

## بررسی الگوی جریان روی سرریزهای جانبی تاج‌دایره‌ای

الهام ایزدی‌نیا<sup>۱</sup>، منوچهر حیدرپور<sup>۱\*</sup> و عبدالرضا کبیری سامانی<sup>۲</sup>

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۷/۱/۲۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۷/۱۰/۲۹)

### چکیده

در این تحقیق با استفاده از اندازه‌گیری ناحیه جدایی جریان، نیمرخ سطح آب و پروفیل سرعت در مدل سرریز جانبی تاج‌دایره‌ای، خصوصیات جریان روی این سازه‌ها بررسی شده است. با استفاده از آنالیز ابعادی، تحلیل آماری و ایجاد رگرسیون، معادله‌ای برای ناحیه جدایی جریان پیشنهاد شده است. نتایج نشان داد که طول ناحیه جدایی جریان به عواملی چون نسبت عمق آب در بالادست به پایین دست سرریز، عرض کانال به عمق آب در پایین دست و عدد فرود در بالادست سرریز بستگی دارد. از بررسی نیمرخ‌های طولی و عرضی سطح آب در محل سرریز جانبی مشخص گردید که نیمرخ سطح آب در مجاورت سرریز دارای تغییرات شدید بوده که علت آن وجود ناحیه جدایی جریان می‌باشد. بنابراین مناسب‌ترین محل برای اندازه‌گیری مشخصات جریان در راستای محور کانال پیشنهاد می‌گردد. همچنین با بررسی پروفیل‌های سرعت مشخص شد که سرعت بیشینه در سرریز جانبی تاج‌دایره‌ای در زیر سطح آب اتفاق می‌افتد که علت آن وجود جریان‌های ثانویه روی سرریز می‌باشد. با فاصله گرفتن از سرریز جانبی در جهت طولی و عرضی کانال از تأثیر جریان‌های ثانویه کاسته شده و پروفیل‌های سرعت یکنواخت‌تری حاصل می‌گردد.

واژه‌های کلیدی: سرریز جانبی تاج‌دایره‌ای، جدایی جریان، پروفیل سطح آب، پروفیل سرعت، جریان متغیر مکانی

### مقدمه

جریان، افزایش یا کاهش می‌یابد (۶). تئوری جریان‌های متغیر مکانی با کاهش دبی، اولین بار در طراحی سرریزهای جانبی مطرح شد. اولین آزمایش‌ها روی این سرریزها در سال ۱۹۱۷ توسط انگلس و سپس توسط اسمیت و کلمن در سال ۱۹۳۰ انجام گرفت. نتایج حاصل از این آزمایش‌ها با یکدیگر تطابق نداشت. در آزمایش‌های اول، پروفیل جریان افزایشی و در آزمایش‌های دوم این پروفیل، کاهش‌ی گزارش شده است. به دنبال مطالعات دقیق فورشمایر در سال ۱۹۳۰ یک روش تحلیلی با فرض موازی بودن خط انرژی با تاج سرریز و کف کانال و همچنین فرض خطی بودن پروفیل جریان برای سرریزهای

سرریزهای جانبی از انواع سازه‌های هیدرولیکی می‌باشند که در دیواره کانال اصلی احداث شده و هنگامی که سطح آب در کانال بالاتر از تاج سرریز قرار می‌گیرد قسمتی از جریان توسط آن به خارج از کانال هدایت می‌گردد. این سازه دارای کاربرد وسیعی در سیستم‌های فاضلاب شهری، آبرسانی و آبیاری، کنترل دبی، انحراف سیلاب و دبی مازاد رودخانه‌ها و کانال‌ها می‌باشد. جریان عبوری از یک سرریز جانبی از نوع جریان‌های متغیر مکانی می‌باشد. جریان متغیر مکانی به حالتی از جریان دائمی گفته می‌شود که شدت جریان در طول کانال و در جهت

۱. به ترتیب دانشجوی سابق دکتری و دانشیار مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. استادیار گروه آب، دانشکده مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان

\*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: heidar@cc.iut.ac.ir

جانبی لبه‌تیز ارائه شد. دیمارچی برای اولین بار در سال ۱۹۳۴ معادله دینامیکی جریان متغیر مکانی با کاهش دبی را با فرض ثابت بودن انرژی در طول سرریز، برای کانال‌های افقی مستطیلی زمانی که بتوان از اصطکاک آن صرف نظر کرد حل نمود (۱۰).

آکرز در سال ۱۹۵۷ مقدار ضریب شدت جریان سرریز جانبی را در حالتی که مقدار عمق جریان در راستای محور نزدیک به دیواره بیرونی اندازه‌گیری شود برابر  $0/625$  و در حالتی که اندازه‌گیری در مجاورت سرریز انجام گیرد  $0/725$  پیشنهاد نمود (به نقل از ۱۷). سابرامانیا و اوستی مطالعاتی را روی سرریزهای جانبی لبه‌تیز مستطیلی انجام دادند. آنها نشان دادند افت جریان در اثر وجود سرریز جانبی در ابتدای سرریز ناچیز می‌باشد. هم‌چنین با اندازه‌گیری پروفیل‌های سرعت نشان دادند سرریز جانبی مستطیلی تأثیر قابل ملاحظه‌ای در توزیع سرعت در مجاورت سرریز خواهد داشت (۱۷).

راجو و همکاران ضریب دبی سرریزهای جانبی لبه‌تیز و لبه پهن مستطیلی را در شرایط جریان زیربحرانی مورد مطالعه قرار داده و نشان دادند که ضریب دبی در سرریزهای لبه پهن علاوه بر عدد فرود، به نسبت ارتفاع آب بالادست به پهنای سرریز نیز بستگی دارد (۱۶). هاگر سرریزهای جانبی را با سرریزهایی که در جهت جریان قرار می‌گیرند با ثابت بودن شرایط، مورد مقایسه قرار داد و مشاهده نمود که میزان انرژی مخصوص در سرریزهای جانبی بیشتر از سرریزهای معمولی است و عمق جریان در سرریزهای جانبی تقریباً برابر با میزان انرژی مخصوص در سرریزهای معمولی خواهد بود (۱۱). آگاسیوگلو و یوکسل مطالعاتی را روی خصوصیات هیدرولیکی سرریزهای جانبی لبه‌تیز مستطیلی در کانال‌های قوس‌دار با قوس  $180^\circ$  درجه انجام دادند (۷). برقی و همکاران تأثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی کانال و شکل سرریز را بر ضریب دبی در جریان زیر بحرانی برای سرریزهای جانبی لبه‌تیز مورد مطالعه قرار دادند (۸). ماسولا مدلی را بر اساس برازش منحنی‌ها برای به دست آوردن پارامترهای هیدرولیکی سرریزهای جانبی ارائه

کرد (۱۳). اویماز و ماسولا مطالعات آزمایشگاهی و تئوری را براساس فرض ثابت بودن انرژی در طول سرریز روی سرریزهای جانبی لبه‌تیز مستطیلی در مقاطع دایره‌ای انجام دادند. هم‌چنین راه حلی را براساس روش تفاضل محدود برای معادله دینامیکی جریان متغیر مکانی در مقاطع دایره‌ای ارائه کردند (۱۸). هاگر به بررسی خصوصیات هیدرولیکی جریان روی سرریزهای جانبی مستطیلی در مقاطع دایره‌ای در شرایط جریان فوق بحرانی پرداخت و معادله دینامیکی جریان در این مقاطع را ارائه نمود (۱۲). اولیوتو و همکاران خصوصیات جریان از روی سرریزهای جانبی را در شرایطی که جریان روی سرریز فوق بحرانی و بالادست سرریز زیر بحرانی باشد را در مقاطع دایره‌ای مورد مطالعه قرار دادند و با استفاده از معادله برنولی معادلاتی را برای سرعت جریان خروجی از سرریز جانبی به دست آوردند که نتایج این معادله با اندازه‌گیری‌های آزمایشگاهی تطابق خوبی را نشان می‌داد (۱۴).

اونن و آگاسیوگلو بررسی‌های آزمایشگاهی را روی عمق تعادل آبستنگی موضعی در اطراف سرریزهای جانبی ارائه دادند. آنها نشان دادند به علت کاهش سرعت و تنش برشی، ناحیه سکونی در نزدیکی ساحل داخلی و ناحیه جدایی جریان، در بالادست سرریز تشکیل می‌گردد (۱۵).

برقی و کبیری با استفاده از داده‌های اندازه‌گیری شده در مدل آزمایشگاهی سرریز جانبی با استفاده از روش تشابه ناقص و بهره‌گیری از نرم افزار SPSS، به ارائه روابط بهینه برای تعیین ضریب دبی و در نتیجه دبی عبوری از سرریز جانبی پرداختند (۴). آقایاری و همکاران تأثیر ارتفاع و پهنای تاج سرریز جانبی لبه‌پهن مستطیلی را بر ضریب دبی در جریان زیر بحرانی و کانال‌های منشوری مستطیلی مورد بررسی قرار دادند (۱). بزرگیان و یزدان‌دوست ممتوم جریان جانبی را در معادله دینامیکی جریان متغیر مکانی در نظر گرفته و نشان دادند در این حالت پروفیل سطح آب محاسباتی با اندازه‌گیری شده روی سرریز جانبی اوجی در کانالی با هندسه غیر منشوری و مقطع دوزنقه‌ای تطابق خوبی را دارد (۵).

هم‌چنین پروفیل‌های سرعت در راستای سه محور اندازه‌گیری شد و نحوه تغییرات آن در حضور سرریز جانبی تاج دایره‌ای مورد بررسی و با نتایج دیگران مقایسه خواهد شد.

### مواد و روش‌ها

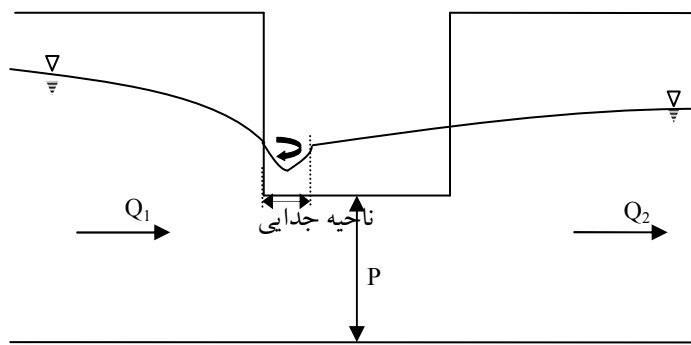
آزمایشات این تحقیق در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه صنعتی اصفهان در یک فلوم آزمایشگاهی به طول ۸، عرض ۰/۴ و ارتفاع ۰/۶ متر از جنس پلکسی گلاس شفاف به ضخامت ۲ سانتی‌متر انجام گرفت. این کانال توسط پمپی با حداکثر دبی ۵۰ lit/s تغذیه می‌شد. تنظیم دبی خروجی از موتور پمپ توسط شیر تنظیم تعبیه شده در قبل از دهانه ورودی کانال صورت می‌گرفت. کانال دارای دو مخزن انتهایی و جانبی هر یک به حجم ۲/۵ متر مکعب بود. این دو مخزن از طریق لوله به یکدیگر متصل شده در نتیجه سطح آب در هر دو مخزن در یک ارتفاع، ثابت می‌ماند. آب در سیکل بسته مطابقت شکل (۳-الف) از مخزن انتهایی کانال به مخزن آرام‌کننده ابتدای کانال پمپاژ شده و در آنجا با عبور از یک صافی آرام‌کننده وارد کانال می‌شد. مقداری از جریان توسط سرریز جانبی منحرف گشته و به مخزن جانبی کانال می‌ریخت، دبی باقی‌مانده در کانال به مخزن انتهایی انتقال می‌یافت.

با توجه به پروفیل‌های سرعت به دست آمده در طول کانال، مشخص گردید که جریان در فاصله ۳/۵ متری از ابتدای کانال توسعه یافته در نتیجه سرریز جانبی در فاصله ۴/۵ متری از ابتدای کانال نصب گردید. اندازه‌گیری دبی جریان قبل از سرریز جانبی (Q1) با استفاده از دبی‌سنج واسنجی شده در فاصله بین شیر تنظیم و مخزن بالادست صورت می‌گرفت. در انتهای کانال دریچه کشویی قرار داشت که سطح آب را در کانال تنظیم کرده هم‌چنین برای اندازه‌گیری دبی جریان پس از سرریز جانبی (Q2) از آن استفاده می‌شد. از تفاضل دبی جریان قبل از سرریز جانبی و پس از آن (Q1-Q2) دبی سرریز جانبی (Qs) به دست آمد. اندازه‌گیری تراز سطح آب توسط عمق‌سنج متحرک نصب شده روی کانال با دقت اندازه‌گیری ۰/۱ میلی‌متر صورت

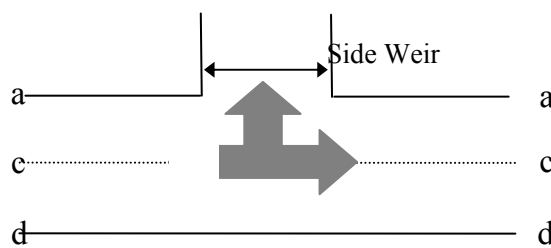
همان‌طور که مشخص است تاکنون مطالعات زیادی در ارتباط با سرریزهای جانبی لبه‌تیز صورت گرفته است اما انواع دیگر سرریزهای جانبی کمتر مورد توجه بوده است. در مطالعه حاضر خصوصیات جریان روی سرریزهای جانبی تاج دایره‌ای که در گروه سرریزهای تاج کوتاه رار دارند مورد بررسی قرار می‌گیرد. تفاوت سرریزهای تاج کوتاه با دیگر انواع سرریزها در آن است که از انحنای خطوط جریان روی تاج نمی‌توان صرف‌نظر نمود، بنابراین خصوصیات جریان تحت تأثیر انحنای خطوط جریان روی تاج قرار خواهد گرفت (۹).

در طی انجام آزمایشات در گوشه بالادست سرریز ناحیه جدایی جریان دیده می‌شد. نقطه جدایی (S) نقطه‌ای است که در آن گرادیان سرعت مساوی صفر می‌باشد، پس از نقطه S توزیع فشار روی سطح جسم به‌طور کامل تغییر می‌کند، به نحوی که این تغییر موجب ایجاد یک نیروی بزرگ و نامتعادل در مقابل حرکت سیال می‌گردد (۲). جدایی جریان باعث کاهش طول مؤثر سرریز و در نتیجه کاهش میزان دبی عبوری از روی سرریز می‌گردد. در صورتی که ناحیه جدایی جریان نادیده گرفته شود باعث تخمین بیشتر دبی عبوری از سرریز جانبی شده و این امر سبب افزایش هزینه‌ها در طراحی سازه‌های پایین‌دست سرریز می‌گردد. تاکنون مطالعات دقیقی روی ناحیه جدایی جریان صورت نگرفته است. در مطالعه حاضر با استفاده از آنالیز ابعادی و تحلیل آماری روی داده‌ها و انجام رگرسیون، معادله‌ای برای ناحیه جدایی جریان پیشنهاد می‌گردد. ناحیه جدایی جریان باعث تغییرات خصوصیات جریان در مجاورت سرریز جانبی می‌گردد. شکل (۱) ناحیه جدایی جریان را در مجاورت سرریز نشان می‌دهد.

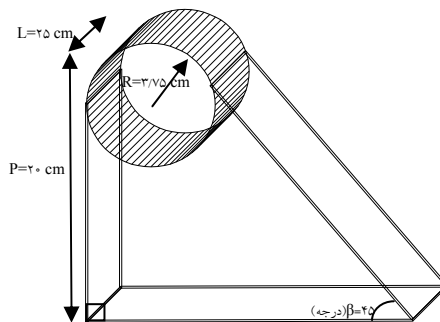
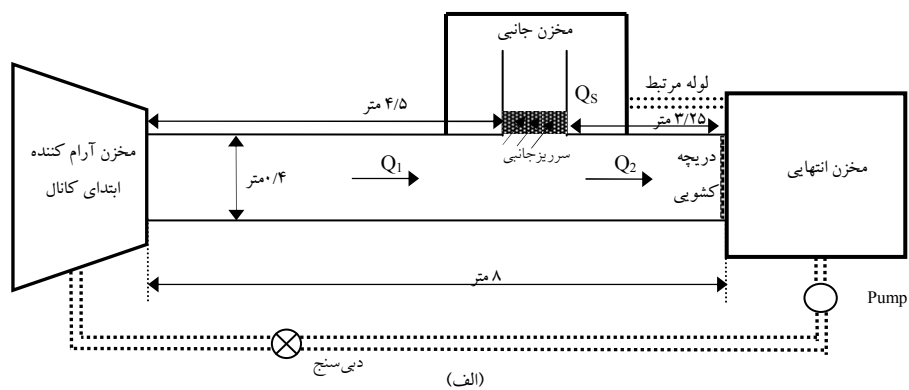
از متغیرهای مهم در طراحی سرریزهای جانبی مشخص نمودن عمق جریان قبل و بعد از سرریز می‌باشد. با توجه به شکل (۲) در عمل می‌توان اندازه‌گیری‌ها را در راستای سه محور aa، cc و dd انجام داد. در مطالعه حاضر با بررسی نیمرخ‌های طولی و عرضی سطح آب محور مناسب برای اندازه‌گیری عمق جریان مشخص گردید.



شکل ۱. ناحیه جدایی جریان در مجاورت سرریز



شکل ۲. محورهای اندازه‌گیری جریان



شکل ۳. الف) پلان مجموعه دستگاه آزمایش، ب) سرریز جانبی تاج دایره‌ای

نوشت:

$$f(S, Y_1, Y_2, Q_1, Q_2, P, R, L, V_1, V_2, \delta, \mu, \rho, g) = 0 \quad [1]$$

که در آن S طول ناحیه جدایی جریان، Y1 و Y2 به ترتیب عمق آب در بالادست و پایین دست سرریز، Q1 و Q2 به ترتیب دبی جریان در بالادست و پایین دست سرریز، P ارتفاع سرریز، R شعاع تاج سرریز، L طول سرریز، V1 و V2 به ترتیب سرعت جریان در بالادست و پایین دست سرریز،  $\delta$ ،  $\rho$  و  $\mu$  به ترتیب کشش سطحی، جرم مخصوص و لزجت دینامیکی سیال و g شتاب ثقل می‌باشد. در رابطه فوق ۱۴ متغیر با سه کمیت اصلی (طول، جرم، زمان) وجود دارد. از این رو طبق تئوری باکینگهام ۱۱ پارامتر بدون بعد مستقل به صورت ذیل حاصل می‌گردد.

$$\frac{S}{Y_1} = f\left(\frac{Y_2}{Y_1}, \frac{B}{Y_1}, \frac{L}{Y_1}, \frac{P}{Y_1}, \frac{V_1}{V_1}, \frac{R}{Y_1}, Fr_1, Re, We\right) \quad [2]$$

به عنوان نمونه محاسبات مربوط به پارامتر B/Y1 در ذیل آورده شده است.

$$\pi_r = Y_1^a V_1^b \rho^c Q_1 = (L)^a (LT^{-1})^b (ML^{-2})^c (L^2 T^{-1}) = M^c L^{a+b} T^{-b+c} \Rightarrow a = -2, b = -1, c = 0 \quad [3]$$

$$\pi = Y_1^{-2} V_1^{-1} \rho^0 Q_1 = \frac{Q_1}{V_1 Y_1^2} = \frac{A_1}{Y_1^2} = \frac{B}{Y_1}$$

که در آن Fr1 عدد فرود در ابتدای سرریز، Re عدد رینولدز، We عدد وبر، A سطح مقطع جریان و B عرض کانال می‌باشد. عدد رینولدز در رابطه (۲) معرف اثر لزجت و عدد وبر معرف اثر کشش سطحی می‌باشند. از آنجا که تیغه آب روی مدل از ضخامت کافی برخوردار بود (حداقل ارتفاع آب روی سرریز ۴ سانتی‌متر در نظر گرفته شد) و هم‌چنین جریان روی سرریز آشفتگی می‌باشد ( $6500 < Re < 12000$ ) بنابراین می‌توان از اثرات لزجت و کشش سطحی صرف نظر نمود.

با استفاده از نرم‌افزار SPSS تحلیل آماری روی داده‌ها صورت گرفت و مشخص گردید تأثیر متغیرهای  $\frac{B}{Y_1}, \frac{L}{Y_1}, \frac{P}{Y_1}, \frac{V_1}{V_1}, \frac{R}{Y_1}$  نیز روی ناحیه جدایی ناچیز می‌باشد. در نهایت با ایجاد رگرسیون خطی برای بخشی از داده‌ها رابطه (۴) با ضریب هم‌بستگی  $R^2 = 0.932$  و خطای تخمین استاندارد  $SEE = 0.0557$  در سطح ۹۵ درصد اطمینان به دست آمد. در

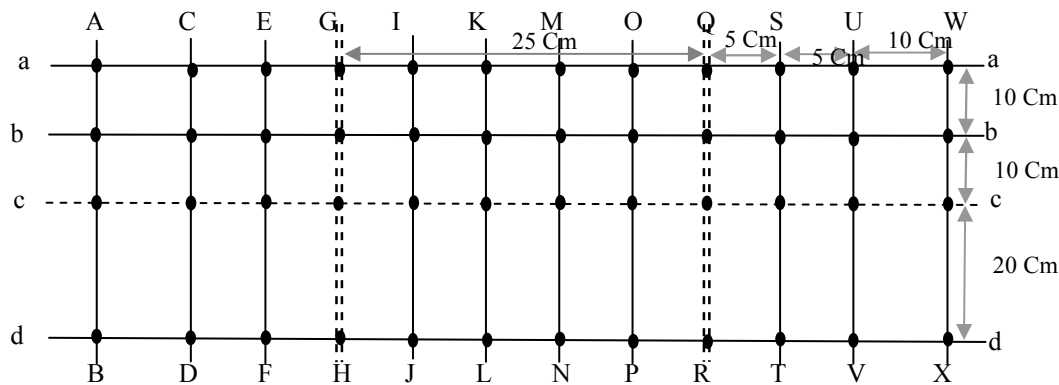
می‌گرفت. هم‌چنین برای اندازه‌گیری پروفیل سرعت از یک لوله پیتو متحرک نصب شده روی کانال با قطر خارجی ۲ میلی‌متر استفاده گردید.

مدل سرریز جانبی تاج دایره‌ای دارای طول ۲۵، ارتفاع ۲۰ و شعاع تاج ۳/۷۵ سانتی‌متر بود. شیب پایین دست و بالادست آن به ترتیب ۶۰ درجه و قائم در نظر گرفته شد (شکل ۳ ب). به علت سهولت برش و شکل‌گیری، جنس مدل از ورق گالوانیزه انتخاب گردید. دیواره کانال در محل نصب سرریز به اندازه طول سرریز برش داده شد. برای سهولت در نصب سرریز جانبی صفحه‌ای از جنس تفلون در کناره دیواره بیرونی کانال در محل سرریز نصب گردید. در کف سرریز ریل‌هایی از جنس تفلون متصل شد. این ریل‌ها به صورت کشویی در شیارهای ایجاد شده در صفحه تفلون کناره کانال وارد شده به طوری که سرریز در کناره دیواره کانال مستقر می‌گردید. پس از آن سرریز جانبی به وسیله لاستیک، خمیر درزگیر و چسب آکواریوم در جای خود کاملاً ثابت، درزگیری و آب‌بندی شد.

کلیه آزمایش‌ها در شرایط جریان زیربحرانی انجام گرفت. محدوده انتخابی دبی در بالادست سرریز جانبی بین ۲۲ تا ۵۰ و در پایین دست آن بین ۱۵ تا ۴۰ لیتر در ثانیه در نظر گرفته شد. ناحیه جدایی جریان با تزریق ماده رنگی در آب و اندازه‌گیری این ناحیه در امتداد محور aa توسط اشل مدرج صورت گرفت. برای بررسی نیمرخ سطح آب، عمق جریان روی نقاط شبکه‌بندی شده در مجاورت سرریز در طول و عرض کانال مطابق شکل (۴) برداشت شد. هم‌چنین پروفیل‌های سرعت در راستای سه محور aa, cc و dd در فاصله ۱۰ سانتی‌متر قبل از سرریز (نقاط (Ca, Cc, Cd)، ابتدای سرریز (نقاط (Ga, Gc, Gd)، وسط سرریز (نقاط (Ma, Mc, Md)، انتهای سرریز (نقاط (Qa, Qc, Qd) و ۱۰ سانتی‌متر بعد از سرریز (نقاط (Ua, Uc, Ud) برداشت شدند.

## نتایج و بحث

با استفاده از تحلیل ابعادی می‌توان ناحیه جدایی جریان را وابسته به متغیرهای هندسی، جریان و سیال به شرح زیر



شکل ۴. شبکه‌بندی در نظر گرفته شده در مجاورت سرریز

جانبی بر محور dd دارای تأثیر ناچیز می‌باشد. همان‌طور که مشخص است اندازه‌گیری‌های انجام شده در راستای محور طولی aa و bb چار تغییرات زیاد می‌باشند که علت آن وجود جریان‌های ثانویه و ناحیه جدایی جریان در مجاورت سرریز می‌باشد. بنابراین می‌توان گفت که افت سطح آب محدود به مجاورت سرریز جانبی بوده و در راستای محور کانال این اثر از بین رفته و برای اندازه‌گیری قابل اطمینان است.

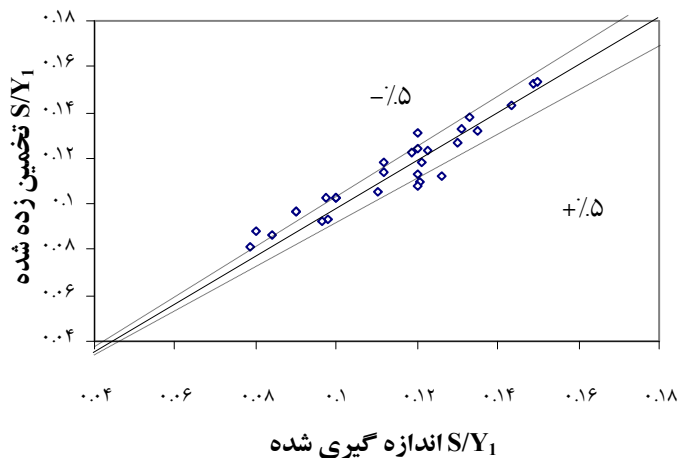
شکل (۷) نیمرخ عرضی سطح آب را به ازای یک دبی ثابت و در فواصل مختلف از سرریز جانبی به منظور مقایسه دقیق‌تر عمق‌های اندازه‌گیری شده روی سرریز نشان می‌دهد. با توجه به شکل مشخص است که نیمرخ سطح آب در تمام مقاطع در جهت عرضی کانال با فاصله گرفتن از سرریز زیاد می‌شود به طوری که بیشترین عمق اندازه‌گیری شده در کناره دیواره کانال و کمترین مقدار در مجاورت سرریز می‌باشد. مقاطع CD و UV به ترتیب مربوط به نیمرخ سطح آب در مقاطع عرضی به فواصل ۱۰ سانتی‌متر قبل و بعد از سرریز می‌باشد. با توجه به شکل روند تغییرات عمق جریان در این دو مقطع تقریباً یکسان می‌باشد. مقاطع GH و QR به ترتیب مربوط به مقاطع ابتدا و انتهای سرریز و مقطع KL تقریباً در وسط سرریز می‌باشد. همان‌گونه که مشاهده می‌شود از ابتدا به سمت انتهای سرریز نیمرخ‌های عرضی یکنواخت‌تر می‌شوند.

رابطه زیر محدوده  $Fr_1 < 0.5$  می‌باشد.

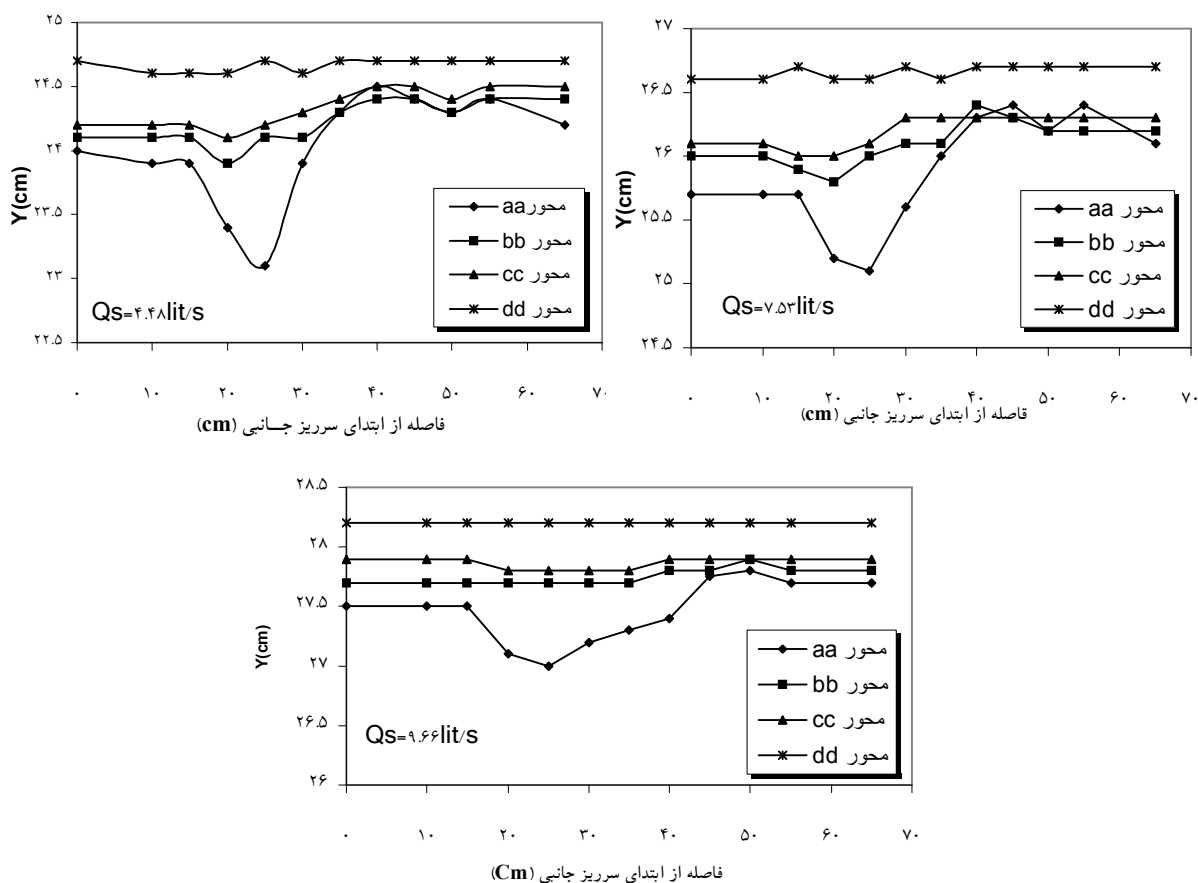
$$\frac{S}{Y_1} = 7/294 \left( \frac{Y_1}{Y_2} \right) + 0/194 \left( \frac{B}{Y_2} \right) - 0/12 (Fr_1) - 7/487 \quad [4]$$

از بقیه داده‌ها برای بررسی میزان اعتبار مدل استفاده گردید. شکل (۵) مقادیر  $(S/Y_1)$  اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر تخمین زده شده با استفاده از رابطه (۴) را نشان می‌دهد. همان‌گونه که از شکل مشخص است رابطه (۴) از دقت مناسبی برخوردار می‌باشد.

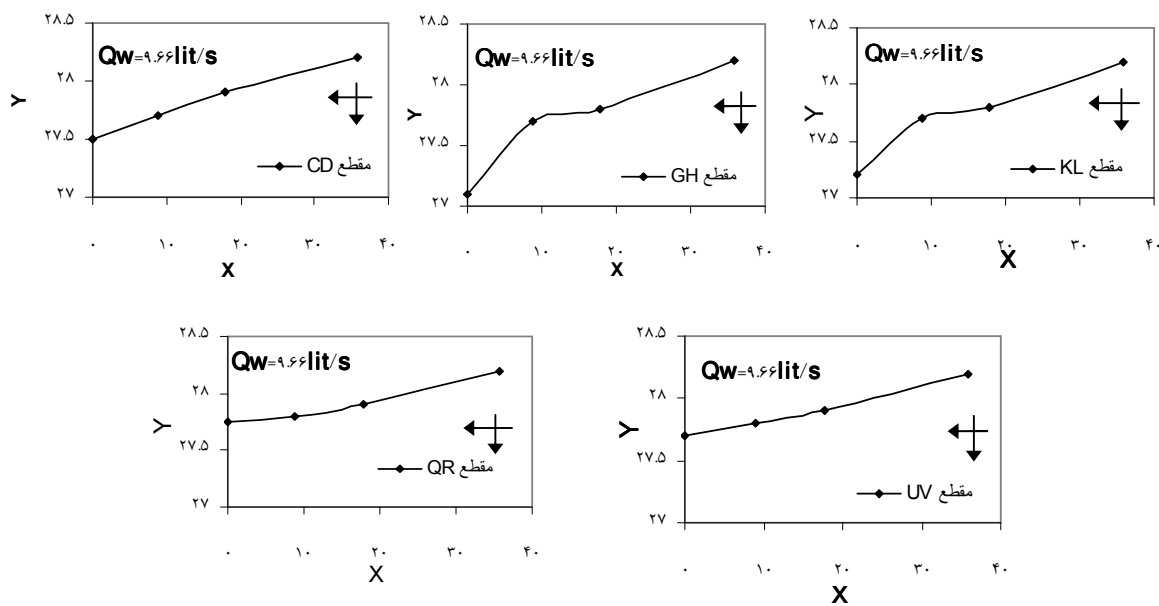
شکل (۶) نیمرخ طولی سطح آب را در امتداد چهار محور aa, bb, cc و dd به ازای دبی‌های مختلف سرریز جانبی نشان می‌دهد. در این شکل روند افزایشی بودن نیمرخ سطح آب در امتداد هر چهار محور که نشان دهنده جریان زیربحرانی است مشخص می‌باشد. بررسی شکل نشان می‌دهد که با افزایش دبی سرریز جانبی نیمرخ سطح آب در امتداد هر چهار محور یکنواخت‌تر شده و از تغییرات سطح آب بویژه در راستای محور aa کاسته می‌شود. با توجه به شکل، نیمرخ سطح آب در امتداد محور aa دارای تغییرات شدید بوده که علت آن وجود ناحیه جدایی جریان در مجاورت سرریز می‌باشد. با فاصله گرفتن در جهت عرضی کانال از شدت تغییرات کاسته شده به طوری که در امتداد محور dd نیمرخ سطح آب تقریباً با کف کانال موازی شده و روند افزایشی بودن پروفیل سطح آب نیز بسیار ناچیز می‌گردد. بنابراین می‌توان اذعان نمود که سرریز



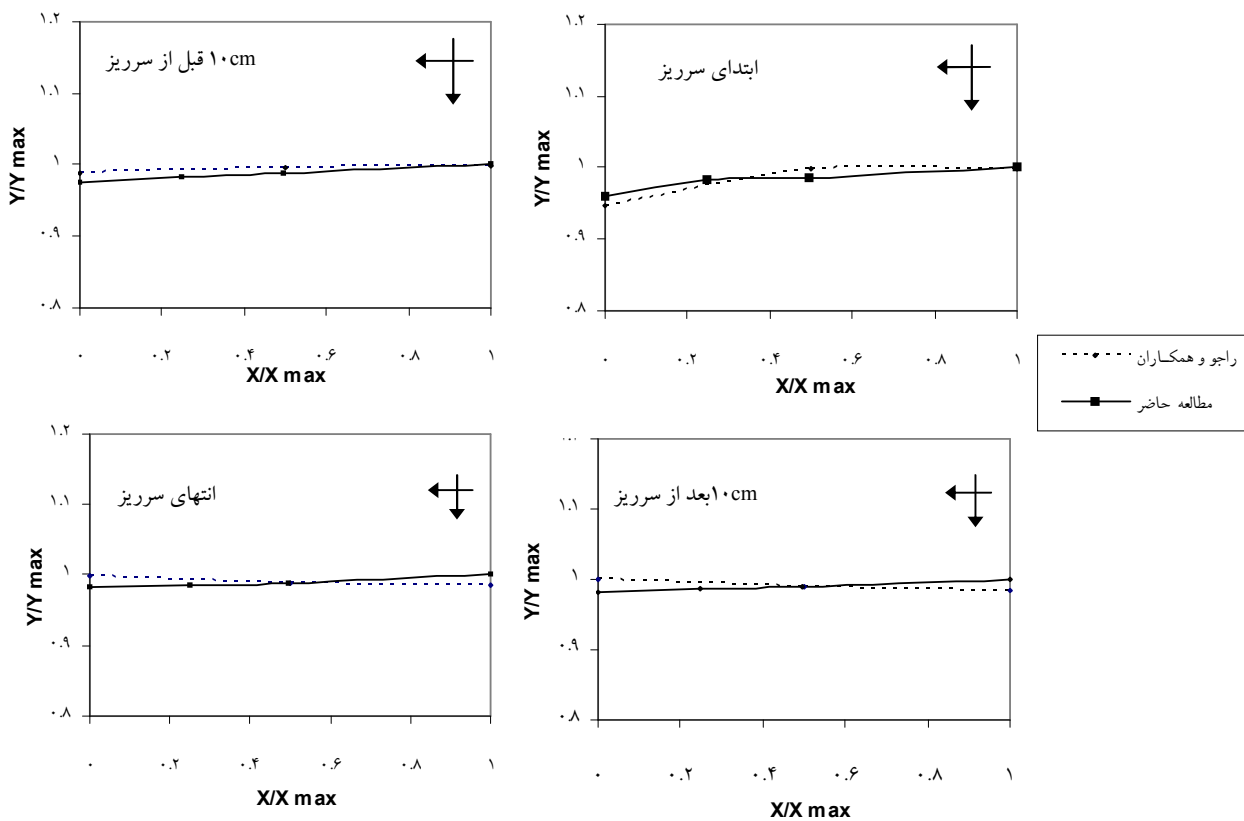
شکل ۵. مقادیر  $(S/Y_1)$  اندازه‌گیری شده در مقابل مقادیر تخمین زده شده با استفاده از رابطه (۳)



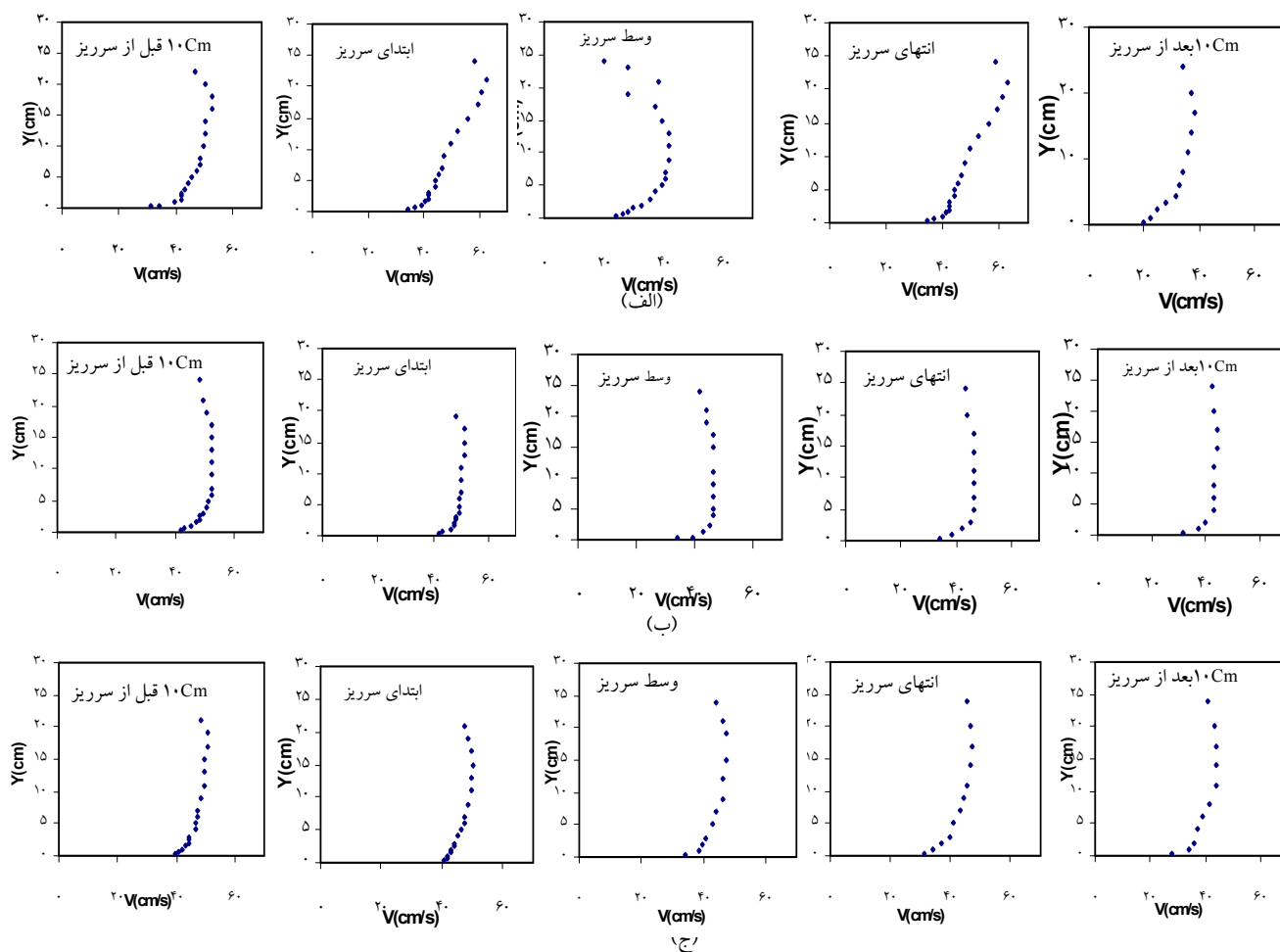
شکل ۶. نیم‌رخ طولی سطح آب در امتداد چهار محور به ازای دبی‌های مختلف سرریز جانبی



شکل ۷. نیمرخ عرضی سطح آب در فواصل مختلف از سرریز جانبی



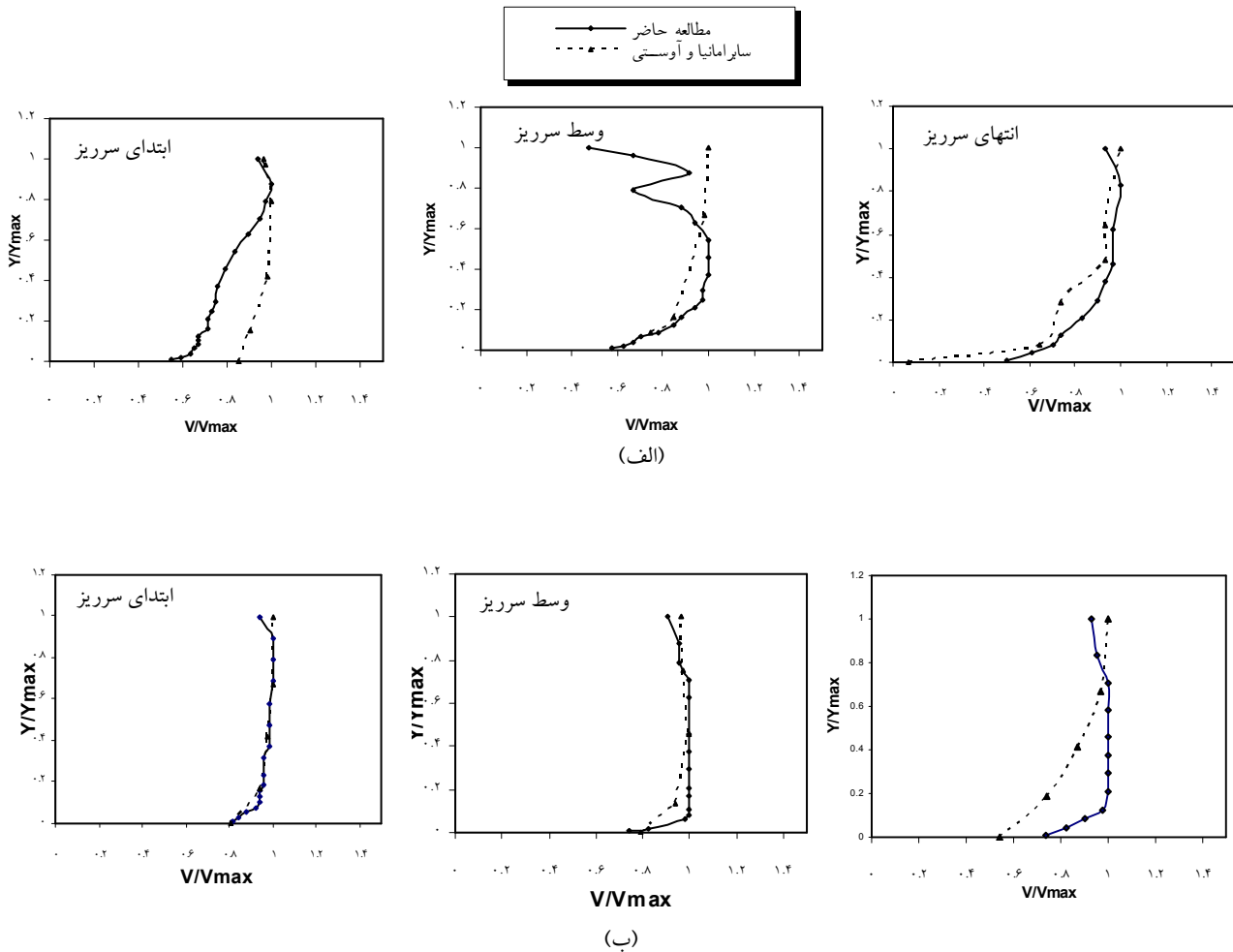
شکل ۸. مقایسه نیمرخ‌های عرضی اندازه‌گیری شده در مطالعه حاضر با داده‌های راجو و همکاران برای سرریز جانبی لبه تیز



شکل ۹. پروفیل‌های سرعت در راستای سه محور (الف) aa، (ب) cc و (ج) dd در فواصل مختلف از سرریز جانبی

پروفیل‌های محور dd شکل (۹-ج) که در کنار دیواره کانال (دور از سرریز جانبی) قرار گرفته‌اند نسبت به دو محور aa و cc یکنواخت‌تر می‌باشند. هم‌چنین در محور aa (نزدیک به سرریز جانبی) با نزدیک شدن به سرریز جانبی در راستای طولی کانال غیریکنواختی پروفیل تشدید می‌شود به طوری که در ابتدا و وسط سرریز غیریکنواختی به بیشینه خود می‌رسد. غیریکنواختی پروفیل‌های سرعت در محورهای cc و dd کمتر مشهود می‌باشد. این مسأله را می‌توان به جریان‌های ثانویه در حضور سرریز جانبی نسبت داد. جریان‌های ثانویه جریان‌هایی هستند که در صفحه مقطع جریان و یا حول محوری عمود بر صفحه

در شکل (۸) پروفیل‌های عرضی سطح آب اندازه‌گیری شده در مدل سرریز جانبی تاج دایره‌ای در مطالعه حاضر با داده‌های راجو و همکاران برای سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی مقایسه شده است. تغییرات نیمرخ‌های سطح آب در سرریز جانبی لبه تیز در قبل و بعد از سرریز و به سمت سرریز به ترتیب کاهشی و افزایشی است در صورتی که در سرریز جانبی تاج دایره‌ای در قبل و بعد از سرریز این روند کاهشی می‌باشد. بررسی پروفیل‌های سرعت اندازه‌گیری شده در راستای سه محور نشان می‌دهد که با فاصله گرفتن از محور aa در جهت عرضی کانال، پروفیل‌ها یکنواخت‌تر می‌شوند. به طوری که



شکل ۱۰. مقایسه پروفیل‌های سرعت اندازه‌گیری شده توسط سابرامانیا و آوستی با مدل سرریز جانبی تاج‌دایره‌ای در امتداد دو محور الف) aa، ب) cc

باعث انتقال خطوط جریان با سرعت زیاد به سمت تاج سرریز می‌گردد. در این نقطه توزیع فشار روی سطح جسم به طور کامل تغییر می‌کند، به نحوی که این تغییر موجب ایجاد نیرویی بزرگ در مقابل حرکت سیال می‌گردد (۲).

در شکل (۱۰) پروفیل‌های سرعت اندازه‌گیری شده توسط سابرامانیا و آوستی روی سرریز جانبی لبه‌تیز با پروفیل‌های سرعت اندازه‌گیری شده در مدل سرریز جانبی تاج‌دایره‌ای مقایسه شده است. سابرامانیا و آوستی در پروفیل‌های خود مشاهده نمودند که سرعت ماکزیمم یا در سطح آب اتفاق افتاده و یا در زیر سطح آب بوده ولی تا سطح آب ثابت باقی می‌ماند.

مقطع جریان به وجود می‌آیند (۶). با توجه به جهت جریان عمودی شکل گرفته روی سرریز جانبی جریان‌های ثانویه ایجاد شده و باعث غیریکنواختی پروفیل سرعت در این ناحیه می‌شود.

در محور aa و در وسط سرریز یک پرش ناگهانی در پروفیل سرعت روی تاج دیده می‌شود که علت آن تغییر جهت جریان روی سرریز هم‌چنین ناحیه جدایی جریان در مجاورت سرریز می‌باشد. به علت انحراف جریان از روی تاج، سرعت جریان در این قسمت زیاد شده و یک ناحیه با سرعت کم در قسمت زیر تاج دیده می‌شود. وجود این ناحیه با سرعت کم

در بالادست به پایین‌دست سرریز، عرض کانال به عمق آب در پایین‌دست و عدد فرود در بالادست سرریز بستگی دارد. از بررسی نیمرخ‌های طولی و عرضی سطح آب در محل سرریز جانبی مشخص گردید که نیمرخ سطح آب در مجاورت سرریز دارای تغییرات شدید بوده که علت آن وجود ناحیه جدایی جریان می‌باشد. بنابراین مناسب‌ترین محل برای اندازه‌گیری مشخصات جریان در راستای محور کانال پیشنهاد می‌گردد. هم‌چنین با بررسی پروفیل‌های سرعت مشخص شد که سرعت بیشینه در سرریز جانبی تاج‌دایره‌ای در زیر سطح آب اتفاق می‌افتد که علت آن وجود جریان‌های ثانویه در مجاورت سرریز می‌باشد. با فاصله گرفتن از سرریز جانبی در جهت طولی و عرضی کانال از تأثیر جریان‌های ثانویه کاسته شده و پروفیل‌های سرعت یکنواخت‌تری حاصل می‌گردد.

اما پروفیل‌های سرعت به دست‌آمده از سرریز جانبی تاج‌دایره‌ای نشان می‌دهد که سرعت ماکزیمم زیر سطح آب می‌باشد. علت آن که سرعت ماکزیمم در نزدیکی سطح آزاد پیش می‌آید بیش از آن که تحت تأثیر تنش برشی ناشی از مقاومت هوا باشد تحت تأثیر جریان‌های ثانویه است (۳ و ۶). وجود جریان‌های ثانویه در نزدیکی سرریز جانبی باعث وقوع ماکزیمم سرعت در زیر سطح آب می‌گردد. شکل (۹) نیز بیانگر همین مسأله می‌باشد به طوری که با فاصله گرفتن از محور aa در جهت عرضی کانال و کم شدن تأثیر جریان‌های ثانویه ماکزیمم سرعت به سطح آب نزدیک می‌شود و در محور dd ماکزیمم سرعت تقریباً در سطح آب قرار گرفته است.

### نتیجه‌گیری

با توجه به آنالیز ابعادی و تحلیل آماری صورت گرفته مشخص شد طول ناحیه جدایی جریان به عواملی چون نسبت عمق آب

### منابع مورد استفاده

۱. آقایاری، ف.، ت. هنر و ع. کشاورزی. ۱۳۸۴. مطالعه المانی ضریب تخلیه سرریزهای جانبی تخت لبه پهن در کانال‌های مستطیلی. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۲. افضل‌ی مهر، ح. ۱۳۸۳. آموزش مکانیک سیالات از طریق نکته، مسأله و تست. انتشارات ارکان، اصفهان.
۳. افضل‌ی مهر، ح. و م. حیدرپور. ۱۳۸۰. مبانی هیدرودینامیک کانال‌های باز به انضمام تست و مسائل حل شده. انتشارات ارکان، اصفهان.
۴. برقی، م. و ع. کبیری سامانی. ۱۳۸۴. تعیین ضریب دبی سرریزهای جانبی با استفاده از اطلاعات آزمایشگاهی و روش تشابه ناقص. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۵. بزرگیان، ح. و ف. یزدان دوست. ۱۳۸۴. بهینه سازی طراحی جام سرریزهای جانبی با اصلاح معادله دینامیکی محاسبه پروفیل سطح آب به کمک نتایج آزمایشگاهی. پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان.
۶. حسینی، م. و ج. ابریشمی. ۱۳۸۲. هیدرولیک کانال‌های باز. انتشارات آستان قدس رضوی، مشهد.
7. Agaccioglu, H. and Y. Yuksel. 1998. Side-weir flow in curved channels. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE. 124 :163-175.
8. Borghei, S. M. and M. R. Jalili and M. Ghodsian. 1999. Discharge coefficient for sharp-crested side weir in subcritical flow. J. Hydraul. Eng. ASCE. 125: 1051-1056.
9. Bos, M. G. 1976. Discharge Measurement Structures. Oxford and IBH Pub., IUK.
10. Chow. V.T. 1959. Open Channel Hydraulic. McGraw Hill Pub., New York.
11. Hager, W. H. 1987. Lateral outflow over side weirs, J. Hydraul. Eng. ASCE 113: 491-504.
12. Hager, W. H. 1994. Supercritical flow in circular-shaped side weir. J. Irrig. Drain. Eng. ASCE 120: 1-12.
13. Muslu, Y. 2002. Technical note of lateral weir flow model using a curve fitting analysis. J. Hydraul. Eng. ASCE 128 : 712-715.

14. Oliveto, G. and V. Biggiero and M. Fiorentino. 2001. Hydraulic features of supercritical flow along prismatic side weirs. *J. Hydraul. Res. ASCE* 39: 73-82.
15. Onen, F. and H. Agaccioglu. 2007. Scour at a side weir intersection located on an alluvial River, *Nordic Hydro.* 38: 165-176.
16. Raju, R. and B. Prasad, S. K Gupta. 1979. Side weir in rectangular channel. *J. Hydraul. Div.* 105: 547-554.
17. Subramanya, K. and S. C. Awasthy. 1972. Spatially varied flow over side weirs. *ASCE J. Hydraul. Div.* 98:1-10.
18. Uyumaz, A. and Y. Muslu. 1985. Flow over side weirs in circular channels, *J. Irrig. Drain. Eng. ASCE* 111: 144-160.