



## بررسی عددی اثر جانمایی آبشکن بر آبگیری کانال جانبی دارای سرریز لبه تیز در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه

ایرج حیدریان<sup>۱</sup>، شهاب نیر<sup>۲\*</sup>

- ۱- دکتری رشته مهندسی عمران- آب، مدیر عامل شرکت آب منطقه‌ای سمنان، سمنان، ایران.
- ۲- دانشجوی دکتری رشته مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه سمنان، سمنان، ایران.

### خلاصه

همواره کنترل جریان در مجاری رودخانه و یا کانال‌ها جهت آبگیری و یا در زمان سیلابی مورد توجه محققان بوده است. یکی از روش‌های کنترل، استفاده از آبگیر جانبی به همراه سرریز و یا بدون سرریز می‌باشد. هرچه میزان آبگیری و یا آبگذری سرریز افزایش یابد، مدت زمان واکنش جهت کنترل کاهش خواهد یافت. در پژوهش حاضر، مشخصات جریان عبوری از آبگیر جانبی تحت اثر جانمایی مختلف آبشکن ساده در قوس ۱۸۰ درجه و در ۴ موقعیت مختلف با استفاده از مدل عددی Flow-3D مورد بررسی قرار گرفته است. در این راستا، جهت صحت‌سنجی از یک مدل آزمایشگاهی معتبر استفاده شد. نتایج صحت‌سنجی، حاکی از دقت بالای مدل آشفتگی K-ε نسبت به سایر مدل‌های آشفتگی با ضریب همبستگی  $R^2=0.979$  می‌باشد. همچنین مقادیر عدد فرود و دبی جریان کانال اصلی برای مدل آشفتگی و شبکه مش بهینه با دقت بالا (ضریب همبستگی  $R^2=0.997$  و  $R^2=0.990$ ) حاصل شد. نتایج نشان داد که حضور آبشکن در هر صورت سبب افزایش آبگذری سرریز جانبی شده و بیشترین آن برای موقعیت P1 (آبشکن در محدوده میانی) در حدود ۲۹ درصد خواهد بود. کمترین آبگیری برای حالات P4 (آبشکن در بالادست) حاصل شد، که برابر با رشد ۱۰ درصدی بوده است. خطوط جریان و شرایط بردارهای برآیند سرعت نیز مورد بررسی و تحقیق واقع شد، که تأییدی بر نتایج حاصل برای جانمایی‌های مختلف است.

**کلمات کلیدی:** سرریز جانبی، آبشکن ساده، خطوط جریان، ضریب آبگذری، Flow-3D.

### ۱. مقدمه

سازه‌های هیدرولیکی متنوعی برای مدیریت و انتقال آب طراحی و ساخته شده‌اند. یکی از سازه‌های متداول در بسیاری از سدها و کانال‌های انتقال آب، سرریزها می‌باشند. سرریزها خود بر اساس شکل و کاربری، انواع مختلف دارند یکی از روش‌های آبگیری از مسیر اصلی رودخانه‌ها استفاده از آبگیر و سرریز جانبی است. به دلیل تأثیر طول و شکل سرریز در حجم جریان عبوری و راندمان آن، تحقیقات زیادی در رابطه با تأثیر پارامترهای هیدرولیکی و هندسی سرریز بر ضریب تخلیه جریان و مقدار دبی عبوری از سرریزها انجام شده است. سرریزهای جانبی یکی از انواع سرریزها هستند که برای

\* Corresponding author: Shahab Nayyer  
Email: sh.nayyer@semnan.ac.ir

کنترل تراز سطح آب، انحراف جریان و تخلیه دبی اضافی در شبکه های آبیاری و زهکشی، سیستم های آب و فاضلاب، آبیگری در کانال های جانبی و سیستم های کنترل سیلاب مورد استفاده قرار می گیرند .

سرریزهای جانبی در مسیر مستقیم و همچنین در قوس رودخانه و کانالها استفاده می شوند. جریان حلزونی در سطح جریان در قوس رودخانه ها باعث تمایل بردارهای سرعت به طرف قوس خارجی می شود. از این رو استفاده از آبیگری های جانبی در قوس خارجی مسیر جریان جهت آبیگری و یا انحراف سیلاب مورد استفاده قرار می گیرند. تاکنون مطالعاتی در زمینه هیدرولیک جریان سرریزهای جانبی کارگذاری شده در قوس انجام شده و برای افزایش کارایی سرریزهای جانبی، راه حل های مختلفی پیشنهاد شده است. استفاده از سازه های جانبی، کانالهای تقرب و یا طرح های مختلف سرریزها از روشهایی هستند که می توانند باعث افزایش آبیگری و راندمان سرریزها شوند. طرح های اصلاحی گوناگونی مانند سرریز- های منقاری، نوک اردکی و سرریزهای کنگره ای نیز مورد بررسی قرار گرفته که در آنها مقطع افقی تاج سرریز، شکل مستقیمی نیست و با افزایش طول تاج ظرفیت تخلیه سرریز افزایش می یابد. تاکنون مطالعاتی در زمینه هیدرولیک جریان در این سرریزها انجام شده و شرایط آبیگری و کارایی آنها بررسی شده، و روابط و راه حل های مختلفی برای آنها پیشنهاد شده است، که در ادامه برخی از این مطالعات آورده شده است.

دی مارچی [۱] یکی از اولین پژوهشگرانی است که بر روی سرریز جانبی تحقیقاتی را انجام داد و پس از آن محققان مختلفی از جمله سوبرامانیا و آواستی [۲]، رانگاراگو و همکاران [۳]، ناداسمورثی و تامسون [۴] به ارائه روابطی برای ضریب آبگذری سرریزهای جانبی پرداختند ضریب آبگذری سرریزهای جانبی در قوس با زاویه ۱۸۰ درجه توسط آقاچوقلو و یوکسل [۵] مورد بررسی و تحقیق قرار گرفت که نهایتاً رابطه ای توسط ایشان ارائه شد.

$$C_d = A + B.Fr_1 + C.Fr_1^2 \quad (1)$$

که در آن  $A$ ،  $B$  و  $C$  برای  $L/b$  (  $L$  طول سرریز و  $b$  عرض کانال اصلی) حدود ۰/۶۲۵ به ترتیب برابر با ۰/۴۲۴، ۰/۰۵۰۷ و ۰/۱۰۶۱- است. همچنین  $Fr$  عدد فرود جریان در بالادست، و  $C_d$  ضریب آبگذری سرریز جانبی می باشد. ایشان با توجه به نسبت  $L/b$  بزرگتر و کوچکتر از یک و نسبت  $P/h1$  (  $P$  ارتفاع سرریز و  $h1$  ارتفاع آب بالادست در کانال اصلی) نتایج خود را منتشر کردند [۵]. همچنین رابطه دیگری توسط برقی و همکاران با توجه به عدد فرود جریان، ارتفاع سرریز، ارتفاع آب کانال اصلی، طول سرریز و عرض کانال ارائه شد [۶].

فیض الله و همکاران بیان داشتند که عدد فرود بالادست، بازشدگی دریاچه و موقعیت دریاچه در قوس ۱۸۰ درجه از عوامل اثرگذار در ضریب شدت جریان دریاچه کناری در قوس ۱۸۰ درجه است [۷]. صادقی و همکاران با بررسی سرریز جانبی در موقعیتهای مختلف قوس ۱۸۰ درجه بیان داشتند که افزایش عدد فرود بالادست و نسبت ارتفاع سرریز به عمق بالادست، ضریب آبگذری را کاهش می دهد، به نحوی که در زاویه ۹۰ و ۱۵۰ درجه بیشترین آبیگری و در موقعیت ۱۳۵ درجه کمترین ضریب آبگذری وجود دارد [۸]. صفرزاده در تحقیقات خود بر روی الگوی جریان در قوس نشان داد که قدرت جریان ثانویه در مقطع ۶۰ درجه قوس حداکثر مقدار و از ۶۰ تا ۱۱۰ به صورت کاهشی و نهایتاً از ۱۳۰ درجه تا انتها افزایشی است [۹].

توکلی و همکاران با استفاده از مدل عددی فلونتت به شبیه سازی جریان حول تک صفحه مستغرق در کانال قوسی و مستقیم با آبیگر و بدون آبیگر پرداختند. ایشان نشان دادند که با افزایش زاویه صفحه مستغرق از ۲۵ درجه به ۳۰ درجه، قدرت جریان ثانویه واقع در لبه پایین دست قوس کاهش یافته است [۱۰].

شیرالی و همکاران به بررسی آزمایشگاهی تاثیر فاصله صفحات مستغرق بر نسبت رسوب انحرافی به آبیگری جانبی در قوس ۱۸۰ درجه پرداختند و بیان داشتند که در کلیه فواصل مختلف، نسبت آبیگری با نسبت رسوب ورودی به آبیگر، رابطه مستقیم دارد و با افزایش نسبت آبیگری، نسبت رسوب انحرافی به آبیگر افزایش پیدا کرده است [۱۱].

در آزمایش های شاکر و کاشفی پور طول و زاویه قرارگیری آبشکن ساده بر توزیع سرعت و تنش برشی در دیواره خارجی قوس ۹۰ درجه مورد تحقیق قرار گرفت. نتایج ایشان نشان داد که آبشکن های سری سبب یکنواختی سرعت در بالادست و انتقال ناحیه پرسرعت از مجاورت دیواره خارجی به سمت میانه کانال تا دیواره خارجی می شود. همچنین بیان داشتند که تنش برشی بیشینه در محدوده قوس ۷۰ تا ۸۰ درجه رخ می دهد [۱۲].

زمانی و همکاران در بررسی آزمایشگاهی خود بر روی اثر آبشکنها بر آبیگری کانال جانبی در مسیر مستقیم چندین محل مختلف برای آبشکن های سری و تک را مورد بررسی قرار دادند. نتایج ایشان حاکی از آن بود که قرارگیری آبشکن در بالادست آبیگری جانبی اگرچه بیشترین نسبت انحراف را دارد اما با توجه به عمق آبشستگی، رسوب گذاری و آبیگری، آبشکن در پایین دست بهترین عملکرد را دارد [۱۳].

غفاری و همکاران اثر عدد فرود بالادست بر الگو و مشخصات جریان در امتداد سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی را بررسی کردند و نتایج نشان دادند که با کاهش عدد فرود، سرعت جانبی و نهایتاً دبی عبوری از سرریز افزایش می یابد. بررسی مطالعات انجام شده و همچنین اهمیت آبیگری در کانال های جانبی همراه با سرریز و مقدار آبگذری سرریزها محققان تحقیق حاضر را بر آن داشت که اثرگذاری جانمایی آبشکن ساده در قوس بر آبیگری کانال جانبی دارای سرریز جانبی لبه تیز مورد بررسی و تحقیق قرار دهند [۱۴].

## ۲. مواد و روش ها

نرم افزار Flow-3D یک مدل مناسب برای حل مسائل پیچیده دینامیک سیالات می باشد که قادر است دامنه وسیعی از جریان سیالات را مدل کند. این نرم افزار برای مدل کردن جریان های سطح آزاد سه بعدی غیر ماندگار با هندسه پیچیده کاربرد فراوانی دارد (فرزین و همکاران، ۱۳۹۶). نرم افزار Flow-3D از روش های دقت مرتبه اول و دوم در حل معادلات بهره می برد. در این نرم افزار، معادلات حاکم بر جریان غیرقابل تراکم به صورت روابط (۲) و (۳) است.

$$\frac{\delta}{\delta x} uA_x + \frac{\delta}{\delta y} vA_y + \frac{\delta}{\delta z} wA_z = 0 \quad (2)$$

$$\frac{\delta u_i}{\delta t} + \frac{1}{V_F} \left( u_i A_i \frac{\delta u_i}{\delta x_i} \right) = \frac{1}{\rho} \frac{\delta p}{\delta x_i} + g_i + f_i \quad (3)$$

در روابط ۲ و ۳ مؤلفه های  $u$ ،  $v$  و  $w$  سرعت سیال در جهت های  $x$ ،  $y$ ،  $z$  بر حسب  $(m/s)$ ،  $V_F$  کسر حجمی جریان بر حسب  $(m^3)$ ،  $A_x$ ،  $A_y$  و  $A_z$  کسرهای سطحی جریان در جهت های  $x$ ،  $y$  و  $z$  بر حسب  $(m^2)$ ،  $\rho$  چگالی سیال  $(Kg/m^3)$ ،  $p$  فشار در هر نقطه از سیال  $(Pa)$ ،  $g_i$  مولفه شتاب ثقل در جهت  $i$   $(m/s^2)$ ،  $f_i$  بیانگر تنش رینولدز  $(Pa)$  می باشند.

روش VOF رفتار سیال در سطح آزاد را نمایش می دهد که در آن با استفاده از تابع حجم سیال وضعیت سلولها نمایش داده می شود. این تابع حجم سیال درصد حجمی فاز آب است، چنانچه سلول از آب پر باشد مقدار تابع یک و در صورت پر بودن آن از هوا صفر می باشد. در حالت وجود سطح آزاد در سلول مقداری بین صفر و یک به این تابع تعلق می گیرد. در این روش برای تعریف پروفیل سطح آب، تابع  $F(x,y,z)$  طبق رابطه زیر مورد استفاده قرار می گیرد [۱۵].

$$\frac{\partial F}{\partial t} + u_j \frac{\partial F}{\partial x_j} = 0 \quad (4)$$

که در رابطه ۴، پارامترهای  $x$  و  $t$  به ترتیب بعد مکان و زمان را نشان می دهند. روش FAVOR برای شبیه سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزهای هندسی مورد استفاده قرار می گیرد. مدل Flow-3D با بهره گیری از مش های رأست گوشه در مختصات کارتزین و استوانه ای، به مدل سازی می پردازد. در FAVOR، اشکال هندسی پیچیده با قرارگیری در مش های رأست گوشه، با اشغال کردن قسمتی یا تمام حجم و یا سطح سلول شبیه سازی می شوند که این امر موجب بهبود مش بندی می گردد. شبیه سازی آشفتگی در Flow3D با استفاده از یکی از پنج مدل آشفتگی طول اختلاط پراتل، یک

معادله ای انرژی جنبشی آشفتگی، مدل دو معادله ای  $k-\epsilon$ ، مدل گروه های نرمال شده (RNG) و مدل شبیه سازی گردابه های بزرگ صورت می گیرد [۱۶].

#### مدل آشفتگی K-ε

معادله K-ε شامل دو معادله انتقال برای انرژی جنبشی آشفتگی و اتلاف آن است که K معرف انرژی جنبشی آشفتگی و  $\epsilon$  ( $m^2/s^3$ )، کمیت اتلاف آشفتگی می باشد. معادله انتقال برای اتلاف آشفتگی،  $\epsilon_T$ ، مطابق رابطه (۵) تعریف می شود:

$$\frac{\partial \epsilon_T}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left( u A_x \frac{\partial \epsilon_T}{\partial x} + v A_y \frac{\partial \epsilon_T}{\partial y} + w A_z \frac{\partial \epsilon_T}{\partial z} \right) = \frac{CDIS1 \cdot \epsilon_T}{K_T} P_T + CDIS3 \cdot G_T + Diff_\epsilon - CDIS2 \frac{\epsilon_T^2}{K_T} \quad (5)$$

در رابطه (1)، CDIS1، CDIS2 و CDIS3 پارامترهای بی بعدی هستند که مقدارشان برای مدل K-ε، به ترتیب دارای مقادیر پیش فرض ۱/۴۴، ۱/۹۲، ۰/۲ هستند [۱۷].

#### مدل آشفتگی RNG

مدل آشفتگی RNG، قادر است ضرایبی که در مدل K-ε به صورت تجربی استخراج شده اند را به طور صریح بیان کند. این مدل در جریان های با نواحی برشی قوی و شدت آشفتگی کم، نتایج دقیق تری را تولید می کند. مدل آشفتگی RNG برای استخراج معادلات متوسط گیری شده برای کمیت های آشفتگی مانند انرژی جنبشی آشفتگی، از روش های آماری بهره می برد و مقدار پارامترهای CDIS1 و CDIS2 در این مدل، به ترتیب ۱/۴۲ و ۱/۶۸ می باشد [۱۸].

#### مدل آشفتگی LES

این مدل آشفتگی وابسته به زمان بوده و سه بعدی می باشد، همچنین بایستی به نوسانات مقدار اولیه داده شود و یا در مرزهای ورودی تعریف شوند. مجموعه این اعمال پرهزینه بوده، لیکن نسبت به مدل آشفتگی RNG، نتایج با جزئیات بیشتری را ارائه می دهد [۱۹].

#### معیارهای ارزیابی دقت مدل سازی

برای مقایسه کمی عملکرد مدل های پیشنهادی می توان از تجزیه و تحلیل خطاهای باقی مانده و اختلاف بین مقادیر اندازه گیری شده و برآورد شده بهره گرفت. در مطالعه حاضر به منظور ارزیابی دقت در مدل شبیه سازی و همچنین تعیین ابعاد شبکه بندی و مش بهینه، پارامترهای میانگین مطلق خطا، جذر میانگین مربعات خطا و ضریب همبستگی، مطابق روابط ۶، ۷ و ۸ مورد تحلیل و بررسی قرار گرفتند. منظور از  $y_i^*$  و  $y_i$  در روابط اشاره شده به ترتیب مقادیر اندازه گیری شده در مدل عددی و آزمایشگاهی است.  $n$  تعداد کل داده ها می باشد.

$$MAE = \frac{1}{n} \sum |y_i^* - y_i| \quad (8), \quad RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (y_i^* - y_i)^2} \quad (7), \quad R^2 = \frac{Cov(y_i^*, y_i)}{\sigma_{y_i^*} \sigma_{y_i}} \quad (6)$$

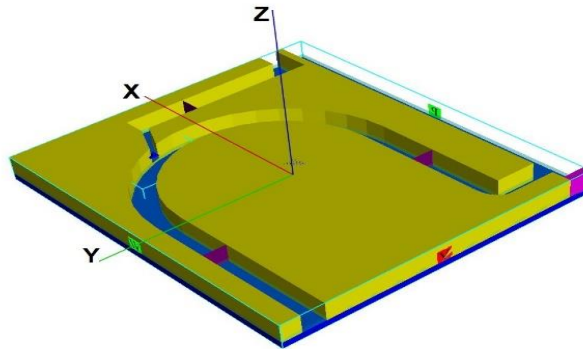
#### مدل سازی عددی

در تحقیق حاضر، جهت صحت سنجی پارامتر ضریب دبی محاسبه شده توسط نرم افزار Flow-3D، از داده های آزمایشگاهی مدل سرریز ورودی به آبگیر جانبی در خم ۱۸۰ درجه که توسط مسجدی و مجتهد [۲۰] مورد آزمایش قرار گرفته، استفاده شده است.

مسجدی و مجتهد [۲۰] در تحقیق خود بر روی آبگیر جانبی جانمایی شده با سرریز ورودی در زوایای ۳۰، ۷۰، ۱۰۰ و ۱۲۰ درجه در یک کانال قوسی ۱۸۰ درجه کار کردند. نتایج ایشان نشان داد که بیشترین ضریب تخلیه جریان سرریز در



زاویه ۷۰ و ۱۰۰ درجه و حداقل آبنگیزی در زاویه ۳۰ و ۱۲۰ درجه حاصل خواهد شد. لذا با توجه به نتایج تحقیق مسجدي و مجتهد [۲۰] جهت صحت سنجی مدل عددی از کانال قوسی با زاویه ۱۸۰ درجه و همچنین آبنگیزی جانمایی شده در زاویه ۷۰ درجه قوس مورد استفاده قرار گرفت. در شکل ۱ نیز مدل فیزیکی کانال جانبی، کانال اصلی و سرریز و همچنین شرایط مرزی مش مورد استفاده نشان داده شده است. همانطور که در تصویر مشخص است Xmin به عنوان مرز ورودی، Ymin و Xmax به ترتیب به عنوان مرز خروجی کانال اصلی و جانبی در نظر گرفته شده است.



شکل ۱- شرایط مرزی در شبیه سازی سرریز در نرم افزار Flow-3D

جهت صحت سنجی با توجه به نتایج آزمایشگاهی موجود از ۴ عدد فرود مختلف با مقادیر ۰/۲۲، ۰/۲۳، ۰/۲۵ و ۰/۲۹ برای کانال و سرریز جانبی در موقعیت قوس ۷۰ درجه در محدوده  $p/h$  برابر با ۰/۲۵ (p برابر با ارتفاع آستانه سرریز جانبی و h ارتفاع آب بالادست) استفاده شد. جدول ۱ مشخصات مدل های مورد استفاده را نشان می دهد.

جدول ۱- مشخصات سرریز مدل شده جهت صحت سنجی

p/h	Fr	زاویه (degree)	ردیف
۰,۲۵	۰,۲۲	۷۰	۱
	۰,۲۳		۲
	۰,۲۵		۳
	۰,۲۹		۴

میدان جریان سه بعدی به وسیله مدل های آشفتگی RNG، K-ε و LES حل شد که با استفاده از نتایج شاخص-های آماری موجود در جدول ۲، بین داده های ضریب آبنگیزی اندازه گیری شده در آزمایشگاه و داده های برآوردی از شبیه-های عددی روی سرریز ۳۰ درجه، مدل آشفتگی K-ε به داده های آزمایشگاهی نزدیک بوده و کمترین مقدار خطا را نسبت به مدل های RNG و LES دارد.

همچنین ابعاد و تعداد مش بهینه در جدول ۳ نشان داده شده است. نکته حائز اهمیت این است که برای تعداد شبکه بالاتر در مش بندی، زمان ران طولانی تر می شود و از نظر زمان و اقتصادی مقرون به صرفه نیست ولی نتایج قابل قبول را می توان از تعداد مش کمتر نیز به دست آورد. لذا انتخاب شبکه مش بندی بر اساس دو مش بلوک تودرتو انجام شده است که مرزهای بین این دو بلوک شرایط مشابه (Symmetry) در نظر گرفته شد. نکته قابل توجه در این مش بندی این است که شبکه اطراف سرریز جانبی در دهانه آبنگیز در بلوک میانی نسبت به بلوک های مجاور ریزتر است. این موضوع بدین دلیل





است که برای مدل سازی سرریز نسبت به کل میدان حل، احتیاج به دقت بیشتری برای انجام محاسبات است. به نحوی که زمان محاسبات به طور قابل ملاحظه افزایش نیابد و همچنین خطای مدل سازی کاهش پیدا کند.

جدول ۳- مقایسه دقت شبکه بندی های مورد استفاده

MAE	RMSE	R2	اندازه شبکه
0.00302	0.016	0.95	یکنواخت (ریز)
0.0035	0.0175	0.92	تو در تو

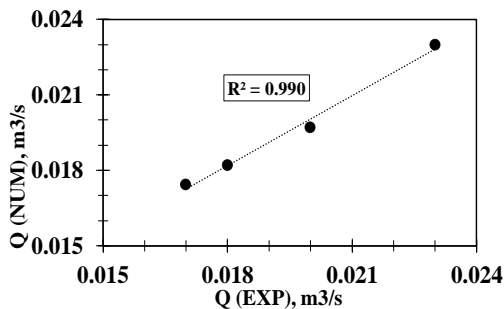
جدول ۲- مقایسه دقت مدل های آشفتگی

MAE	RMSE	R2	مدل آشفتگی
0.00410	0.011	0.970	RNG
0.00417	0.01012	0.979	K-ε
0.0063	0.014	0.92	LES

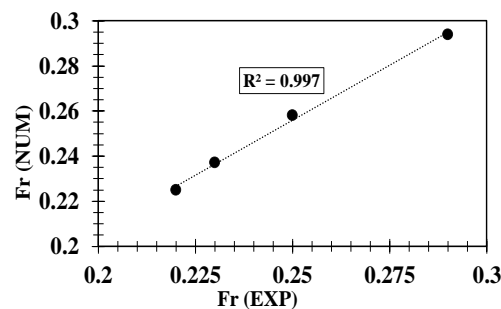
شکل های ۲ و ۳ مقایسه نتایج آزمایشگاهی (Exp) و عددی (Num) را به ترتیب برای عدد فرود و دبی در بالادست کانال جانبی را نشان می دهند. همانطور که مشاهده می شود شکل ۲ بررسی همبستگی بین عدد فرود در بالادست کانال جانبی، در مدل عددی و آزمایشگاهی که مسجدی و مجتهد [۲۰] نیز بررسی کرده بودند را نشان می دهد. عدد ضریب تبیین نشان می دهد که نتایج حاصل از مدل سازی عددی به نتایج آزمایشگاهی نزدیک است. در شکل ۳ همبستگی بین دبی مدل آزمایشگاهی و عددی مشخص شده است که حاکی از دقت بالای مدل عددی حاضر برای شبیه سازی است. با توجه به صحت سنجی انجام شده و استناد به نتایج حاصل از جدول های ۲ و ۳ و همچنین شکل های ۲ و ۳ می توان به توانایی بالای نرم افزار Flow-3D در شبیه سازی اشاره کرد. در ادامه برای مدل سازی عددی سایر مدل های مد نظر و یافتن بهترین نتایج، از مدل آشفتگی K-ε استفاده می شود. همچنین اندازه شبکه متوسط (تودرتو) به عنوان مش بهینه برای شبیه سازی انتخاب می گردد.

در آزمایش هایی که برای جایگاه بهینه آبشکن در مجاورت کانال جانبی در کانال مستقیم توسط زمانی و همکاران انجام شد، مشخص گردید که آبشکن در بالادست و پایین دست آبگیر جانبی، عملکرد بهتری را جهت افزایش آبگیری کانال جانبی نشان داده است.

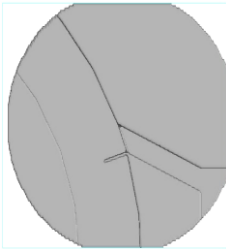
در تحقیق حاضر مطابق شکل ۴، آبشکن در موقعیت های مختلف (P1, P2, P3, P4) نسبت به آبگیر جانبی جانمایی شد تا اثر آن بر آبگیری مورد تحقیق قرار گیرد. در تمامی حالات آبشکن ساده عمود بر جریان قرار جانمایی شد. با ثابت نگه داشتن همه شرایط نظیر مشخصات سرریز و جریان ورودی، برخی از پارامترهای هیدرولیکی برای اعداد فرود ۰/۲۲ و ۰/۲۹ مورد بررسی قرار گرفت.



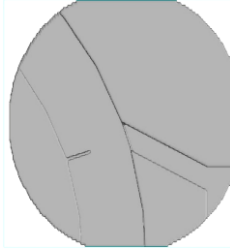
شکل ۳- همبستگی بین دبی در بالادست کانال جانبی مدل عددی و آزمایشگاهی [۲۰]



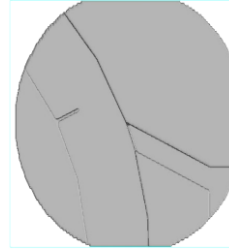
شکل ۲- همبستگی بین عدد فرود (Fr) مدل عددی و آزمایشگاهی [۲۰]



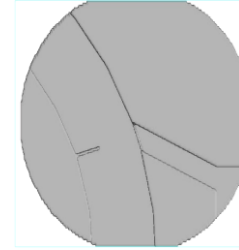
آبشکن در مجاورت  
آبگیر جانبی (P4)



آبشکن در پایین دست  
آبگیر جانبی (P3)



آبشکن در بالادست آبگیر  
جانبی (P2)



آبشکن در محدوده میانی  
آبگیر جانبی (P1)

شکل ۴- نمای فیزیکی مدل ها در نرم افزار Flow3-D

### ۳. بحث و نتایج

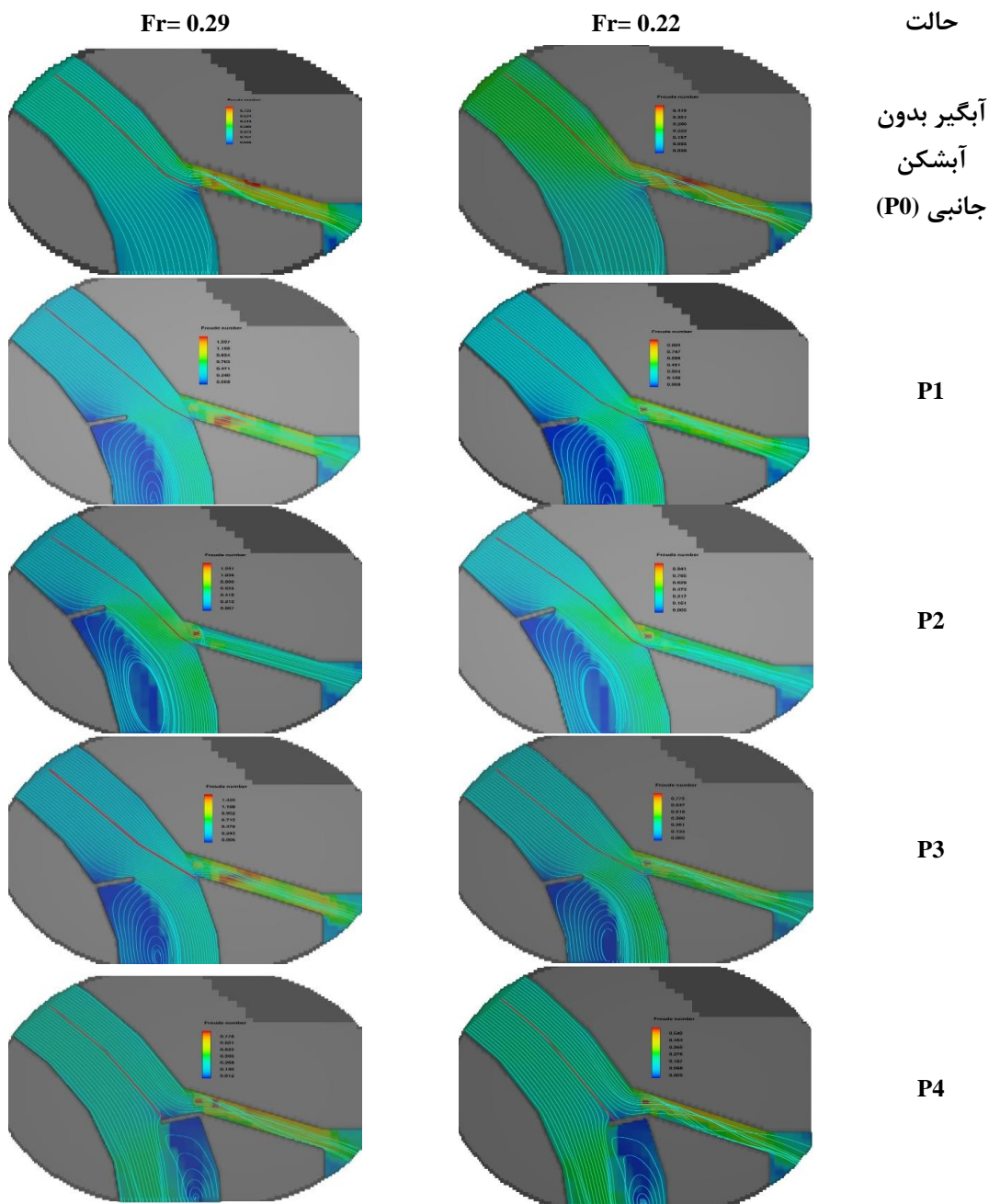
جدول ۴ نتایج حاصل از مدل های عددی آبگیر جانبی همراه با آبشکن در مقایسه با آبگیر جانبی بدون آبشکن را نشان می دهد. با استناد به نتایج صحت سنجی و نزدیک بودن نتایج حاصل از مقادیر آزمایشگاهی و عددی، می توان مدل پیشنهاد شده در این پژوهش را با نمونه ی عددی مقایسه نمود. بنابراین با توجه به جدول ۴، مشاهده می شود که در هر صورت استفاده از آبشکن در آبگیری کانال جانبی اثر گذار بوده و آبگیری آن را به طور متوسط برای تمامی حالات تا ۱۸ درصد افزایش می دهد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که آبگیری در مقادیر عدد فرود کمتر افزایش بیشتری نسبت به عدد فرود بزرگتر دارد. بیشترین افزایش آبگیری برای موقعیت P1 و P3 حاصل شده است که به ترتیب برای جانمایی آبشکن در محدوده میانی و پایین دست آبگیر جانبی است. آبگیری در این حالات به صورت متوسط ۲۹ و ۲۶ درصد افزایش داشته است. کمترین مقادیر تغییرات آبگیری برای حالات P4 (آبشکن در بالادست) و P2 (آبشکن در مجاورت) آبگیر جانبی بوده است که به ترتیب ۱۱ و ۱۰ درصد رشد داشته است. لذا با توجه به شرایط آبگیری می توان بیان کرد که آبشکن در محدوده میانی آبگیر بیشترین اثر را بر افزایش آبگیری کانال جانبی دارد.

جدول ۴- نسبت تغییرات آبگیری کانال جانبی برای حالت های مختلف

ردیف	Fr	P/h	موقعیت P <sub>i</sub>	Q <sub>Pi</sub> /Q	متوسط تغییرات
۱	۰/۲۲	۰/۵	P1	۱/۳۷	۱/۲۹
				۱/۲۱	
۳	۰/۲۲		P2	۱/۱۹	۱/۱۰
				۱	
۵	۰/۲۲		P3	۱/۲۹	۱/۲۶
				۱/۲۲	
۷	۰/۲۲		P4	۱/۱۲	۱/۱۱
				۱/۰۹	
۲	۰/۲۹				
۴	۰/۲۹				
۶	۰/۲۹				
۸	۰/۲۹				

شکل ۵ خطوط جریان برای حالات مختلف و همچنین خط جدایی جریان در آنها را برای مقادیر مختلف عدد فرود نشان می دهد. همانطور که مشاهده می شود حالت P1 و P3 محدوده بیشتری از جریان ورودی را به سمت آبگیر جانبی هدایت کرده اند و همچنین فشردگی خطوط جریان در نوک آبشکن در این دو حالت بیشتر از سایر حالات است. این درحالی است که برای حالات P2 و P4 خط جدایی جریان تقریباً نزدیک به خط جدایی جریان در حالت بدون آبشکن (P0) می باشد و فشردگی جریان برای حالت P2 کمتر از حالات P1 و P3 و در حالت P4 فشردگی اثرگذاری مشاهده نمی شود. از

دیگر موارد مشهود در شکل ۵، جریان برگشتی در پایین دست آبشکن می باشد، همانطور که مشاهده می شود بیشترین محدوده جریان برگشتی مقابل آبگیر جانبی مربوط به حالت P2 (آبشکن در بالادست آبگیر جانبی) است. بیشترین مقادیر عدد فرود جریان در کانال جانبی و در پایین دست سرریز تشکیل شده است که به دلیل تغییرات شدید مقادیر سرعت و همچنین عمق کمتر جریان در این محدوده می باشد.



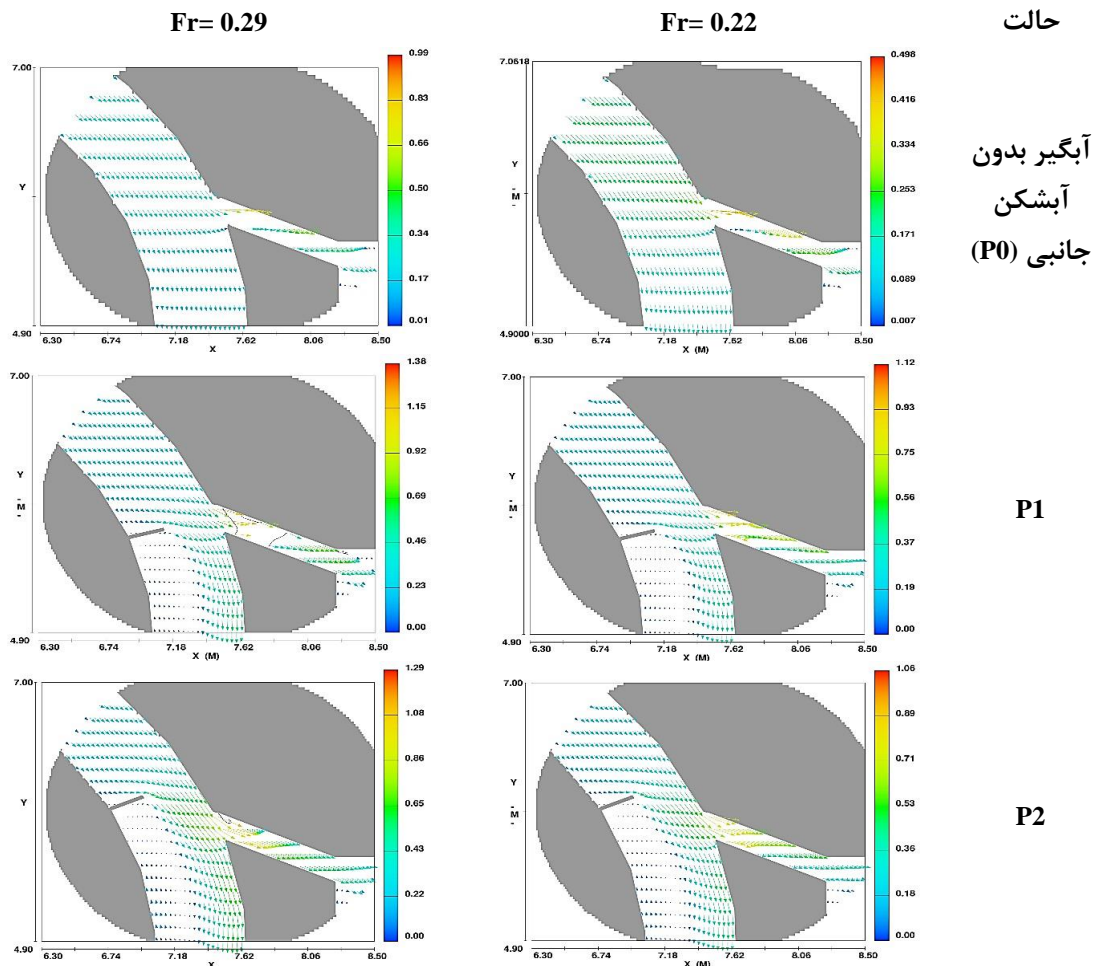
شکل ۵- تغییرات خطوط جریان و همچنین خط جدایی جریان برای حالات مختلف به همراه تغییرات عدد فرود

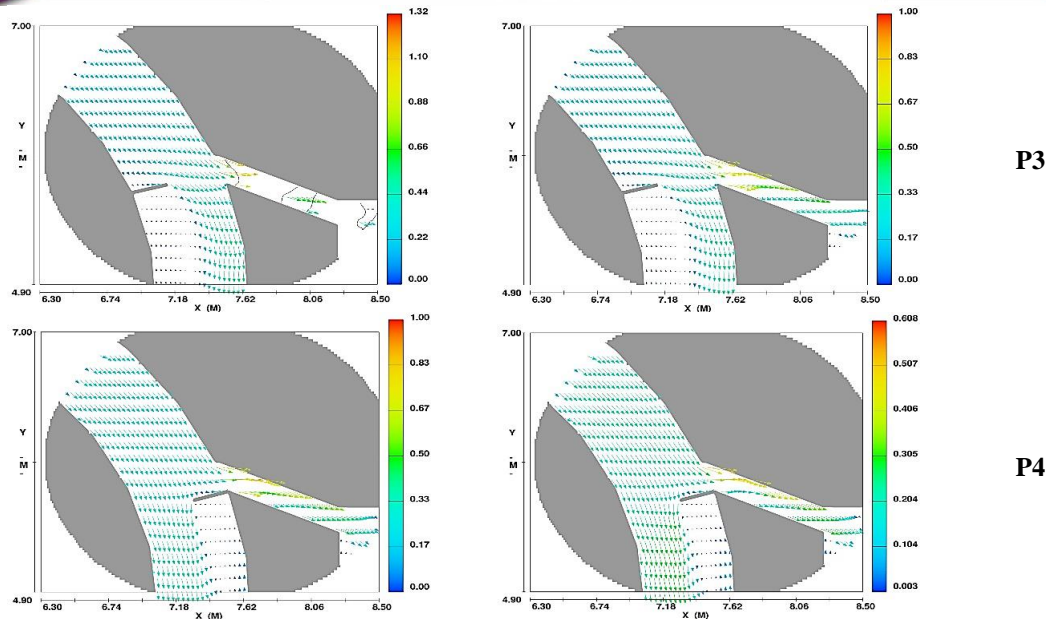




جهت بررسی دقیق تر شرایط جریان در محدوده آبشکن و آبگیر جانبی، بردار برآیند سرعت برای حالات مختلف در شکل ۶ نمایش داده شده است. نکته قابل توجه در این شکل، جهت بردار برآیند در حالات مختلف در محدوده اندرکنشی بین آبشکن و آبگیر جانبی است. در حالات P0، P2 و P4 بخش قابل توجهی از بردارهای برآیند سرعت در راستای مسیر اصلی کانال کشیده شده اند، در حالی که در حالات P1 و P3 این بردارها به صورت فشرده تر و با بزرگای بیشتر به سمت آبگیر جانبی متمایل هستند. با توجه به اعداد فرود و عمق بالادست ثابت برای حالات مختلف، مقادیر سرعت در کانال جانبی در حالات P1 و P2 و P3 اختلاف قابل توجهی (حدود ۲ برابر) با حالت بدون آبشکن (P0) دارند، در حالی که برای حالت P4 اگرچه مقدار سرعت اندکی بیشتر است اما اختلاف زیادی ندارد و تقریباً برابر است.

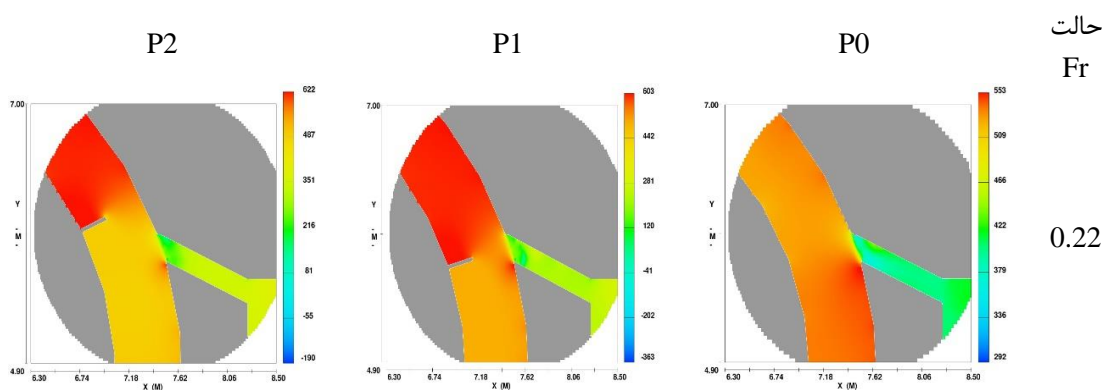
بزرگای مقادیر سرعت جریان برگشتی در پایین دست آبشکن ها بسیار کمتر از مقادیر جریان اصلی است. در محدوده جریان برگشتی همانطور که در شکل نیز مشاهده می شود جریان در راستای دماغه آبشکن بزرگای کمتری نسبت به جریان در مجاورت دیواره دارد، در واقع بیانگر مرکز گردابه تشکیل شده در محدوده پایین دست آبشکن ها است که این شرایط در شکل ۵ نیز مشهود است.





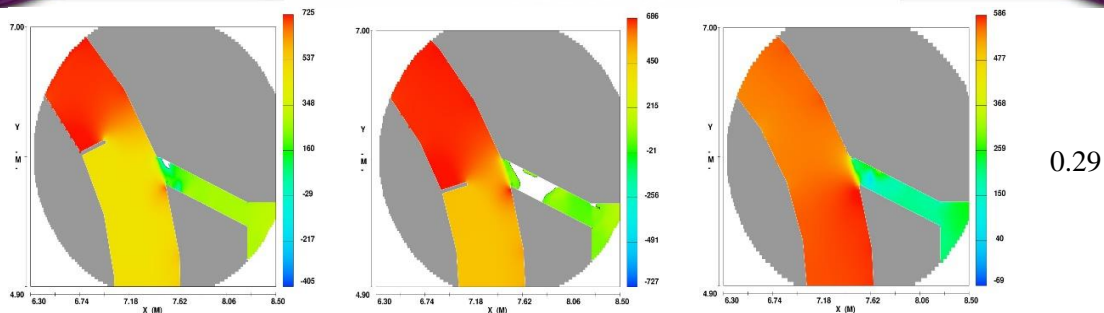
شکل ۶- مقادیر برآیند سرعت برای حالات مختلف (m/s)

مقادیر فشار برای حالات P0، P1 و P2 نمایش داده شده است. همانطور که در جدول ۴ و سایر اشکال پیش تر مشخص شد، حالت P1 بیشترین و P2 کمترین رشد آبگیری را نسبت به حالت P0 داشته اند. مقایسه تغییرات فشار در محدوده آبگیر نشان می دهد که برای حالت P2 مقادیر حداکثری فشار نسبت به دو حالت دیگر فضای بیشتری را در مجاورت با سرریز در بر گرفته است که ناشی از عمق بیشتر جریان و نتیجاً اثرگذاری آن به آبگیری بیشتر کانال جانبی با توجه به ضریب آبگذری ثابت سرریز است. نکته قابل توجه در تمامی حالات مقدار فشار حداکثری در محدوده تقاطعی آبگیر جانبی و کانال اصلی است که دقیقاً در محل تشکیل مقادیر حداکثری عدد فرود است که بیانگر یک محدوده با سرعت کم و عمق زیاد است.





www.CAUP.ir



شکل ۷- تغییرات مقادیر فشار در حالات منتخب (Pa)

#### ۴. نتیجه گیری

در تحقیق حاضر آبگیری کانال جانبی در قوس ۱۸۰ درجه تحت اثر جانمایی های مختلف آبشکن ساده و برای زاویه بهینه ۷۰ درجه و با استفاده از مدل عددی FLOW-3D مورد بررسی و تحلیل قرار گرفت. نتایج مدل آزمایشگاهی توسط مسجودی و مجتهد [۲۰] نیز برای صحت سنجی و همچنین مقایسه تغییرات برخی مشخصه های جریان تحت اثر آبشکن ساده در محل زاویه ۷۰ درجه قوس در تحقیق حاضر استفاده شد. چهار جانمایی مختلف نسبت به محل قرارگیری سرریز و آبگیر جانبی (P1, P2, P3, P4) در نظر گرفته شد، که هر کدام برای ۲ عدد فرود مختلف (۰/۲۲ و ۰/۲۹) مدل سازی شد نتایج حاصل از این پژوهش به صورت زیر است:

- بهترین مدل آشفتگی در این تحقیق مدل k-ε بوده است که مقادیر شاخص های آماری برای آن  $R2=0.979$ ،  $RMSE=0.01012$  و  $MAE=0.00417$  بوده است.
- این نرم افزار مقادیر عدد فرود (Fr) و دبی در کانال اصلی را با دقت بالا و با ضریب همبستگی به ترتیب  $R2=0.997$  و  $R2=0.990$  پیش بینی و محاسبه کرد.
- نتایج نشان داد که در هر صورت استفاده از آبشکن در آبگیری کانال جانبی اثر گذار بوده و آبگیری آن را به طور متوسط برای تمامی حالات تا ۱۸ درصد افزایش می دهد. نتایج بدست آمده نشان می دهد که آبگیری در مقادیر عدد فرود کمتر افزایش بیشتری نسبت به عدد فرود بزرگتر دارد.
- بیشترین افزایش آبگیری برای موقعیت P1 (آبشکن در محدوده میانی) و کمترین آبگیری برای حالات P4 (آبشکن در بالادست) حاصل شده است آبگیری در این حالات به صورت متوسط ۲۹ و ۱۰ درصد افزایش داشته است. لذا با توجه به شرایط آبگیری می توان بیان کرد که آبشکن در محدوده میانی آبگیر بیشترین اثر را بر افزایش آبگیری کانال جانبی دارد.
- حالت P1 و P3 محدوده بیشتری از جریان ورودی را به سمت آبگیر جانبی هدایت کرده اند و همچنین فشردگی خطوط جریان در نوک آبشکن در این دو حالت بیشتر از سایر حالات است. این در حالی است که برای حالات P2 و P4 خط جدایی جریان تقریباً نزدیک به خط جدایی جریان در حالت بدون آبشکن (P0) می باشد و همچنین در حالت P4 فشردگی اثرگذاری مشاهده نمی شود.
- در حالات P1 و P3 بردارهای سرعت به صورت فشرده تر و با بزرگای بیشتر به سمت آبگیر جانبی متمایل هستند و در سایر حالات بخش قابل توجهی از بردارهای برآیند سرعت در راستای مسیر اصلی کانال تشکیل شده اند.
- مقادیر سرعت در کانال جانبی در حالات P1 و P2 و P3 اختلاف قابل توجهی (حدود ۲ برابر) با حالت بدون آبشکن (P0) دارند، در حالی که برای حالت P4 اگرچه مقدار سرعت اندکی بیشتر است اما اختلاف زیادی ندارد و تقریباً برابر است.



- فشار حداکثر برای حالت بهینه P1 در محدوده آبگیر جانبی تشکیل شده است در حالی که برای حالات P0 و P2 مقادیر فشار حداکثری دورتر از محدوده سرریز و آبگیر جانبی است. نهایتاً نتایج توزیع سرعت، فشار و تغییرات خطوط جریان نشان دهنده انطباق این مقادیر در عرض و طول کانال با نحوه عبور و شکل گیری خطوط جریان برای حالت بهینه تحقیق حاضر است.

## ۵. مراجع

1. De Marchi, G. (1934), "Saggio di teoria di funzionamento degli stramazzi laterali," L'Energia Elettrica, Milano, Italy, 11(11), pp 860-849.
2. Subramanya, K., and Awasthy, S.C. (1972), "Spatially varied flow over side weirs," J. Hydr. Div. 10(1), pp 1-98.
3. Ranga Raju, K.G., Prasad, B., and Gupta, S.K. (1979), "Side weir in rectangular channel," J. Hydr. Div. 5(105), pp 554-547.
4. Nadesamoorthy, T., and Thamson, A. (1972), "Discussion of Spatially varied flow over side weirs by K. Subramanaya and S.C. Awasthy," J. Hydr. Engin. 12(98), pp 2235-2234.
5. Agaccioglu, H., and Yüksel, Y. (1998), "Side-weir flow in curved channel," J. Irrig. and Drain. Engine., 3(124), pp 175-163.
6. Borghei, S.M., Jalili, M.R., and Ghodsian, M. (1999), "Discharge efficient for sharp-crested side weirs in subcritical flow," J. Hydr. Engin., 10(125), pp 1051- 1056.
۷. فیض الهی، ف.، قدسیان، م. و دهقانی، ا. ا. (۱۳۹۰)، "ضریب شدت جریان دریچه ی کناری در قوس ۱۸۰ درجه،" مهندسی عمران مدرس، تهران، ایران، ۱۱(۲)، ۱۱۱-۱۲۱.
۸. صادقی، ز.، و دهقانی، ا.، و قدسیان، م.، و ظهیری، ع.، و منتصری، ح. (۱۳۹۱)، "بررسی ضریب آب گذری سرریز لبه تیز در آب گیر جانبی واقع در قوس ۱۸۰ درجه،" پژوهش های حفاظت آب و خاک (علوم کشاورزی و منابع طبیعی)، ۱۹(۴)، ۴۷-۶۵.
۹. صفرزاده، ا. (۱۳۸۳)، "شبیه سازی الگوی جریان در آبگیری جانبی از قوس ۱۸۰ درجه،" پایان نامه کارشناسی ارشد ، دانشگاه تربیت مدرس.
۱۰. توکلی، ک.، عوض پور، ف. و منتصری، ح. (۱۳۹۸)، " مطالعه ی عددی فیزیک جریان عبوری از تک صفحه ی مستغرق واقع در کانال قوسی و شناسایی تأثیر آن بر آبگیری،" مجله مهندسی منابع آب، ۱۲(۴۳)، ۲۵-۳۶.
۱۱. شیرالی، س.، مسجدی، ع. و اسدی لور، م. (۱۳۹۲)، "بررسی آزمایشگاهی تاثیر فاصله طولی صفحات مستغرق موازی بر نسبت رسوب انحرافی به آبگیرجانبی در قوس ۱۸۰ درجه رودخانه،" ششمین همایش ملی آبخیزداری و مدیریت منابع آب و خاک، کرمان.
۱۲. شاکر، ا.، کاشفی پور، س. م. (۱۳۹۴)، " بررسی آزمایشگاهی تاثیر طول و زاویه ی قرارگیری آبشکن های مستطیلی بر توزیع سرعت و تنش برشی در قوس ۹۰ درجه،" علوم و مهندسی آبیاری، ۳۸(۳)، ۱-۱۲.
13. Zamani, M., Rabiefar, H., and Rostami, M. (2020), "Experimental evaluation of spur dikes placement position effect on the hydraulic and erosion conditions of intakes," Water Supply, 20:3, 900-908.
۱۴. غفاری، س.، اقبال زاده، ا.، و جوان، م. (۱۳۹۵)، "بررسی عددی اثر عدد فرود بالادست بر الگو و مشخصات جریان در امتداد سرریز جانبی لبه تیز مستطیلی،" مهندسی عمران (فنی و مهندسی مدرس)، ۱۶(۲)، ۲۱۵-۲۲۸.
15. Hirt, C. W., and Richardson, J. E. (1999), "The modeling of shallow flows," Flow Sci. Tech. Notes, 48, pp 1-14.



۱۶. قاسم زاده، ف. (۱۳۹۴)، " شبیه سازی مسائل هیدرولیکی در Flow-3D، " انتشارات نوآور، تهران، ایران.

17. Dimitris, S., and Panayotis, P. (2010), "Macroscopic turbulence models and their application in turbulent vegetated flows," Journal of Hydraulic Engineering, 137(3), pp 315-332.

18. Sabbagh-Yazdi, S. R., Rostami, F., and Mastorakis, N. E. (2007), "Turbulent modeling effects on finite volume solution of three dimensional aerated hydraulic jumps using volume of fluid," In Proceedings of the 12th WSEAS International Conference on Applied Mathematics, Stevens Point, Wisconsin, USA, pp 168-174.

19. Yin, B., Yu, S., Jia, H., and Yu, J. (2016), "Numerical research of diesel spray and atomization coupled cavitation by Large Eddy Simulation (LES) under high injection pressure," International Journal of Heat and Fluid Flow, 59, pp 1-9.

۲۰. مسجدی، ع.، مجتهد، م. (۱۳۹۵)، " بررسی آزمایشگاهی ضریب تخلیه سرریز ورودی به آبگیرهای جانبی در خم رودخانه، " مجله پژوهش های آبخیزداری، ۲۹(۲)، ۱۱۱، ۶۴-۷۶.