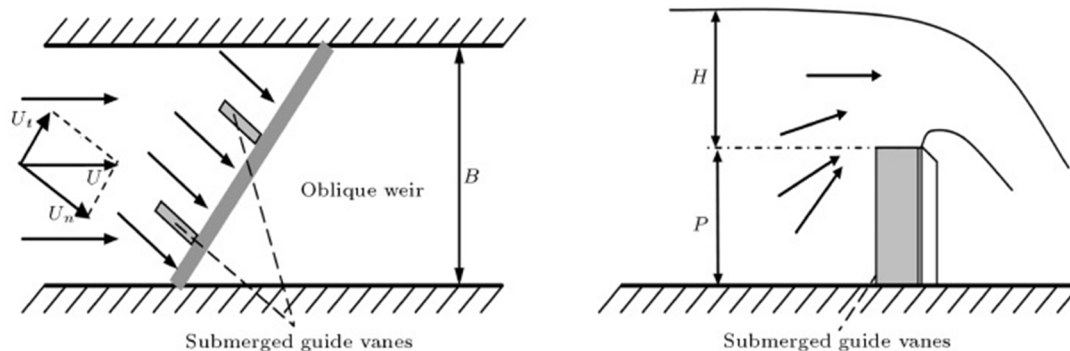
جریان مستغرق:

$$C_{ds} = 2.3 \left(\frac{L}{B}\right)^{0.86} \left(\frac{H}{P}\right)^{1.09} \left(\frac{H_d}{H}\right)^{0.05} \quad (۱۷-۲)$$

همچنین کبیری سامانی در [6] به بررسی وجود تیغه‌های راهنما^۱ بر ظرفیت دبی خروجی از

¹ Guide Vanes

سرریز و ضریب گذردهی سرریز پرداخت. تیغه‌های راهنما صفحاتی مستغرق هستند که در بالادست سرریز نصب می‌شوند. شکل ۶-۲ این صفحات را به صورت شماتیک نمایش می‌دهد.

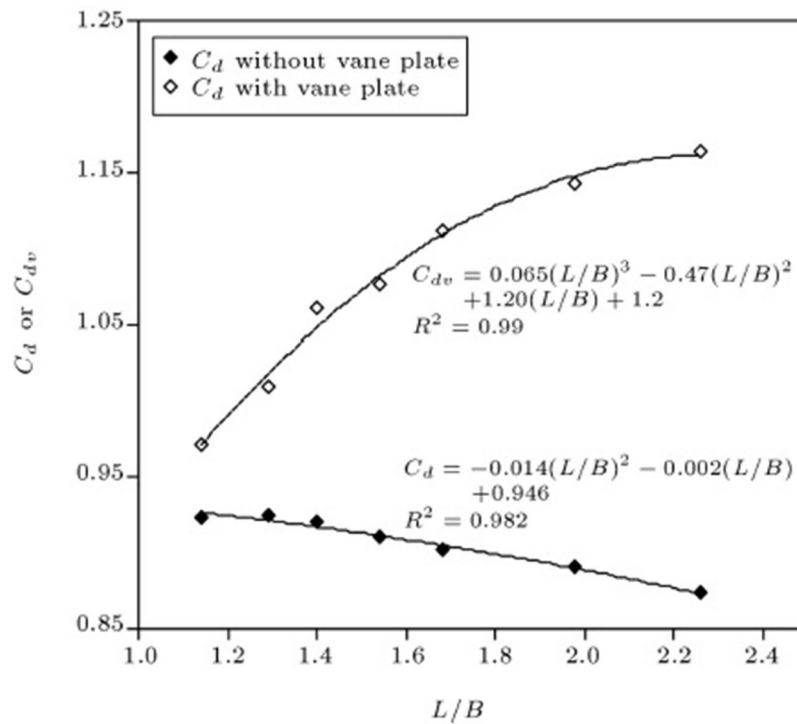


شکل (۶-۲) نمایش تیغه‌های راهنما در بالادست سرریز مایل [6]

با استفاده از گروه صفحات راهنما در بالادست سرریز مایل که باعث حذف سرعت مماس (موازی) با سرریز می‌شود، سرریز مایل مانند یک سرریز نرمال عمل کرده و ضریب گذردهی سرریز با افزایش طول سرریز نسبت به عرض کانال افزایش می‌یابد. رابطه زیر توسط کبیری سامانی برای تخمین مقادیر ضریب گذردهی سرریز با وجود تیغه‌های راهنما ارائه شده است:

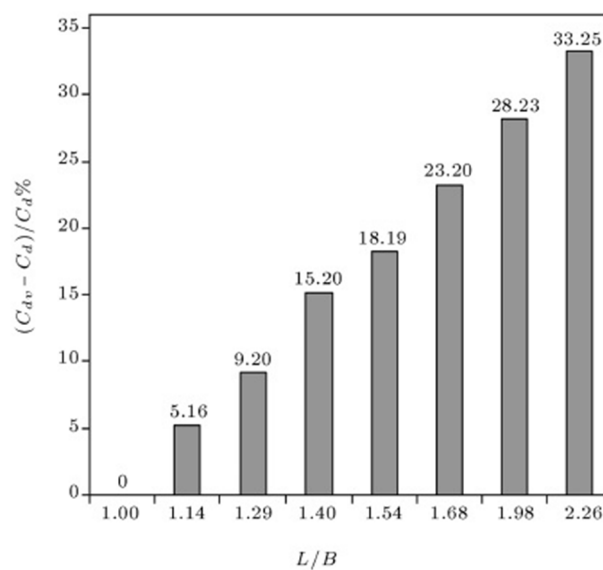
$$C_{dv} = 0.065 \left(\frac{L}{B}\right)^3 - 0.4 \left(\frac{L}{B}\right)^2 + 1.20 \left(\frac{L}{B}\right) + 0.12 \quad (18-2)$$

با توجه به شکل ۷-۲، کبیری سامانی بیان می‌کند که با افزایش طول سرریز در کانال (کمتر شدن زاویه α)، ضریب گذردهی سرریز با تیغه‌های راهنما برخلاف سرریزهای مایل بدون تیغه‌های راهنما افزایش می‌یابد؛ حذف سرعت مماسی و افزایش سرعت عمود بر سرریز دلیل این امر است. این صفحات همچنین باعث شتاب گرفتن جریان عبوری شده که باعث می‌شود جریان در نقطه‌ای دورتر از سرریز پرتاب شود.



شکل (۷-۲) مقایسه ضریب گذردهی سرریزمایل باوجود و بدون وجود تیغه‌های راهنما ارائه شده توسط کبیری سامانی [6]

کبیری سامانی در شکل ۸-۲ نشان می‌دهد که با استفاده از تیغه‌های راهنما در بالادست سرریز می‌توانیم سرریزهایی تا ۳۳ درصد کارآمدتر داشته باشیم.

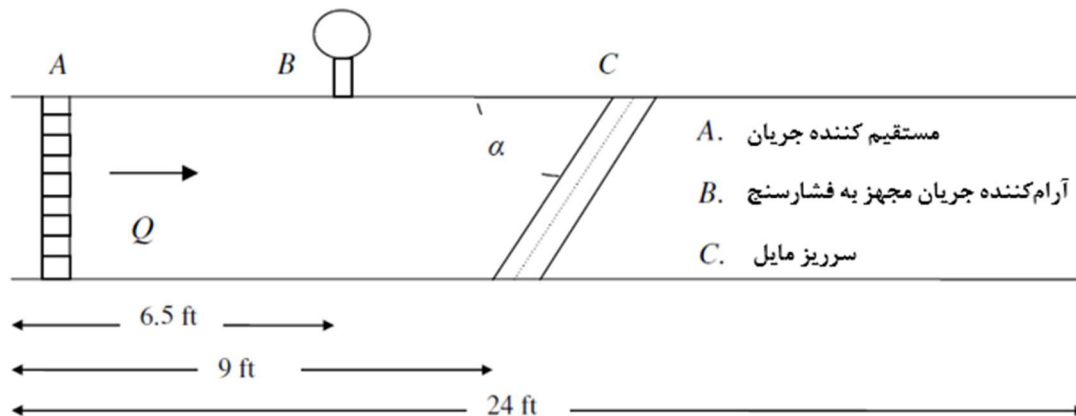


شکل (۸-۲) تأثیر وجود تیغه‌های راهنما در افزایش مقدار C_d [6]

آزمایش‌های صورت گرفته توسط تینجی^۱ [7] در سال ۲۰۱۱ با شرایط زیر صورت گرفته است:

توضیحات فلوم

تمامی این آزمایش‌ها در آزمایشگاه تحقیقاتی یوتا^۲ انجام شده است. طول کانال افقی مستطیل شکل ۲۴ فوت عرض آن ۲ فوت و عمق آن نیز ۲ فوت است. فلوم دارای یک مسیر تأمین آب به قطر ۱۲ اینچ با ظرفیت دبی حدود ۸/۵ فوت مکعب بر ثانیه بوده است، کف فلوم فولاد رنگ شده و دیوارها برای مشاهده داخل کانال آکرلیک روشن استفاده شده بود. سکو^۳ قابل تنظیم در کف کانال برای تنظیم ارتفاع سرریز تعبیه شده بود. یک آرام کننده جریان با استفاده از قطعات چوب و سیم توری برای ایجاد جریان یکنواخت در فلوم قرار داده شده بود. عمق آب بالادست با استفاده از یک آرام کننده جریان مجهز به فشارسنج که در یک دیواره فلوم در فاصله ۳ فوتی در بالادست سرریز نصب شده است، نسبت به تاج سرریز اندازه گیری می شده است. این آرام کننده یک لوله استوانه‌ای به قطر ۵ اینچ بود؛ در این آرام کننده امواج و نوسانات سطح آب آرام شده، تا دخالتی در اندازه گیری مقدار H نداشته باشند. شکل فلوم به صورت شماتیک در شکل ۲-۹ آمده است.



شکل (۲-۹) پلان شماتیک از فلوم [7]

توضیحات سرریز

سرریز از جنس پلی اتیلن به ضخامت یک اینچ و از ۴ قسمت جداازهم برای تنظیم ارتفاع ساخته شده بود یک قسمت ۲ اینچی به عنوان پایه، دو قسمت ۴ اینچی قابل جابجایی و یک قسمت ۲ اینچی به عنوان تاج برای هر سرریز مورد آزمایش (سرریز لبه تیز، نیم دایره و ربع دایره) در بین این

¹ Samuel Egnew Tingey

² Utah

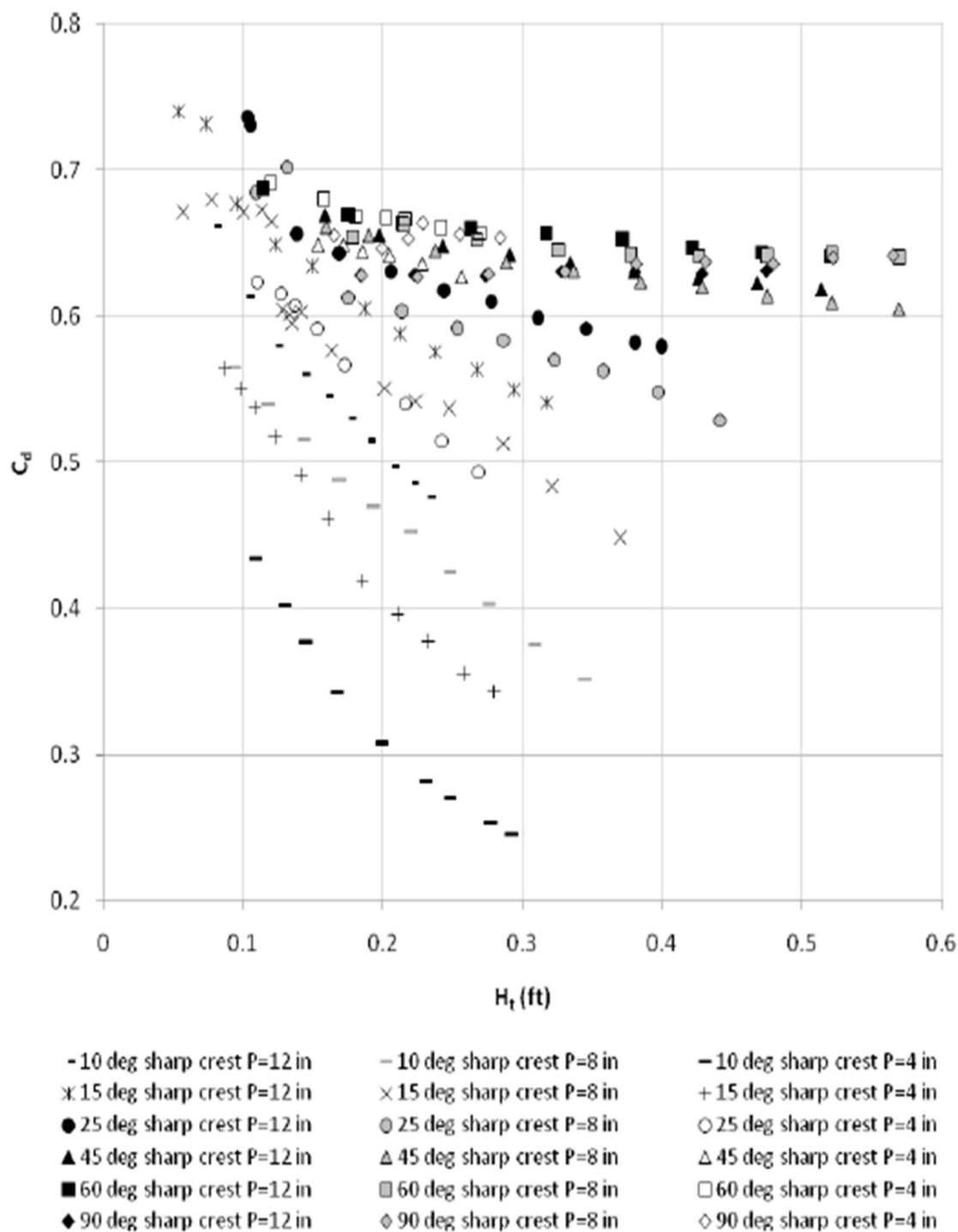
³ Platform

قطعات فولاد کار گذاشته شد تا ضمن ایجاد یک جسم واحد از نشت آب در بدنه نیز جلوگیری کند. در ابتدا سرریز مایل ۱۰ درجه ساخته شده است و پس از جمع‌آوری اطلاعات برای تمامی ارتفاعات سرریز، سرریز با طول مناسب برای زوایای بعدی بریده می‌شده است. خلاصه‌ای از هندسه سرریز مورد آزمایش در جدول شماره ۱-۲ موجود است.

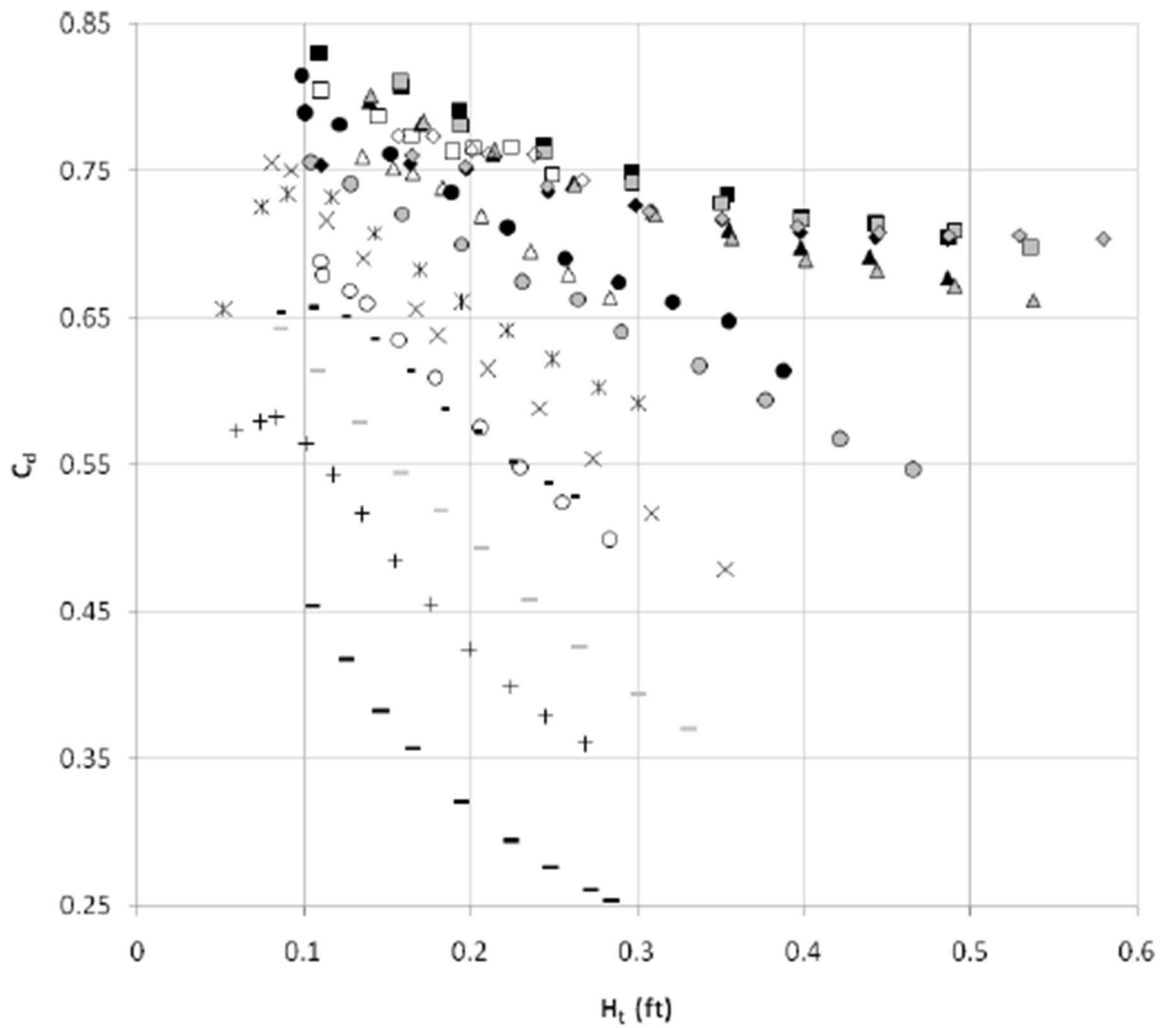
این محقق با ساخت مدل‌های آزمایشگاهی از سرریزهای مایل با سه نوع شکل تاج لبه‌تیز، نیم‌دایره و ربع‌دایره با شش زاویه (α) مختلف شامل زوایای ۱۰، ۱۵، ۲۵، ۴۵، ۶۰ و ۹۰ درجه و همچنین سه ارتفاع سرریز گوناگون شامل ارتفاعات ۴، ۸ و ۱۲ اینچی توانست ۵۴ ضریب گذردهی را معرفی کند. شکل‌های ۱۰-۲ و ۱۱-۲ و ۱۲-۲ به ترتیب مقادیر C_d نسبت به H_t را برای سرریزهای لبه تیز، نیم-دایره و ربع‌دایره نشان می‌دهند. مقادیر داده‌شده برای حالت هوادهی شده است. به‌طور کلی مقدار C_d با افزایش H_t کاهش می‌یابد (به استثناء سرریز ربع‌دایره با H_t کم و سرریز $\alpha=90$). با افزایش α و نزدیک شدن سرریز مایل به سرریز نرمال C_d افزایش می‌یابد و برای یک زاویه ثابت مقدار C_d با افزایش P نیز افزایش می‌یابد اما این افزایش کمتر از تأثیر نزدیک شدن α به ۹۰ درجه است.

جدول (۱-۲) مشخصات هندسی سرریزهای مورد آزمایش توسط تینجی [7]

α (°)	L (inch)	L_e (inch)	P (inch)		
			Sharp-crested	Half round	Quarter round
10	138.2	127	11.196	11.232	11.232
			7.236	7.260	7.248
			3.240	3.252	3.240
15	92.7	85.3	11.256	11.232	11.256
			7.320	7.272	7.236
			3.264	3.300	3.240
25	56.8	52.5	11.256	11.268	11.244
			7.320	7.260	7.248
			3.240	3.276	3.240
45	33.9	31.9	11.088	11.088	11.076
			7.020	7.056	7.032
			3.108	3.084	3.096
60	27.7	26.6	11.160	11.160	11.160
			7.164	7.212	7.032
			3.204	3.204	3.204
90	23.8	23.8	11.184	11.184	11.196
			7.212	7.188	7.032
			3.060	3.060	3.060

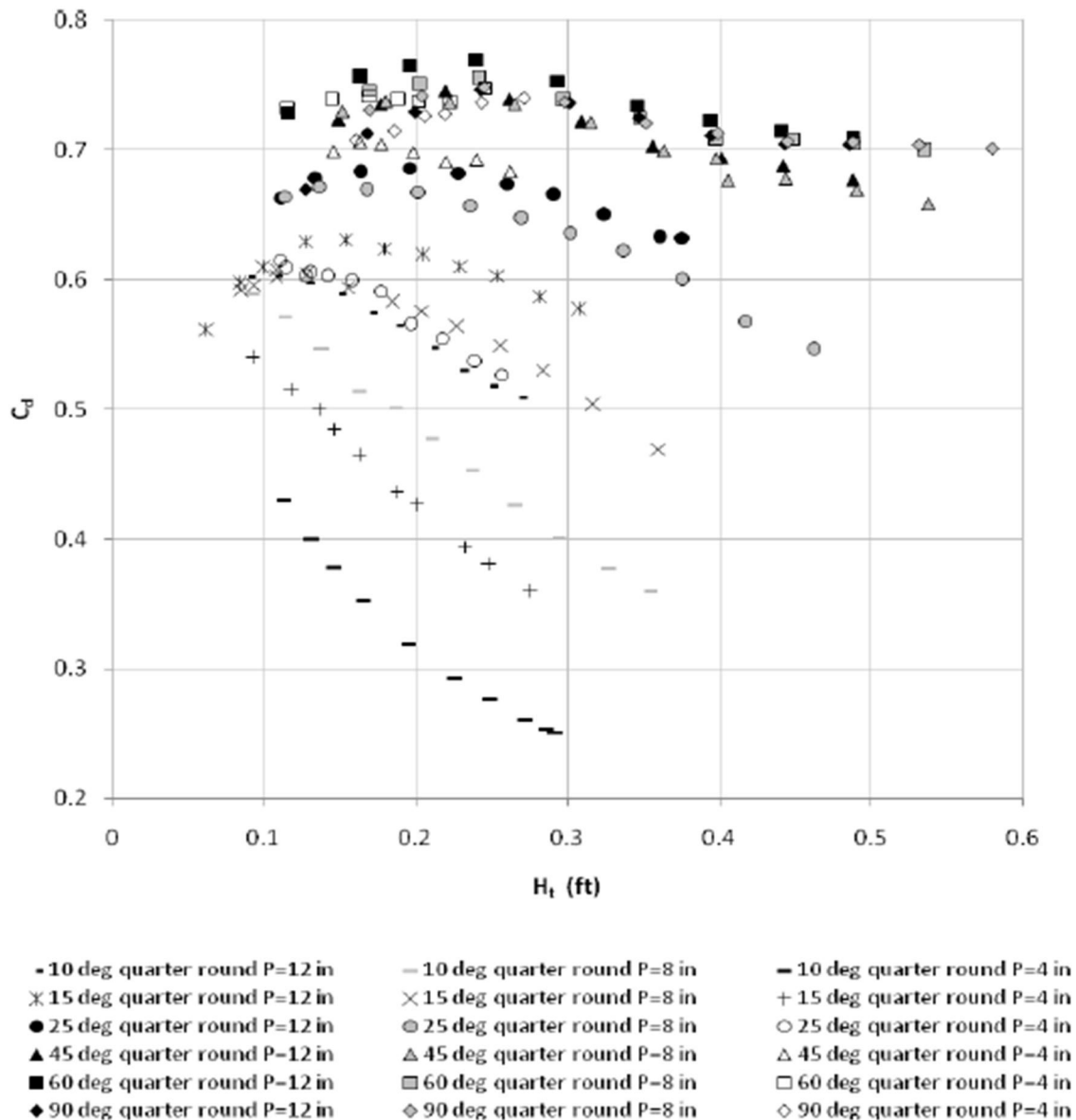


شکل (۲-۱۰) مقادیر C_d بر حسب H_t برای سرریز لبه تیز [7]



- | | | |
|-----------------------------|----------------------------|----------------------------|
| - 10 deg half round P=12 in | - 10 deg half round P=8 in | - 10 deg half round P=4 in |
| × 15 deg half round P=12 in | × 15 deg half round P=8 in | + 15 deg half round P=4 in |
| ● 25 deg half round P=12 in | ⊙ 25 deg half round P=8 in | ○ 25 deg half round P=4 in |
| ▲ 45 deg half round P=12 in | △ 45 deg half round P=8 in | △ 45 deg half round P=4 in |
| ■ 60 deg half round P=12 in | ▣ 60 deg half round P=8 in | □ 60 deg half round P=4 in |
| ◆ 90 deg half round P=12 in | ◇ 90 deg half round P=8 in | ◇ 90 deg half round P=4 in |

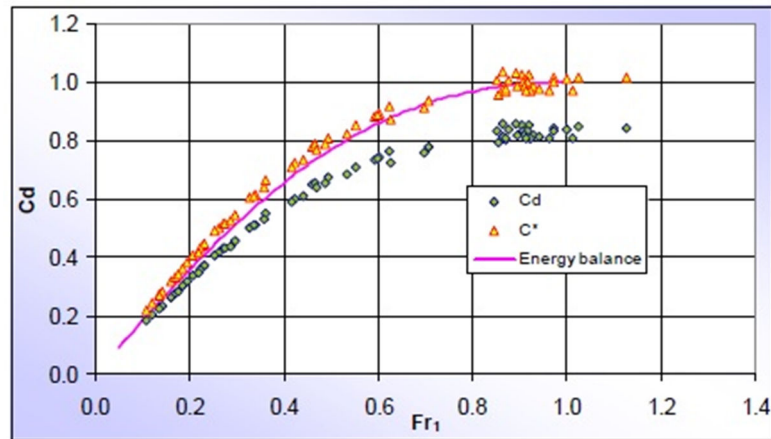
شکل (۱۱-۲) مقادیر C_d بر حسب H_t برای سرریز نیم‌دایره [7]



شکل (۲-۱۲) مقادیر C_d برحسب H_t برای سرریز ربع‌دایره [7]

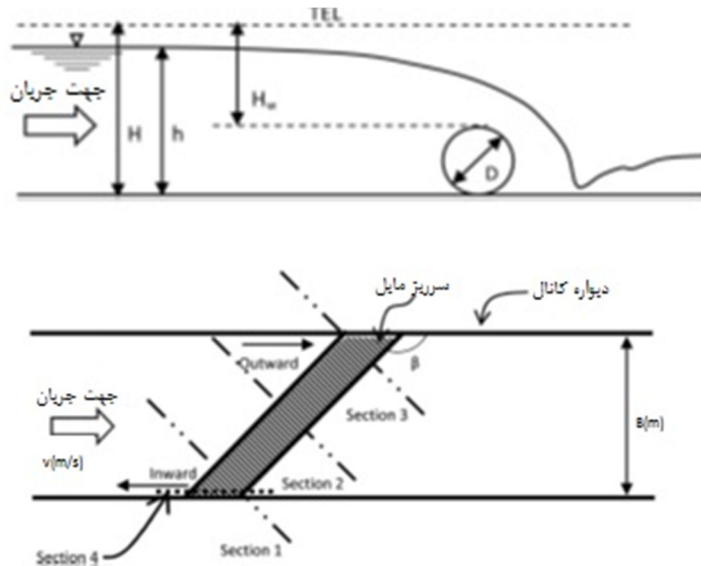
توین [8]^۱ آزمایش‌هایی را بر روی سرریز مایل برای بررسی رفتار و خصوصیات جریان عبوری از سرریز انجام داد. او به این نتیجه رسید که با بیشتر شدن طول سرریز ضریب گذردهی کاهش پیدا می‌کند اما ظرفیت دبی عبوری بیشتر می‌شود. او سه زاویه صفر و ۴۵ و ۶۰ درجه را مورد آزمایش قرار داد و توانست تغییرات ضریب گذردهی نسبت به عدد فرود جریان را بدست آورد که در شکل ۲-۱۳ ارائه شده‌است.

¹ Tuyen



شکل (۲-۱۳) تغییرات ضریب گذردهی نسبت به عدد فرود جریان ارائه شده توسط توین [8]

یوس^۱ [9] در سال ۲۰۱۵ به مدلسازی عددی سرریز مایل با شکل دایره با سه قطر مختلف و سه زاویه ۹۰، ۱۳۵ و ۱۵۰ درجه برای بدست آوردن پروفیل سطح آب، توزیع فشار و توزیع سرعت پرداخت. شکل ۲-۱۴ مدل شماتیک سرریز مدل شده توسط این محقق را نشان می‌دهد.

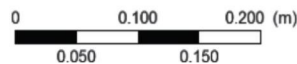
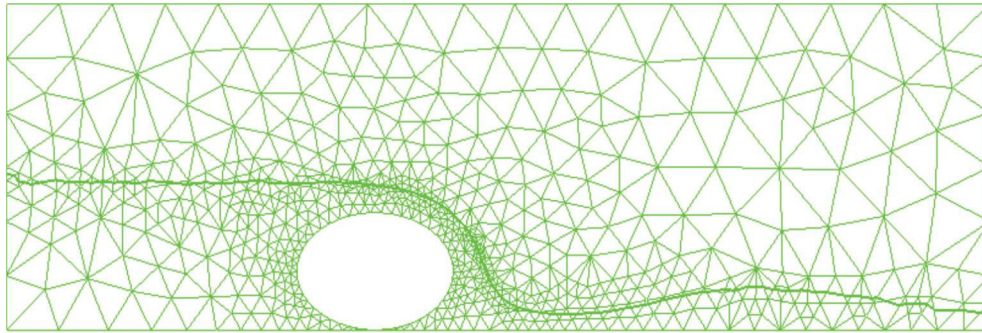


شکل (۲-۱۴) نما و پلان سرریز مدل شده توسط یوس [9]

او با استفاده از نرم‌افزار انسیس^۲ به صورت ارائه شده در شکل ۲-۱۵ سرریز مورد نظر را مش‌بندی نمود.

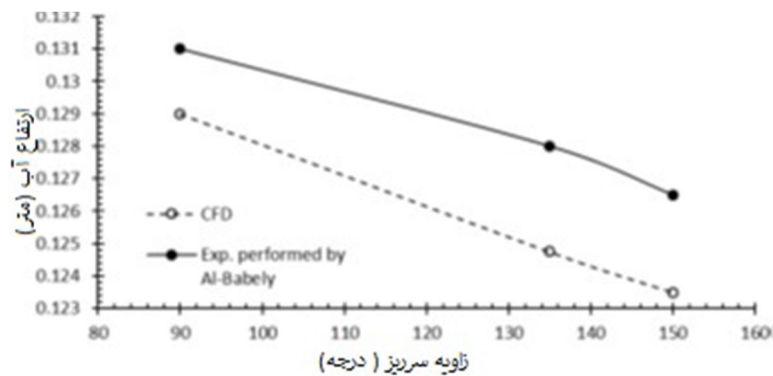
¹ Mehmet Ishak Yuce

² ANSYS CFX

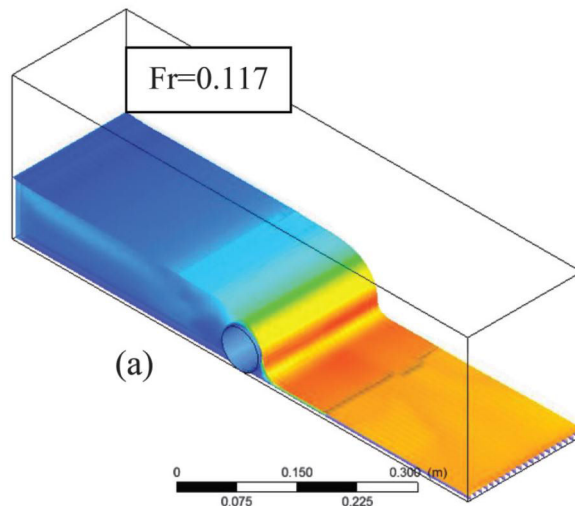
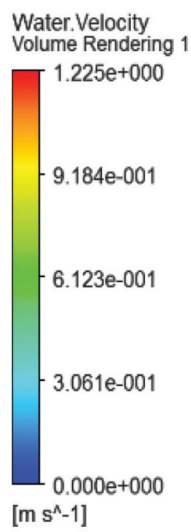


شکل (۲-۱۵) نحوه مش بندی یوس [9]

یوس با ارائه شکل ۲-۱۶ بیان می کند که سرعت جریان عبوری از سرریز با افزایش زاویه سرریز، افزایش می یابد و بیشترین فشار مثبت در وسط طول سرریز با زاویه ۹۰ درجه ایجاد شده است؛ با افزایش طول سرریز (افزایش زاویه سرریز) فشار مثبت ایجاد شده کاهش می یابد اما فشار منفی با افزایش زاویه، افزایش می یابد. شکل ۲-۱۷ پروفیل سطح آب و توزیع سرعت ارائه شده برای سرریز با قطر ۰.۰۶۳۵ توسط یوس را نشان می دهد.



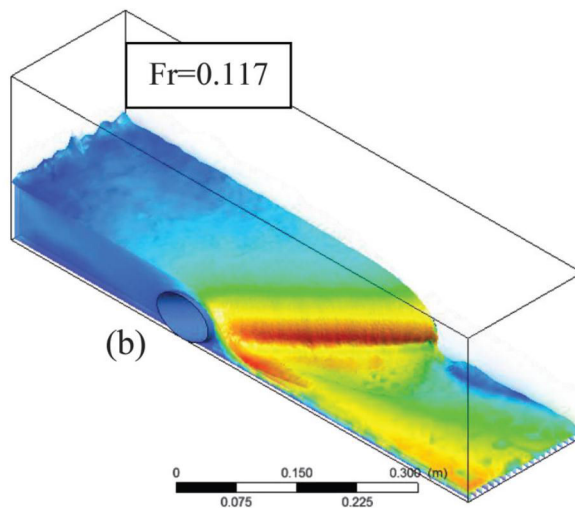
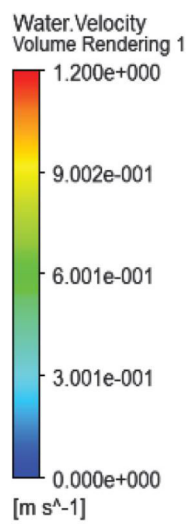
شکل (۲-۱۶) مقایسه ارتفاع آب در وسط طول سرریز مدل شده توسط یوس و آزمایشگاهی [9]



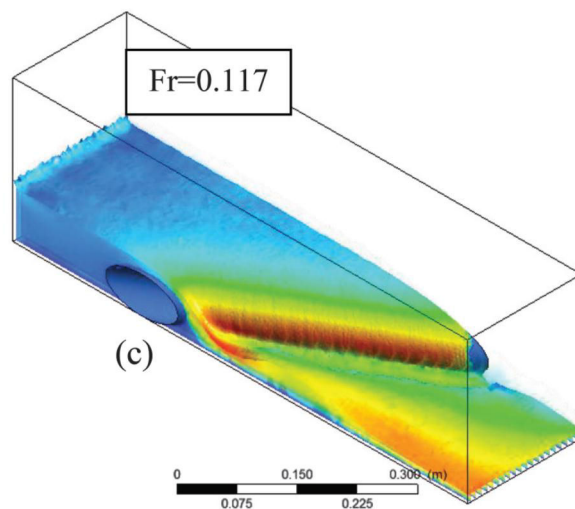
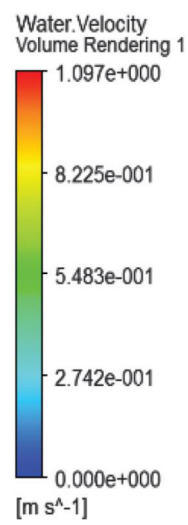
ANSYS



ANSYS

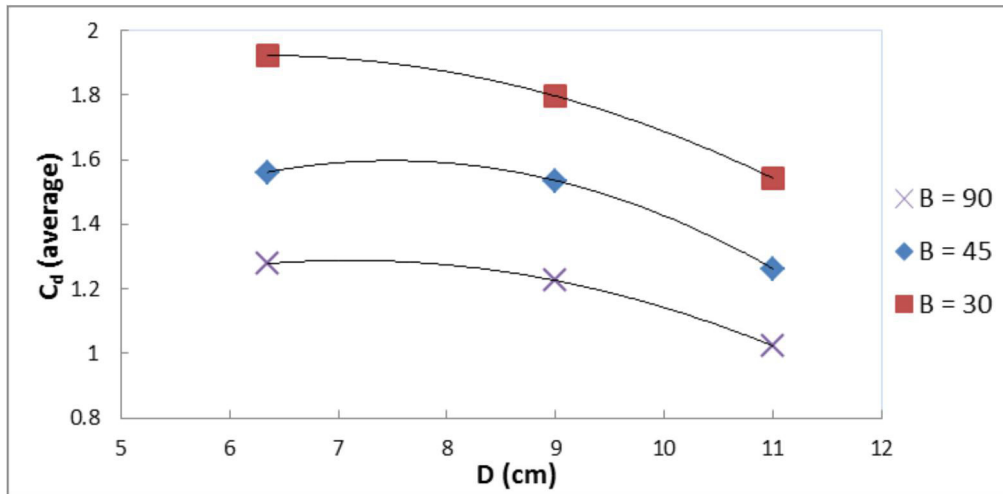


ANSYS

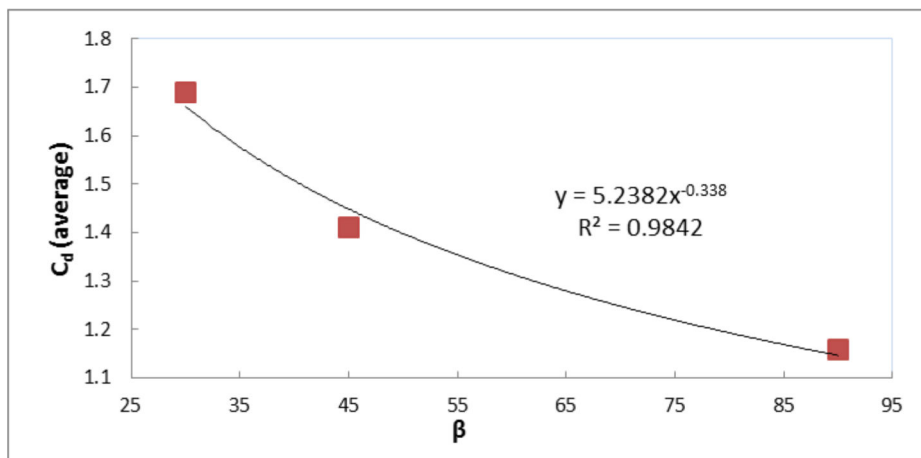


شکل (۱۷-۲) پروفیل سطح آب و توزیع سرعت ارائه شده برای سرریز با قطر ۰.۰۶۳۵ توسط یوس [9]

البابلی [10]^۱ در سال ۲۰۱۲ به بررسی اثر مشخصات هندسی سرریز بر ضریب گذردهی سرریز دایره‌ای پرداخت. او سه شعاع و دو زاویه را برای مدلسازی سرریز مایل در نظر گرفت. البابلی به این نتیجه رسید که افزایش شعاع سرریز باعث کاهش ضریب گذردهی می‌شود و مقادیر C_d برای سرریز مایل بیشتر از سرریز نرمال است که در شکل ۲-۱۸ نشان داده شده است.



شکل (۲-۱۸) رابطه بین متوسط ضریب گذردهی با قطر سرریز دایره‌ای ارائه شده توسط البابلی [10]



شکل (۲-۱۹) رابطه بین متوسط ضریب گذردهی با زاویه تمایل سرریز مایل (سرریز با زاویه ۳۰ درجه طول بیشتری دارد) ارائه شده توسط البابلی [10]

جانسون^۲ و مونتس^۳ [11] نقوی و همکاران [12] به این نتیجه رسیدند که برای یک هد ارتفاعی یکسان در بالادست سرریز، سرریز با شکل تاج دایره‌ای ضریب گذردهی بزرگتری نسبت به شکل تاج

¹ Emad Abdul Gabbar Al Babely

² Chanson

³ Montes

لبه تیز دارد.

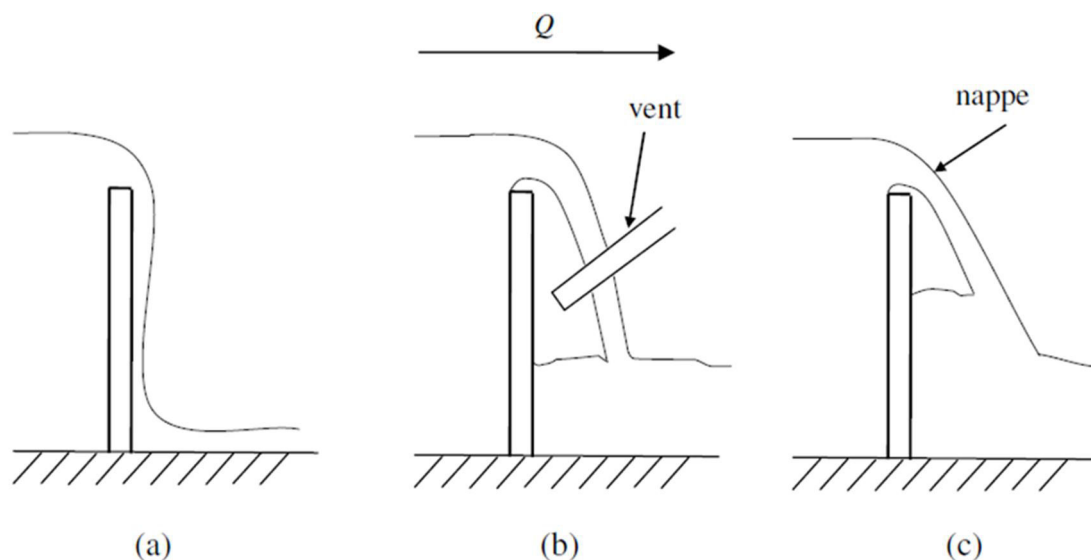
سارجینسون¹ [13] و رانجا راجو² و همکاران [14] و قبادیان و همکاران [15] به این نتیجه رسیدند که نیروهای حاکم بر جریان عبوری از سرریز نیروی اینرسی و ثقلی است و نیروهای کشش سطحی و ویسکوزیتی بدون توجه به ارتفاع سرریز و دبی عبوری قابل چشم‌پوشی هستند. حیدرپور و همکاران [16] با تحقیق بر سرریزهای با شکل تاج نیم‌دایره با فرض جریان غیر لزج به این نتیجه رسیدند که سرعت ماکزیمم در لایه مرزی نازک نزدیک به تاج سرریز رخ می‌دهد.

۲-۴- انواع پروفیل تشکیل شده روی سرریز

در این بخش انواع پروفیل تشکیل شده روی تاج سرریز را بر اساس شرایط هوادهی بررسی می‌کنیم. این شرایط بر دبی عبوری از سرریز تأثیر می‌گذارند. شرایط عبور به دوگونه است هوادهی شده و هوادهی نشده. در شرایط هوادهی نشده آب پس از عبور از تاج به بدنه سرریز در پایین دست می‌چسبد و مانع قرارگفتن هوا مابین جریان و سرریز می‌شود. فشار منفی موجود در پایین دست سرریز باعث ایجاد این شرایط است. فشار منفی همچنین در پایین دست سرریز باعث افزایش دبی عبوری می‌شود که باعث کارآمدتر شدن سرریز است. حالت هوادهی نشده و چسبیده به سرریز در H_t/p های کم و زمانی که ارتفاع آب پایین دست به ارتفاع تاج سرریز نزدیک است صورت می‌گیرد. زمانی که اندازه حرکت جریان به اندازه کافی زیاد باشد جریان می‌تواند خود را از بدنه سرریز جدا کند که باعث ایجاد فضای خالی میان جریان و سرریز می‌شود، با استفاده از یک لوله هوادهی (vent) می‌توانیم در قسمت پایین دست سرریز فشار اتمسفر (فشارنسبی صفر) را محیا کنیم. مقدار C_d برای حالت هوادهی شده کمتر از حالت هوادهی نشده است. در این حالت (حالتی که جریان از سرریز جدا شده است و هوادهی توسط vent صورت گرفته است) ارتفاع آب پایین دست کمتر از حالت عدم حضور لوله هوادهی است. شکل ۲-۲۰ سه حالت توضیح داده شده در بالا را نمایش می‌دهد.

¹ Sarginson

² Ranga Raju



شکل (۲-۲۰) حالت‌های مختلف جریان عبوری از سرریز [7]

شرایط عبور جریان از سرریز به دو حالت پایدار و ناپایدار نیز تقسیم می‌شود. جریان ناپایدار به دلیل وجود نوسانات فشار در پایین دست بوجود می‌آید. جریان‌های ناپایدار، نیروهای نوسانی را به بدنه سرریز وارد می‌کنند که باعث ایجاد خرابی در سازه می‌شود. برای جلوگیری از بوجود آمدن جریان ناپایدار در سرریزهای نرمال (عمود بر جریان) از حالت‌های هوادهی شده استفاده می‌کنند. فشار ثابت اتمسفر باعث ایجاد یک جریان پایدار شده و نیروهای نوسانی را از بین می‌برد.

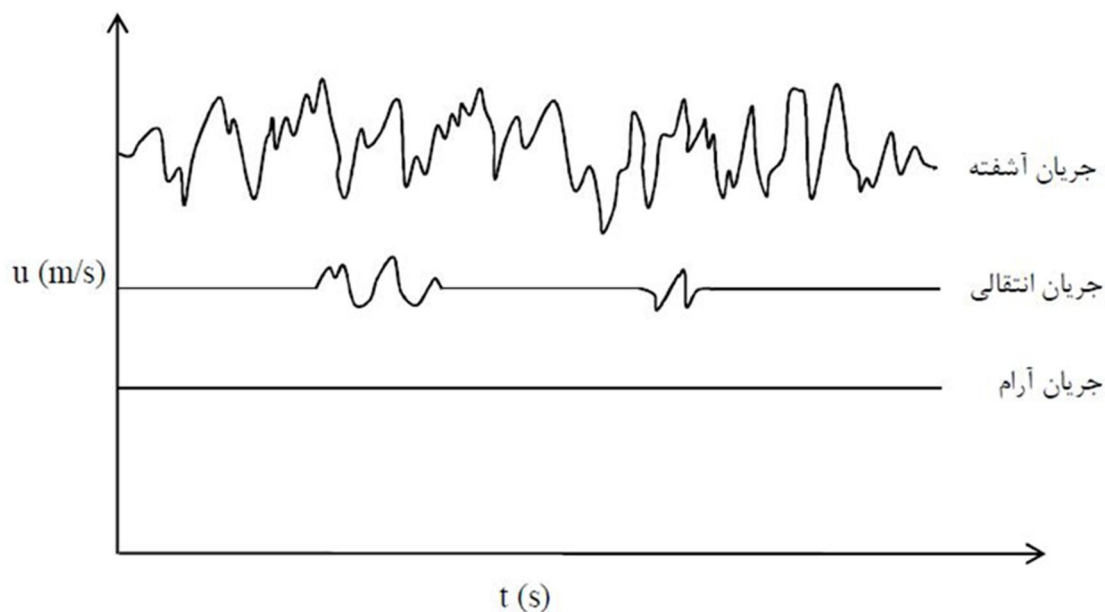
فصل ۳:

مدلسازی جریان آشفته

۳-۱- مقدمه

جریان در کانال باز را می توان با توجه به پارامترهای مختلف به چند دسته طبقه بندی نمود. یکی از این طبقه بندی ها که برای هر هندسه ای اتفاق می افتد، جریان آرام، انتقالی و آشفته است. این طبقه بندی بر اساس تاثیر نیروی لزجت و اینرسی است. نسبت نیروهای اینرسی به لزجت عدد رینولدز را تشکیل می دهد. با داشتن مقیاس سرعت مشخصه (U) و مقیاس طول مشخصه (L) برای یک سیستم، عدد رینولدز از رابطه $Re = UL/\nu$ به دست می آید، که (ν) لزجت سینماتیکی سیال می باشد. جریان آرام زمانی اتفاق می افتد که تاثیر نیروی لزجت بیشتر از نیروی اینرسی باشد. در جریان آرام ذرات سیال بر روی لایه های هموار یا ورقه های نازک حرکت می کنند. در جریان آرام $Re < 500$ می باشد. در جریان آشفته نیروی اینرسی تاثیر بیشتری نسبت به نیروی لزجت دارد. در جریان آشفته ذرات سیال به سرعت با هم مخلوط می شوند به طوری که در سه جهت با سرعت های نوسانی حرکت می کنند. در جریان آشفته $Re > 2000$ می باشد. جریان انتقالی یک حالت واسط می باشد که جریان از حالت آرام به آشفته و بالعکس تبدیل می شود. در جریان انتقالی $500 < Re < 2000$ می باشد. البته این مقادیر عدد رینولدز برای تقسیم بندی جریان آرام، انتقالی و آشفته کاملاً دقیق نبوده و باید اطلاعات دقیقی از هندسه کانال برای تعیین این مقادیر در دسترس باشد. در شکل (۳-۱) نمودار سرعت به مسیر حرکت در این نوع سه جریان رسم شده است [17].

در بسیاری از کانال های طبیعی و مصنوعی مقدار طول مشخصه زیاد بوده و عملاً در این نوع مجرا ها جریان آرام اتفاق نمی افتد. گردابه های جریان آشفته باعث نوسانی شدن سرعت حرکت سیال می شوند. برای مدل کردن این نوع جریان از رویکرد متوسط گیری رینولدز استفاده می شود.



شکل (۱-۳) سرعت وابسته به زمان سیال در نقطه [17]

مفاهیم متوسط گیری توسط رینولدز در سال ۱۸۹۵ میلادی شروع شده است. در حالت کلی متوسط گیری رینولدز شکل های متنوع را فرض می کند که شامل انتگرال و مجموع یابی می باشد. سه شکل اغلب مناسب برای تحقیقات پیرامون مدل آشفته، متوسط زمانی، متوسط فضایی و متوسط مجموع می باشند. در این فصل برای به دست آوردن معادلات جریان آشفته از روش متوسط زمانی استفاده می شود.

۲-۳- معادلات حاکم بر جریان آشفته

۱-۲-۳- معادله متوسط رینولدز ناویر استوکس (RANS¹)

برای ساده سازی بیشتر، جریان سیال را با خواص ثابت و تراکم ناپذیر فرض می شود. معادلات ناویر استوکس برابر با:

¹ - Reynolds Averaged Navier Stokes

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (1-3)$$

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho u_i \frac{\partial u_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial t_{ij}}{\partial x_j} \quad (2-3)$$

که بردارهای u_i و x_i به ترتیب سرعت و موقعیت، t زمان، p فشار و ρ چگالی می باشند و t_{ij} تانسور تنش لزجت می باشد، که به صورت زیر تعریف می شود:

$$t_{ij} = 2 \quad (3-3)$$

که μ لزجت مولکولی و s_{ij} تانسور نرخ کرنش:

$$s_{ij} = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) \quad (4-3)$$

توجه کنید که $s_{ij} = s_{ji}$ ، بنابراین $t_{ij} = t_{ji}$ برای سیال های لزج می باشد. در اینجا با توجه به معادله (1-3) (پیوستگی) تابع $\partial u_j / \partial x_j$ برابر صفر می باشد و با ساده سازی بیشتر، معادلات ناویر استوکس به شکل زیر باز نویسی می شود:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (5-3)$$

$$\rho \frac{\partial u_i}{\partial t} + \rho \frac{\partial u_i}{\partial x_j} (u_j u_i) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (2\mu s_{ij}) \quad (6-3)$$

حال با استفاده از روش متوسط گیری زمانی معادلات بالا به صورت زیر تبدیل می شوند:

$$\frac{\partial u_i}{\partial x_i} = 0 \quad (7-3)$$

$$\rho \frac{\partial U_i}{\partial t} + \rho U_j \frac{\partial U_i}{\partial x_j} = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_j} (2\mu s_{ij} - \overline{\rho u_j' u_i'}) \quad (8-3)$$

در اینجا گذشته از جایگزینی متغیرهای لحظه ای با متغیرهای متوسط، تنها فرق میان متوسط زمانی با معادلات مومنوم ایستایی عبارت $\overline{u_j' u_i'}$ می باشد. این عبارت نرخ متوسط زمانی انتقال مومنوم ناشی از آشفتگی می باشد. این عبارت، پایه و اساس مسائل آشفتگی را تشکیل می دهد. برای محاسبه

تمامی خواص متوسط جریان آشفته، نیاز به دستوالعملی برای محاسبه $\overline{u'_j u'_i}$ می باشد. معادلات (۷-۳) و (۸-۳) به عنوان معادلات متوسط رینولدز ناویر استوکس (RANS) شناخته می شوند. کمیت $\overline{\rho u'_j u'_i} - \rho \tau_{ij}$ به عنوان تانسور تنش رینولدز تعریف می شود و در اینجا با علامت $\rho \tau_{ij}$ نشان می دهیم، بنابراین τ_{ij} تانسور تنش رینولدز مخصوص می باشد و برابر است با [18]:

$$\tau_{ij} = -\overline{u'_j u'_i} \quad (9-3)$$

در دیدگاه متوسط گیری رینولدز در مدل کردن آشفتگی نیاز است که تانسور تنش رینولدز به درستی مدل شود. روش معمول به کارگیری فرضیه بوزینسک با ارتباط دادن تانسور تنش رینولدز با گرادیان های سرعت متوسط می باشد :

$$\tau_{ij} = 2\nu_t S_{ij} - \frac{2}{3}k\delta_{ij} \quad (10-3)$$

$$\delta_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{if } i \neq j \\ 0 & \text{if } i = j \end{cases} \quad (11-3)$$

فایده این دیدگاه هزینه محاسباتی نسبتاً کم در مقایسه با محاسبه لزجت گردابی ν_T می باشد. به عنوان مثال در مدل $k-\epsilon$ دو معادله انتقال اضافی انرژی جنبشی آشفتگی و نرخ اتلاف آشفتگی حل شده و به صورت تابعی از k و ϵ محاسبه می شود.

۳-۲-۲- معادله انرژی آشفتگی

اگر سه تنش رینولدز نرمال را باهم جمع کنیم و در 0.5 ضرب کنیم، انرژی جنبشی آشفته تشکیل می شود که با علامت k نشان داده می شود. بنابراین:

$$k = \frac{1}{2}(\overline{u'^2} + \overline{v'^2} + \overline{w'^2}) = \frac{1}{2}\overline{u'_i u'_i} \quad (12-3)$$

این متغیر انرژی جنبشی نوسانات آشفتگی در واحد جرم می باشد. برای بدست آوردن معادله انرژی جنبشی از تریس (مجموع قطر اصلی ماتریس) تانسور تنش رینولدز استفاده می شود. یعنی:

$$\tau_{ij} = -\overline{u'_i u'_j} = -2k \quad (13-3)$$

شکل معادله دیفرانسیلی بر حسب تریس تنش رینولدز به صورت زیر می باشد :

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[v \frac{\partial k}{\partial x_j} - \frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i u'_j} - \frac{1}{\rho} \overline{p' u'_j} \right] \quad (14-3)$$

کمیت ε اتلاف در واحد جرم می باشد و به صورت زیر تعریف می شود:

$$\varepsilon = v \frac{\partial u'_i \partial u'_j}{\partial x_k \partial x_k} \quad (15-3)$$

همچنین تقریب زیر، که از شبیه سازی عددی مستقیم به دست آمده، اعمال می شود:

$$\frac{1}{2} \overline{u'_i u'_i u'_j} + \frac{1}{\rho} \overline{p' u'_j} = -\frac{v_T}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j} \quad (16-3)$$

در نهایت معادله به صورت زیر فرض می شود:

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (17-3)$$

برای بستن این معادله عبارت τ_{ij} با تقریب بوزینسک (3-10) به دست می آید

3-3- مدل های آشفتگی

3-3-1- تعریف

هدف هر مدل توصیف رابطه بین کمیت های قابل اندازه گیری فیزیکی جریان و یا کمیت های محاسبه شده میدان جریان می باشد. به طور کلی مدل های آشفتگی RANS را می توان به چهار دسته تقسیم نمود :

۱- مدل های جبری (صفر معادله ای)

۲- مدل های تک معادله ای

۳- مدل های دو معادله ای

۴- مدل های انتقال تنش

واضح است که هیچ مدل آشفتگی وجود ندارد که برای تمامی مسائل مهندسی جوابگو باشد. انتخاب مدل از بین مدل های موجود بستگی به :

- فیزیک جریانی که با آن در مساله مورد نظر درگیر هستیم.
- وجود یا عدم وجود همزمان چند رژیم متفاوت جریانی در کنار یکدیگر
- میزان دقت مورد نیاز
- امکانات محاسباتی در دسترس
- میزان زمان مورد نیاز برای رسیدن به جوابی معقول

□ مدل های جبری

ون درایست^۱ (۱۹۵۶) اصلاحیه تعدیل لزجت برای مدل طول اختلاط را اختراع کرد که در حقیقت شامل مدل های جبری مورد استفاده امروزی نیز می شود. سبسی^۲ و اسمیت^۳ (۱۹۷۴) مدل لزجت گردابی طول اختلاط را در یک نقطه دوباره تعریف کردند که می توان آن را با اطمینان زیادی برای اغلب لایه های مرزی استفاده کرد. برای از بین بردن مشکلات تعریف مقیاس طول آشفتگی برای لایه برشی نازک، بلد وین^۴ و لوماکس^۵ (۱۹۷۸) یک مدل جبری متناوب که برای سال های زیادی مورد استفاده قرار گرفت را پیشنهاد دادند.

به طور کلی نظریه طول اختلاطی، فقط برای جریانات نسبتاً ساده نظیر جریان های برشی نازک، جریان های جت و جریان های لایه مرزی تشکیل شده بر روی دیواره خوب کار می کند، چرا که تنها برای این جریان ها است که می توان طول آشفتگی (l_m) را با روابط تجربی ساده بیان نمود. اما این مدل اثرات انتقالی آشفته و نیز اثرات پیشین^۶ نظیر جریان های آشفته را در نظر نمی گیرد (به عنوان توضیح بیشتر، این مدل نمی تواند اثرات اغتشاشات ایجاد شده در بالا دست جریان را بر روی جریان پایین دست پیش بینی نماید). از نقطه نظر ریاضی، سیستم معادلات جریان به دست آمده از

¹ -Van Driest

² Cebeci

³ -Smith

⁴ Bladwin

⁵ -Lomax

⁶ -History Effects

مدلسازی جریان آشفته از نوع جبری تقریباً همان سیستم معادلات مربوط به جریان های آرام می باشد که در آن μ ثابت و یا متغیر نسبت به مکان و رژیم موضعی جریان است بنابراین از نقطه نظر محاسباتی و خواص همگرایی، می توان انتظار داشت که در استفاده از مدل جبری در نهایت رفتاری شبیه به رفتار جریان های آرام را شاهد خواهیم بود؛ به خصوص چنانچه از شرایط مرزی مناسب استفاده شده باشد، حل عددی با استفاده از این مدل ها، با سرعت بالاتری همگرا شده و نتایج همگرا شده بهتری را در تعداد تکرار کمتر خواهد داد. به علاوه در استفاده از روش جبری، خواص همگرایی فرایند حل به پارامتر های زیر حساس نمی باشد.

- تغییرات جزئی در چگالی و توزیع مکانی المان ها
- تغییرات در شکل دامنه محاسباتی
- حدس اولیه آغازین

لازم به ذکر است که به طور کلی این مدل برای جریانی که دارای رژیم های پیچیده در مقایسه با جریان های ساده کلاسیک می باشد و در نتیجه تعیین طول آشفتگی با مشکل مواجه می شود، مناسب نخواهد بود.

□ مدل تک معادله ای

از چهار نوع مدل آشفتگی نام برده شده در بالا، مدل تک معادله ای موفقیت و عمومیت کمتری دارد. شاید موفق ترین مدل اخیر از این نوع به وسیله برادشو^۱، فریس^۲ و اتول^۳ (۱۹۶۷) فرمول بندی شده است. علاقه مندی جدیدی در مدل های تک معادله ای بر مبنای معادله منطقی برای لزجت گردابی ایجاد شده است. این کار در ابتدا به واسطه سهولت حل عددی این معادلات نسبت به مدل های دو معادله ای و مدل های انتقال تنش مورد توجه قرار گرفت. از مدل های تک معادله ای اخیر، مدل اسپالارت^۴ و آلمارس^۵ به نظر می رسد دقت بیشتری برای موارد کاربردی جریان آشفته مخصوص دارد. مدل مزبور برای کاربردهای هوا و فضا ارائه شده است و همچنین نتایج خوبی برای لایه های مرزی که در معرض گرادیان فشار معکوس قرار دارند، ارائه داده است.

مدل های تک معادله ای به خاطر عدم توانایی در وفق دادن خود با تغییرات سریع در مقیاس های

¹ -Bradshaw

² Ferriss

³ Atwell

⁴ Spalart

⁵ Allmaras

طولی همواره مورد انتقاد قرار داشته اند. این تغییرات شدید را به خصوص در تغییرات ناگهانی از جریان های محدود به دیواره به جریان های برشی آزاد مشاهده می نماییم.

□ مدل های دو معادله ای

در حالی که مدل $k-\omega$ کولموگرو^۱ اولین نوع از این مدل بود، تا ظهور رایانه مبهم باقی ماند. کار گسترده ای بر روی مدل های دو معادله ای توسط لاندر^۲ و اسپالدینگ^۳ (۱۹۷۲) صورت گرفت و موفقیتی ادامه دار توسط دانشجوها و همکارانش به دست آمد. مدل $k-\epsilon$ لاندر به عنوان مدل طول اختلاط شناخته می شد و تا دهه ی آخر قرن بیستم، به طور گسترده ای به عنوان مدل دو معادله ای مورد استفاده قرار می گرفت. نارسایی قابل اثبات این مدل، برای جریان های با گرادیان فشار معکوس، در ابتدا پهنه ی استفاده از آن را کمی کم رنگ کرده بود.

بدون شناخت قبلی از کار کولموگرو، سافمن^۴ (۱۹۷۰) مدل $k-\omega$ را شبیه سازی کرد که فواید مدل $k-\epsilon$ ، خصوصا برای انتگرال گیری از طریق زیر لایه لزج و برای پیش بینی اثرات گرادیان فشار معکوس، بهرمنند شد. برای مثال ویلکاکس^۵ و آلبر^۶ (۱۹۷۲)، سافمن و ویلکاکس (۱۹۷۴)، ولکاکس و تریسی^۷ (۱۹۷۶)، ویلکاکس (۱۹۸۸ و ۱۹۹۸)، منتر^۸ (۱۹۹۲) و هلستن^۹ (۲۰۰۵)، مدل های $k-\omega$ کاربردی و پیشرفته تری را پیگیری کردند.

به طور کلی مدل های دو معادله ای به عنوان زیر بنای بسیاری از تحقیقات مربوط به مدلسازی جریان های آشفته، به خصوص در سالیان اخیر مورد توجه قرار گرفته است. ساده ترین مدل های کامل آشفتهگی (که در عین قابلیت های بالا، دارای معادلات نسبتا ساده ای نیز می باشند) مدل های دو معادله ای هستند که در آن ها، حل دو معادله انتقال جداگانه باعث تعیین شدن مستقل مقیاس سرعت آشفتهگی و مقیاس طول آشفتهگی می شوند.

مهمترین اختلاف بین مدل های دو معادله ای و سایر مدل های آشفتهگی آن است که مدل دو معادله ای مدل های کاملی می باشند یعنی از آن ها می توان برای پیش بینی خواص یک جریان

¹ Kolmogorov

² Launder

³ Spalding

⁴ Saffman

⁵ Wilcox

⁶ Alber

⁷ Traci

⁸ Menter

⁹ Hellsten

آشفته بدون آگاهی قبلی از ساختار جریان و یا هندسه جریان استفاده نمود. نقطه آغاز تمام مدل های آشفته دو معادله ای استفاده از تقریب بوزینسک و معادله انتقال برای انرژی جنبشی آشفته k می باشد. انتخاب متغیر دوم دلخواه بوده که تا امروز پیشنهادات بسیاری برای این انتخاب ارائه شده است. توانمندی، اقتصادی بودن و دقت قابل قبول برای طیف وسیعی از جریان های آشفته، این مدل را به یک مدل رایج برای جریان های صنعتی و مدلسازی انتقال حرارت نموده است.

□ مدل های انتقال تنش

از سال ۱۹۷۰ منابع رایانه ای کافی در دسترس باعث پیشرفت های جدی در این مدل شد. اما به خاطر تعداد زیاد معادلات و پیچیدگی های موجود در مدل های انتقال تنش، راهی برای برطرف کردن میزان کاربرد نسبتاً کم در مقایسه با مدل های جبری و دو معادله ای پیدا نشد. در این پژوهش به شبیه سازی عددی با استفاده از مدل های آشفته دو معادله ای پرداخته شده و در ادامه به بیان مدل های آشفته استفاده شده در این پژوهش می پردازیم.

۳-۲-۳- مدل $k-\epsilon$

ساده ترین مدل های کامل آشفته، مدل های دو معادله می باشند که دو معادله انتقال جداگانه را حل می کنند، تا سرعت آشفته و مقیاس طولی به صورت مستقل به دست آیند. مدل دو معادله ای که در دهه ی آخر قرن بیستم بسیار عمومی شده بود، مدل $k-\epsilon$ بوده است. اولین تلاش ها برای توسعه این مدل توسط چو^۱ (۱۹۴۵)، داویدو^۲ (۱۹۶۱) و هارلو^۳ و ناکایاما^۴ (۱۹۶۸) انجام پذیرفته است. گسترش استفاده از این مدل به وسیله نسخه ارائه شده توسط جونز^۵ ولاندر (۱۹۷۲) می باشد. لاندر و شارما^۶ (۱۹۷۴) متعاقباً ضرایب مدل بسته را دوباره تنظیم کردند و مدلی به وجود آورده اند که معمولاً به عنوان مدل $k-\epsilon$ استاندارد به آن اشاره می شود [18]. در اینجا دو نوع استاندارد^۷، RNG^A را

¹ Chou

² Davidov

³ Harlow

⁴ Nakayama

⁵ Jones

⁶ Sharma

⁷ Standard

⁸ Renormalization Group

از مدل $k-\varepsilon$ بررسی خواهیم کرد.

هر دو مدل شکل های مشابهی در معادلات انتقالی برای k و ε دارند. فرق اساسی در مدل ها در روش محاسبه لزجت آشفتهگی و ترم های تولید و اتلاف در معادله ε می باشد.

□ مدل $k-\varepsilon$ استاندارد

مدل استاندارد زیر به وسیله لاندر و اسپالینگ تهیه شده است. توانمندی، اقتصادی بودن و دقت معقولانه این مدل برای پهنه وسیعی از جریان های آشفته، این مدل را شبیه سازی جریان های صنعتی و انتقال گرما محبوب کرده است. مدل $k-\varepsilon$ استاندارد مدلی نیمه تجربی بر مبنای مدل کردن معادلات انتقالی برای انرژی جنبشی (k) و نرخ اتلاف آن (ε) می باشد. معادله انتقال مدل برای انرژی جنبشی از معادله دقیق حاصل می شود (به قسمت ۲-۲-۳ مراجعه کنید)، در حالی که معادله انتقال مدل برای ε با استفاده از استدلال های فیزیکی و در نظر گرفتن شباهت اندک آن با همتای دقیقش (به دست آمده از همتای ریاضی)، به دست می آید. معادلات این مدل به صورت زیر می باشد.

لزجت گردابی

$$v_T = \frac{C_\mu k^2}{\varepsilon} \quad (18-3)$$

انرژی جنبشی آشفتهگی

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \varepsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (19-3)$$

نرخ اتلاف آشفتهگی

$$\frac{\partial \varepsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} = C_{\varepsilon 1} \frac{\varepsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - C_{\varepsilon 2} \frac{\varepsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_T}{\sigma_\varepsilon} \right) \frac{\partial \varepsilon}{\partial x_j} \right] \quad (20-3)$$

ضرایب ارتباط دهنده

$$C_{\varepsilon 1} = \frac{1}{44}, \quad C_{\varepsilon 2} = \frac{1}{92}, \quad C_\mu = \frac{0}{09}, \quad \sigma_k = \frac{1}{0}, \quad \sigma_\varepsilon = \frac{1}{3} \quad (21-3)$$

این معادلات فقط بر جریان آزاد برشی اعمال می شود. برای جریان های لایه مرزی نزدیک دیوار، برای به حساب آوردن وجود دیوار معادلات نیازمند تغییرات می باشند.

□ مدل k-ε RNG

این مدل از یک تکنیک آماری سخت به دست می آید. شکل این مدل شبیه به مدل استاندارد می باشد، اما در موارد زیر با هم تفاوت دارند :

- مدل RNG یک ترم اضافی در معادله ϵ دارد که باعث افزایش دقت می شود.
- ثابت های مدل RNG با مدل استاندارد متفاوت می باشد.
- تأثیر گردابه متحرک در آشفتگی در مدل RNG در نظر گرفته می شود، برای جریان های چرخشی به دقت کار کمک می کند.
- در حالی که مدل استاندارد برای عدد رینولدز بالا مناسب می باشد، مدل RNG برای اثرات لزجت در عدد رینولدز پایین هم مناسب می باشد.

معادلات این مدل به صورت زیر می باشند [18].

لزجت گردابی سینماتیکی

$$v_T = \frac{C_\mu k^2}{\epsilon} \quad (22-3)$$

انرژی جنبشی آشفتگی

$$\frac{\partial k}{\partial t} + U_j \frac{\partial k}{\partial x_j} = \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - \epsilon + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_T}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_j} \right] \quad (23-3)$$

نرخ اتلاف آشفتگی

$$\frac{\partial \epsilon}{\partial t} + U_j \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} = C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} \tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} - C_{\epsilon 2} \frac{\epsilon^2}{k} + \frac{\partial}{\partial x_j} \left[\left(v + \frac{v_T}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right] - R_\epsilon \quad (24-3)$$

ضرایب ارتباط دهنده

$$R_\epsilon = \frac{C_\mu \eta^3 (1 - \frac{\eta}{\eta_0})}{1 + \beta \eta^3} \frac{\epsilon^2}{k}, \quad \equiv \frac{Sk}{\epsilon}, \quad \eta_0 = \frac{4}{38}, \quad \beta = \frac{0}{012}, \quad C_{\epsilon 2} = \frac{1}{68} \quad (25-3)$$

$$C_{\varepsilon 1} = \frac{1}{42}, \quad C_{\mu} = \frac{0}{0845}, \quad \sigma_k = \sigma_{\varepsilon} = \frac{0}{72} \quad (26-3)$$

۳-۴- قانون دیوار

قانون دیوار یکی از مشهورترین روابط محاسبه شده از روی آزمایش در جریان های آشفته نزدیک مرزهای صلب می باشد. اندازه گیری ها نشان می دهند که برای هر دو جریان درونی و بیرونی، سرعت جریان در نزدیکی دیوار به صورت لگاریتمی با فاصله از سطح تغییر می کند. این رفتار به عنوان قانون دیوار شناخته می شود.

مشاهدات لایه مرزی آشفته در عدد رینولدز بالا، تعریف تقریبی کاربردی از استاتیک آشفتهگی در نزدیکی سطح را آشکار می سازد. اثرات اینرسی سیال و افت فشار در نزدیک سطح اندک می باشد. در نتیجه استاتیک جریان نزدیک سطح در لایه مرزی آشفته با دو مکانیسم اولیه ساخته می شود. اول سرعت در جایی که مومنتوم به سطح انتقال می یابد، در سطح واحد در زمان واحد، که معادل با تنش برشی محلی τ ، می باشد. دوم نفوذ مولکولی مومنتوم که نقش مهمی در نزدیکی سطح بازی می کند. مشاهدات همچنین نشان می دهد که جزئیات گردابه های دور از سطح اهمیت کمی در استاتیک جریان نزدیک دیوار دارند.

اعتبار این تقریب توصیف شده با کاهش y/δ افزایش می یابد، که δ ضخامت لایه مرزی می باشد. این موضوع درست می باشد زیرا نسبت اندازه گردابه دور از سطح به اندازه گردابه نزدیک سطح با کاهش y/δ افزایش می یابد.

اگر چه τ در نزدیکی سطح تغییر می کند، اما تغییرات با فاصله از سطح (y) به طور واضح کم می شود. از این رو برای آنالیز ابعادی زیر، از تنش برشی سطح τ_w ، به جای تنش برشی محلی استفاده شده است. همچنین لزجت سیال را با نماد μ نشان می دهیم. چون رفتار آشفتهگی در گاز و مایع یکسان می باشد، عاقلانه است که با τ_w/ρ و لزجت سینماتیکی $\nu = \mu/\rho$ به عنوان کمیت های ابعادی اولیه شروع کنیم، و در نتیجه چگالی سیال از کمیت ابعادی اولیه حذف می شود.

چون بعد کمیت τ_w/ρ زمان² / طول² می باشد، در حالی که ν زمان² / طول² می باشد، می توان یک مقیاس سرعت (u_{τ}) را با تعریف زیر به دست آورد :

$$u_{\tau} = \sqrt{\frac{\tau_w}{\rho}} \quad (27-3)$$

و ν/u_{τ} را به عنوان مقیاس طول در نظر گرفت. کمیت u_{τ} به عنوان سرعت جزئی شناخته می شود، و مقیاس سرعتی است که سرعت های نزدیک مرز صلب را نشان می دهد. اگر گرادیان سرعت متوسط به صورت $\partial U/\partial y$ فرض شود، با استفاده از آنالیز ابعادی می توان توابع u_{τ} ، ν/u_{τ} ، ν و y را به صورت زیر به هم مرتبط ساخت.

$$\partial U/\partial y = \frac{u_{\tau}}{y} F(u_{\tau}y/\nu) \quad (28-3)$$

که به صورت یک تابع کلی فرض شده است. بررسی داده های آزمایشگاهی برای محدوده وسیعی از لایه های مرزی به عنوان یک تقریب خوب نشان می دهد که:

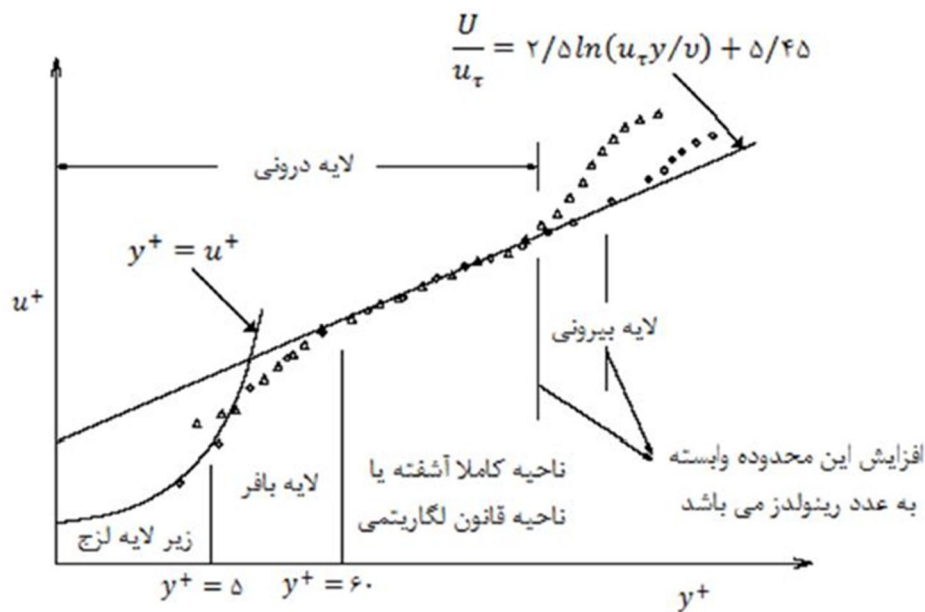
$$u_{\tau}y/\nu \rightarrow \infty \Rightarrow F(u_{\tau}y/\nu) \rightarrow \frac{1}{k} \quad (29-3)$$

که K ثابت کارمن می باشد. با انتگرال گیری نسبت به y ، قانون مشهور دیوار به دست می آید:

$$\frac{U}{u_{\tau}} = \frac{1}{k} \ln(u_{\tau}y/\nu) + C \quad (30-3)$$

که C ثابت انتگرال گیری بی بعد می باشد. اندازه گیری های مرتبط نشان می دهد که $C \approx 5$ برای سطوح صاف و $K \approx 0.41$ برای سطوح صاف و زبر می باشد.

آزمایش های متعدد نشان داده است که منطقه نزدیک دیوار را می توان اساساً به سه لایه تقسیم کرد. در لایه درونی، به نام زیر لایه لزج، جریان تقریباً آرام است، و لزجت (مولکولی) نقش غالب در حرکت و حرارت و انتقال جرم دارد. لایه میانی به نام لایه بافر می باشد که اثرات لزجت مولکولی و آشفتگی اهمیت یکسانی دارند و در لایه بیرونی جریان کاملاً آشفته است. شکل (۲-۳) این قسمت ها را در منطقه نزدیک به دیوار نشان می دهد، که در محور مختصات نیمه لگاریتمی رسم شده است.



شکل (۳-۲) تقسیم بندی لایه های نزدیک به دیوار

گراف موجود در شکل سرعت بی بعد را به صورت u^+ و فاصله بی بعد را به صورت y^+ نشان می دهد و به صورت زیر تعریف می شوند:

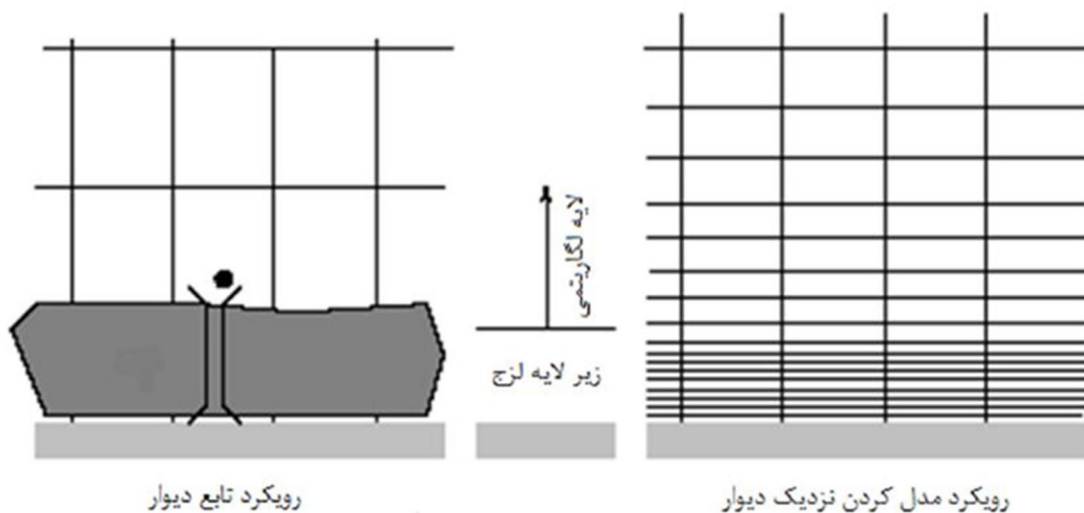
$$u^+ \equiv \frac{U}{u_\tau} \quad \text{و} \quad y^+ = \frac{u_\tau y}{\nu} \quad (۳-۳۱)$$

پروفیل سرعت با قانون دیوار برای مقادیر y^+ بزرگتر از ۳۰ مطابقت می کند. با افزایش عدد رینولدز، ماکزیمم مقدار y^+ که در آن پروفیل سرعت واقعی با مقدار قانون دیوار مطابقت می کند، افزایش می یابد.

۳-۵- مدل کردن نواحی نزدیک دیوار

به طور کلی دو رویکرد برای مدل کردن نواحی نزدیک دیوار وجود دارند. در رویکرد اول، تأثیرات لزجت در ناحیه زیر لایه لزج در نظر گرفته نمی شود. در عوض، فرمول نیمه تجربی قانون دیوار برای ارتباط اثرات زیر لایه لزج بین دیوار و لایه لگاریتمی استفاده می شود. استفاده از قانون دیوار، نیاز به اصلاح مدل های آشفتگی برای به حساب آوردن حضور دیوار را مرتفع می سازد.

در رویکرد دوم، مدل های آشفتگی با در نظر گرفتن ناحیه لزوج در فرایند حل اصلاح میشوند، که اینکار را با مش هایی در مسیر دیوار با در نظر گرفتن زیر لایه لزوج صورت می گیرد. این رویکرد را مدل کردن در نزدیک دیوار می نامند. این دو رویکرد در شکل (۳-۳) نشان داده شده است.



شکل (۳-۳) نمایش دو رویکرد مدلسازی دیوار [18]

رویکرد تابع دیوار عمومیت بیشتری دارد، زیرا اقتصادی، نیرومند و دقت معقولانه ای دارد.

۳-۶- تابع استاندارد دیوار

تابع استاندارد دیوار بر مبنای کار لاندرو اسپالینگ می باشد، و اغلب به طور وسیعی در جریان های صنعتی مورد استفاده قرار می گیرد.

قانون دیوار برای معادله مومنوم به صورت زیر می باشد.

$$U^* = \frac{1}{k} \ln(Ey^*) \quad (3-32)$$

که:

$$U^* \equiv \frac{U_p C_\mu^{1/4} k_p^{1/2}}{\tau_w / \rho} \quad (3-33)$$

سرعت بی بعد می باشد و :

$$y^* \equiv \frac{\rho C_\mu^{\frac{1}{4}} k_p^2 y_p}{\mu} \quad (34-3)$$

فاصله بی بعد از دیوار می باشد. $\kappa \approx 0.4187$ ثابت ون کارمن، $E = 9.793$ ثابت آزمایشگاهی، U_p سرعت متوسط جریان در نقطه نزدیک دیوار، k_p انرژی جنبشی آشفته در نقطه p نزدیک دیوار، y_p فاصله نقطه p نسبت به دیوار، τ_w تنش برشی دیوار و μ لزجت دینامیکی جریان می باشد. قانون لگاریتمی برای سرعت متوسط برای $30 < y^* < 300$ معتبر می باشد. در اینجا قانون لگاریتمی برای $y^* > 11.225$ اعمال می شود. هنگامی که $y^* > 11.225$ در مش سلول های نزدیک دیوار وجود داشته باشد، در رابطه تنش کرنش لایه ای اعمال می شود، یعنی:

$$U^* = y^* \quad (35-3)$$

توجه شود که y^* و y^+ در لایه های مرزی آشفته ساکن تقریباً برابر می باشند. شرایط مرزی تحمیل شده برای k در دیوار به صورت زیر می باشد:

$$\frac{\partial k}{\partial n} = 0 \quad (36-3)$$

که n مختصات محلی عمود بر دیوار می باشد. ترم تولید k بر مبنای قانون لگاریتمی برابر است با:

$$\tau_{ij} \frac{\partial U_i}{\partial x_j} \approx \tau_w \frac{\partial U}{\partial y} = \tau_w \frac{\tau_w}{\kappa \rho k_p^2 y_p} \quad (37-3)$$

و ϵ از طریق زیر محاسبه می شود:

$$\epsilon_p = \frac{C_\mu^{\frac{3}{4}} k_p^2}{\kappa y_p} \quad (38-3)$$

در نواحی نزدیک دیوار معادله ϵ حل نمی شود و از معادله ۳-۱۵ استفاده می شود.

۳-۲-VOF روش

روش VOF می تواند دو یا چند سیال مخلوط نشدنی را با حل دستگاه منفرد معادلات حرکت و ردیابی کسر حجمی هر یک از سیالات درون دامنه حل، مدل کند. نمونه های کاربردی آن شامل پیش بینی فرو پاشی جت، حرکت حباب های بزرگ در یک سیال، حرکت سیال پس از شکست سد، و ردیابی پایدار و ناپایدار هر سطح مشترک مایع و گاز می باشد.

فرمول VOF متکی بر این واقعیت است که دو یا چند سیال (یا فاز) در یکدیگر نفوذ نمی کنند. برای هر فاز اضافی که به مدل اضافه شده، یک متغیر به صورت، کسر حجمی فاز در سلول های محاسباتی معرفی می شود. در هر حجم کنترل، مجموع کسر حجم همگی فازها واحد است. نواحی برای تمامی متغیرها و خصوصیات به وسیله فازها و نشان دادن مقادیر حجم متوسط تقسیم بندی می شوند، تا زمانی که کسر حجمی هر یک از فازها در هر مکان شناخته شود. بنابراین متغیرها و خصوصیات در هر سلول داده شده یا کاملاً بیانگر یکی از فازها است، و یا بیانگر ترکیبی از فازها، بسته به مقدار کسر حجمی می باشد. به عبارت دیگر، اگر کسر حجمی سیال q^{th} در سلول به صورت α_q مشخص شود، بنابراین شرایط زیر امکان پذیر می باشند:

- $\alpha_q = 0$ سلول خالی است (از سیال q^{th})
- $\alpha_q = 1$ سلول پر است (از سیال q^{th})
- $0 < \alpha_q < 1$ سلول شامل سطح مشترکی از سیال q^{th} و یک یا چند سیال دیگر می باشد.

بر اساس مقادیر محلی α_q ، خصوصیات و متغیرهای مناسب به هر حجم کنترل درون دامنه حل اختصاص داده می شود.

ردیابی سطح مشترک بین فازها به وسیله حل معادله پیوستگی برای کسر حجمی یک (یا چند) فاز انجام می شود. برای فاز اول، این معادله به صورت زیر است :

$$\frac{1}{\rho_q} \left[\frac{\partial}{\partial t} (\alpha_q \rho_q) + \nabla \cdot (\alpha_q \rho_q \vec{v}_q) \right] = S_{\alpha_q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) \quad (3-39)$$

که در آن انتقال جرم از فاز q به فاز p و \dot{m}_{pq} انتقال جرم از فاز p به فاز q است. به طور پیش فرض، عبارت منبع در سمت راست معادله، S_{α_q} ، صفر است، اما می توان یک منبع جرم ثابت یا تعریف شده هر فاز تعیین کرد.

معادله کسر حجمی برای فاز اولیه حل نخواهد شد، کسر حجمی فاز اولیه بر اساس محدودیت زیر محاسبه خواهد شد:

$$\sum_{q=1}^n \alpha_q = 1 \quad (40-3)$$

معادله کسر حجمی ممکن است از طریق گسسته سازی زمان بر اساس طرح ضمنی ویا صریح حل شود.

طرح ضمنی

$$\frac{\alpha_q^{n+1} \rho_q^{n+1} - \alpha_q^n \rho_q^n}{\Delta t} V + \sum_f (\rho_q^{n+1} U_f^{n+1} \alpha_{q,f}^{n+1}) = [S_{\alpha q} + \sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp})] V \quad (41-3)$$

طرح صریح

$$\frac{\alpha_q^{n+1} \rho_q^{n+1} - \alpha_q^n \rho_q^n}{\Delta t} V + \sum_f (\rho_q U_f \alpha_{q,f}^n) = [\sum_{p=1}^n (\dot{m}_{pq} - \dot{m}_{qp}) + S_{\alpha q}] V \quad (42-3)$$

که در آن $n + 1$ شاخص گام زمانی جدید (فعلی)، n شاخص گام زمانی قبلی، $\alpha_{q,f}^n$ مقدار سطحی کسر حجمی، V حجم سلول و U_f حجم شار عبوری از سطح بر اساس سرعت نرمال، می باشند. خواص ظاهر شده در معادلات انتقال با حضور مولفه فازها در هر حجم کنترل تعیین می شود. به عنوان مثال، در یک سیستم دو فازی، اگر فازها با اندیس ۱ و ۲ نشان داده شوند، و در صورتیکه کسری حجمی هر فاز دوم مشخص شود، چگالی در هر سلول توسط فرمول زیر به دست می آید:

$$\rho = \alpha_2 \rho_2 + (1 - \alpha_2) \rho_1 \quad (43-3)$$

به طور کلی، برای یک سیستم فازی، چگالی متوسط کسری حجمی به صورت زیر محاسبه می شود:

$$\rho = \sum \alpha_q \rho_q \quad (44-3)$$

بقیه خصوصیات (مانند لزجت) نیز با همین روش به دست می آیند.

معادله حرکت منفرد در سراسر دامنه حل شده، و در نتیجه میدان سرعت میان فازها تقسیم بندی می شود. معادله حرکت، وابسته به کسر حجمی تمامی فازها از طریق خواص ρ و μ می باشد. یکی از

محدویت های این تقریب در مواردی است که تفاوت زیادی بین سرعت فازها وجود داشته باشد و می تواند دقت سرعت های محاسبه شده در نزدیکی سطح مشترک را تحت تأثیر قرار دهد.

۳-۸- روش صحت سنجی مدل های عددی

پس از مدلسازی انجام شده مقادیر ارتفاع آب روی سرریز برداشت شده و ضریب گذردهی سرریز با توجه به رابطه ۳-۴۵ محاسبه می شود:

$$C_d = \frac{Q}{2^{2/3} \sqrt{2gLH_t}^{3/2}} \quad (3-45)$$

جهت بررسی نتایج حاصل از روش ارائه شده، با استفاده از معادلات زیر به ترتیب پارامترهای آماری درصد خطا (Error%)، ضریب همبستگی (R) و مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE) بر اساس مقادیر آزمایشگاهی^۱ ارائه شده توسط تینجی [7] و مدل عددی^۲ C_d محاسبه می گردد:

$$\text{Error}\% = \frac{C_d(m) - C_d(o)}{C_d(m)} \times 100 \quad (3-46)$$

$$R = \frac{N(\sum C_d(m)C_d(o)) - (\sum C_d(m))(\sum C_d(o))}{\sqrt{[N(\sum C_d(m)^2) - (\sum C_d(m))^2][N(\sum C_d(o)^2) - (\sum C_d(o))^2]}} \quad (3-47)$$

$$\text{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (C_d(m)_i - C_d(o)_i)^2} \quad (3-48)$$

¹ Observation

² model

فصل ٤:

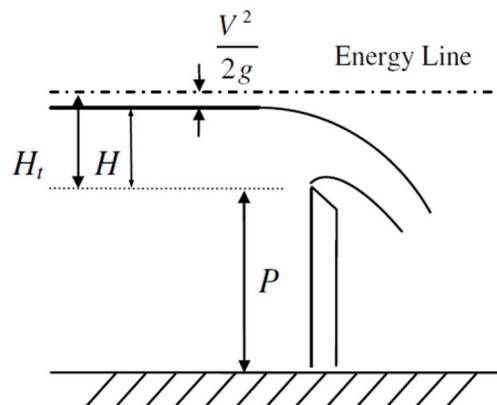
نتایج و تفسیر آنها

۴-۱- مقدمه

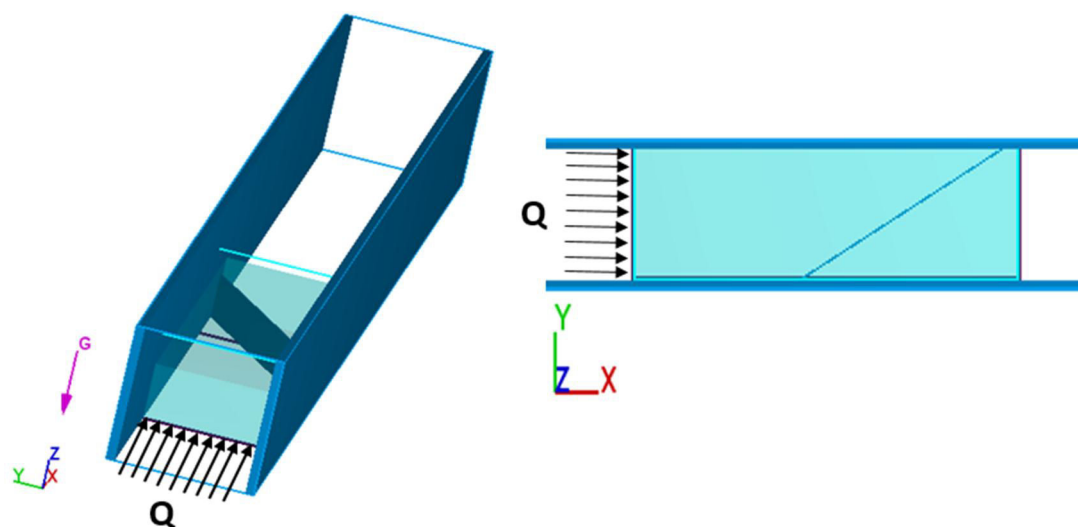
سریزهای مایل نوعی از سریزها می‌باشند که با زوایای مختلف در کانال قرار می‌گیرند. این سریزها برای مکان‌هایی که مقدار گذردهی بیشتری مورد نیاز است، کاربرد دارد. شناخت ضریب گذردهی جریان در این سریزها یکی از موضوعات مورد توجه محققین است. زوایای مختلفی از این نوع سریزها مورد بررسی قرار گرفته است. در این پایان‌نامه سه زاویه ۲۵، ۴۵ و ۹۰ درجه با نرم‌افزار قدرتمند Flow-3D مدل‌سازی شده و با نتایج آزمایشگاهی مورد صحت‌سنجی قرار گرفته است. به منظور مطالعه بیشتر جریان عبوری از سرریز مایل با زاویه ۷۵ درجه شبیه‌سازی شده و ضریب گذردهی آن ارائه می‌گردد.

۴-۲- مدل آزمایشگاهی

مدل آزمایشگاهی مورد مطالعه دارای عرض ۰/۶۰۹۶ متر، طول ۷/۳۲ متر و ارتفاع ۰/۶۰۹۶ متر می‌باشد. سریزهای مورب با زوایای ۲۵، ۴۵ و ۹۰ در کانال قرار داده شده است. سه ارتفاع مختلف ۰/۱۰۱۶، ۰/۲۰۳۲ و ۰/۳۰۴۸ متر برای ارتفاع سرریز (P) در نظر گرفته شده است. مقادیر ارتفاع سرریز در سیستم انگلیسی برابر ۴، ۸ و ۱۲ اینچ می‌باشد. شکل ۴-۱ مشخصات پارامترهای جریان و سرریز را نمایش می‌دهد. H_t هد آب روی سرریز است. شکل ۴-۲ شرایط هندسی مدل مورد مطالعه را نمایش می‌دهد.



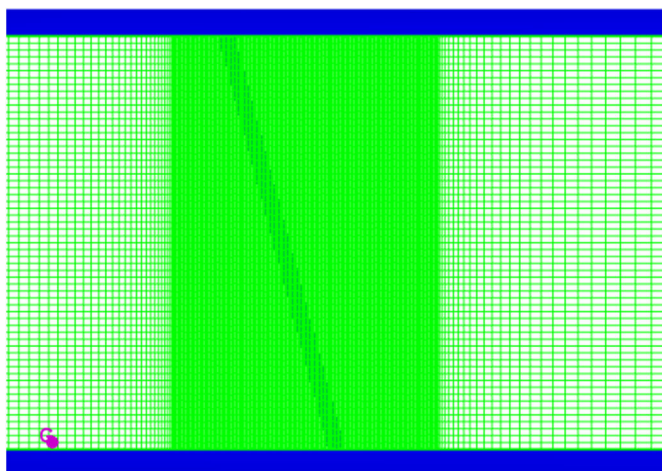
شکل (۴-۱) نمایش پارامترهای جریان بر روی سرریز مایل



شکل (۲-۴) نمایش هندسه مدل سرریز به صورت پلان و سه بعدی

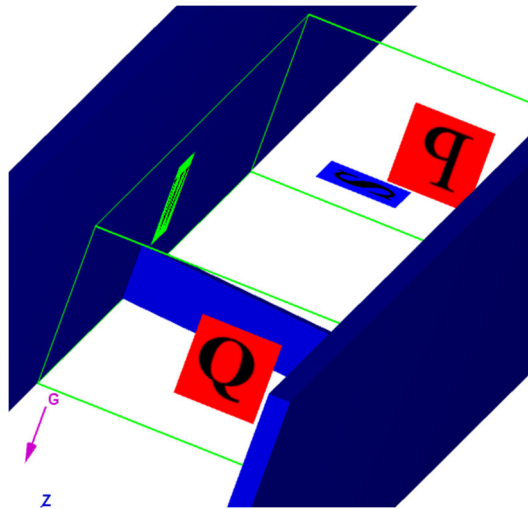
۴-۳- شبکه بندی و شرایط مرزی

جهت شبکه بندی مدل عددی از یک بلوک محاسباتی استفاده شده است. شبکه بندی در مدل عددی بر اساس مختصات کارتیزین می باشد. به منظور بالا بردن دقت محاسبات در محدوده سرریز از شبکه بندی ریزتری استفاده شده است. به طور کلی برای شبیه سازی مدل عددی از ۷۲۰ هزار سلول محاسباتی استفاده شده است. شکل ۳-۴ میدان محاسباتی در مدل عددی Flow-3D را نمایش می دهد.



شکل (۳-۴) نمایش شبکه بندی مدل عددی

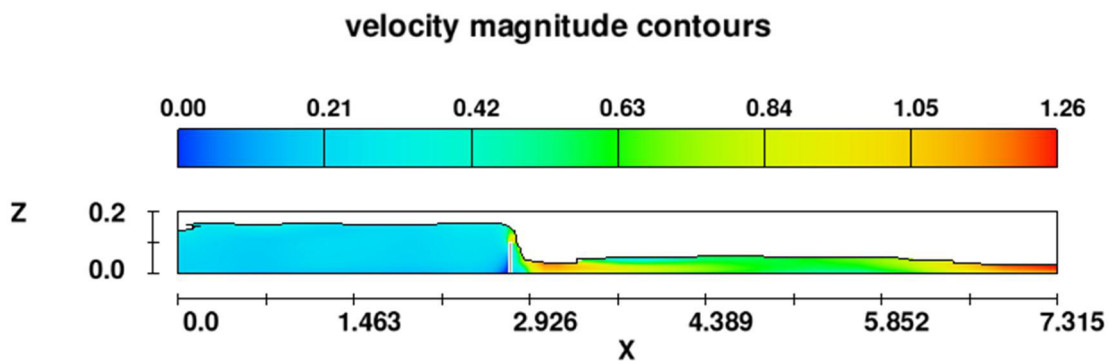
شرایط مرزی مدل عددی Flow-3D بدین صورت است که هر بلوک دارای شش شرط مرزی می‌باشد. در شبیه‌سازی‌های صورت گرفته برای مرز ورودی از شرط مرزی دبی، و در شرط مرزی خروجی از شرط مرزی فشار (هد ثابت) استفاده شده است. در دیواره‌های کناری و کف کانال شرط مرزی دیوار بکار گرفته شده است و نهایتاً در وجه بالای بلوک شبکه‌بندی از شرط مرزی تقارن استفاده شده است (با انتخاب گزینه free surface و فعال نمودن VOF سطح آزاد آب مدل‌سازی شده است). شکل ۴-۴ شرایط مرزی مدل عددی را نشان می‌دهد.



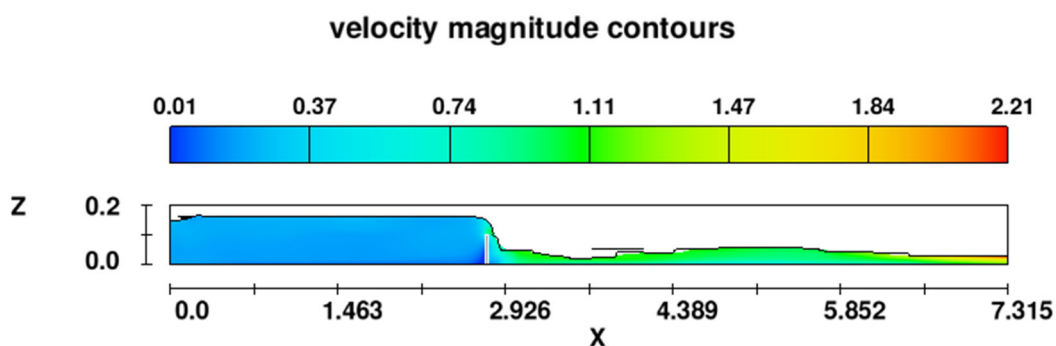
شکل (۴-۴) نمایش شرایط مرزی مدل عددی

۴-۴- بررسی مدل‌های آشفتگی

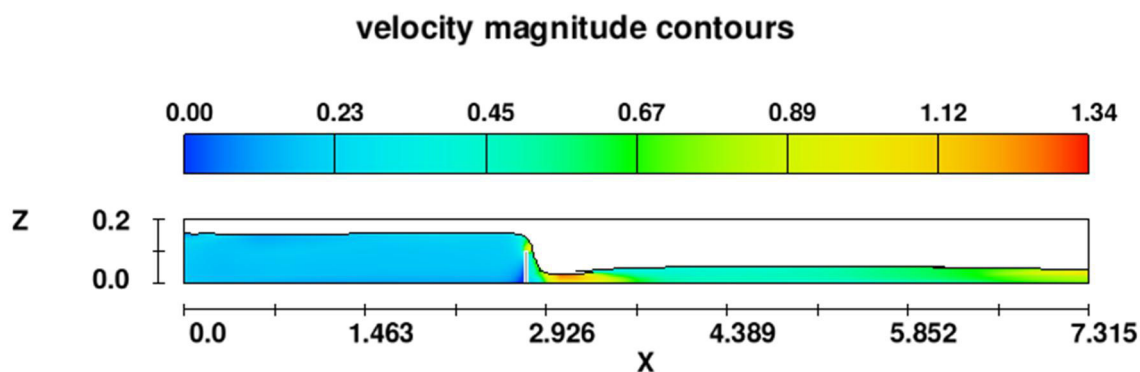
جهت بررسی مدل‌های آشفتگی مختلف، جریان عبوری از روی سرریز ۹۰ درجه با ارتفاع سرریز ۰/۱۰۱۶ متری برای مدل‌های آشفتگی $k-\epsilon$ ، $k-w$ و RNG مدل‌سازی شده است. همانطور که در شکل‌های ۴-۵ و ۴-۶ و ۴-۷ مشاهده می‌شود در دو مدل $k-\epsilon$ و $k-w$ آشفتگی و نوسان در سطح آب ایجاد شده حال آنکه در مدل RNG پروفیل سطح آب شرایط مناسب‌تری دارد دلیل این امر این است که مدل RNG یک ترم اضافی در معادله ϵ دارد که باعث افزایش دقت می‌شود؛ همچنین برای دامنه وسیعتری از اعداد رینولدز کاربرد دارد. در این پژوهش برای ۴۸ مدل‌سازی انجام شده از مدل آشفتگی RNG استفاده شده است.



شکل (۴-۵) نمایش جریان عبوری از روی سریز ۹۰ درجه برای مدل آشفتگی k-e



شکل (۴-۶) نمایش جریان عبوری از روی سریز ۹۰ درجه برای مدل آشفتگی k- ω



شکل (۴-۷) نمایش جریان عبوری از روی سریز ۹۰ درجه برای مدل آشفتگی RNG

۴-۵- صحت سنجی

همانطور که اشاره شده جهت تحلیل هریک از سریزها سه ارتفاع (P) ۰/۱۰۱۶، ۰/۲۰۳۲ و ۰/۳۰۴۸.

متری مورد استفاده قرار داده شده است. هریک از این شرایط تحت عبور دبی‌های مختلفی مورد تحلیل قرار داده شده اند. هدف اصلی در این گام صحت سنجی مدل عددی با داده‌های آزمایشگاهی می‌باشد. به همین منظور ابتدا اطلاعات دبی ورودی در حالت‌های مختلف از اطلاعات آزمایشگاهی استخراج گردید و پس از آن با مدلسازی سرریزها و وارد نمودن دبی ورودی و دیگر پارامترهای سیال و شرایط حل، شروع به اجرای برنامه می‌نماییم؛ پس از اجرای موفق برنامه و بدون خطای آن شروع به دریافت خروجی از نرم‌افزار می‌نماییم و مقادیر بدست آمده را با اطلاعات تجربی موجود مورد صحت سنجی قرار می‌دهیم.

۴-۵-۱- مدل سرریز مورب ۲۵ درجه

شکل‌های ۴-۸ و ۴-۹ و ۴-۱۰ سرعت جریان عبوری برای سرریز مورب ۲۵ درجه در سه ارتفاع ۰/۱۰۱۶، ۰/۲۰۳۲ و ۰/۳۰۴۸ متری را نشان می‌دهد. (طول سرریز با زاویه ۲۵ درجه برابر ۱/۴۴۲۴ متر است).

جدول (۱-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۳۰۴۸ متری

Q(M3/s)	Ht(observed)	Cd observed	Ht(m)	Cd Model
0.017755	0.031754064	0.73668	0.03092	0.767071064
0.032427	0.052078128	0.64059	0.050513	0.670932051
0.065047	0.085523832	0.61059	0.083706	0.630911648
0.086976	0.10625328	0.58958	0.105069	0.59988583

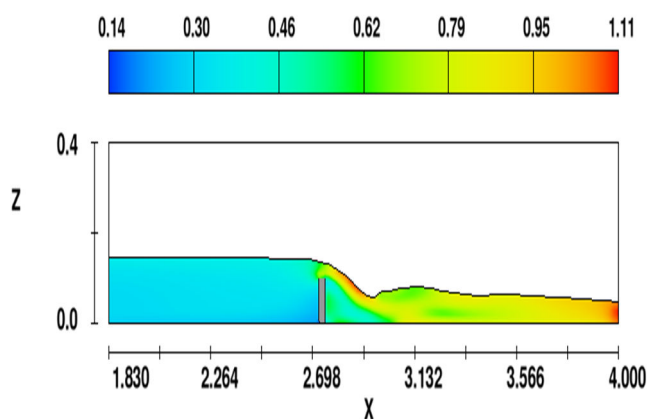
جدول (۲-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۲۰۳۲ متری

Q(M3/s)	Ht(observed)	Cd observed	Ht(m)	Cd Model
0.018505	0.03429	0.68423	0.03383	0.698586149
0.054572	0.077873352	0.58958	0.07701	0.59988583
0.087243	0.110054136	0.56102	0.10826	0.575313303
0.111289	0.135038592	0.52653	0.13014	0.556813871

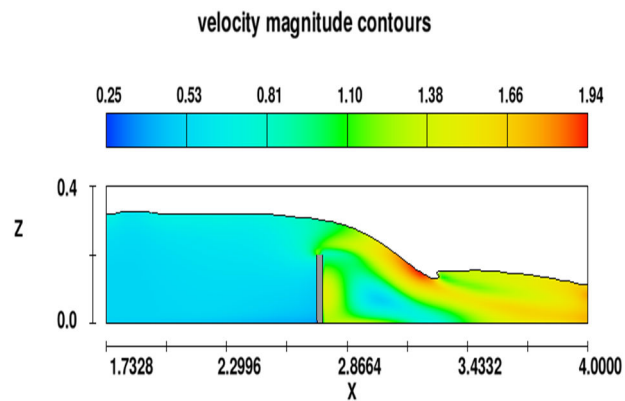
جدول (۳-۴) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۱۰۱۶ متری

Q(M3/s)	Ht(observed)	Cd observed	Ht(m)	Cd Model
0.017216	0.03429	0.64669	0.0332	0.667030061
0.026245	0.041891712	0.6377	0.04	0.648030375
0.029845	0.047009304	0.63483	0.0455	0.63515381
0.035188	0.053343048	0.62567	0.0559	0.625989138

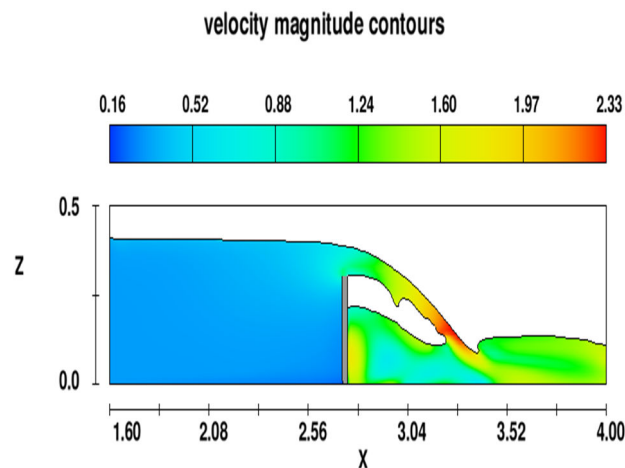
velocity magnitude contours



شکل (۸-۴) جریان عبوری از سرریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۴ اینچی

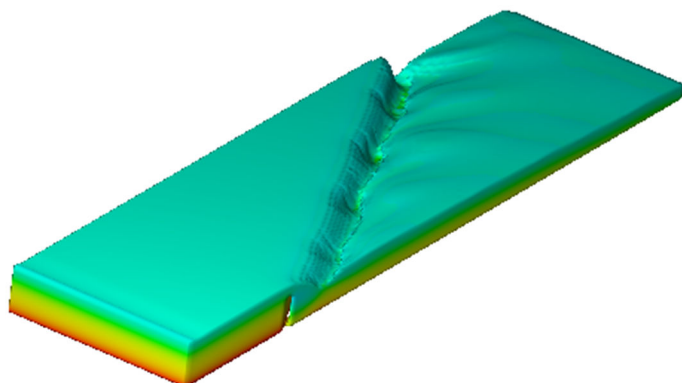


شکل (۹-۴) جریان عبوری از سریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۸ اینچی

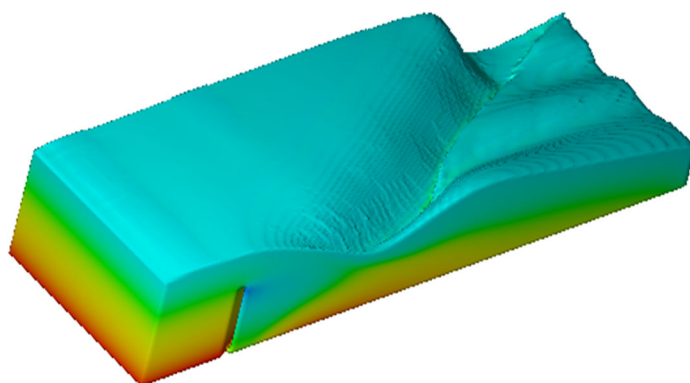


شکل (۱۰-۴) جریان عبوری از سریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی

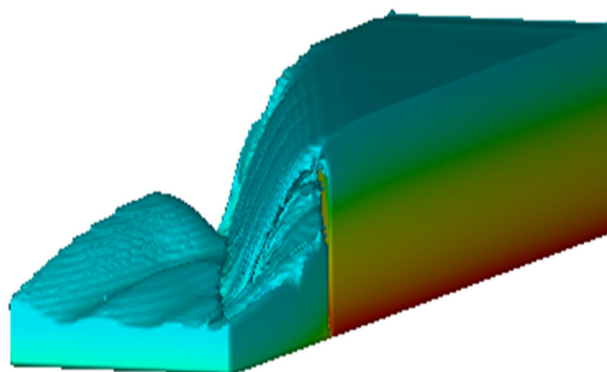
تصاویر ۱۱-۴ و ۱۲-۴ و ۱۳-۴ جریان عبوری از روی سریز مورب ۲۵ درجه در شرایط سه بعدی را نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود جریان در حالتی که P برابر 0.3048 متر (۱۲ اینچ) است به صورت ریزشی می‌باشد.



شکل (۴-۱۱) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سرریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۴ اینچی



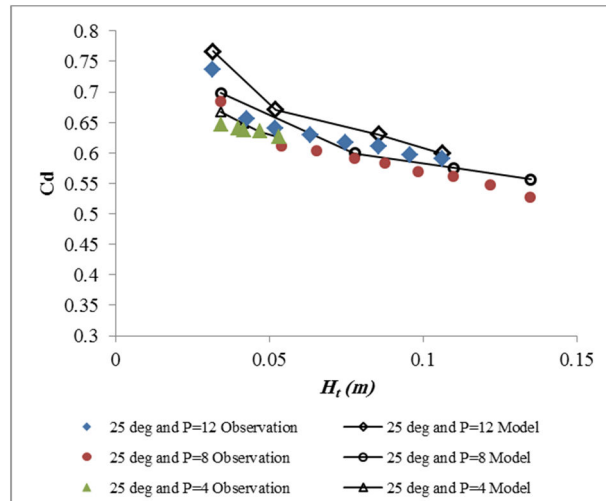
شکل (۴-۱۲) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سرریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۸ اینچی



شکل (۴-۱۳) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سرریز مورب ۲۵ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی

نمودار شکل ۴-۱۴ مقایسه نتایج مدل عددی و داده‌های آزمایشگاهی ضریب گذردهی سرریز را نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشاهده می‌شود که مدل عددی Flow-3D در تخمین ضریب گذردهی

سریز مورب ۲۵ درجه تحت شرایط مختلف ارتفاعی دارای دقت مطلوبی می‌باشد. همانطور که مشاهده می‌شود با افزایش ارتفاع سریز مقدار ضریب گذردهی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی در سریز ۲۵ درجه تغییرات دبی ورودی تأثیر شدیدی در تغییرات ضریب گذردهی ایفا می‌کند. در مدل سریز ۲۵ درجه با ارتفاع ۰/۳۰۴۸ متر (۱۲ اینچ)، با افزایش هد روی سریز مقدار ضریب گذردهی ۲۵ درصد کاهش می‌یابد.

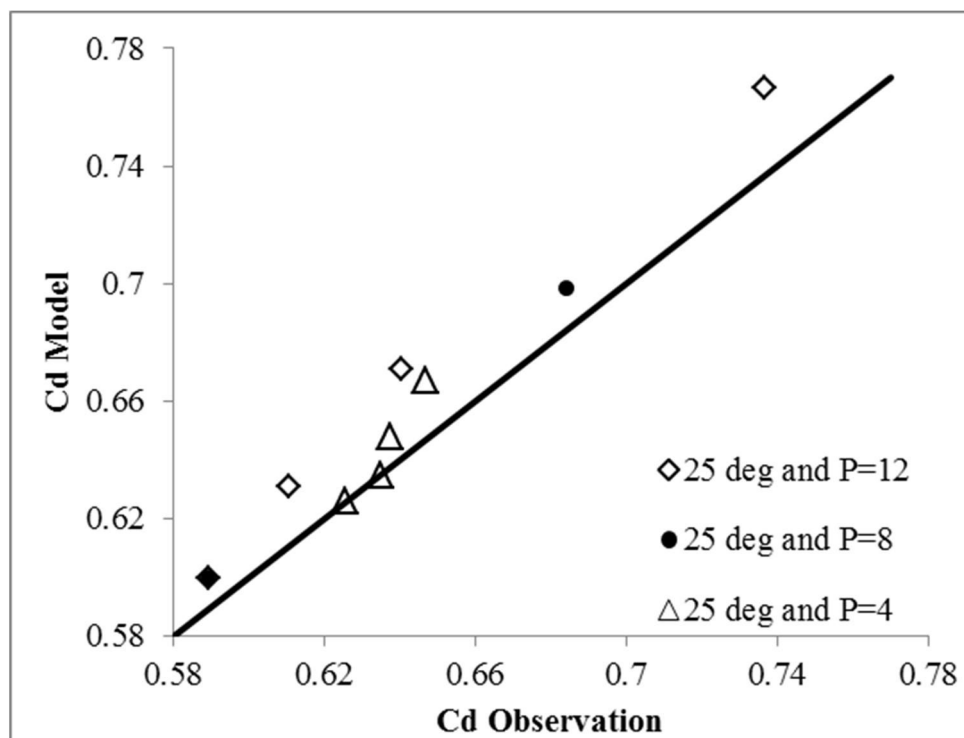


شکل (۴-۱۴) ضریب گذردهی در سریز مورب ۲۵ درجه

نمودار شکل ۴-۱۵ مقایسه ضریب گذردهی مدل آزمایشگاهی و عددی را نمایش می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود، مدل عددی دارای دقت بسیار قابل قبولی در شبیه‌سازی جریان عبوری از روی این سریز می‌باشد. جدول (۴-۱) پارامترهای آماری مختلف مورد مقایسه بین مقادیر آزمایشگاهی و عددی را نمایش می‌دهد. نتایج بیانگر آن است که خطای حداکثر در این حالت برابر ۵/۴۳ درصد است. حداکثر مقدار پارامتر مجذور مربعات خطا (RMSE) برابر ۰/۰۲۴ می‌باشد. حداقل مقدار ضریب همبستگی بین داده‌های عددی و آزمایشگاهی برابر ۰/۹۷۲ می‌باشد که این پارامتر نیز تأیید کننده دقت مناسب روش عددی حاضر است.

جدول (۴-۴) پارامترهای آماری سریز مورب ۲۵ درجه

Type of model	RMSE	E%(max)	R
<i>P12</i>	0.024307593	4.522373092	0.996423282
<i>P8</i>	0.018932251	5.438778204	0.993254982
<i>P4</i>	0.011408784	3.04934701	0.972308604



شکل (۴-۱۵) مقایسه ضریب گذردهی مدل عددی و آزمایشگاهی در سریز مورب ۲۵ درجه

۴-۵-۲- صحت سنجی مدل سریز مورب ۴۵ درجه

در این قسمت شرایط مدل آزمایشگاهی در زاویه ۴۵ درجه با مدل عددی حاضر مقایسه شده است. شکل‌های ۴-۱۶ و ۴-۱۷ و ۴-۱۸ کنتورهای سرعت تشکیل شده در سریز مورب ۴۵ درجه در سه ارتفاع ۰/۱۰۱۶، ۰/۲۰۳۲ و ۰/۳۰۴۸ متری نشان شده است. با افزایش ارتفاع سریز جریان ریزشی تشکیل شده است. شکل‌های ۴-۱۹ و ۴-۲۰ و ۴-۲۱ نمای سه‌بعدی این جریان را نشان می‌دهد. (طول سرریز با زاویه ۴۵ درجه برابر ۰/۸۶۲۱ متر است).

جدول (۴-۵) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۳۰۴۸ متری

Q(M3/s)	Ht(observed)	Cd observed	Ht(m)	Cd Model
0.018447	0.04908804	0.66626	0.049088	0.66826
0.033769	0.074932032	0.64669	0.074932	0.64969
0.052998	0.102452424	0.63483	0.102452	0.63783
0.097694	0.15703296	0.61669	0.157033	0.61969

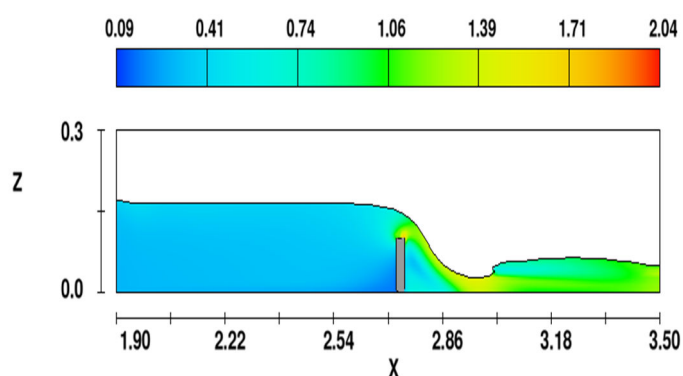
جدول (۴-۶) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۲۰۳۲ متری

Q(M3/s)	Ht(observed)	Cd observed	Ht(m)	Cd Model
0.018198	0.04908804	0.65728	0.04909	0.66228
0.042124	0.088059768	0.63321	0.08806	0.63721
0.08605	0.145225008	0.61076	0.14523	0.61476
0.111859	0.174415704	0.60322	0.17442	0.60822

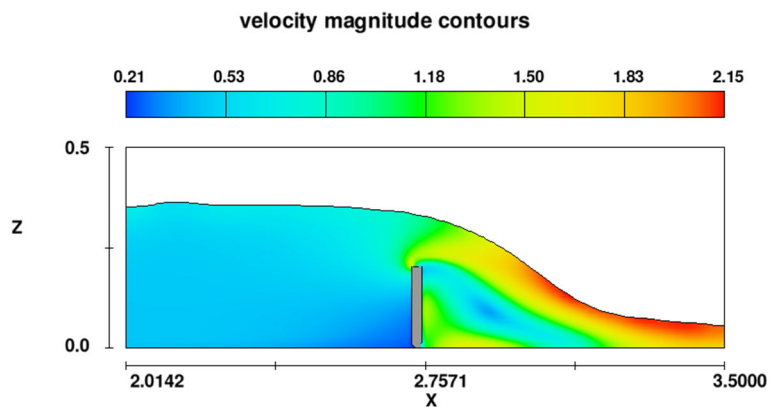
جدول (۴-۷) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۱۰۱۶ متری

Q(M3/s)	Ht(observed)	Cd observed	Ht(m)	Cd Model
0.017216	0.047820072	0.64669	0.0478	0.65269
0.026245	0.063934848	0.6377	0.0639	0.6417
0.029845	0.069866256	0.63483	0.0698	0.63783
0.035188	0.078732888	0.62567	0.0799	0.62867

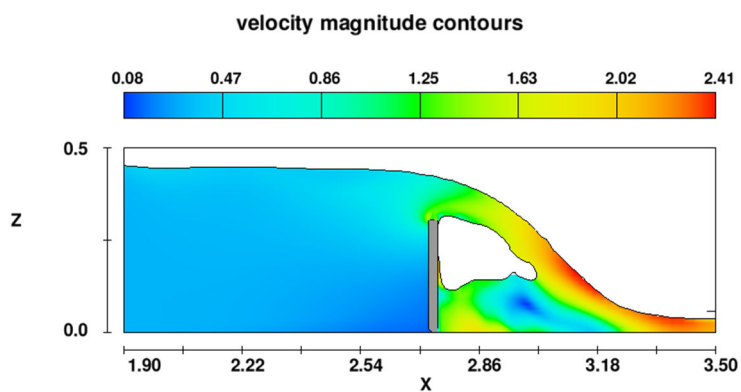
velocity magnitude contours



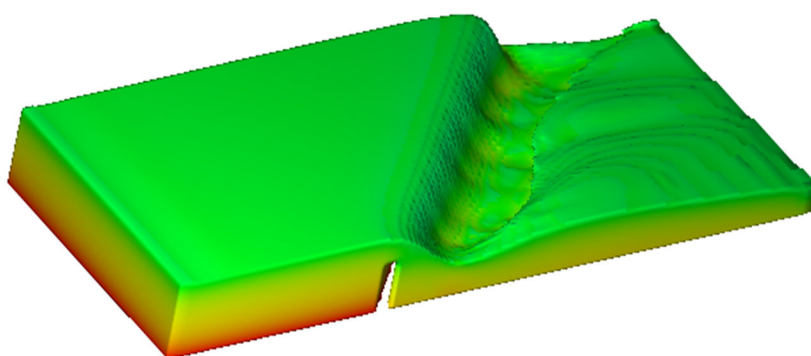
شکل (۴-۱۶) جریان عبوری از سرریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۴ اینچی



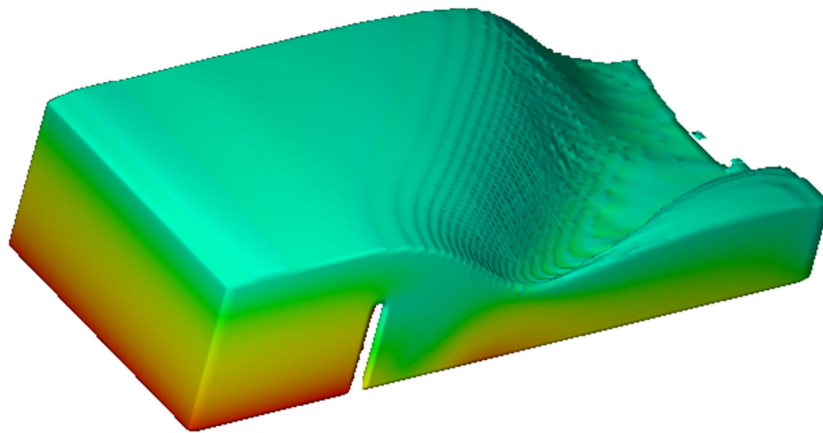
شکل (۴-۱۷) جریان عبوری از سریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۸ اینچی



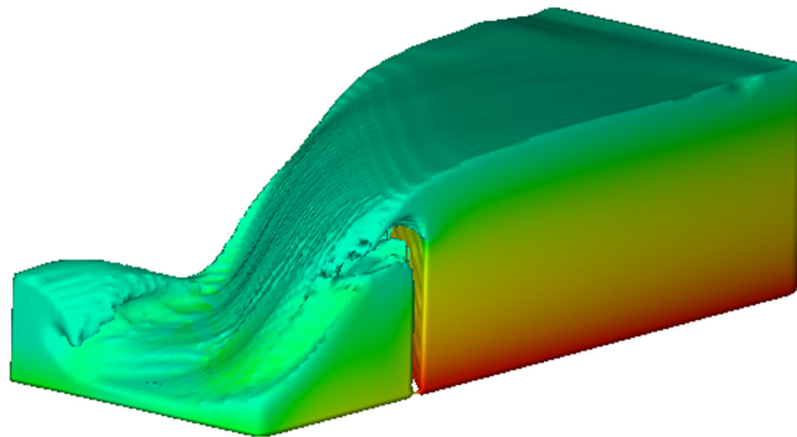
شکل (۴-۱۸) جریان عبوری از سریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی



شکل (۴-۱۹) نمای سه بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۴ اینچی

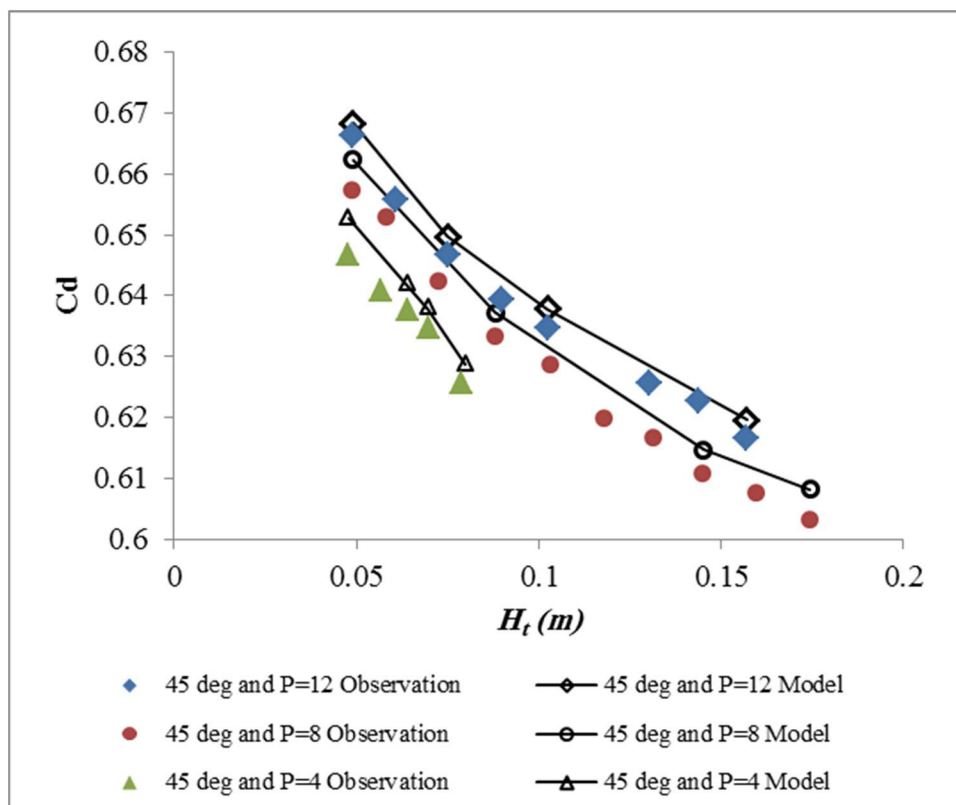


شکل (۴-۲۰) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۸ اینچی



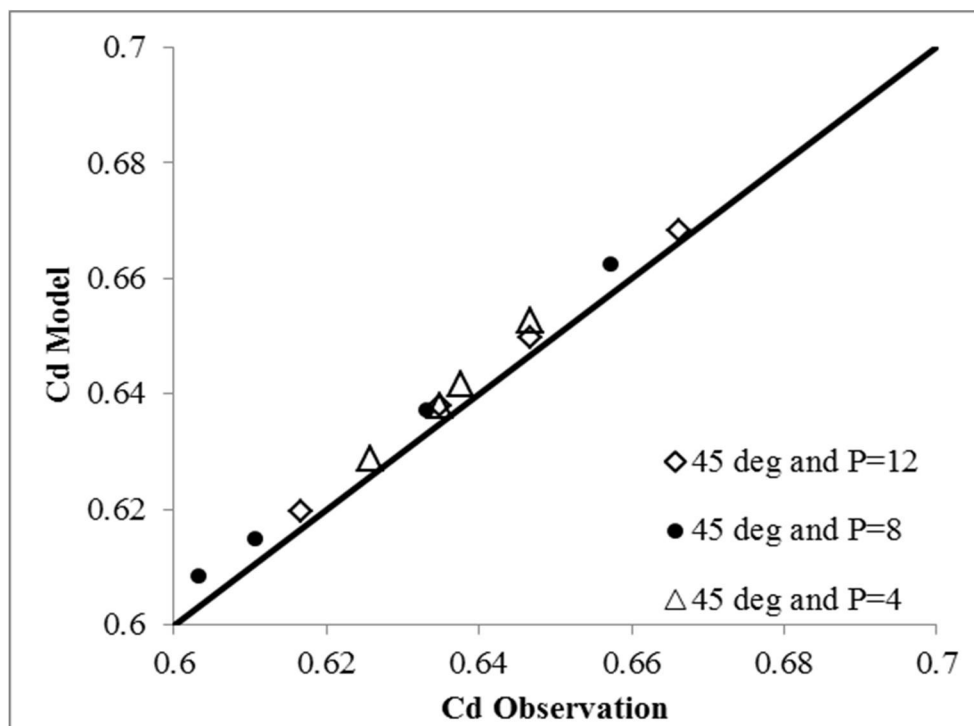
شکل (۴-۲۱) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۴۵ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی

ضریب گذردهی جریان در سریز مورب ۴۵ درجه در شکل ۴-۲۲ برای مدل آزمایشگاهی و عددی نشان داده شده است. نتایج بیانگر دقت مناسب مدل عددی در تعیین ضریب گذردهی این نوع از سریز می‌باشد. مقدار ضریب گذردهی با افزایش هد روی سریز از ۴ تا ۷ درصد کاهش می‌یابد. به‌طور کلی مقدار ضریب گذردهی در سریز با ارتفاع 0.3048 متر نسبت به سریزهای دیگر بیشتر می‌باشد.



شکل (۴-۲۲) ضریب گذردهی در سریز مورب ۴۵ درجه

جهت بررسی بیشتر دقت مدل عددی در شبیه‌سازی صورت گرفته بر روی سریز مورب با زاویه ۴۵ درجه، اطلاعات ضریب گذردهی آزمایشگاهی و عددی در شکل ۴-۲۳ نمایش داده شده است. همانطور که نتایج نشان می‌دهند اختلاف نقاط ایجاد شده با خط بهترین تطابق بسیار کم می‌باشد به طوری که با توجه به جدول (۴-۲) حداکثر خطا کمتر از ۱ درصد بوده و نیز حداکثر مقدار پارامتر مجذور میانگین مربعات خطا در این حالت برابر ۰/۰۰۴۵ می‌باشد.



شکل (۴-۲۳) مقایسه ضریب گذردهی مدل عددی و آزمایشگاهی در سریز مورب ۴۵ درجه

جدول (۴-۸) پارامترهای آماری سریز مورب ۴۵ درجه

Type of model	RMSE	E%(max)	R
<i>P12</i>	0.002783882	0.484113024	0.999894577
<i>P8</i>	0.004527693	0.822070961	0.999732701
<i>P4</i>	0.0041833	0.919272549	0.997982986

۴-۵-۳- صحت سنجی سریز مورب ۹۰ درجه

به منظور بررسی دقت عملکرد مدل عددی در زاویه‌های دیگر، مشخصات هیدرولیک جریان سریز مورب ۹۰ درجه نیز مورد صحت سنجی قرار گرفته است. شکل‌های ۴-۲۴ و ۴-۲۵ و ۴-۲۶ کنتورهای سرعت میانگین در مقطع طولی از جریان را برای سه ارتفاع مختلف نمایش می‌دهد. با توجه به دبی عبوری الگوی جریان عبوری از روی سریز تغییر می‌کند در مدل سریز با ارتفاع ۰/۱۰۱۶ و ۰/۲۰۳۲ جریان به صورت ریزشی عبور نکرده است در حالی که در مدل سریز با ارتفاع ۰/۳۰۴۸ متر عبور جریان از روی سریز به صورت ریزشی می‌باشد. (طول سرریز با زاویه ۹۰ درجه برابر ۰/۶۰۹۶ متر

است).

جدول (۴-۹) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۳۰۴۸ متری

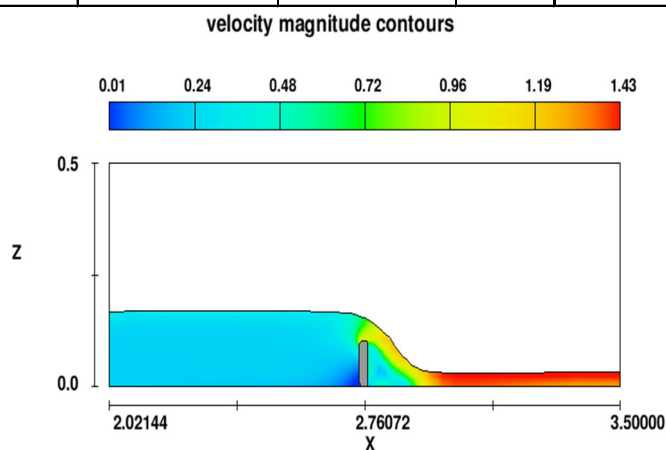
Q(M3/s)	Ht(observed)	Cd observed	Ht(m)	Cd Model
0.015011	0.055949088	0.63011	0.055772	0.633432933
0.027496	0.08375904	0.63011	0.083406	0.634433443
0.036115	0.100132896	0.63317	0.10045	0.630491433
0.063187	0.145170144	0.63461	0.144866	0.636934718

جدول (۴-۱۰) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۲۰۳۲ متری

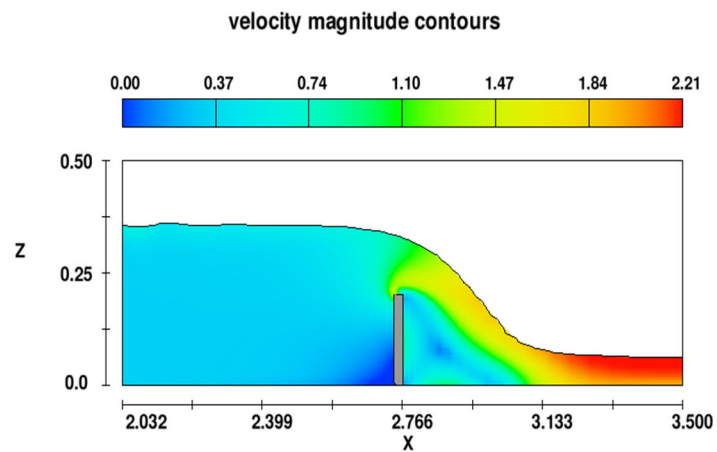
Q(M3/s)	Ht(observed)	Cd observed	Ht(m)	Cd Model
0.015357	0.056805576	0.642211	0.05592	0.645439054
0.036486	0.100989384	0.64155	0.09973	0.643878258
0.054624	0.131316984	0.64117	0.13063	0.642997809
0.082551	0.172123608	0.64218	0.17159	0.64550909

جدول (۴-۱۱) دبی ورودی و ارتفاع آب روی تاج سرریز در مدل آزمایشگاهی و عددی با ارتفاع ۰/۱۰۱۶ متری

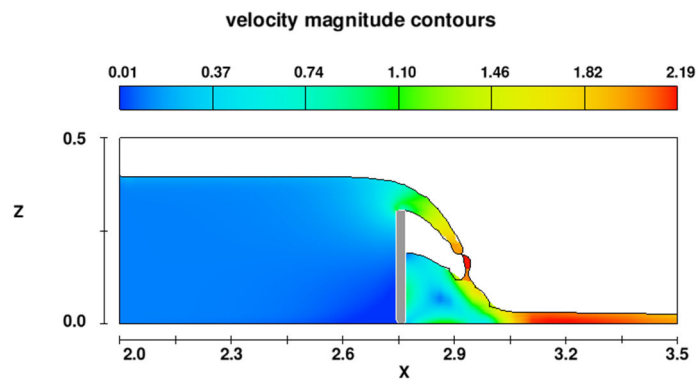
Q(M3/s)	Ht(observed)	Cd observed	Ht(m)	Cd Model
0.013594	0.050913792	0.65732	0.0508	0.659656302
0.02044	0.06693408	0.65569	0.0667	0.659025981
0.0219	0.071451728	0.6557	0.07	0.657034966
0.025709	0.077864208	0.65532	0.0779	0.657655282



شکل (۴-۲۴) جریان عبوری از سرریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۴ اینچی

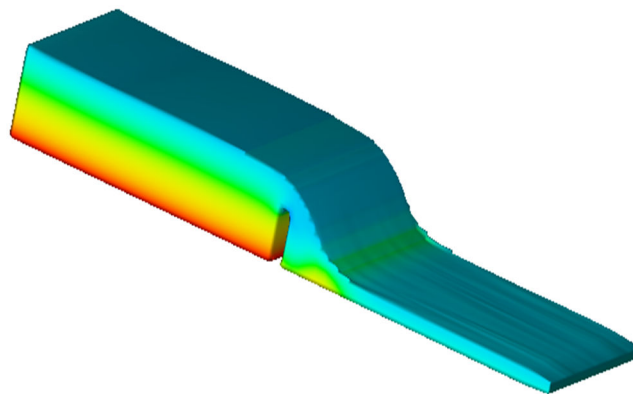


شکل (۴-۲۵) جریان عبوری از سریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۸ اینچی

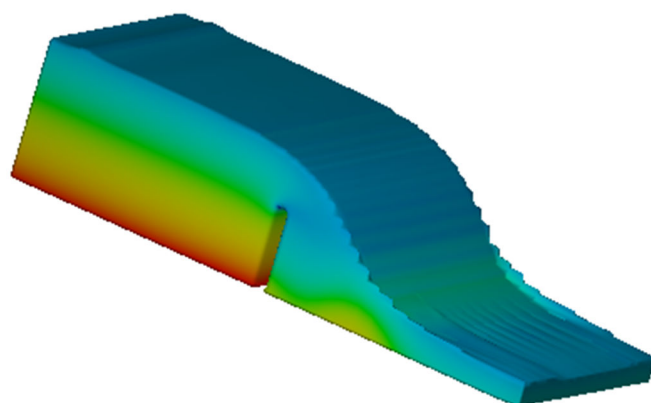


شکل (۴-۲۶) جریان عبوری از سریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی

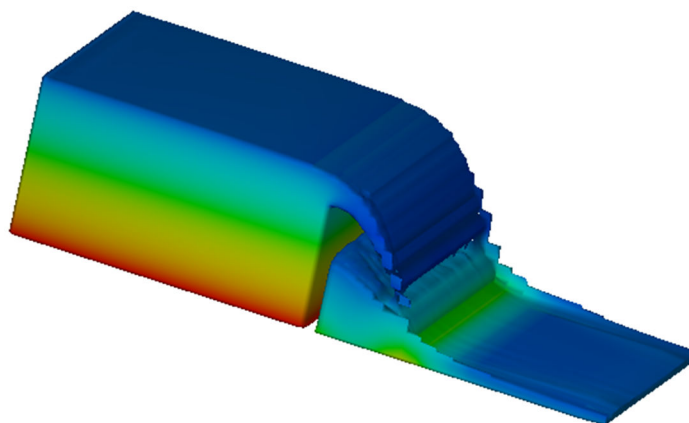
به منظور درک بهتر از نحوه عبور جریان از روی سریز، تصاویر سه‌بعدی جریان در شکل‌های ۴-۲۷ و ۴-۲۸ و ۴-۲۹ برای سه ارتفاع مختلف سریز نشان داده شده است.



شکل (۴-۲۷) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۴ اینچی

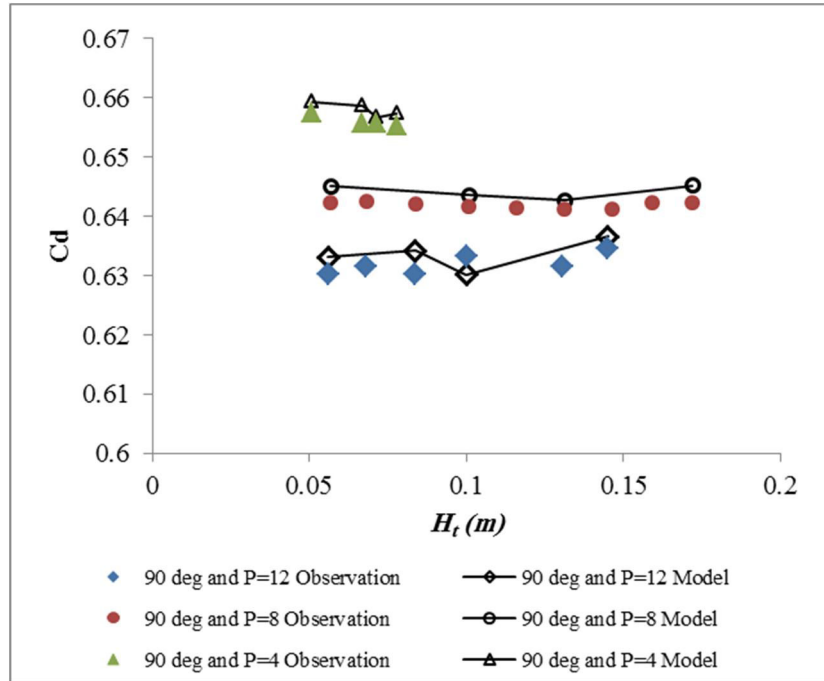


شکل (۴-۲۸) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۸ اینچی

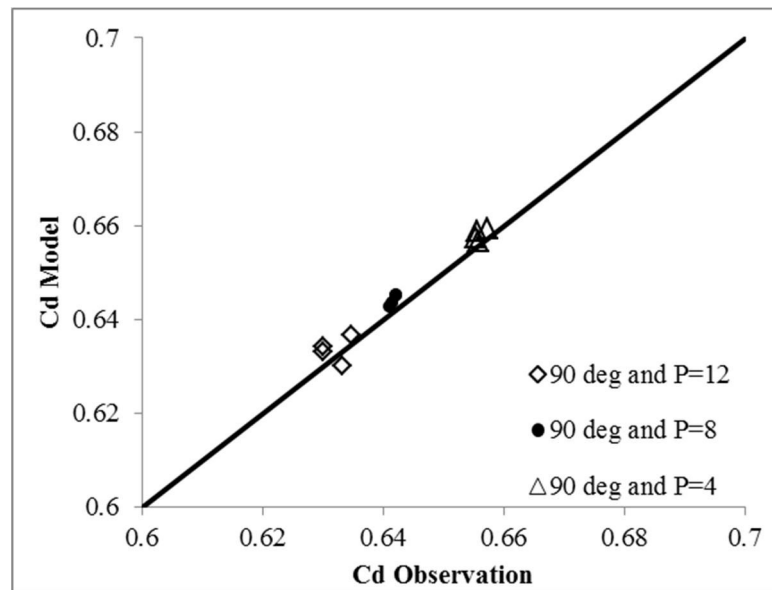


شکل (۴-۲۹) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز ۹۰ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی

نتایج بدست آمده از نمودار شکل ۴-۳۰ بیانگر دقت مناسب روش عددی مورد استفاده در شبیه‌سازی جریان عبوری روی سریز ۹۰ درجه می‌باشد. نتایج جدول (۴-۳) و شکل ۴-۳۱ خطا حداکثر ۰/۶۸ درصد را بین داده‌های آزمایشگاهی و عددی نشان می‌دهد. در سرریز نرمال (۹۰ درجه) تغییرات C_d نسبت به دبی عبوری بسیار اندک است و تقریباً مقدار ثابت می‌ماند.



شکل (۳۰-۴) مقایسه ضریب گذردهی مدل عددی و آزمایشگاهی در سریز ۹۰ درجه



شکل (۳۱-۴) مقایسه ضریب گذردهی مدل عددی و آزمایشگاهی در سریز ۹۰ درجه

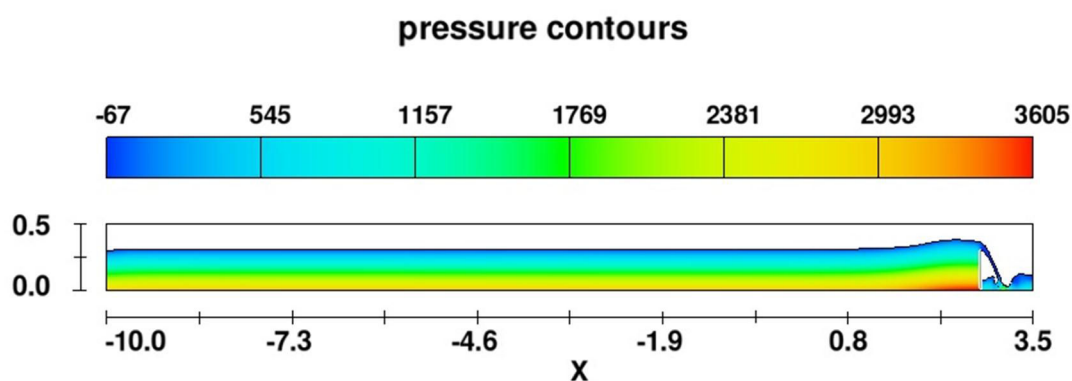
جدول (۴-۱۲) پارامترهای آماری سرریز مورب ۹۰ درجه

Type of model	RMSE	E%(max)	R
<i>P12</i>	0.003252	0.681465182	0.997633481
<i>P8</i>	0.002751	0.515730854	0.998733541
<i>P4</i>	0.00244	0.506198653	0.997847991

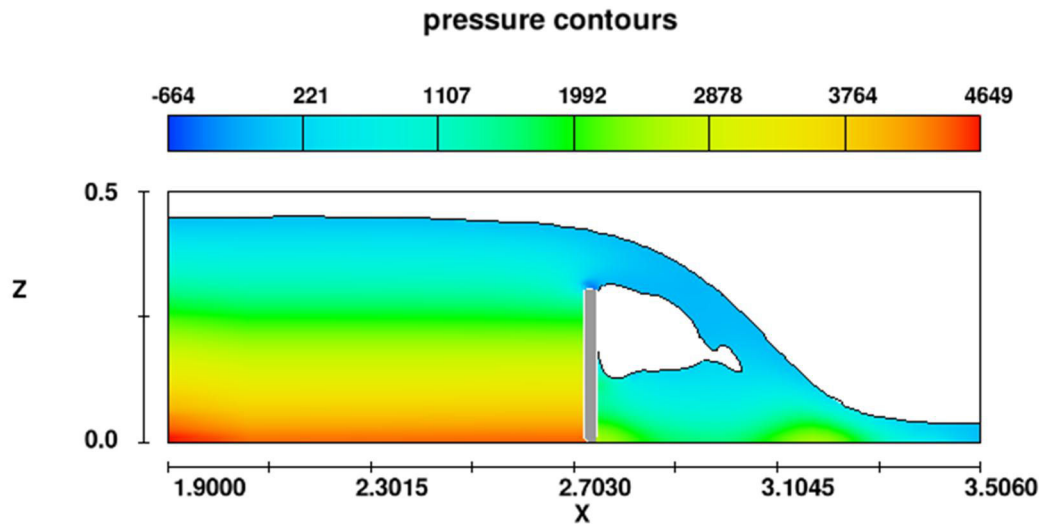
به منظور جمع‌بندی صحت سنجی‌های صورت گرفته می‌توان گفت این امکان وجود دارد که با استفاده از قابلیت مدل عددی حاضر شبیه‌سازی‌های دیگری برای سرریزها با زوایای مختلفی صورت پذیرد. تاکنون ۳۶ آنالیز مختلف برای سرریزها با دبی، ارتفاع و زاویه متفاوت صورت گرفته است.

۴-۶- صحت سنجی عملکرد سرریز مدل شده

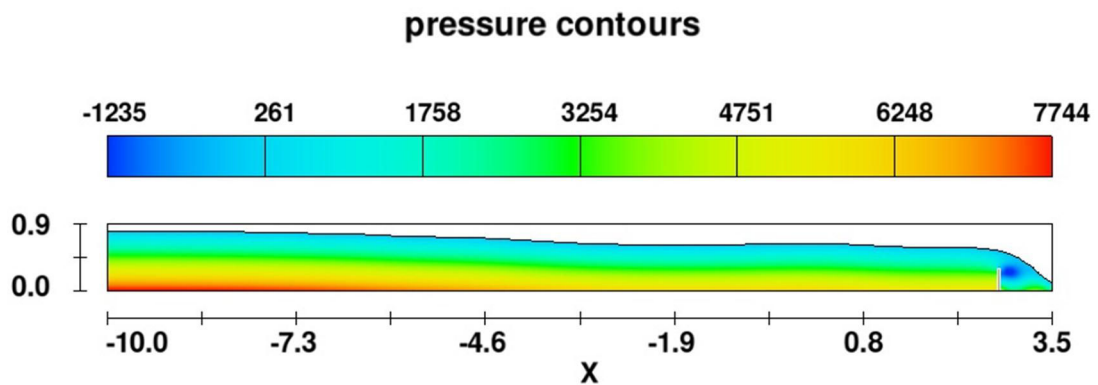
برای سنجش عملکرد مدلسازی‌های انجام شده با نرم افزار، علاوه بر مقایسه آنها با مقادیر آزمایشگاهی، در یک نمونه (سرریز ۴۵ درجه با ارتفاع ۱۲ اینچ) دبی ورودی با سه ارتفاع مختلف ۰/۲۳ و ۰/۴۶ و ۰/۷۵ مورد مدلسازی قرار گرفت. با افزایش طول کانال بالادست سرریز (۱۰ متر) و مشبندی مجدد آن، جریان توسعه یافته تشکیل شد و مقدار ارتفاع آب روی سرریزها با یکدیگر مقایسه گردید که دارای اختلاف کمی با یکدیگر بودند (اختلاف حدود ۵/۵٪). شکل‌های ۴-۳۲ تا ۴-۳۴ شرایط عبور جریان و نیمرخهای تشکیل شده در مقطع طولی جریان عبوری از روی سرریز را نشان می‌دهند.



شکل (۴-۳۲) جریان عبوری از سرریز ۴۵ درجه با ارتفاع ۰/۲۳ متر



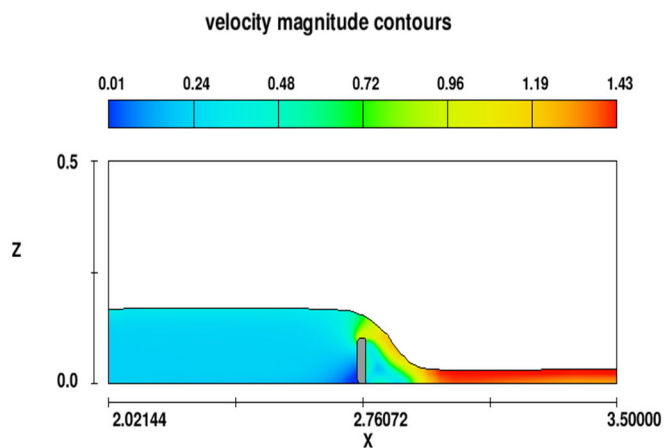
شکل (۴-۳۳) جریان عبوری از سرریز ۴۵ درجه با ارتفاع ۴۶ متر



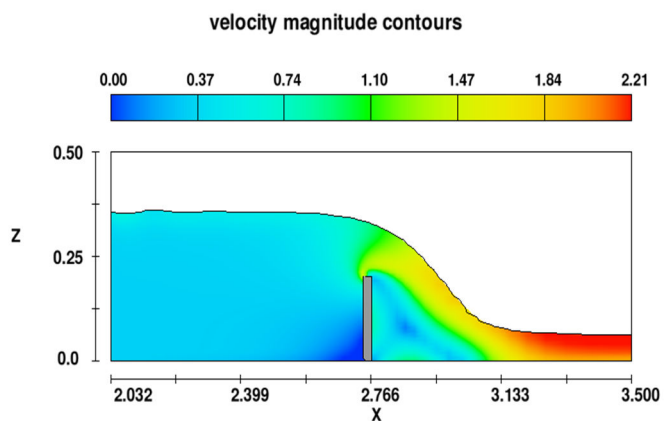
شکل (۴-۳۴) جریان عبوری از سرریز ۴۵ درجه با ارتفاع ۷۵ متر

۴-۷- شبیه سازی مدل سرریز ۷۵ درجه

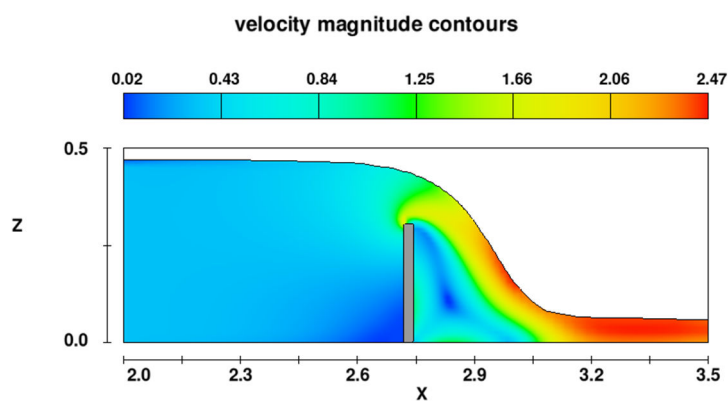
پس از انجام مراحل صحت سنجی و حصول اطمینان از مدلسازی های انجام شده در این بخش یک زاویه دیگر با سه ارتفاع (P) مختلف ۰/۱۰۱۶، ۰/۲۰۳۲ و ۰/۳۰۴۸ متری مورد شبیه سازی قرار گرفت و ضریب گذردهی (C_d) ارائه می گردد. زاویه انتخابی برای این سرریز ۷۵ درجه می باشد. برای هر یک از حالتها در ۴ دبی مختلف شبیه سازی صورت گرفته که در مجموع ۱۲ حالت مورد آنالیز قرار گرفته است. شکلهای ۴-۳۵ تا ۴-۴۰ شرایط عبور جریان و کنتورهای سرعت در مقطع طولی و همچنین تصویر سه بعدی جریان عبوری از روی سرریز را نشان می دهند.



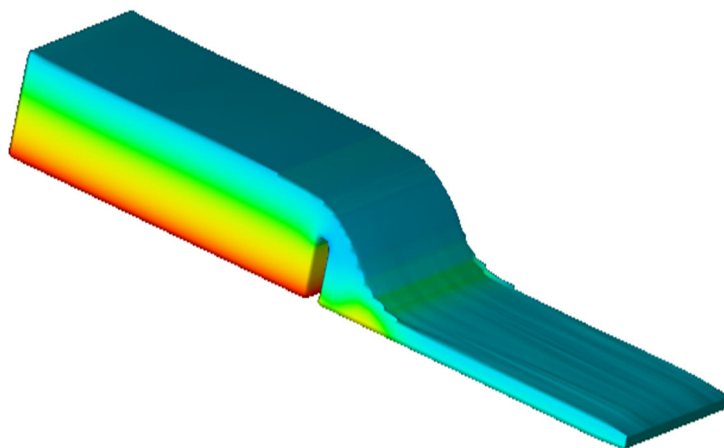
شکل (۴-۳۵) جریان عبوری از سریز مورب ۷۵ درجه در ارتفاع ۴ اینچی



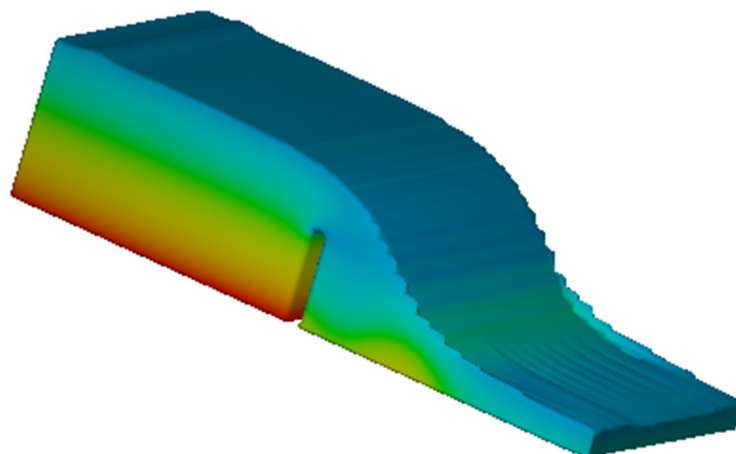
شکل (۴-۳۶) جریان عبوری از سریز مورب ۷۵ درجه در ارتفاع ۸ اینچی



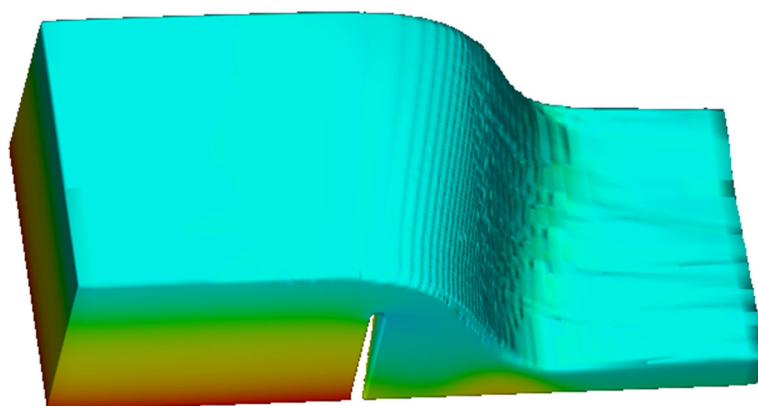
شکل (۴-۳۷) جریان عبوری از سریز مورب ۷۵ درجه در ارتفاع ۱۲ اینچی



شکل (۴-۳۸) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۷۵ درجه با ارتفاع ۴ اینچ

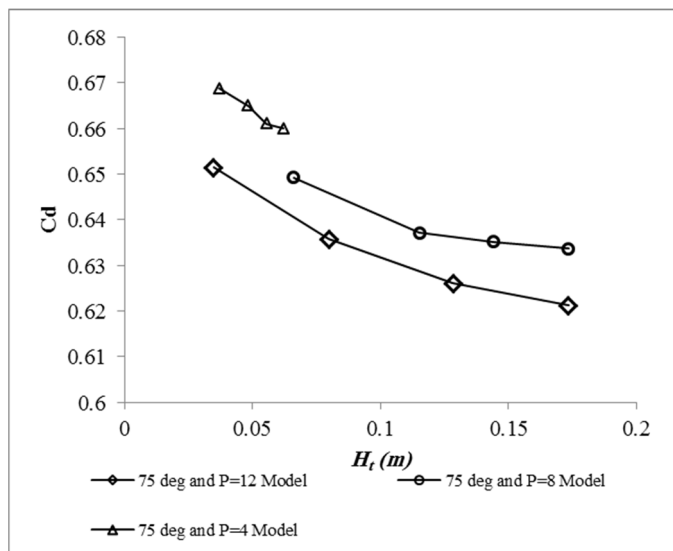


شکل (۴-۳۹) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۷۵ درجه با ارتفاع ۸ اینچ



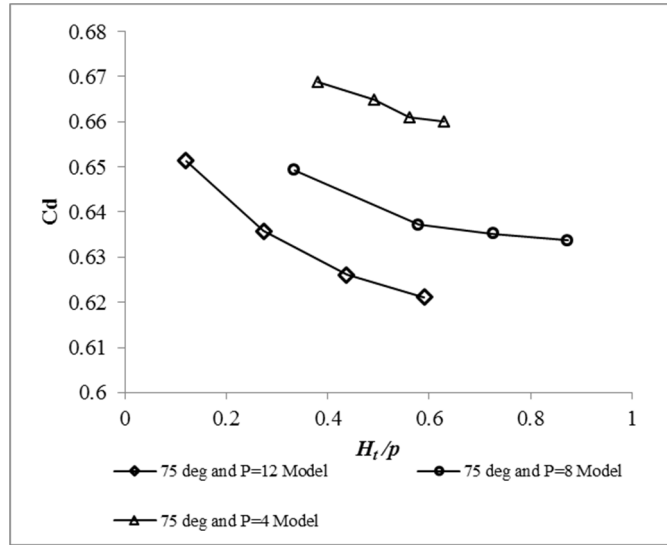
شکل (۴-۴۰) نمای سه‌بعدی جریان عبوری از سریز مورب ۷۵ درجه با ارتفاع ۱۲ اینچ

روند تغییرات ضریب گذردهی نسبت به هد آب روی سرریز در شکل ۴-۴۱ ارائه شده است. کاهش ۵ درصدی ضریب گذردهی برای این سرریز در حالتی که ارتفاع سرریز ۱۲ اینچ می‌باشد، نمایش داده شده است.



شکل (۴-۴۱) ضریب گذردهی مدل عددی در سرریز مایل ۷۵ درجه

به منظور کاربردی شدن مدلسازی انجام شده و استفاده از این داده‌ها در طراحی سرریزها، مقادیر C_d نسبت به پارامتر بی‌بعد H_t/p ارائه می‌گردد. با بی‌بعد سازی نمودار، مقادیر C_d ارائه شده برای تمامی سرریزهای با H_t/p یکسان، صادق می‌باشد و قابلیت کاربرد در محاسبات طراحی سرریز را دارد. شکل ۴-۴۲ این نمودار را نشان می‌دهد.

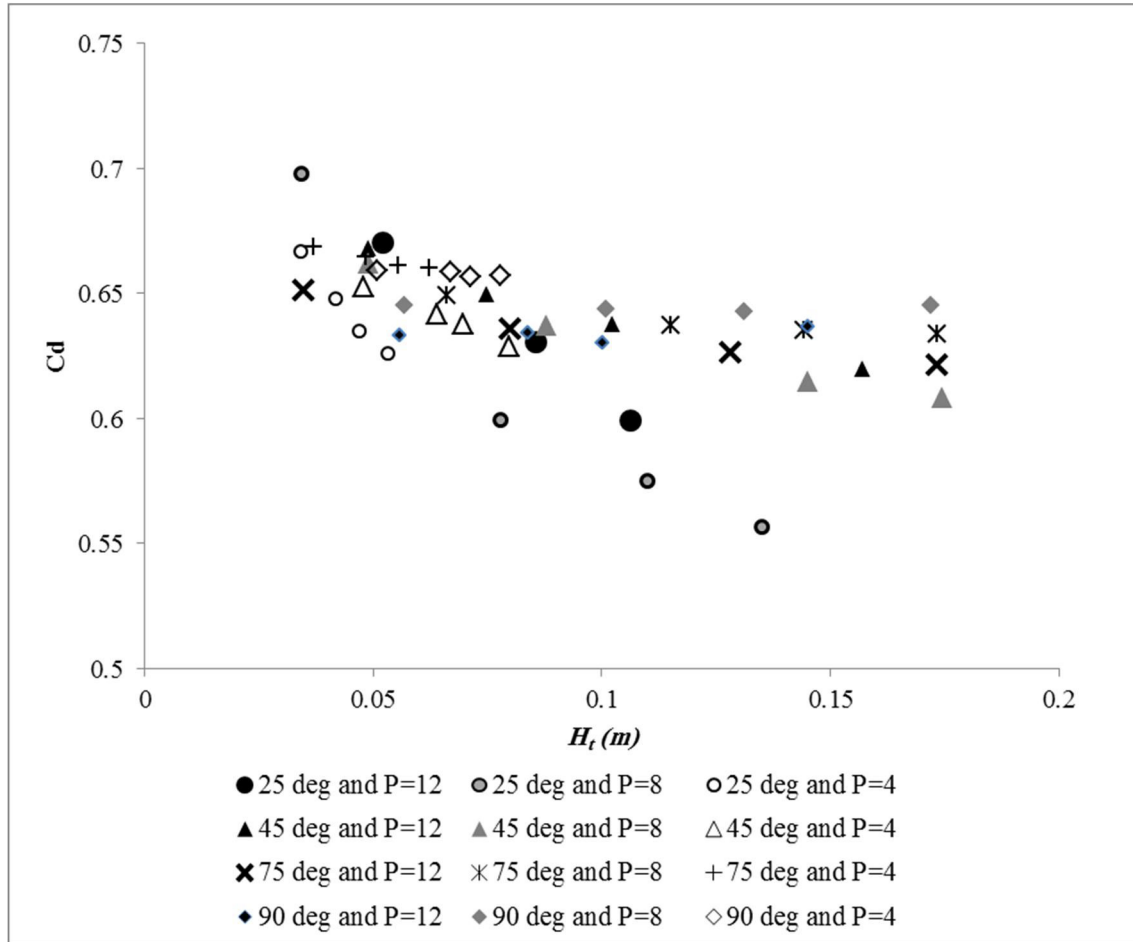


شکل (۴-۴) مقادیر C_d نسبت به پارامتر بی بعد H_t/p برای سرریز مایل ۷۵ درجه

۴-۸- مقایسه ۴۸ سرریز مدل سازی شده

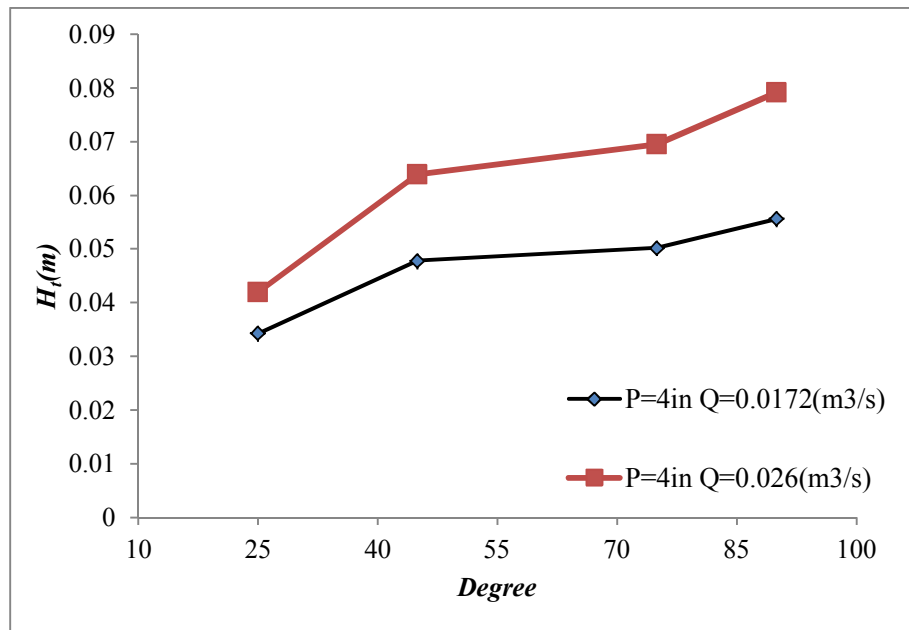
تغییرات مقدار ضریب گذردهی نسبت به هد عبوری از روی سرریز برای مدل های با زاویه ۲۵، ۴۵، ۷۵ و ۹۰ درجه در شکل ۴-۴۳ نشان داده شده است. نتایج نشان می دهند که سرریز مورب با زاویه ۲۵ درجه بیشترین حساسیت را نسبت به تغییرات هد آب روی سرریز دارد به طوری که مقدار ضریب گذردهی آن با افزایش هد آب حداکثر ۲۵ درصد کاهش می یابد.

انتخاب سرریز مناسب در هریک از این مدل ها نیازمند شناخت و آگاهی بیشتر نسبت به سایر پارامترها نیز می باشد. به طور مثال ممکن است امکان قرارگیری سازه با طول بیشتر در محل میسر نباشد. با افزایش زاویه سرریز روند تغییرات ضریب گذردهی از حالت نزولی به صورت تقریباً ثابت تغییر می نماید (برای مثال برای سرریز با زاویه ۹۰ درجه با افزایش H_t تغییرات C_d بسیار اندک است).

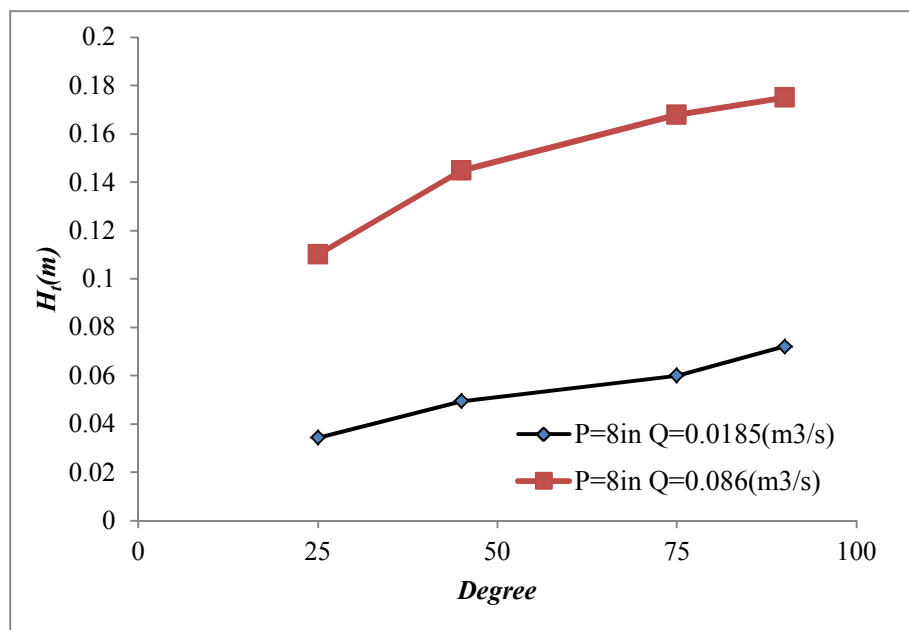


شکل (۴-۴۳) مقایسه ضریب گذردهی در ۴۸ سرریز مدل‌سازی شده

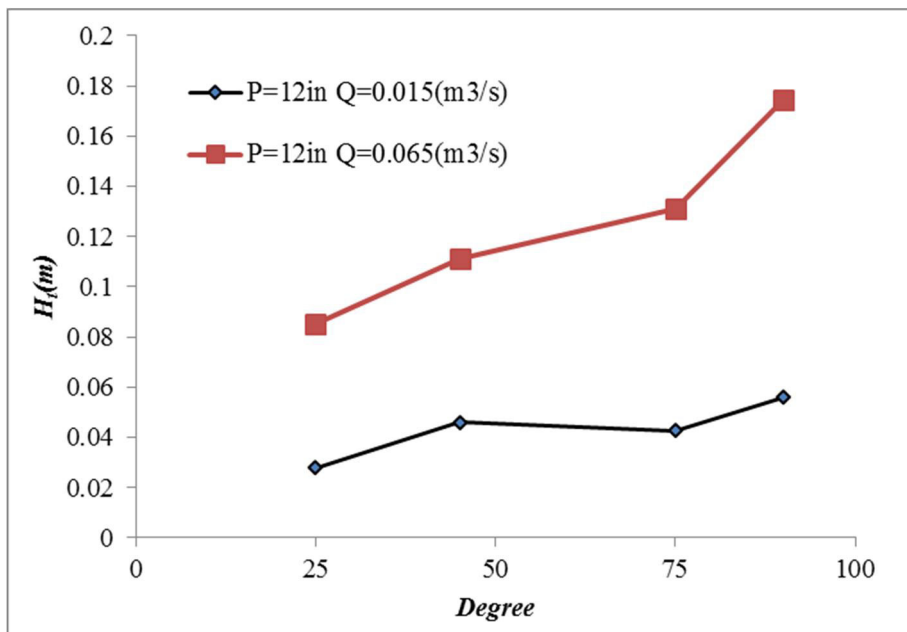
شکل‌های ۴-۴۴ و ۴-۴۵ و ۴-۴۶ کارایی هریک از سرریزها را نسبت به یک دبی مشخص برای سه ارتفاع ۰٫۴، ۰٫۸ و ۱٫۲ اینچ نشان می‌دهد. با توجه به شکل ۴-۴۱ مقدار هد برای دبی عبوری ۰٫۲۶/۰ متر مکعب در ثانیه تا ۵۰ درصد افزایش می‌یابد. در ارتفاع سرریز برابر ۰٫۳۲/۲ (۸ اینچ) حداکثر تغییرات هد آب ۳۰ درصد می‌باشد که این تغییرات برای دبی عبوری ۰٫۰۸۶/۰ متر مکعب می‌باشد (شکل ۴-۴۲). با توجه به شکل ۴-۴۳ در حالتی که ارتفاع سرریز برابر ۰٫۴۸/۳ (۱۲ اینچ) می‌باشد، حداکثر اختلاف هد آب روی سرریز بین دو زاویه ۹۰ و ۲۵ درجه برابر ۴۵ درصد است. با توجه به نتایج ارائه شده می‌توان گفت که به ازای کلیه حالت‌ها با افزایش زاویه سرریز به ازای یک دبی ثابت، ارتفاع هد آب روی سرریز افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر سرریزهای با زاویه کمتر و طول بیشتر به ازای یک دبی ثابت ارتفاع آب کمتری نیاز دارند و می‌توان با استفاده از این نوع سرریزهای مایل در کانال‌های دارای محدودیت ارتفاع آزاد، مشکلات مربوط به کمبود ارتفاع آزاد مخصوصاً برای عبور سیلاب را برطرف نمود.



شکل (۴-۴) تغییرات هد نسبت به یک دبی ثابت برای زاویه‌های مختلف در ارتفاع سریز $p=4$



شکل (۴-۵) تغییرات هد نسبت به یک دبی ثابت برای زاویه‌های مختلف در ارتفاع سریز $p=8$



شکل (۴-۴۶) تغییرات هد نسبت به یک دبی ثابت برای زاویه‌های مختلف در ارتفاع سرریز $p=12\text{in}$

فصل ۵:

نتیجه گیری و پیشنهادات

۵-۱- مقدمه

امروزه با ظهور تکنیک‌های جدید منتج از روش‌های عددی و کاربرد کامپیوتر در علوم آب، بدون صرف هزینه‌های هنگفت آزمایشگاهی می‌توان به بررسی اثر پارامترهای مختلف در عملکرد سازه‌های هیدرولیکی و ارائه راهکارهای جدید پرداخت. در این تحقیق، توانایی مدل عددی سه‌بعدی احجام محدود سرریز مایل مورد بررسی قرار گرفت. مشاهده شد که با استفاده از مدلسازی مناسب می‌توان به جواب‌های با دقت بسیار بالادست یافت.

۵-۲- نتیجه گیری

در پایان می‌توان گفت:

- با کاهش α طول سرریز افزایش پیدا کرده و در نتیجه ظرفیت دبی عبوری نیز افزایش می‌یابد و ارتفاع آزاد بیشتری برای عبور سیلاب باقی می‌ماند زیرا H به سرعت افزایش نمی‌یابد و همچنین با افزایش α و نزدیک شدن سرریز مایل به سرریز نرمال C_d افزایش می‌یابد.
- با وجود اینکه با کاهش α مقدار ضریب گذردهی کاهش می‌یابد اما به دلیل اینکه طول بیشتری از سرریز برای عبور جریان وجود دارد، در یک ارتفاع ثابت آب بالادست، سرریز با زاویه کمتر جریان بیشتری را از خود عبور می‌دهد.
- با مقایسه مدل‌های مختلف آشفتگی مشاهده شد در دو مدل $k-e$ و $k-w$ آشفتگی و نوسان در سطح آب ایجاد شده حال آنکه در مدل RNG پروفیل سطح آب شرایط مناسب‌تری دارد و برای این مدلسازی گزینه مناسب‌تری می‌باشد.
- در سرریز ۲۵ درجه با افزایش ارتفاع سرریز مقدار ضریب گذردهی افزایش می‌یابد. به‌طور کلی در این سرریز تغییرات دبی ورودی تأثیر شدیدی در تغییرات ضریب گذردهی ایفا می‌کند. در مدل سرریز ۲۵ درجه با ارتفاع ۰/۳۰۴۸ متر (۱۲ اینچ)، با افزایش هد روی سرریز مقدار ضریب گذردهی ۲۵ درصد کاهش می‌یابد.
- در سرریز با زاویه ۴۵ درجه با افزایش ارتفاع سرریز جریان ریزشی تشکیل شده است

- و مقدار ضریب گذردهی با افزایش هد روی سرریز از ۴ تا ۷ درصد کاهش می‌یابد
- در سرریز نرمال (۹۰ درجه) تغییرات C_d نسبت به دبی عبوری بسیار اندک است و تقریباً مقدار ثابت می‌ماند.
 - به ازای کلیه حالت‌ها با افزایش زاویه سرریز به ازای یک دبی ثابت، ارتفاع هد آب روی سرریز افزایش می‌یابد؛ به عبارت دیگر سرریزهای با زاویه کمتر و طول بیشتر به ازای یک دبی ثابت ارتفاع آب کمتری نیاز دارند و می‌توان با استفاده از این نوع سرریزهای مایل در کانالهای دارای محدودیت ارتفاع آزاد، مشکلات مربوط به کمبود ارتفاع آزاد مخصوصاً برای عبور سیلاب را برطرف نمود.

۳-۵- پیشنهادات پژوهشی

در این پروژه مدلسازی عددی بر روی سرریز مایل با شکل تاج لبه‌تیز صورت پذیرفته است؛ با توجه به تأثیرات شکل هندسی سرریز، در پژوهش‌های آینده می‌توان مدل‌های آزمایشگاهی با شکلهای مختلف که دارای طول بیشتر نسبت به عرض کانال دارند به طور مثال قوسی شکل انجام شود و مقادیر ضریب گذردهی را برای آنها ارائه نمود؛ همچنین با توجه به تأثیر وجود تیغه‌های راهنما در بالادست سرریز می‌توان پژوهش‌های آزمایشگاهی و عددی در این زمینه انجام داد.

مراجع

- F. M. Henderson, *Open Channel Flow*. New York: Macmillan, 1966. [1]
- O. . Aichel, "Discharge Ratios for Oblique Weirs," *Z.VDI*, 95(1), pp. 26–27, 1953. [2]
- M. . Borghei, S.M., Vatannia Z., Ghodsian, and M., Jalili, "Oblique Rectangular Sharp-Crested Weir," *Water Marit. Eng.* 156, pp. 185–191, 2003. [3]
- and N. Borghei, S.M., Kabiri-Samani, A.R., "Oblique Weir Equation Using Incomplete Self-Similarity," *Can. J. Civ. Eng.* 33, pp. 1241–1250, 2006. [4]
- T. A. . Noori, B.M.A., and Chilmeran, "Characteristics of Flow over Normal and Oblique Weirs with Semicircular Crests," *Al_Rafidain Eng.* 13(1), pp. 49–61, 2005. [5]
- A. R. Kabiri-Samani, "Analytical approach for flow over an oblique weir," *Sci. Iran.*, vol. 17, no. 2 A, pp. 107–117, 2010. [6]
- S. E. Tingey, "Discharge coefficients of oblique weirs," 2011. [7]
- N. B. A. Tuyen, "Influences of the oblique obstacles to the flow," pp. 80–85, 2007. [8]
- M. I. Yuce, A. A. H. Al-Babely, and M. A. Al-Dabbagh, "Flow simulation over oblique cylindrical weirs," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 42, no. 6, pp. 389–407, 2015. [9]
- E. Abdul and G. Al, "Behavior of the Discharge Coefficient for the Overflow Characteristics of Oblique Circular Weirs," vol. 19, no. 4, 2012. [10]
- J. . Chanson, H., and Montes, "Overflow characteristics of circular weirs: effects of inflow conditions," *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE*, 1998. [11]
- B. Naghavi, K. Esmaili, J. Yazdi, and F. K. Vahid, "An experimental and numerical study on hydraulic characteristics and theoretical equations of circular weirs," *Can. J. Civ. Eng.*, vol. 38, no. 12, pp. 1327–1334, 2011. [12]
- E. J. Sarginson, "The influence of surface tension on weir flow," *Hydraul. Res.* 10(4) 431–446, 1972. [13]
- P. D. Ranga Raju, K.G., Srivastava, R., and Porey, "Scale effects in modelling flows over broadcrested weirs," *Irrig. Power*, 47(3) 101–106., 1990. [14]
- F. Chaghabagi, "Effect of Crest Roughness on Flow Characteristics over Circular Weirs," vol. 46, no. December, pp. 199–207, 2013. [15]
- E. Heidarpour, M., Afzalimehr, H., and Khorami, "Application of stream flow around a circular cylinder to circular-crested weir flow," *Sci. Technol. Agric. Nat. Resour.*, 2008. [16]
- W. H. R.munson, F.Young, H.okiishi, *fundamentals of fluid mechanics*, 6th ed. john Wiley & Sons, 2006. [17]
- D. C. Wilcox, *turbulence modeling for cfd*. 2006. [18]

Abstract:

In canal applications where diversion is required but the freeboard, the distance between the water level and where flooding would occur, is limited, a normal linear weir may not have the capacity to pass the required flood discharge with the limited freeboard available. Increasing weir length is one way to increase discharge capacity without raising the total upstream head. In this thesis flow over oblique weirs in one rectangular channel are studied and three-dimensional numerical modeling has been done by FLOW-3D software has been done. Then according to study of other researchers and published experimental results, validity of numerical model is evaluated. After validation of numerical model and comparing numerical results with physical model results, it was observed that present model is acceptable and with changing various parameters in three dimensional model can examine the effect of input flow, height of weirs and angle of the weirs of discharge coefficients.

Keywords: oblique weir, three-dimensional numerical modeling, FLOW-3D



**A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirement for the
Degree of Master of Science in Civil Engineering**

Three-dimensional modeling of flow from oblique weirs

By: Mohammad Reza Sarvghad Moghaddam

**Supervisor:
Dr. Ramin Amini**

September 2016