



## بررسی آزمایشگاهی تغییرات سطح آب و سرعت عرضی در محدوده آبگیرهای جانبی موجود در کانال‌های قوسی

محمد رضا پیرستانی<sup>۱</sup>، ندا برخوردار<sup>۲</sup>، سید محمدرضا مجدزاده طباطبائی<sup>۳</sup>

۱- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب - دانشکده فنی - گروه مهندسی عمران - تلفن: ۳۷۲۲۸۳۱ داخلی: ۲۱۴

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۳- عضو هیئت علمی دانشکده صنعت آب و برق (شهید عباسپور) - تهران، صندوق پستی ۱۷۱۹-۱۶۷۶۵ - تلفن: ۷۳۱۲۷۸۰

⋮

Barkhordari\_neda@yahoo.com

### خلاصه

یکی از روش‌های انحراف آب از مسیر اصلی رودخانه‌ها استفاده از آبگیرهای جانبی می‌باشد. همواره مسئله مهم در انتقال آب، مشکل ورود رسوبات به کانال‌ها و سیستم‌های انتقال می‌باشد. بنابراین هدف طراحان کاهش میزان ورود رسوبات انتقال یافته تا حد امکان می‌باشد. از آنجا که اکثر رودخانه‌ها در بیشترین مسیر خود دارای پیچ و خم می‌باشند، با توجه به وجود جریان ثانویه (جریان حلزونی) در قوس خارجی، این منطقه مکان مناسب برای موقعیت آبگیری پیشنهاد شده است. بنابراین ضرورت تحقیقات بیشتر در زمینه انتخاب موقعیت و زاویه آبگیرهای جانبی در مسیرهای قوسی شکل لازم بنظر می‌رسد. به همین منظور جهت بررسی تغییرات سرعت عرضی و تراز سطح آب ناشی از تغییرات پارامترهای هیدرولیکی جریان در محدوده آبگیرهای جانبی بدون بند انحرافی در کانال‌های قوسی، فلومی (U) شکل با مقطع مستطیل با بستر ثابت طراحی و ساخته شد. از کانال مستقیم با مقطع مستطیلی بعنوان کانال انحرافی استفاده گردیده است. آبگیری از کانال قوسی شکل تحت زاویه ۶۰ درجه در موقعیت‌های مختلف (۴۰، ۷۵، ۱۱۵ درجه) و با اعداد فرود (۰/۲۷، ۰/۴۱، ۰/۵۵) انجام گرفت. با استفاده از ترسیم سرعت‌ها و تراز سطح آب، نتیجه می‌شود که با نزدیک شدن به دهانه آبگیر، سرعت عرضی تحت تأثیر مکش آبگیر افزایش می‌یابد. همچنین با توجه به تغییرات سرعت، کمترین و بیشترین میزان تراز سطح آب به ترتیب در نیمه و انتهای عرض دهانه آبگیر اتفاق می‌افتد. بطور کلی نتایج حاصل از تجزیه و تحلیل تغییرات تراز سطح آب و سرعت عرضی در محدوده آبگیر داخل کانال قوسی در این مقاله به تفصیل ارائه شده است.

واژه‌های کلیدی: کانال قوسی شکل، آبگیر جانبی، تراز سطح آب، سرعت عرضی

### مقدمه

در انتقال آب همواره مسأله رسوبات وارده به کانال‌ها و سیستم‌های انتقال آب وجود داشته که این رسوبات سبب کاهش ظرفیت کانال و در مواردی نیز ممکن است سبب مسدود شدن کانال‌ها شود. بنابراین با کاهش میزان رسوبات انتقال آب به داخل آبگیر آسان‌تر و راندمان آبگیر افزایش می‌یابد [۱]. اگر دبی انحرافی از ۲۵ درصد دبی حداقل رودخانه کمتر بوده و حداقل عمق جریان بیش از ۱ تا ۱.۵ متر باشد، می‌توان از آبگیر بدون بند استفاده کرد در غیر این صورت اجرای بند انحرافی ضروری است. انحراف بدون سد در بیشتر حالات باعث رسوبگذاری بستر در پایین دست آبگیر می‌شود. از آنجا که هدف انتقال آب بدون رسوب می‌باشد لذا رسوبات به طرف پایین دست انتقال می‌یابد. بنابراین جریان پایین دست دارای رسوبات زیادی بوده و بار رسوبی در این منطقه بیش از حد انباشته شده که این رسوبات در پایین دست انحراف معمولاً یک جریان برگشتی را بوجود می‌آورند. این روند تا زمانی ادامه می‌یابد که شیب پایین دست رودخانه تا حدی باشد تا میزان جریان پس از انحراف قادر به انتقال رسوبات ورودی از بالادست باشد. بنابراین در طراحی باید اثرات زبان آور زیست محیطی به حداقل برسد. در صورتی که از یک سرریز برای کنترل انحرافی استفاده شود منجر به کاهش ظرفیت رسوبات انتقالی و افزایش عمق جریان در بالادست انحراف می‌شود [۱].

ساده‌ترین روش انحراف جریان از یک رودخانه، ایجاد یک انشعاب ۹۰ درجه در مسیر مستقیم می‌باشد. چنین سیستمی باعث شکل‌گیری الگوی جریان پیچیده‌ای شده به طوری که با نزدیک شدن جریان به دهانه آبگیر، مکش ایجاد شده موجب افزایش شتاب جریان عرضی به سمت دهانه آبگیر می‌شود [۲]. این شتاب سبب تقسیم جریان شده به گونه‌ای که یک بخش از جریان وارد آبگیر و بقیه مسیرش را به سمت پایین دست کانال اصلی ادامه می‌دهد. قسمتی که وارد کانال انحرافی می‌شود توسط صفحه برش خمیده مشخص می‌شود که به صفحه تقسیم کننده جریان معروف است. جریانی که منحرف می‌شود

۱- استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد مهندسی سازه‌های هیدرولیکی

۳- عضو هیئت علمی دانشکده صنعت آب و برق (شهید عباسپور)



دارای مومنتم شدیدی در جهت کانال اصلی بوده و به همین علت داخل آبگیر جدایی جریان اتفاق می‌افتد. به دلیل وجود گرادیان فشار جانبی تنش برشی بستر و نیروی گریز از مرکز ناشی از خطوط انحناء جریان، جریان ورودی به آبگیر دچار عدم تعادل شده و همین پدیده باعث ایجاد جریان ثانویه در طول آبگیر می‌شود که مکانیسم تشکیل آن شبیه مکانیسم جریان ثانویه در قوس‌ها می‌باشد [۲].

نیروی حاکم بر جریان کانال‌های قوسی شکل نیروی گریز از مرکز بوده که در رودخانه‌ها به خاطر وجود تنش برشی در بستر و عدم وجود آن در سطح آزاد سرعت جریان در نواحی بالایی نزدیک سطح آزاد زیاد می‌باشد. این پدیده منجر به عدم یکنواختی پروفیل سرعت در جهت قائم می‌شود [۳].

بنابراین ذرات آب در سطح به سمت قوس خارجی و در کف به سمت قوس داخلی هدایت شده که باعث ایجاد شیبی در جهت قوس داخل در سطح آب می‌شود. در اثر نیروی گریز از مرکز و اندرکنش آن با گرادیان‌های جانبی فشار ناشی از شیب سطح آب جریانی تشکیل می‌دهد که به جریان ثانویه موسوم است. به طور ساده‌تر جریان ثانویه در خم رودخانه‌ها تحت تأثیر جریان‌های منحنی‌وار به علت تغییر مسیر جریان بوجود آمده همچنان در مسیره‌های مستقیم رودخانه‌ها و کانال‌های انحرافی این جریان‌ها به علت هم‌گرایی و واگرایی مقاطع ایجاد می‌شود. در اثر اندرکنش بین جریان ثانویه با پروفیل سرعت طول الگوی جریانی حلزونی تشکیل می‌شود که این الگوی جریان باعث ایجاد آشفتگی شدید جریان می‌شود [۳]. در اثر این پدیده الگوی پروفیل سرعت در جهت عرضی دچار تغییرات زیادی نسبت به حالت مستقیم شده و بر مورفولوژی رودخانه تأثیر گذاشته به طوری که سرعت بالای جریان در قوس خارجی باعث آبشستگی بستر رودخانه و کناره‌ها و تخریب آن می‌شود [۴].

با توجه به تحقیقات انجام شده بررسی جریان و تغییرات سرعت در محدوده آبگیرهای جانبی دارای اهمیتی زیادی بوده که مطالعه بر روی آن را لازم می‌داند.

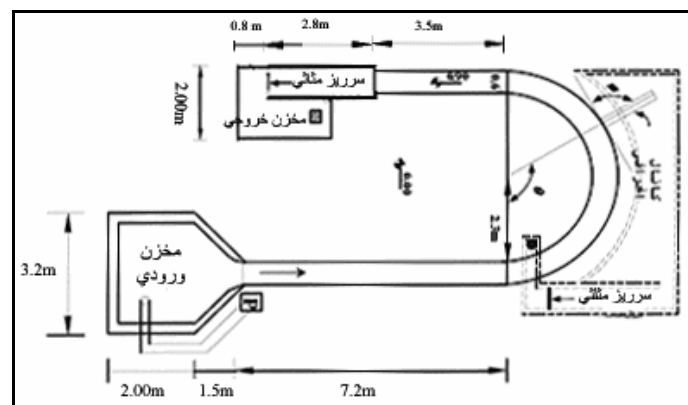
## روش کار

مکانیسم جریان در کانال قوسی شکل نسبت به کانال مستقیم پیچیده‌تر بوده که با آگیری از کانال قوسی، بر پیچیدگی الگوی جریان افزوده می‌شود. به دلیل آنکه تاکنون بیشتر مطالعات انجام شده در آگیری از مسیر مستقیم بوده و کمتر مطالعه‌ای بر روی آگیری از کانال قوسی شکل انجام شده و از آنجائی که رودخانه‌ها در بیشتر بازه خود دارای مسیر قوسی می‌باشند. تحقیقات بیشتر در این زمینه لازم به نظر می‌رسد.

داده‌های استفاده شده، از آزمایش در یک فلوم قوسی ۱۸۰ درجه (U شکل) که با مقطع مستطیل به ابعاد عرض (b) ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر شعاع انحناء (R) ۲/۶ متر با نسبت شعاع انحناء به عرض  $\left(\frac{R}{B}\right)$  ۴/۳۳ می‌باشد. کانال انحرافی نیز با مقطع مستطیلی به عرض ۰/۲۵ متر و ارتفاع ۰/۳ متر با طول ۱/۱ متر است.

در قسمت بالادست فلوم (U) شکل یک کانال مستقیم با مقطع مستطیل به طول ۷/۲ متر و عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر به منظور جلوگیری از ورود جریان متلاطم و همچنین یک کانال مستقیم با مقطع مستطیلی به طول ۳/۵ متر در پایین دست فلوم برای جلوگیری از تأثیر در پیچه انتهایی کانال بر روی سطح آب وجود دارد. همچنین از کانالی با مقطع مستطیل به عرض ۰/۲۵ متر و ارتفاع ۰/۳ متر با طول ۱/۱ متر به عنوان کانال انحرافی استفاده گردیده است. شکل ۱ نمایی از کانال آزمایشگاهی را نشان می‌دهد.

شیب طولی کانال به صورت یک پارامتر ثابت و معادل صفر در نظر گرفته شده است. رقوم کف کانال اصلی و آبگیر یکسان و برابر ۰/۹ متر از کف آزمایشگاه می‌باشد. برای تأمین آب، مخزن زیرزمینی در زیر فلوم ساخته شد. برای انتقال آب از یک پمپ ۸ اینچی با حداکثر دبی ۱۰۰ لیتر بر ثانیه و برای اندازه‌گیری و تنظیم دبی کل ورودی به فلوم قوسی از یک دستگاه پیشرفته به نام فلکسیم استفاده شد.



شکل ۱- نمایی از فلوم آزمایشگاهی

با توجه به اینکه مطالعات زیادی بر روی کانال‌های قوسی شکل انجام شده است اما تاکنون محل آگیری مشخص در قوس برای آگیری مشخص نشده است بنابراین سه زاویه ۴۰، ۷۵ و ۱۱۵ درجه به عنوان محل آگیری و زاویه ۶۰ درجه بعنوان زاویه آگیری در نظر گرفته شد. از آنجایی که رژیم جریان در بالادست آبگیر در نسبت دبی انحرافی و میزان رسوبات به داخل کانال انحرافی مؤثر است، بنابراین عدد فرود به عنوان دیگر پارامتر متغیر در انجام

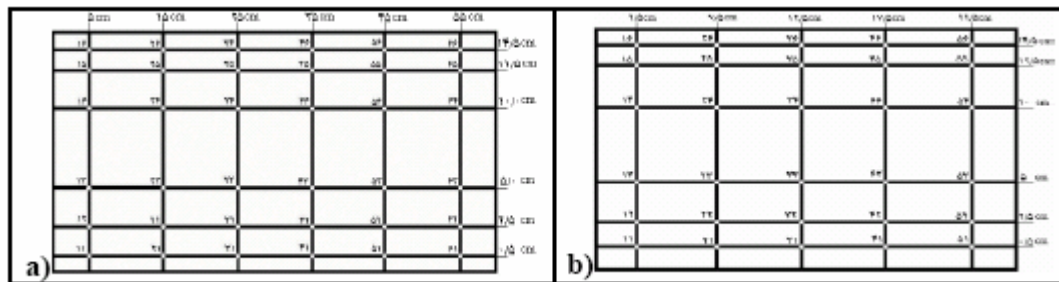


آزمایشات بوده و چون عدد فرود تابعی از دبی و عمق جریان می‌باشد، مقادیری برای دبی و عمق جریان انتخاب شد که اولاً همواره جریان زیر بحرانی باشد زیرا در جریان‌های زیر بحرانی سطح آب حالت صاف و اضافه ارتفاع کمی و ملایمی دارد در حالیکه در جریان‌های فوق بحرانی سطح آب حالت ناصاف و دارای امواج عرضی بوده و اضافه ارتفاع بیشتر از حالت زیر بحرانی دارد و ثانیاً محدوده وسیعی از جریان زیر بحرانی را شامل شود در نتیجه آزمایشات با دبی های ۳۰، ۴۵ و ۶۰ لیتر بر ثانیه و عمق جریان ثابت ۰/۱۵ متر که از آن اعداد فرود به ترتیب ۰/۲۷، ۰/۴۱ و ۰/۵۵ محاسبه می‌شود، انجام گرفت. با نزدیک شدن به آبگیر خطوط جریان در سطح و در کف بیشتر تحت تأثیر آبگیر قرار می‌گیرد. بنابراین فواصل مقاطع اندازه‌گیری با نزدیک شدن به آبگیر کمتر در نظر گرفته شده است.

جدول ۱: مقاطع انتخاب شده در کانال قوسی U شکل جهت اندازه‌گیری سرعت (درجه)

مقطع محل آبگیر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
۴۰°	۰	۱۰	۲۰	۲۵	۳۰	۳۲/۵	۳۵	۳۷/۵	۴۰	۴۲/۵	۴۵	۴۷/۵	۵۰	۵۵	۶۰	۷۰	۸۰
۷۵°	۳۵	۴۵	۵۵	۶۰	۶۵	۶۷/۵	۷۰	۷۲/۵	۷۵	۷۷/۵	۸۰	۸۲/۵	۸۵	۹۰	۹۵	۱۰۵	۱۱۵
۱۱۵°	۷۵	۸۵	۹۵	۱۰۰	۱۰۵	۱۰۷/۵	۱۱۰	۱۱۲/۵	۱۱۵	۱۱۷/۵	۱۲۰	۱۲۲/۵	۱۲۵	۱۳۰	۱۳۵	۱۴۵	۱۵۵

مطابق شکل (۲) برای اندازه‌گیری سرعت در هر مقطع از کانال از یک شبکه ۶×۶ و در داخل کانال انحرافی از یک شبکه ۶×۵ استفاده شده است به طوری که اندازه‌گیری سرعت در عمق‌های مختلف توسط یک دستگاه سرعت‌سنج دو بعدی PEMS و یک بعدی 432-Armie صورت گرفته است.



شکل ۲- شبکه بندی انجام شده جهت اندازه‌گیری سرعت در هر مقطع (a) کانال قوسی، (b) کانال انحرافی

## بحث و بررسی نتایج

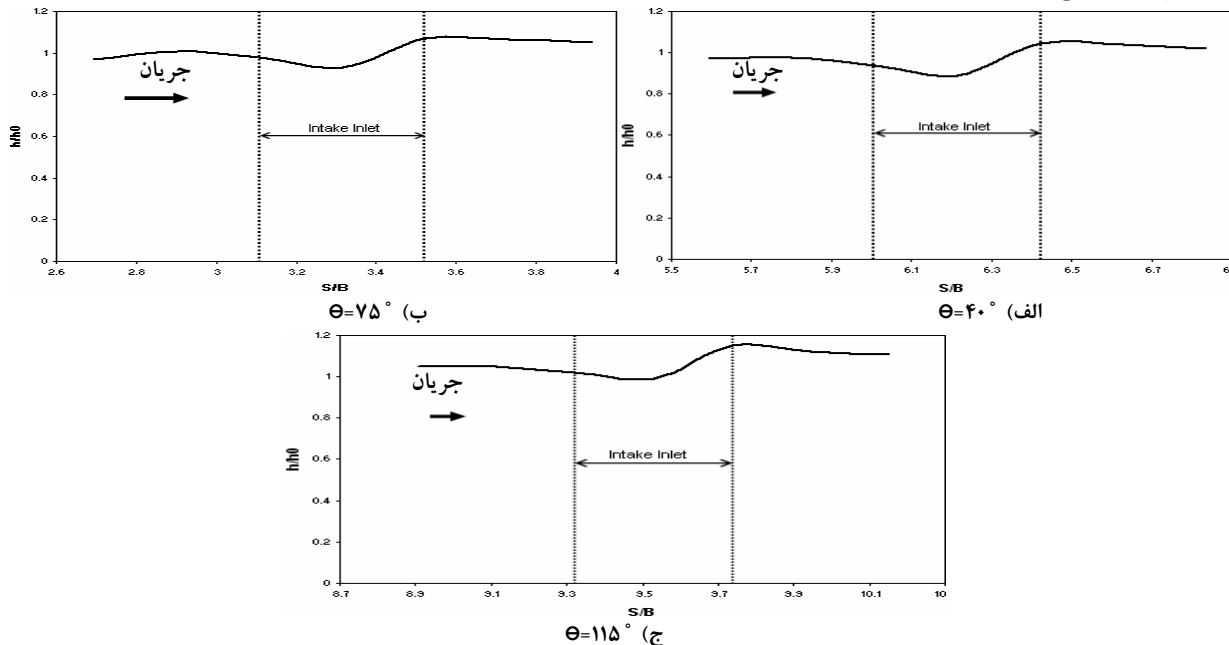
### - بررسی تغییرات سطح آب

جریان آب با ورود به کانال قوسی شکل، تحت اثر نیروی گریز از مرکز ناشی از قوس، سطح آب در جداره خارجی افزایش یافته و در جداره داخلی کاهش می‌یابد. روند افزایش سطح آب در قوس خارجی نسبت به قوس داخلی تا نواحی قبل از دهانه آبگیر ادامه دارد. با نزدیک شدن به آبگیر مطابق شکل (۳) سطح آب در امتداد دهانه آبگیر شروع به کاهش کرده به طوری که تراز سطح آب در نیمه عرض دهانه به حداقل مقدار می‌رسد. سپس تراز سطح آب افزایش یافته و در انتهای دهانه آبگیر دارای حداکثر مقدار خواهد شد. پس از آن بتدریج کاهش یافته و به یک مقدار ثابت می‌رسد. بنابراین تغییرات فشار در دهانه آبگیر به گونه‌ای است که در ابتدای دهانه آبگیر فشار کم و در انتهای دهانه آبگیر فشار افزایش می‌یابد. نواحی فشار زیاد و کم موجب تغییرات تراز سطح آب در طول دهانه آبگیر می‌شود. Neary (1999)، در تحقیقات خود به چنین نتایجی اشاره کرده است [۲]. در انتهای دهانه آبگیر در اثر برخورد جریان آب به این ناحیه نقطه سکون<sup>۱</sup> تشکیل شده و با فرض ثابت بودن انرژی، کاهش هد سرعت جریان به صورت افزایش عمق ظاهر می‌شود. به عبارت دیگر صفحه برشی ناشی از خطوط تقسیم جریان و جداره بیرونی و ناحیه جدا شده داخل آبگیر و جداره داخلی یک قوس فرضی را تشکیل می‌دهد و جریان ثانویه تشکیل شده در دهانه آبگیر باعث افزایش سطح آب در انتهای دهانه آبگیر می‌شود.

<sup>1</sup> Stagnation point



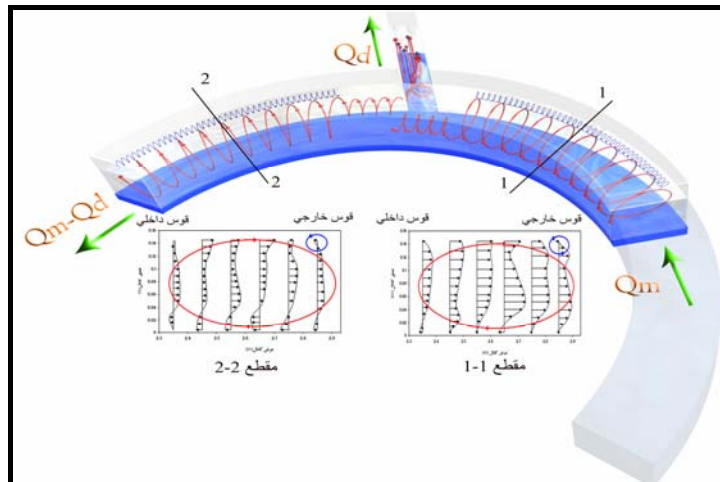
تغییرات تراز سطح آب با اعداد فرود مختلف نشان می‌دهد که با افزایش عدد فرود تغییرات تراز سطح آب در دهانه آبیگر افزایش می‌یابد. علت را می‌توان به این صورت بیان کرد، با افزایش عدد فرود سرعت جریان و تغییرات آن در دهانه آبیگر افزایش یافته بدین صورت که در ابتدا دهانه آبیگر افزایش هد سرعت جریان به صورت کاهش عمق و در انتهای دهانه آبیگر کاهش هد سرعت جریان بصورت افزایش عمق ظاهر می‌شود. در شکل (۳) محور افقی بیانگر طول بی‌بعد شده نسبت به عرض کانال اصلی و محور قائم بیانگر عمق بی‌بعد شده جریان نسبت به عمق ثابت کانال مستقیم بالادست می‌باشد.



شکل ۳- تغییرات تراز سطح آب در کانال در موقعیت مختلف آبیگری با عدد فرود ۰/۲۷

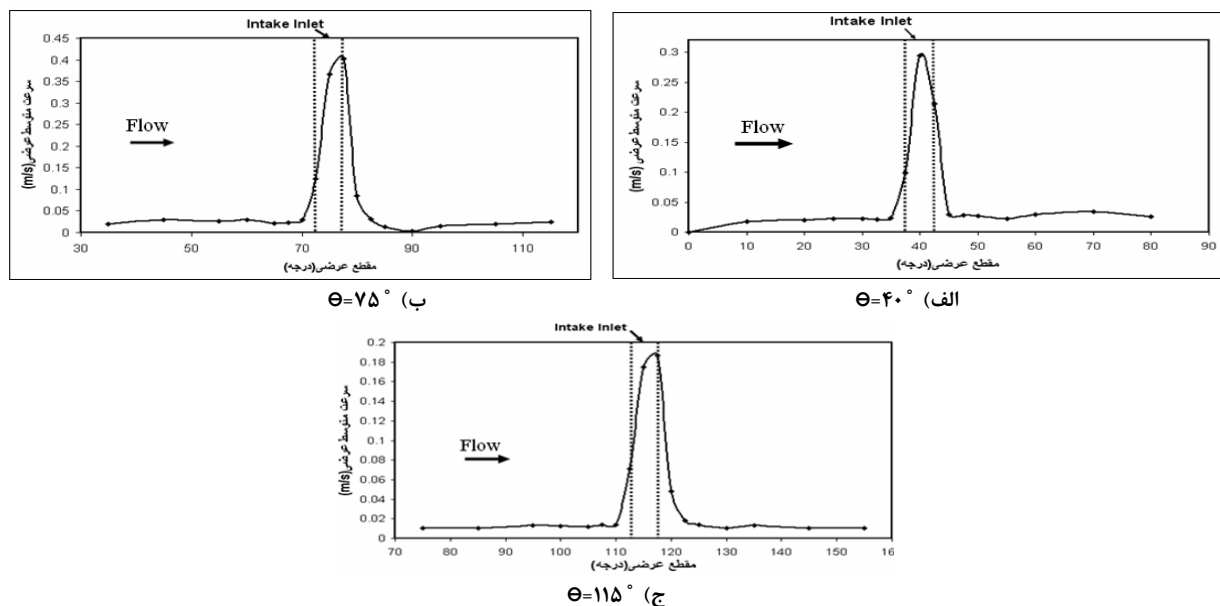
#### بررسی تغییرات سرعت عرضی جریان

با ترسیم توزیع عمقی سرعت عرضی ( $U_r$ ) در محدوده دهانه آبیگر و در موقعیت‌های آبیگری  $40^\circ$ ،  $75^\circ$  و  $115^\circ$  مشخص می‌شود که در موقعیت آبیگری  $40^\circ$  در مقاطع اولیه به علت غالب بودن تأثیر گرادیان طولی فشار بر نیروی گریز از مرکز جریان ثانویه ضعیفی برقرار شده و با بیشتر شدن شدت نیروی گریز از مرکز و کاهش تأثیر گرادیان فشار طولی جریان ثانویه در کل عرض کانال توسعه می‌یابد. با نزدیک شدن به دهانه کانال انحرافی و وجود جریان‌های عرضی یک‌طرفه به سوی آبیگر، جریان ثانویه ضعیف می‌شود. به عبارت بهتر مومنتیم اعمالی از طرف آبیگر بر جریان داخل کانال اصلی به گونه‌ای است که مانع از حرکت چرخشی ذرات می‌شود. بنابراین مکش ایجاد شده در اثر آبیگر بر جریان بیش از تأثیر نیروی گریز از مرکز در تشکیل جریان ثانویه می‌گردد. در پایین دست دهانه آبیگر به علت تغییرات خطوط جریان، جریان ثانویه در نزدیکی قوس خارج بوجود می‌آید. همچنین با دور شدن از دهانه آبیگر و کاهش مکش آن، جریان ثانویه توسعه می‌یابد. نیری (۱۹۹۹) در تحقیقات خود به چنین موضوعی اشاره کرده است [۲]. با تغییر موقعیت آبیگر در نیمه دوم قوس سلول ثانویه دیگری در نزدیکی سطح آب به صورت پادساعتگرد در مجاورت قوس خارجی مشاهده می‌شود. مطابق شکل (۴) در موقعیت آبیگری  $115^\circ$  به دلیل توسعه یافتگی جریان ثانویه این سلول ثانویه در مقاطع بالادست ( $75^\circ$  تا  $107/5^\circ$ ) و پایین دست ( $130^\circ$  تا  $155^\circ$ ) دهانه آبیگر مشاهده می‌شود. دلیل این پدیده را محققینی نظیر بلانکرت و گراف (۲۰۰۱)، عدم همسان بودن تنش‌های قائم رینولدز در این محدوده بیان کرده‌اند [۵]. به طور کلی با افزایش دبی و عدد فرود به علت کاهش تأثیر آبیگر بر روی جریان کانال اصلی، جریان ثانویه از توسعه بیشتری برخوردار است.



شکل ۴- تغییرات جریان ثانویه در محدوده دهانه آبگیر در حالت آبگیری  $\Theta=115^\circ$ ،  $\phi=60^\circ$ ،  $Fr=0.27$

همچنین تغییرات طولی سرعت عرضی در مجاورت جداره خارجی در محدوده آبگیر برای موقعیتهای آبگیری  $40^\circ$ ،  $75^\circ$ ،  $115^\circ$  مطابق شکل (۵) ترسیم شده است. همانطور که مشاهده می شود سرعت عرضی تحت تأثیر مکش آبگیر در محدوده دهانه آبگیر افزایش یافته، به طوری که بیشترین مقدار سرعت عرضی در موقعیت آبگیری  $40^\circ$  در وسط دهانه آبگیر و در موقعیتهای  $75^\circ$ ،  $115^\circ$  در لبه انتهایی دهانه آبگیر می باشد. علت آن را می توان تفاوت الگوی جریان در موقعیت آبگیری  $40^\circ$  درجه نسبت به دو موقعیت آبگیری  $75^\circ$  و  $115^\circ$  درجه بیان کرد [۶]. با بررسی سرعت عرضی برای اعداد فرود و دبی های مختلف مشخص می شود که با افزایش دبی و عدد فرود در کانال اصلی تأثیر آبگیر بر روی جریان کم شده و اندازه سرعت عرضی در بستر کاهش می یابد.



شکل ۵- تغییرات سرعت متوسط عرضی در مجاورت قوس خارج در موقعیتهای مختلف آبگیری

برای حالت آبگیری  $\phi=60^\circ$ ،  $Q=3 \text{ lit/s}$ ،  $Fr=0.27$

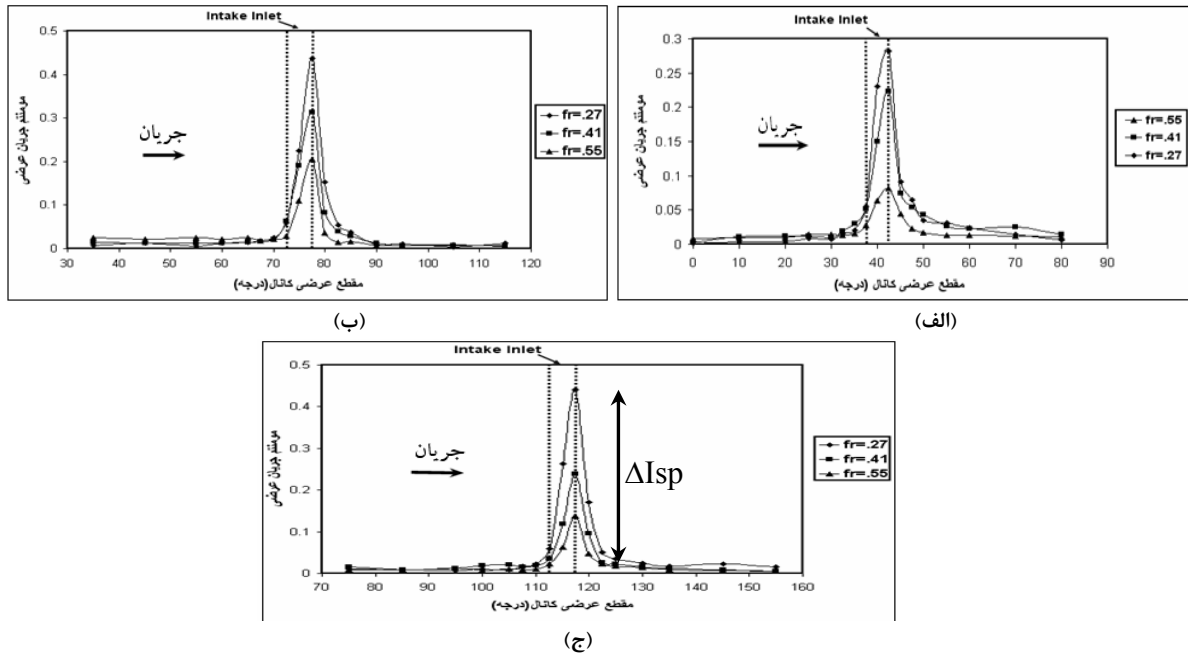
همچنین با بررسی مومنتم جریان عرضی در محدوده دهانه آبگیر طبق رابطه (۱) مشخص می شود مومنتم جریان عرضی در هر سه موقعیت آبگیری ( $40^\circ$ ،  $75^\circ$ ،  $115^\circ$ ) در دهانه آبگیر افزایش یافته به طوری که در مقطع انتهایی آبگیر به ماکزیمم مقدار خود می رسد.

$$I_{sp} = \frac{\int V^2 dA}{\int U^2 dA} \quad (1)$$



$V$  مؤلفه عرضی سرعت و  $U$  مؤلفه طولی سرعت در هریک از سلول‌های موجود در آن مقطع و  $dA$  سطح مقطع سلول‌های موجود در آن مقطع می‌باشد [۷].

مطابق شکل (۴) میزان افزایش مومنتم جریان عرضی در انتهای آبگیر با افزایش دبی و عدد فرود کاهش می‌یابد. زیرا با افزایش دبی و عدد فرود اثر آبگیر بر روی جریان داخل کانال کاهش یافته و سرعت عرضی نیز کم می‌شود.



شکل ۴- مقایسه مومنتم جریان عرضی در مکان‌های آبگیری (الف)  $\theta = 40^\circ$  (ب)  $\theta = 75^\circ$  (ج)  $\theta = 115^\circ$

با محاسبه بیشترین مقدار تغییرات در مقادیر مومنتم جریان عرضی ( $\Delta I_{sp}$ ) می‌توان رابطه تجربی بین مقادیر عدد فرود و موقعیت آبگیری و میزان دبی نسبی ارائه نمود.

$$\Delta I_{sp} = 0.440592 Q_r^{0.975365} \theta^{0.252848} Fr^{-0.44482} \quad (2)$$

در رابطه فوق  $\theta$  زاویه آبگیری بر حسب رادیان و  $Fr$  عدد فرود و  $Q_r$  دبی نسبی می‌باشد. رابطه تجربی بدست آمده (۲) دارای کمترین مقدار مجموع مربعات تفاضلی بین مقادیر محاسبه شده و اندازه‌گیری شده است.

### نتیجه‌گیری

- ۱- تجزیه و تحلیل‌های حاصل از ترسیم تغییرات تراز سطح آب و سرعت عرضی نتایج زیر بدست می‌آید:
- ۱- افزایش سطح آب در قوس خارجی نسبت به قوس داخلی تا نواحی قبل از دهانه آبگیر ادامه یافته که با نزدیک شدن به دهانه آبگیر سطح آب در امتداد دهانه آبگیر شروع به کاهش کرده به طوری که تراز سطح آب در نیمه عرض دهانه آبگیر به حداقل مقدار می‌رسد. سپس سطح آب افزایش یافته به طوری که در انتهای دهانه آبگیر دارای حداکثر مقدار خواهد شد. پس از دهانه آبگیر بتدریج کاهش یافته و به یک مقدار ثابت می‌رسد.
- ۲- با افزایش عدد فرود تغییرات تراز سطح آب در دهانه آبگیر افزایش یافته دلیل آن با افزایش تغییرات سرعت قابل توجه می‌باشد.
- ۳- با نزدیک شدن به دهانه آبگیر توسعه محدوده جریان ثانویه کاهش یافته به طوری که در امتداد عرض دهانه آبگیر جریان‌های عرضی یکطرفه بسوی کانال انحرافی ایجاد شده و پس از دهانه آبگیر در مجاورت قوس خارج محدوده جریان ثانویه تشکیل شده که با دور شدن از آبگیر توسعه می‌یابد.
- ۴- به طور کلی با افزایش دبی و عدد فرود به علت کاهش تأثیر آبگیر بر روی جریان کانال اصلی، جریان ثانویه از توسعه بیشتری برخوردار است.
- ۵- سرعت عرضی تحت تأثیر مکش ایجاد شده از سوی آبگیر در امتداد دهانه آبگیر افزایش یافته به طوری که بیشترین مقدار در انتهای دهانه آبگیر رخ می‌دهد.
- ۶- مطابق تغییرات سرعت عرضی، مومنتم جریان عرضی نیز در عرض دهانه آبگیر افزایش یافته به طوری که در انتهای دهانه آبگیر بیشترین مقدار اتفاق می‌افتد. همچنین با افزایش عدد فرود و کاهش تأثیر آبگیر بر روی جریان، مومنتم جریان عرضی کمتر می‌شود.
- ۷- رابطه تجربی جهت تخمین بیشترین میزان تغییرات مومنتم جریان عرضی بر حسب دبی نسبی و موقعیت آبگیری و عدد فرود برابر است با:

$$\Delta I_{sp} = 0.440592 Q_r^{0.975365} \theta^{0.252848} Fr^{-0.44482}$$



## قدردانی

این تحقیق براساس نتایج بدست آمده از طرح تحقیقاتی مصوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب با شماره قرارداد (۱۶/۲۴۹/ب) نتیجه‌گیری شده که از مسئولین زیربط در آن دانشگاه تشکر و قدردانی می‌شود.

## مراجع

- 1- Raudkivi, A. (1993), Sedimentation, Exclusion and removal of sediment from diverted water. AIRH Hydraulic Structures, Design Manual, pp. 63-87.
- 2- Neary, V. et. al. (1999), Three-dimensional numerical model of lateral-intake in flow, J. Hydr. Engrg, ASCE.125(2):126:140.
- 3- Rozovskii, I. L. (1957), Flow of water in bend of open channel Academy of Sciences of Vkrainian SSR, Institute of Hydrology and Hydraulic Engineering.
- 4- Booij, R. (2003), Modeling the flow in curved tidal channels and rivers, China, International conference on estuaries and coasts, pp. 786-794.
- 5- Blanckaert, K. and Graf, W.H. (2001). Experiments on flow in a strongly curved channel bend, XXIXTAHR-congress, Beijing, China.
- ۶- پیرستانی، م.ر و همکاران (۱۳۸۵)، بررسی الگوی جریان آبگیر جانبی با موقعیت ۱۱۵ درجه در کانال U شکل، هفتمین کنفرانس بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس.
- 7- Mosonyi, E. and Gotz, W (1973), Secondary currents in subsequent model bends, International symposium on river mechanics, Asian Institute Technology, Bangkok, Thailand.