



Numerical investigation of flow in 180-degree bend with different radius and lateral intakes by SRH-2D model

Hadiseh Sedighi Harsini¹ , Rasool Ghobadian² 

¹ Ph.D. student of Water structures, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: hadiseh.136989@gmail.com

² Corresponding author, Associate Professor, Department of Water Sciences and Engineering, Faculty of Agriculture, Razi University, Kermanshah, Iran. Email: r_ghobadian@razi.ac.ir

ABSTRACT

In nature, different types of river bends such as simple, complex, sharp, mild, etc. can be seen. The hydraulic behavior of the flow in the place of water intake from the river bends is more complicated than the straight path. Due to the presence of secondary flow in the bends, the outer wall of the bend is a suitable place for taking water from the river (Dehghani et al, 2007). Using SRH-2D numerical model, the behavior of flow in a 180-degree bend with side intake and three ratios of bend radius to channel width (R/B) were investigated. In this way, three ratios of bend radius to the channel width, equivalent to 2 (sharp bend), 3 and 4 (mild bend) were used. The hydraulic parameters such as flow velocity and streamline and spanwise water level were taken for sections of 100, 110, 115 and 125 degrees along the main channel and one section at the beginning of the side channel. The SRH-2D model was able to simulate well the flow in a 180-degree bend with a lateral intake. Also, the different flow areas including the point of stagnation, the minimum velocity after the intake which tends to the inner wall bend, the minimum velocity, the separation zone and the maximum flow area inside the intake channel were correctly modeled. In taking and deviation of water from a mild bend, the entering velocity into the intake is higher than that from a sharp bend, which can be effective in reducing sedimentation in the intake opening. In the cross-sections before and after the lateral intake, the highest value of flow depth occurs near the outer wall of the bend and the lowest value occurs near the inner wall of the bend. The sharper the bend, the greater spanwise slope of the water surface.

Keywords: 180-Degree bend, Lateral intake, SRH-2D model, Sharp bend

Article Type: Resebendh Article

Article history: Received: 12 June 2024 Revised: 24 August 2024 Accepted: 10 September 2024 ePublished: 22 September 2024

1. Introduction

In nature, different types of river bends such as simple, complex, sharp, mild, etc. can be seen. The hydraulic behavior of the flow in the place of water intake from the river bends is more complicated than the straight path. Due to the presence of secondary flow in the bends, the outer wall of the bend is a suitable place for taking water from the river.

2. Methodology

Using SRH-2D numerical model, the behavior of flow in a 180-degree bend with side intake and three ratios of bend radius to channel width (R/B) were investigated. In this way, three ratios of bend radius to the channel width, equivalent to 2 (sharp bend), 3 and 4 (mild bend) were used.

The hydraulic parameters such as flow velocity and streamline and spanwise water level were taken for sections of 100, 110, 115 and 125 degrees along the main channel and one section at the beginning of the side channel.

3. Results and discussion

Validation of the numerical model was done using the laboratory data of previous research. The results showed that the model correctly simulates the different parts of the flow in a bend with the presence of a side intake. The calculated and measured velocity values have an R^2 coefficient equal to 0.94.

According to the results obtained from this research, in the 115-degree section which corresponds to the axis of the side intake, with the increase of R/B ratio from 2 to 4, the velocity of the flow entering the intake increases by 6%. In the area of the outer wall of the bend, before the water intake, flow velocity in the sharp bend is higher than in the mild bend, and in the section immediately after the water intake, the flow velocity in the mild bend is higher than in the sharp bend.

Regardless of the relative radius of the bend, before the water intake opening, the position of the maximum flow velocity is in the vicinity of the outer wall of the bend, while after the intake opening, it is drawn towards the inner wall of the bend. In the 125-degree section, with the relative radius of the bend increasing from 2 to 4, the flow velocity in the outer wall has increased by 5%, but in the inner wall, the average velocity has decreased by 4%.

At the 115-degree section, the maximum amount of water level can be seen around the center line of the bend, and the sharper the size of the bend, the higher the amount of water level rises around the center line of the bend.

4. Conclusions

According to the obtained results, the SRH-2D model was able to simulate well the flow in a 180-degree bend with a lateral intake. Also, the different flow areas including the point of stagnation, the minimum velocity after the intake which tends to the inner wall bend, the minimum velocity, the separation zone and the maximum flow area inside the intake channel were correctly modeled. In taking and deviation of water from a mild bend, the entering velocity into the intake is higher than that from a sharp bend, which can be effective in reducing sedimentation

in the intake opening. In the cross-sections before and after the lateral intake, the highest value of flow depth occurs near the outer wall of the bend and the lowest value occurs near the inner wall of the bend. The sharper the bend, the greater spanwise slope of the water surface.

5. References

Dehghani, A., Ghodsian, M., Salehi Neyshabouri, S., & Shafeifar, M. (2007). Study on River Bed Evolution in 180° Alluvial Channel Bend. *Journal of Hydraulics*, 2(2), 1-16. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2007.85385> [In Persian]

6. Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

Cite this article: Sedighi Harsini, H., & Ghobadian, R. (2024). Numerical investigation of flow in 180-degree bend with different radius and lateral intakes by SRH-2D model, *Advanced Technologies in Water Efficiency*, 4(3), 99-117. DOI: 10.22126/atwe.2024.10860.1132

Publisher: Razi University

© The Author(s).





بررسی هیدرولیک جریان در قوس های ۱۸۰ درجه از تند تا ملایم همراه با آبگیر جانبی با

مدل SRH-2D

حدیثه صدیقی هرسینی^۱، رسول قبادیان^۲

^۱ دانشجوی دکتری سازه های آبی، گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: hadiseh.136989@gmail.com
^۲ نویسنده مسئول، دانشیار گروه علوم و مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه رازی، کرمانشاه، ایران. رایانامه: r_ghobadian@razi.ac.ir

چکیده

در طبیعت انواع قوس رودخانه ای از قبیل، ساده مرکب، تند، ملایم و ... قابل مشاهده هستند. رفتار هیدرولیکی جریان در محل آبگیری از قوس های رودخانه ای بسیار پیچیده تر از مسیر مستقیم است. در این مطالعه با استفاده از مدل عددی SRH-2D اثر سه نسبت شعاع قوس به پهنای کانال (R/B) معادل ۲ (قوس تند)، ۳ و ۴ (قوس ملایم) بر هیدرولیک جریان در محل آبگیر بررسی شد. پس از صحت سنجی مدل با استفاده از داده های آزمایشگاهی تحقیقات قبلی بر روی یک قوس ۱۸۰ درجه با $R/B=4/33$ ، پارامترهای هیدرولیکی سرعت و رقوم سطح آب برای مقاطع ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۱۵ و ۱۲۵ درجه در طول کانال اصلی و یک مقطع در ابتدای کانال جانبی برداشت گردید. طبق نتایج به دست آمده، در مقطع ۱۱۵ درجه که منطبق بر محور آبگیر جانبی است، با افزایش نسبت R/B از ۲ به ۴ سرعت ورودی جریان به آبگیر ۶٪ افزایش پیدا می کند. در مقطع ۱۲۵ درجه با افزایش شعاع نسبی قوس از ۲ به ۴، سرعت در قوس خارجی ۵٪ افزایش پیدا کرده اما در قوس داخلی کاهش سرعت متوسط به میزان ۴٪ می باشد. در مقطع ۱۱۵ درجه، حداکثر رقوم سطح آب در حوالی خط مرکزی قوس قابل مشاهده است؛ و هر اندازه قوس تند تر باشد، مقدار بالازدگی سطح آب در حوالی خط مرکزی قوس بیشتر است. در سایر مقاطع قبل و بعد از دهانه آبگیر رقوم سطح آب در قوس خارجی بیشتر و هر اندازه قوس تند تر باشد شیب عرضی سطح آب بیشتر می باشد.

واژه های کلیدی: قوس ۱۸۰ درجه، آبگیر جانبی، مدل SRH-2D، قوس تند و ملایم، شبیه سازی جریان

نوع مقاله: مقاله پژوهشی

سابقه مقاله: دریافت: ۲۳ خرداد ۱۴۰۳ اصلاح: ۰۳ شهریور ۱۴۰۳ پذیرش: ۲۰ شهریور ۱۴۰۳ چاپ الکترونیکی: ۰۱ مهر ۱۴۰۳

استناد: صدیقی هرسینی، حدیثه، و قبادیان، رسول. (۱۴۰۳). بررسی هیدرولیک جریان در قوس های ۱۸۰ درجه از تند تا ملایم همراه با آبگیر جانبی با مدل SRH-2D، *فناوری های پیشرفته در بهره وری آب*، ۴(۳)، ۹۹-۱۱۷. شناسه دیجیتال: 10.22126/ATWE.2024.10860.1132

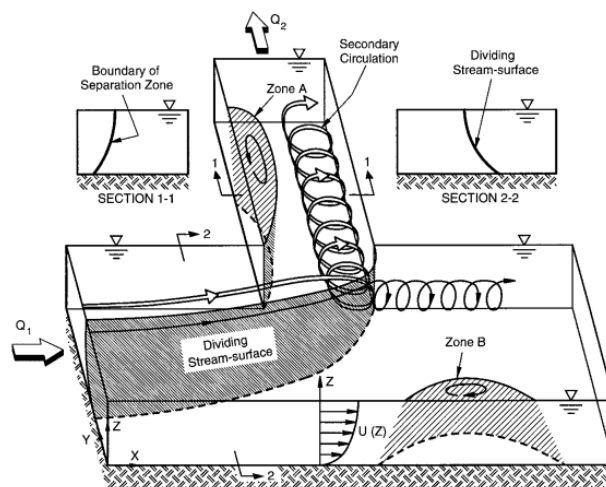


مقدمه

آبگیرها سازه‌هایی هستند که به وسیله‌ی آنها می‌توان آب را از مسیر اصلی خود، برای اهداف مختلف آبرسانی انحراف داد. الگوی جریان در محل آبگیری از کانال اصلی، همانند الگوی جریان در محل تلاقی دو رودخانه‌ها، از مباحث پیچیده و مهم در مهندسی هیدرولیک و رودخانه است. با نزدیک شدن جریان به کانال انحرافی، به علت وجود مکش در امتداد عرض دهانه آبگیر، انحراف خطوط جریان افزایش می‌یابد، که موجب تقسیم جریان بین آبگیر و پایین دست کانال اصلی می‌شود. به علت اینکه مومنتم جریان در راستای کانال اصلی بیشتر از کانال انحرافی بوده است، ناحیه جداشده در جداره داخلی کانال انحرافی تشکیل می‌شود. از طرفی وجود گرادیان فشار جانبی و نیروی گریز از مرکز ناشی از انحنای خطوط جریان، عدم تعادل در الگوی جریان ورودی به آبگیر را در پی دارد که باعث ایجاد چرخش های ثانویه در امتداد دیواره خارجی کانال انحرافی می‌شود (دهقانی و همکاران، ۱۳۸۴).

مبانی نظری و پیشینه پژوهش

داوینچی^۱ (۱۵۰۷) و سپس کاردینالی^۲ (۱۸۲۸) جزء اولین پژوهشگرانی بودند که بر روی جریان آبگیرهای جانبی به تحقیق و پژوهش پرداختند (نیری و همکاران^۳، ۱۹۹۹). نیری و همکاران (۱۹۹۵) الگوی سه بعدی جریان در محل آبگیر جانبی را معرفی کرده اند که در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱. الگوی سه بعدی جریان در آبگیر جانبی (نیری و همکاران، ۱۹۹۵)

با نزدیک شدن جریان به آبگیر، به صورت جانبی توسط فشار مکش در انتهای کانال انشعابی تحت شتاب قرار می‌گیرد. این موضوع باعث می‌شود که جریان به گونه‌ای تقسیم شود که بخشی از آن وارد کانال انشعابی شود و بقیه به پایین دست در کانال اصلی ادامه جریان دهند. بخشی از جریان که توسط شاخه انشعابی خارج می‌شود با یک سطح لایه برشی منحنی مشخص می‌شود که به عنوان سطح جریان تقسیم کننده نشان داده می‌شود. به دلیل انحنای جانبی سطح تقسیم کننده جریان، جریان منحرف شده دچار عدم تعادل بین گرادیان فشار عرضی و برش و نیروی گریز از مرکز می‌شود، که یک سلول حرکت ثانویه در جهت عقربه‌های ساعت را آغاز می‌کند. این حرکت ثانویه با ناحیه جداشدگی در امتداد دیواره داخلی کانال انشعابی (منطقه A) در تعامل است و در نتیجه یک جریان سه بعدی بسیار پیچیده‌ای تشکیل می‌شود. انحنای جریان همچنین ممکن است یک سلول حرکت ثانویه در خلاف جهت عقربه‌های ساعت در کانال اصلی و پایین

¹ Davin Chi

² Cardinali

³ Neary et al

دست منطقه اتصال ایجاد کند. علاوه بر این، بسته به نسبت عمق جریان d به عرض کانال W ، و همچنین نسبت دبی انحرافی به دبی کانال اصلی در بالادست ($r = Q2/Q1$) ممکن است یک ناحیه جداشدگی در امتداد دیواره خارجی کانال اصلی (ناحیه B) ایجاد شود. این ناحیه در نسبت کم دبی انحرافی به دبی کل به ندرت ایجاد می‌شود.

پیرستانی و همکاران (۱۳۸۵) به بررسی آزمایشگاهی جریان انحرافی آبگیرهای جانبی با زوایای انحراف مختلف در یک قوس ۱۸۰ درجه پرداختند. نتایج حاکی از آن بود که با توجه به تاثیری که آبگیر بر روی خطوط جریان در کانال اصلی می‌گذاشت موقعیت آبگیری ۷۵ درجه نسبت موقعیت‌های دیگر آبگیری دارای بیشترین دبی نسبی انحراف است. بیشترین تغییرات سرعت و قدرت جریان ثانویه و مومتم جریان عرضی در طول دهانه آبگیر اتفاق می‌افتد (پیرستانی و همکاران، ۱۳۸۷). از طرفی منتصری و همکاران (۱۳۸۷) نشان دادند که با ورود جریان به قوس، نه تنها یک جریان چرخشی در مقطع کانال به وجود می‌آید بلکه یک سلول چرخشی دیگر نیز با جهت مخالف در قوس خارجی به وجود می‌آید. این در حالی است که در مقاطع پس از آبگیر سلول چرخشی دوم در قسمت فوقانی جداره داخلی قوس تشکیل می‌شود. بررسی اثر زاویه‌های انحرافی مختلف بر روی تشکیل ناحیه جریان گردابی توسط عباسی و ملک نژاد (۲۰۱۴) انجام شد. نتایج مطالعات بیانگر این بود که ابعاد ناحیه گردابی در کانال انحرافی، به نسبت دبی انحرافی و زاویه انحراف بستگی دارد که افزایش زاویه انحراف موجب کاهش طول و عمق ناحیه جریان گردابی می‌شود.

استفاده از مدل‌های عددی برای شبیه سازی جریان در شرایط مختلف از جمله محل آبگیرها و تلاقی‌ها نیز مورد توجه محققین حوضه آب قرار گرفته است. رستم آبادی و همکاران (۱۳۸۸) با مدل سازی صفحات مستغرق در یک قوس ۱۸۰ درجه در مقابل دهانه آبگیر به وسیله نرم افزار FLUENT به این مهم دست یافتند که جریان ثانویه حول صفحات مستغرق در جهت جریان ثانویه اصلی در قوس است؛ در نتیجه امکان آبگیری بیشتر از جریان سطحی به مقدار کمتر رسوب ممکن می‌شود. نرم افزار سه بعدی SSIM2 در شبیه سازی خطوط جریان، میدان سرعت و تشخیص الگوی جریان در دهانه آبگیر نتایج قابل قبولی را ارائه می‌دهد این در حالی است که در نواحی نزدیک دیوار به علت ضعف مدل $k-\epsilon$ و نواحی نزدیک بستر نتایج با نتایج آزمایشگاهی دارای اختلاف است (منتصری و آسیائی، ۱۳۹۳).

کارایی مدل سازی نرم افزار CCHE2D توسط حبیبی و همکاران (۱۳۹۳) انجام شد که نتایج شبیه سازی الگوی جریان، فرسایش و رسوبگذاری نشان دهنده این موضوع بود که مدل قادر به شبیه سازی خصوصیات جریان در محل تلاقی است. از طرفی یانگ^۲ (۲۰۱۳) با استفاده از یک مدل عددی که از مش بندی پویا استفاده شده بود، به بررسی خصوصیات جریان در تلاقی ۹۰ درجه پرداخت که نتایج جاکی از آن بود مدل به خوبی قادر است سطح جریان و سرعت را به خوبی شبیه سازی کند. قبادیان و صیدی تبار (۱۳۹۴) ضمن تاکید بر این موضوع که مدل عددی SSIM1 به خوبی جریان در آبگیر جانبی و قوس را شبیه سازی می‌کند، به این نتیجه دست یافتند که با افزایش موقعیت اتصال از ۴۵ به ۱۳۵ درجه حداکثر تنش برشی بستر در محل اتصال حدود ۸ درصد کاهش پیدا می‌کند.

شبیه سازی جریان در یک قوس ۱۸۰ درجه با حضور آبگیر جانبی و صفحات مستغرق به وسیله مدل عددی Flow3D توسط سرحدی و جباری^۳ (۲۰۱۷) انجام گرفت که نتایج مدل عددی حاکی از آن بود که زاویه ۶۰ درجه برای قرار گیری صفحات مستغرق موجب حداکثر دبی آبگیری از قوس می‌شود. سویی و هانگ^۴ (۲۰۱۷) به بررسی عددی ناحیه جداشدگی جریان در یک کانال قوسی با آبگیر جانبی پرداختند. نتایج عددی از این قرار بود که طول و عرض ناحیه جداشدگی به طور کلی با افزایش نسبت دبی و زاویه تقاطع افزایش پیدا می‌کند؛ این در حالی است که عرض ناحیه جداشدگی زمانی که زاویه بین ۶۰ تا ۹۰ درجه است ثابت می‌ماند. از طرفی منتصری و همکاران (۲۰۱۹) الگوی جریان در اطراف آبگیر جانبی در قوس ۱۸۰ درجه با زاویه آبگیری ۴۵ درجه و موقعیت آبگیر ۱۱۵ درجه را به وسیله مدل عددی SSIM2 در شبیه سازی کردند. پس از کالیبره کردن مدل با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی، در کانال قوسی و بعد از آبگیر، نتایج بیانگر این مهم

¹ Abbasi & MalekNejad

² Yang

³ Sarhadi & Jabbari

⁴ Sui and Huang

بودند که در هر دو نتایج آزمایشگاهی و شبیه‌سازی یک نوع چرخش جریان دو سلولی اتفاق می‌افتد که یکی از آنها ساعتگرد و دیگری پادساعتگرد در حال چرخش هستند و در نزدیکی قوس داخلی و در حالت جریان آزاد مشاهده می‌شوند.

در پژوهشی شبیه‌سازی سه‌بعدی الگوی جریان در آبیگری از قوس ۱۸۰ درجه به وسیله نرم افزار Flow 3D توسط مشکاتی و صالحی نیشابوری (۱۴۰۰) انجام شد. مدل مورد نظر ابتدا در قوس ۱۸۰ درجه و سپس آبیگری از کانال مستقیم صحت‌سنجی شد. پس از آن الگوی جریان در آبیگری از قوس ۱۸۰ درجه برای زاویه استقرار ۴۰ درجه و تحت زاویه آبیگری ۴۵ درجه شبیه‌سازی شد و نتایج با داده‌های آزمایشگاهی موجود مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاکی از آن بود که خطای مدل‌سازی در کانال اصلی و آبیگر به میزان ۷/۳ و ۱۹/۷ درصد می‌باشد که میزان قابل قبولی است.

بررسی آزمایشگاهی جریان اصلی، جریان ثانویه و تنش برشی بستر در یک قوس ۱۸۰ درجه توسط شکرین و همکاران^۱ (۲۰۲۲) انجام گرفت. برای این منظور از دو سری آزمایش با و بدون کرانه به عنوان سازه رودخانه دوستار با طبیعت استفاده شد. نتایج نشان داد که در آزمایشات با حضور کرانه‌ها اندازه سرعت جریان در میانه کانال در حالتی که صفحات مستغرق وجود دارند به اندازه ۱/۱۳ بار افزایش پیدا می‌کند. از طرفی وجود کرانه‌ها سرعت را در ناحیه چرخشی به اندازه ۳۸ درصد کاهش می‌دهند.

در یک مطالعه آزمایشگاهی اثر ترکیب همگرایی و صفحات مستغرق بر روی هیدرولیک جریان ورودی به آبیگر جانبی در قوس ۹۰ درجه توسط سراجیان و همکاران (۱۴۰۱) مورد بررسی قرار گرفت. این آزمایش‌ها که بر روی یک کانال مستطیلی با قوس ۹۰ درجه انجام شده بود از چهار دبی، چهار زاویه متفاوت صفحات مستغرق و چهار درجه همگرایی انتهایی کانال استفاده شده بود. نتایج حاکی از آن بود که در طی همگرا شدن کانال آزمایشگاهی دبی انحرافی به آبیگر افزایش پیدا می‌کند ولی با نصب صفحات مستغرق این دبی کاهش پیدا می‌کند. بررسی تحقیقات قبلی نشان می‌دهد عمده تحقیقات انجام شده در آبیگری از قوس ۱۸۰ درجه ملایم با مدل‌های سه بعدی انجام شده است. هزینه محاسبات انجام شده با مدل‌های سه بعدی بسیار زیاد و نیاز به سخت‌افزار قدرتمند جهت شبیه‌سازی دارند. مزیت استفاده از مدل‌های دو بعدی، سرعت در حل مساله و عدم نیاز به سخت‌افزار قدرتمند جهت شبیه‌سازی است. درحالی‌که در روش سه بعدی، نتایج به واقعیت نزدیکتر است. از این رو در تحقیق حاضر از مدل عددی SRH-2D با توجه به قابلیت‌های آن در شبیه‌سازی جریان در محیط‌های با اشکال پیچیده، استفاده شد. از طرفی تحقیقات متعدد قبلی نشان داده است الگوی جریان در قوس ساده ۱۸۰ درجه تند و ملایم اختلاف قابل توجهی با همدیگر دارد. در قوس تند همواره مسیر حداکثر سرعت جریان در مجاور دیواره داخلی قوس است در حالی‌که در قوس ملایم در حوالی زاویه بین ۴۵ تا ۶۰ درجه از ابتدای قوس مسیر جریان به سمت دیواره خارجی متمایل می‌شود. وجود آبیگر بر روی قوس ۱۸۰ درجه تند و ملایم چگونه الگوی جریان در طول قوس و در محل آبیگر را تحت تاثیر قرار می‌دهد، موضوعی است که در این تحقیق بدان پرداخته شده است. بدین منظور سرعت جریان و نیمرخ سطح آب در طول قوس، محل آبیگری و در کانال آبیگر مورد بررسی قرار گرفت.

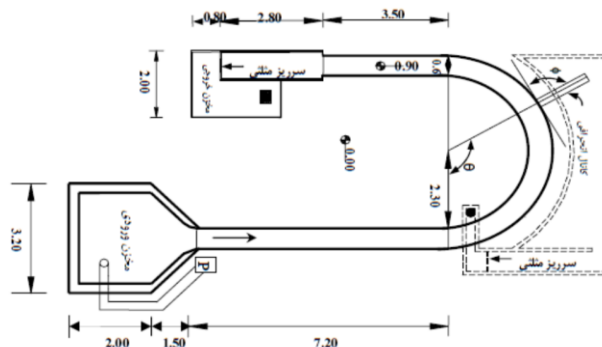
روش پژوهش

مدل آزمایشگاهی

در این پژوهش از نتایج مدل آزمایشگاهی پیرستانی و همکاران (۱۳۸۷) استفاده گردید. مدل آزمایشگاهی با توجه به توصیه گراف و بلانکرت^۲ (۲۰۰۱) و اینکه جریان در قوس ۱۸۰ درجه دارای جریان ثانویه کاملاً توسعه یافته است، به صورت U شکل با مقطع مستطیلی به عرض و ارتفاع ۰/۶ متر و شعاع انحنا ۲/۶ متر و با نسبت شعاع انحنا به عرض ۴/۳۳، در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس ساخته شده است. در این مدل آزمایشگاهی، کانال انحرافی با مقطع مستطیلی با طولی ۱/۱ متری، عرض ۰/۲۵ متری و ارتفاع ۰/۳ متری در موقعیت ۱۱۵ درجه از ابتدای قوس آبیگری می‌نماید. در شکل (۲) نمای شماتیکی از مدل آزمایشگاهی قابل مشاهده است.

¹ Shokrian et al

² Graf & Blanckaert



شکل ۲. مشخصات و تجهیزات کانال آزمایشگاهی مورد استفاده پیرستانی و همکاران (۱۳۸۷)

با توجه به نتایج پیرستانی و همکاران (۱۳۸۷) موقعیت آگیری ۱۱۵ درجه با زاویه آگیری ۶۰ درجه به دلیل ایجاد حداکثر آگیری و نیز کمترین محدوده ناحیه ی جدا شده، به عنوان بهترین موقعیت آگیری معرفی شده است. از اینرو در تحقیق حاضر برای صحت سنجی مدل از نتایج مربوط به این موقعیت و زاویه آگیری استفاده شد. همچنین محاسبات برای دبی کل ۳۰ لیتر بر ثانیه و عمق جریان ۰/۱۵ متر در بالادست و دبی انحرافی ۱۲ لیتر بر ثانیه انجام شد.

مدل عددی

الف) معرفی مدل SRH-2D

مدل SRH-2D توسط موسسه USBR توسعه داده شده است و مدلی است که هیدرولیک، دما، رسوب و پوشش گیاهی را در دو بعد برای سیستم‌های رودخانه ای شبیه سازی می‌کند. از عمده‌ترین قابلیت‌های این مدل می‌توان به موارد زیر اشاره کرد:

- شبیه سازی جریان در آبراهه‌ها، کانال‌ها و جریان اطراف سازه‌های درون آن‌ها مانند سرریزها، پایه پل‌ها، دریچه‌ها و ...
- روندیابی سیلاب و نقشه پهنه‌بندی سیلاب
- شبیه یازی جریان بر روی مناطق با پوشش گیاهی ی تعامل با جریان در کانال اصلی
- جریان در مخازن با میزان رهاسازی دبی
- شبیه سازی انتقال رسوب

این مدل معادلات موج دینامیک میانگین‌گیری شده در عمق را به روش عددی حجم محدود (معادلات آب‌های کم عمق) حل می‌کند که به صورت معادلات (۱) الی (۸) هستند:

$$\frac{\partial h}{\partial t} + \frac{\partial Uh}{\partial x} + \frac{\partial Vh}{\partial y} = e \quad (1)$$

$$\frac{\partial hU}{\partial t} + \frac{\partial hUU}{\partial x} + \frac{\partial hUV}{\partial y} = \frac{\partial hT_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial hT_{xy}}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial x} - \frac{\tau_{bx}}{\rho} + T_{xx} + T_{xy} \quad (2)$$

$$\frac{\partial hV}{\partial t} + \frac{\partial hUV}{\partial x} + \frac{\partial hVV}{\partial y} = \frac{\partial hT_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial hT_{yy}}{\partial y} - gh \frac{\partial z}{\partial y} - \frac{\tau_{by}}{\rho} + T_{yx} + T_{yy} \quad (3)$$

در این معادلات t زمان، x و y مختصات دوبعدی نقاط، h عمق آب، U و V مولفه‌های سرعت متوسط در جهت محورهای x و y هستند. پارامتر e نرخ تلفات مازاد است. ρ چگالی آب و τ_{bx} و τ_{by} مولفه‌های تنش برشی بستر در جهت محورهای x و y می‌باشند که این اصطکاک بستر با استفاده از زبری مانینگ به صورت زیر محاسبه می‌شوند:

$$\left(\begin{matrix} \tau_{bx} \\ \tau_{by} \end{matrix} \right) = \rho C_f (U/V) \sqrt{U^2 + V^2} \quad (4)$$

$$C_f = \frac{gn^2}{h^{1/3}} \quad (5)$$

که در آن n ضریب زبری مانینگ می باشد. تنش برای حالت جریان آشفته بر اساس معادلات بوسینسک به صورت زیر است:

$$T_{xx} = 2(\vartheta + \vartheta_t) \left(\frac{\partial U}{\partial x} - \frac{2}{3}k \right) \quad (6)$$

$$T_{xy} = 2(\vartheta + \vartheta_t) \left(\frac{\partial U}{\partial y} - \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (7)$$

$$T_{yy} = 2(\vartheta + \vartheta_t) \left(\frac{\partial v}{\partial y} - \frac{2}{3}k \right) \quad (8)$$

که در آن ϑ لزجت دینامیکی سیال، ϑ_t لزجت گردابه ای و k انرژی جنبشی در حالت آشفته می باشد. مدل برای محاسبه لزجت گردابه ای از دو رابطه k - ε و Parabolic استفاده می کند.

ب) معرفی مدل SMS 9.2

مدل SRH-2D جهت مش بندی محدوده ی مطالعاتی به یک نرم افزار مش ساز نیاز است که در اینجا از مدل SMS9.2 استفاده شده است. محدوده مطالعاتی رسم شده به وسیله Auto Cad در مدل SMS9.2 با فرمت dxf فراخوانی می شود. سپس با ایجاد مش بندی صحیح و معرفی مرزها و شرایط اولیه، محدوده مطالعاتی برای ارسال به نرم افزار SRH-2D آماده می شود. مش بندی به صورت اتوماتیک توسط نرم افزار انجام شد و به دلیل حساسیت بالا در قوس، مش ها ریزتر و به صورت ترکیبی از مش مثلثی و مستطیلی انتخاب شده است. در شکل (۳) نمای شماتیکی از محدوده مطالعاتی با مش بندی و شرایط مرزی در نرم افزار SMS9.2 قابل مشاهده است.



شکل ۳. نمای شماتیکی از محدوده مطالعاتی مش بندی شده و شرایط مرزی آن در مدل SMS9.2

پس از آماده سازی مش بندی محدوده مطالعاتی همانطور که در شکل (۳) قابل مشاهده است، برای مقطع ورودی دبی جریان به عنوان شرط مرزی بالادست، برای مقطع خروجی از آبگیر دبی آبگیر و برای مقطع خروجی از قوس، عمق جریان در مدل SRH-2D به عنوان شرایط مرزی پایین دست در نظر گرفته شده است. از طرفی با فرض اینکه بستر در ابتدا کاملاً خشک بوده و سپس جریان روی آن اتفاق افتاده است، شرط اولیه Dry برای اجرای مدل SRH-2D در نظر گرفته شد.

یافته‌ها

صحت‌سنجی مدل SRH-2D

همانطور که در بخش قبل ذکر گردید، جهت صحت‌سنجی مدل SRH-2D در این پژوهش از نتایج مدل آزمایشگاهی پیرستانی و همکاران (۱۳۸۷) استفاده گردید. از آنجائیکه درستی و دقت نتایج شبیه‌سازی به اندازه شبکه‌بندی جریان وابسته است، بدین منظور در مش‌بندی محدوده مورد مطالعه از سه نوع شبکه بندی ریز، متوسط و درشت استفاده شد. همچنین با توجه به نتایج تحقیقات قبلی و محرز بودن نواحی چرخشی در محدوده آبگیر از مدل مدل آشفتگی k-ε برای تعیین لزجت گردابی در محاسبات تنش‌های اغتشاشی استفاده شد. مقادیر ارائه شده در جدول (۱) نشان می‌دهد شبکه مش‌بندی متوسط دارای خطای کم و زمان شبیه‌سازی مناسبی است. همچنین با مقایسه شبکه‌های مش ریز و متوسط، مشخص گردید که ریز شدن شبکه و افزایش زمان شبیه‌سازی، تاثیر چندانی بر روی نتایج نداشته و نتایج مستقل از زمان و اندازه شبکه است. در نتیجه شبکه مش متوسط به عنوان شبکه مش‌بندی بهینه در نظر گرفته شده است. جهت برآورد خطای شبکه‌های مش‌بندی از دو پارامتر آماری MAE و RMSE استفاده شده است که در معادلات آن‌ها قابل مشاهده است:

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n [v_0 - v_i]^2} \quad (9)$$

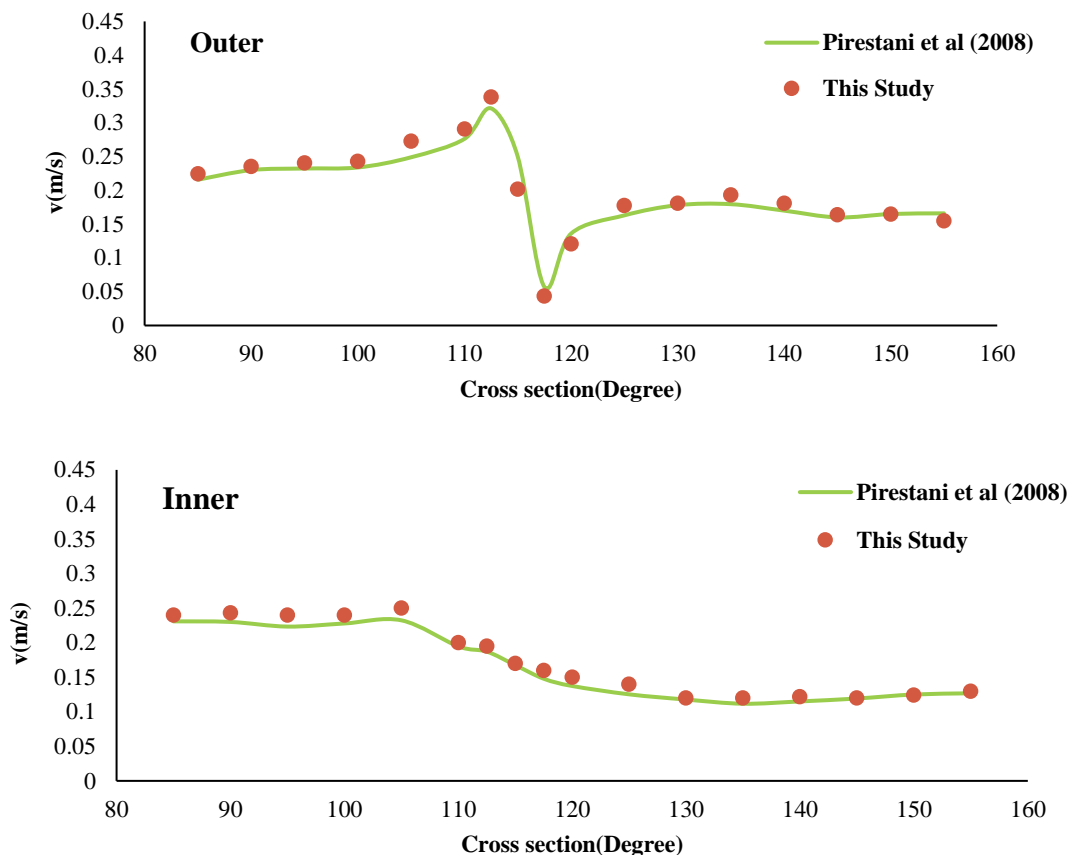
$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^n (|v_0 - v_i|)}{n} \quad (10)$$

که در آن‌ها v_0 سرعت اندازه‌گیری شده در آزمایشگاه، v_i سرعت اندازه‌گیری شده در مدل عددی، n تعداد داده‌های موجود است.

جدول ۱. نتایج صحت‌سنجی شبکه مش‌بندی

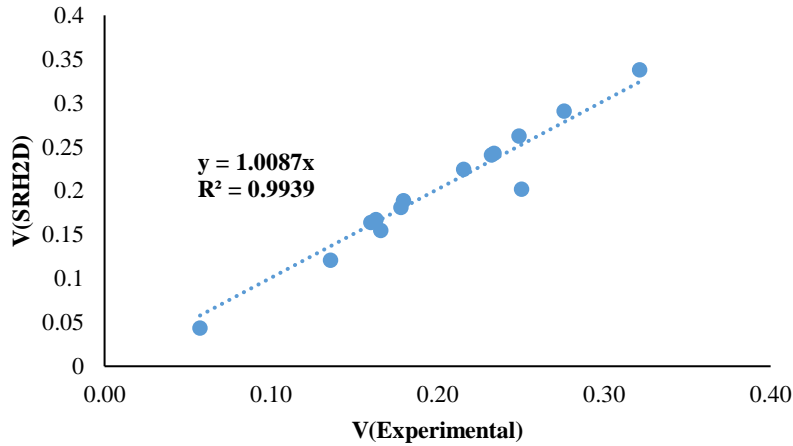
<i>TIME(Hour)</i>	<i>RMSE (m/s)</i>	<i>MAE(m/s)</i>	<i>Minimum Cell Size (cm)</i>	<i>Cell number</i>	<i>Cell Size(cm)</i>	<i>Mesh</i>
5	0.036	0.05	1.5	1052124	5	<i>Large</i>
12	0.016	0.013	1	1783042	3	<i>Medium</i>
24	0.012	0.011	0.5	2153279	2	<i>Small</i>

با توجه به نتایج صحت‌سنجی و میزان قابل قبول خطای محاسبه شده، می‌توان به نتایج مدل در شبیه‌سازی جریان در قوس ۱۸۰ درجه با آبگیر جانبی اعتماد کرد. در شکل (۴) سرعت محاسبه شده در مدل SRH-2D و مقایسه آن با مقدار اندازه‌گیری شده در مدل آزمایشگاهی پیرستانی و همکاران (۱۳۸۷) نمایش داده شده است.



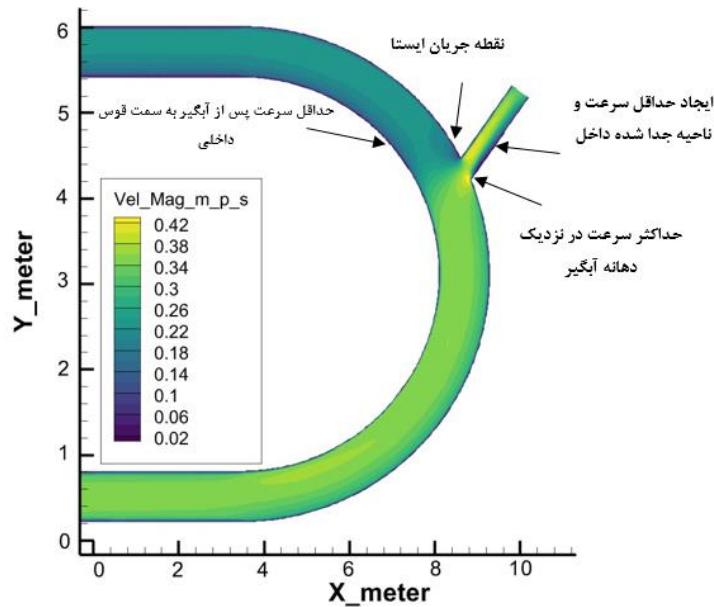
شکل ۴. مقایسه برآیند سرعت در نزدیکی قوس داخلی و خارجی در مدل آزمایشگاهی پیرستانی و همکاران (۱۳۸۷) و مدل عددی SRH-2D

همانطور که در شکل (۴) نمایان است هر دو نیمرخ طولی سرعت جریان قبل، در محل و بعد از آبگیر تقریباً بر هم منطبق هستند و از یک الگوی یکسان تبعیت می کنند. به گونه ای که مدل به درستی افت سرعت جریان از حدود $0/33$ تا $0/4$ متر بر ثانیه را در محل آبگیر که در مقطع ۱۱۵ درجه واقع شده است را مدل سازی می کند. به منظور مقایسه دقیقتر مقادیر سرعت جریان اندازه گیری شده و محاسبه شده در شکل (۵) در مقابل همدیگر ترسیم شده است. همانگونه که مشاهده می شود، شیب خط رگرسیون تقریباً برابر با یک و ضریب R^2 معادل $0/94$ نشان از دقت نسبتاً مناسب مدل عددی در شبیه سازی جریان در محدوده نسبتاً پیچیده آبگیری از قوس 180 درجه را دارد.



شکل ۵. مقدار سرعت در نزدیکی قوس خارجی در مدل عددی در مقابل مقدار آزمایشگاهی

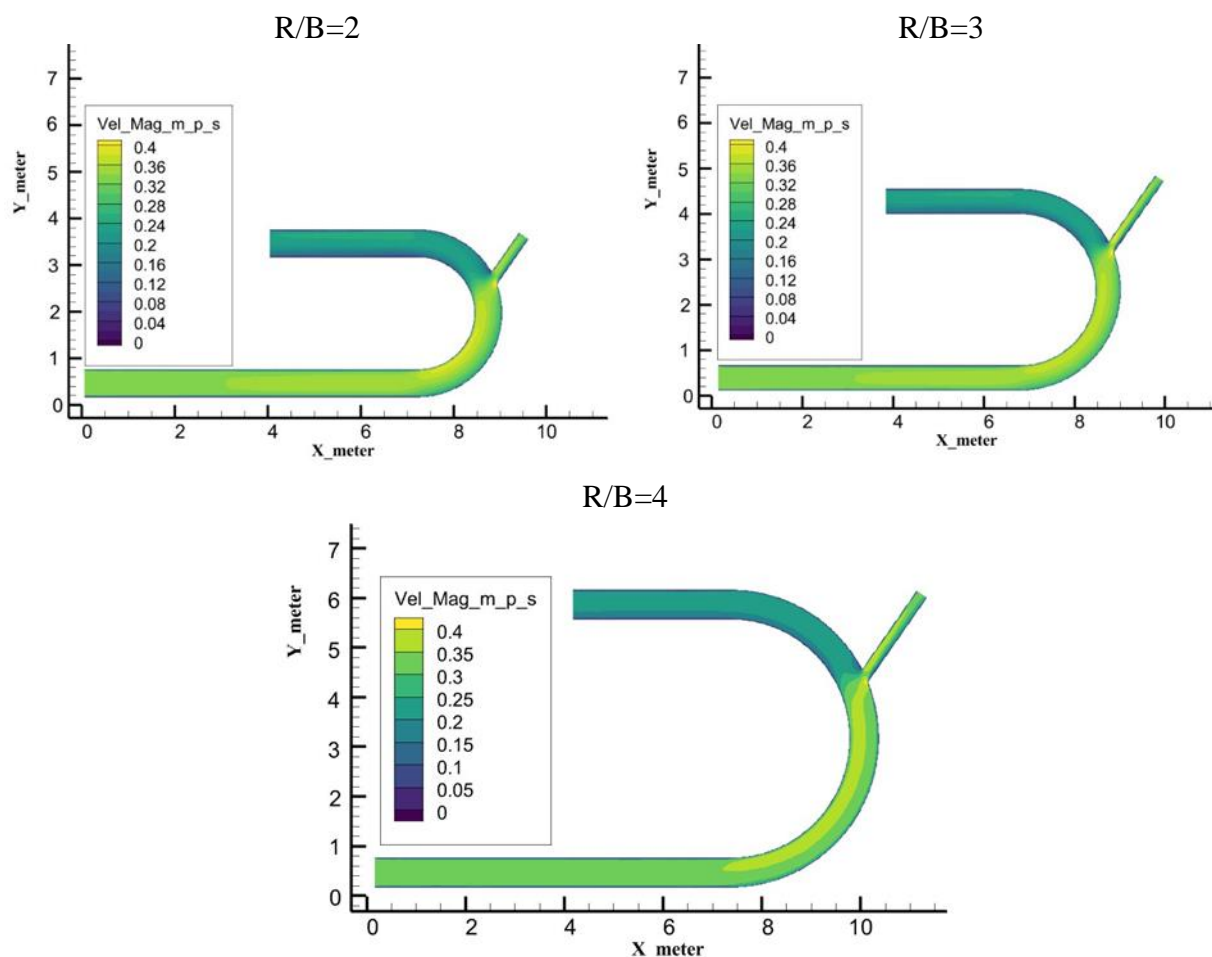
از طرفی طبق نتایج به دست آمده از اجرای مدل عددی SRH-2D که در شکل (۵) نشان داده شده است و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی پیرستانی و همکاران (۱۳۸۵)، مدل به خوبی قادر است نواحی مختلف جریان در یک قوس با آبگیر جانبی را شبیه سازی کند. همانطور که در شکل (۶) نشان داده شده است، نقطه جریان ایستا، حداقل سرعت پس از آبگیر که به سمت قوس داخلی تمایل پیدا کرده است، حداقل سرعت و ناحیه جداشدگی داخل آبگیر و در نهایت به دلیل افزایش سرعت جریان با نزدیک شدن به کانال آبگیر، حداکثر سرعت در نزدیکی دهانه آبگیر اتفاق می‌افتد که به درستی مدل سازی شده است.



شکل ۶. خطوط هم سرعت برای مدل عددی SRH-2D

بحث

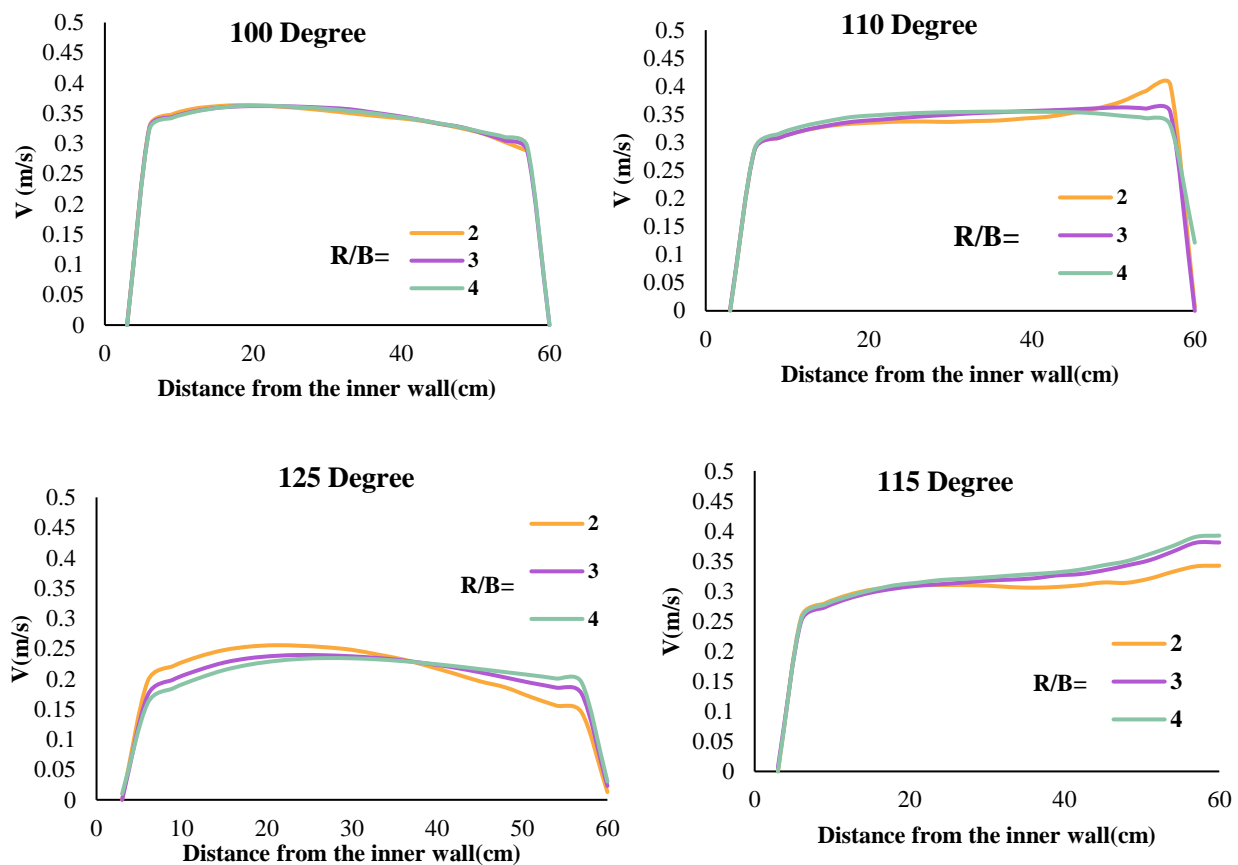
پس از صحت سنجی مدل با استفاده از داده‌های آزمایشگاهی و اعتماد با نتایج آن، در ادامه اثر تغییر شعاع قوس ۱۸۰ درجه یا به عبارتی تاثیر نوع قوس از ملایم تا تند بر الگوی جریان و برخی خصوصیات هیدرولیکی آن پرداخته شد. بدین منظور از سه قوس با نسبت شعاع انحنا خط مرکزی به پهنای مجرای معادل ۲، ۳ و ۴ استفاده شد. شرایط اولیه و مرزی مورد نظر همانند شرایط صحت سنجی برای مدل تعریف گردید و پارامترهای هیدرولیکی سرعت و تنش برشی برای مقاطع ۱۰۰، ۱۱۰، ۱۱۵ و ۱۲۵ درجه و ورودی آبگیر جانبی برداشت گردید. در شکل (۷) نمای کلی از محدوده های مورد بررسی را که بر روی آنها مقادیر سرعت جریان پهنه بندی شده، نشان داده شده است. همانطور که در تصاویر نمایان است قسمت های مختلف جریان شامل جریان ایستا، ناحیه جدا شده داخل آبگیر حداقل و حداکثر سرعت در طول کانال به خوبی شبیه سازی شده است.



شکل ۷. نمای کلی محدوده های شبیه سازی شده.

برای مقاطع ذکر شده در قسمت بالا سرعت متوسط برداشت گردید و در شکل (۸) نمودارهای آن به نمایش گذاشته شده است. همانطور که در اشکال قابل مشاهده است، در مقطع عرضی ۱۰۰ درجه که قبل از قرارگیری کانال آبگیر است تغییر در شعاع قوس کانال تاثیر خاصی بر روی

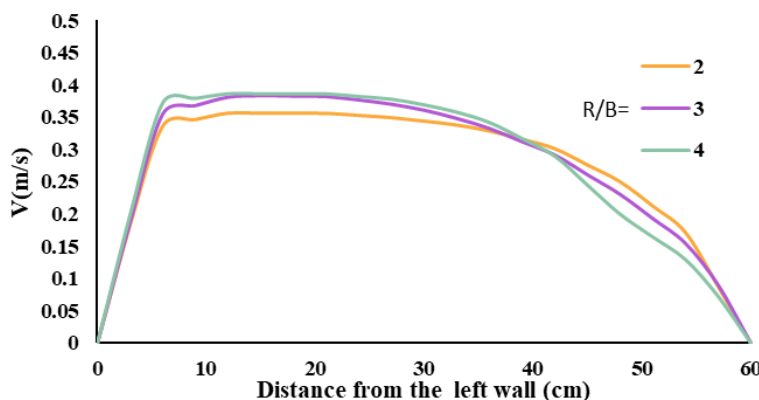
توزیع عرضی سرعت طولی جریان ندارد؛ این در حالی است که در مقطع ۱۱۰ درجه یعنی دقیقاً در محل محور کانال آبگیر، با افزایش شعاع قوس سرعت در قوس خارجی کاهش پیدا می‌کند، که این کاهش سرعت مقداری برابر با ۷٪ می‌باشد و نیز حداکثر سرعت برای هر ۳ حالت مربوط به قوس خارجی است. در مقطع ۱۱۵ درجه که منطبق بر محور آبگیر جانبی است با افزایش R/B از ۲ به ۴ سرعت در ورودی آبگیر ۶٪ افزایش پیدا می‌کند، ولی همچنان حداکثر سرعت مربوط به قسمت خارجی قوس است، که این امر به دلیل وجود جریان‌های ثانویه و گرادیان فشاری در قوس خارجی است که جریان را به سمت قوس خارجی می‌کشد و موجب افزایش سرعت در این ناحیه می‌گردد. پس از آبگیر، یعنی در مقطع ۱۲۵ درجه، حداکثر سرعت در مقطع عرضی به سمت قوس داخلی کشیده شود. این پدیده در حالی اتفاق می‌افتد که با افزایش شعاع نسبی قوس از ۲ به ۴، سرعت در قوس خارجی ۵٪ افزایش پیدا کرده اما در قوس داخلی کاهش سرعت متوسط به میزان ۴٪ مشاهده می‌شود. بطور کلی در محدوده دیواره خارجی قوس، قبل از دهانه آبگیر سرعت جریان در قوس تند بیشتر از قوس ملایم است و در مقطع مماس بر محور آبگیر جانبی و مقطع بلافاصله بعد از آبگیر سرعت جریان در قوس ملایم ($R/B=4$) بیشتر از قوس تند ($R/B=2$) است. همچنین سرعت جریان در مقطع بلافاصله بعد از آبگیر (مقطع ۱۲۵ درجه) به دلیل کاهش دبی جریان ناشی از آبگیری کمتر از مقاطع قبلی است.



شکل ۸. سرعت متوسط در مقاطع عرضی مختلف برای هر سه حالت نسبت شعاع به عرض کانال

از طرفی همانگونه در شکل (۹) نشان داده شده است در یک مقطع عرضی در کانال جانبی و در فاصله نیم متری از دهانه آبگیری، همواره حداکثر سرعت در مجاور (در فاصله حدود ۱۵ درصدی پهنای کانال آبگیر) دیوار سمت چپ کانال آبگیر رخ داده است. از طرفی در آبگیری از قوس ملایم مقدار حداکثر سرعت در مقطع عرضی بیشتر از آبگیری از قوس تند می‌باشد. در حالت کلی سرعت جریان در ابتدای کانال آبگیر در

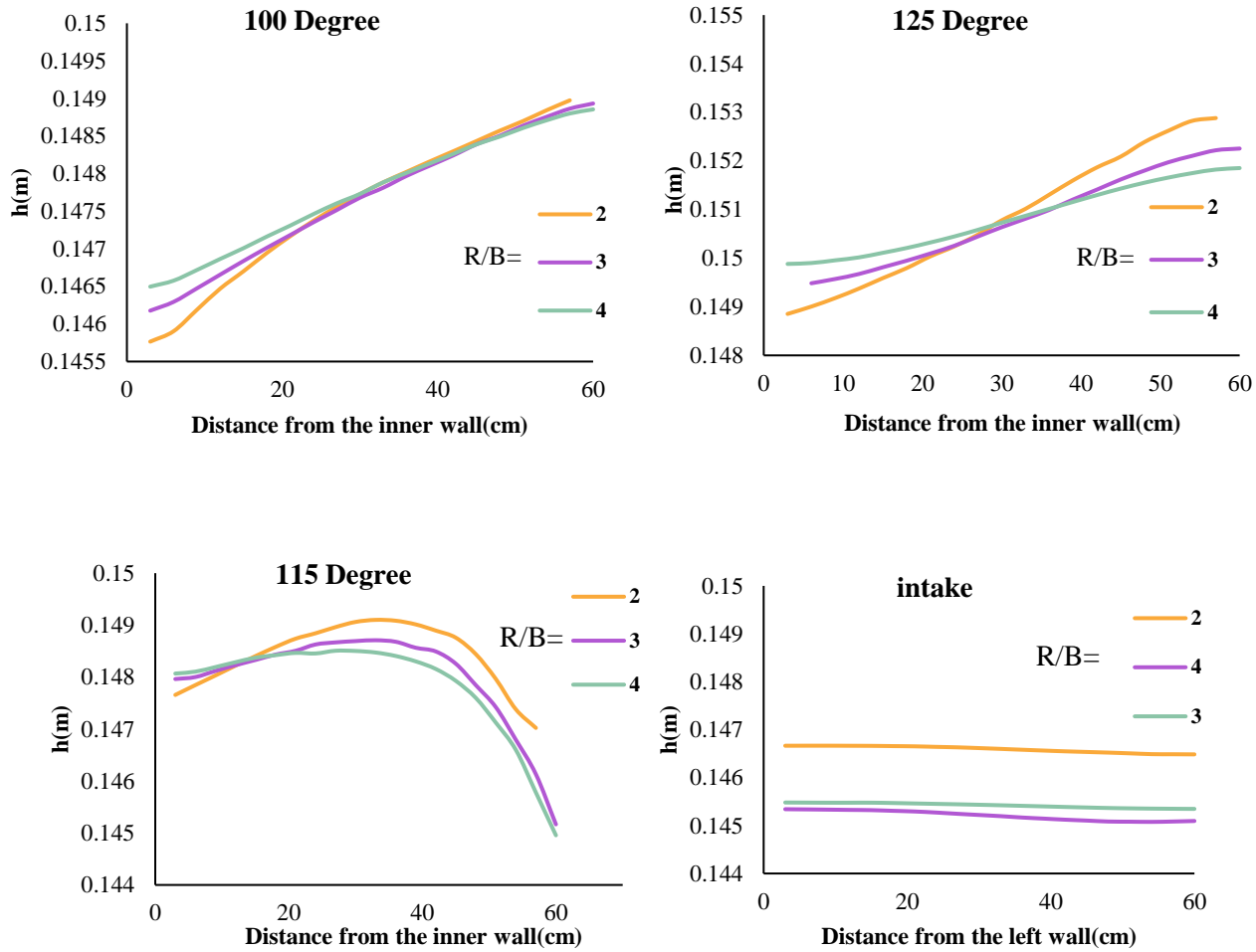
آبگیری قوس ملایم بیشتر است. این موضوع نشان می دهد به ازای دبی آبگیری یکسان، امکان رسوبگذاری در کانال آبگیر در آبگیری از قوس ملایم کمتر می باشد.



شکل ۹. سرعت متوسط در مقطع عرضی آبگیر جانبی

در شکل (۱۰) پروفیل عرضی عمق جریان برای مقاطع مختلف در طول قوس و در مقطعی از کانال آبگیر ترسیم شده است. همانگونه که مشاهده می شود، عمق جریان در کانال آبگیر به ازای آبگیری از قوس تند بیشترین مقدار و برای آبگیری از قوس ملایم کمترین مقدار را به خود اختصاص داده است. هرچند عمق جریان در مجاور دیوار سمت چپ کانال آبگیر بیشتر از عمق جریان در مجاور دیوار ساحل راست (که در آنجا ناحیه جدا شدگی و جریان چرخشی قابل مشاهده است) بیشتر است، با این وجود تغییرات عرضی عمق جریان چندان قابل ملاحظه نمی باشد. برای مقاطع عرضی قبل و بعد از آبگیر جانبی (مقاطع ۱۰۰ و ۱۲۵ درجه)، بیشترین مقدار عمق جریان در مجاورت دیواره خارجی قوس و کمترین مقدار آن در مجاورت دیواره داخلی قوس رخ می دهد. علاوه بر این هر اندازه که قوس تند تر باشد به دلیل افزایش نیروی گریز از مرکز شیب عرضی سطح آب بیشتر می باشد.

در مقطع ۱۱۵ درجه (منطبق بر محور آبگیر جانبی) شرایط متفاوت است. به گونه ای که حداکثر رقوم سطح آب در نقطه ای حوالی خط مرکزی قوس قابل مشاهده است. با حرکت از این نقطه به سمت قوس داخلی و قوس خارجی رقوم سطح آب کاهش می یابد. هرچند که با حرکت به سمت قوس خارجی کاهش رقوم سطح آب در مقایسه با حرکت به سمت قوس داخلی بسیار بیشتر است. در قوس تند در مقایسه با دو قوس دیگر بیشترین بالادگی سطح آب در حوالی خط مرکزی قوس و کمترین رقوم سطح آب در مجاورت دیواره داخلی قوس قابل مشاهده است.

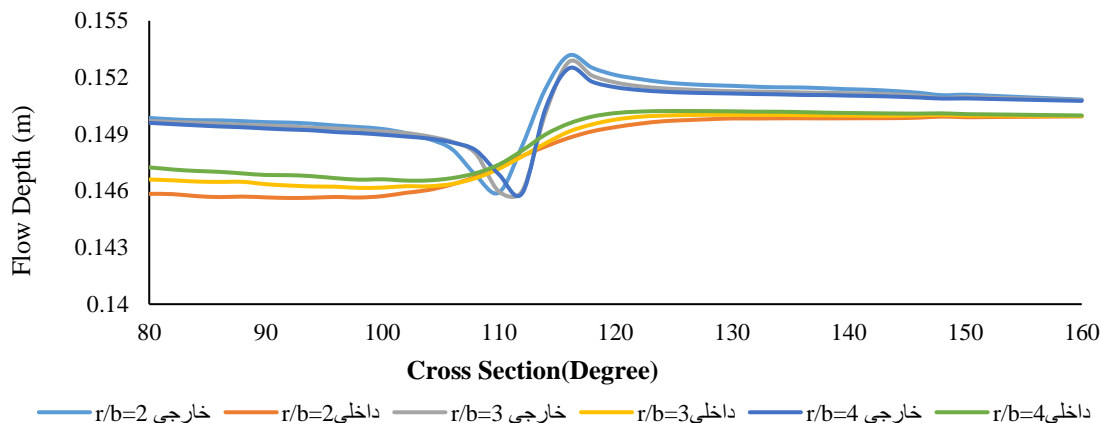


شکل ۱۰. پروفیل عرضی سطح آب در مقاطع مختلف و مقطع ابتدای آبگیر جانبی

در شکل (۱۱) پروفیل‌های طولی سطح جریان آب برای هر قوس مورد مطالعه در این تحقیق در نظر گرفته شده در مجاورت دیواره خارجی و دیواره داخلی قوس نشان داده شده است. همانطور که قابل مشاهده است، روند تغییرات طولی رقوم سطح آب در هر سه قوس از تند تا ملایم تقریباً یکسان است. به گونه ای که در مجاورت قوس داخلی با نزدیک شده به محل آبگیر رقوم سطح آب به آرامی کاهش یافته و سپس در محل آبگیر با شدت بیشتر شروع به افزایش عمق نموده سپس با تغییرات اندک به پیش می‌رود. همواره بیشترین عمق جریان مربوط به قوس ملایم با $R/B=4$ است.

در مجاورت قوس خارجی با نزدیک شدن به محل آبگیر رقوم سطح آب در ابتدا به آرامی کاهش می‌یابد و سپس به شدت سقوط می‌کند. در قوس ملایم رقوم سطح آب در فاصله بیشتری از ابتدای قوس در مقایسه با قوس تند سقوط می‌کند همچنین تا این مرحله کمترین رقوم سطح آب مربوط به قوس ملایم است. در مقطع منطبق بر محل آبگیر جانبی تقریباً کمترین رقوم سطح آب مشاهده می‌شود. در ادامه

با شیب بیشتر از شیب سقوط سطح آب صعود می نماید. بالازدگی سطح آب در قوس ملایم تند بیشتر از قوس ملایم است. هر اندازه قوس تند تر باشد قله مربوط به سطح آب بالاتر است. با فاصله گرفتن از محل آبگیر و حرکت به سمت انتهای قوس رقوم سطح آب در مجاور دیوار خارجی در ابتدا به شدت و سپس به آرامی کاهش می یابد. تاثیر شعاع قوس بعد از زاویه ۱۶۰ درجه تقریباً از بین رفته و رقوم سطح آب در هر سه قوس از تند تا ملایم به هم می رسند.



شکل ۱۱. پروفیل های طولی سطح جریان در نزدیکی دیواره ی داخلی و خارجی کانال با قوس ۱۸۰ درجه و آبگیر جانبی در ۱۱۵ درجه

نتیجه گیری

در این مطالعه شبیه سازی جریان در یک قوس ۱۸۰ درجه با آبگیر جانبی به وسیله نرم افزار دو بعدی SRH-2D انجام گرفت. ابتدا برای صحت سنجی مدل SRH-2D از نتایج آزمایشگاهی پیرستانی و همکاران (۱۳۸۷) استفاده گردید. طبق نتایج به دست آمده این مدل به خوبی جریان را در یک قوس به همراه آبگیر جانبی شبیه سازی می کند و قادر است نواحی مختلف جریان در یک قوس با آبگیر جانبی را که شامل: نقطه جریان ایستا، حداقل سرعت پس از آبگیر که به سمت قوس داخلی تمایل پیدا کرده است، حداقل سرعت و ناحیه جداشدگی داخل آبگیر و در نهایت حداکثر سرعت در نزدیکی دهانه آبگیر را به درستی مدل سازی کند.

پس از صحت سنجی مدل، جریان در قوس هایی با نسبت شعاع به عرض کانال ۲، ۳ و ۴ به همراه آبگیر جانبی که در مقطع ۱۱۵ درجه و زاویه آبگیری ۶۰ درجه بود شبیه سازی شد. شرایط مرزی و اولیه مدل به این صورت بود که دبی ورودی ۳۰ لیتر بر ثانیه دبی آبگیر ۴۰ درصد دبی ورودی و جریان با عمق ۱۵ سانتی متر از قوس خارج می شود. نتایج این تحقیق نشان داد:

- در محدوده دیواره خارجی قوس، قبل از دهانه آبگیر سرعت جریان در قوس تند بیشتر از قوس ملایم است و در مقطع مماس بر محور آبگیر جانبی و مقطع بلافاصله بعد از آبگیر سرعت جریان در قوس ملایم بیشتر از قوس تند است.

- در مقطع ۱۱۵ درجه که منطبق بر محور آبگیر جانبی است با افزایش نسبت شعاع قوس به پهنای کانال (R/B) از ۲ به ۴ سرعت ورودی به آبگیر ۶٪ افزایش پیدا می کند. به عبارتی در آبگیری از قوس ملایم سرعت ورودی به آبگیر بیشتر از قوس تند است.

- برای هر سه قوس تند تا ملایم مورد بررسی در این تحقیق در مقطع عرضی بعد از آبگیر حداکثر سرعت طولی جریان به سمت قوس داخلی کشیده می شود. این پدیده در حالی اتفاق می افتد که با افزایش شعاع نسبی قوس از ۲ به ۴، سرعت در قوس خارجی ۵٪ افزایش پیدا کرده اما در قوس داخلی کاهش سرعت متوسط به میزان ۴٪ مشاهده می شود.

- به ازای مقدار دبی آبگیری یکسان از هر سه قوس مورد بررسی در این تحقیق، مقدار سرعت جریان در ابتدای کانال آبگیر در آبگیری از قوس ملایم بیشتر و عمق جریان کمتر می باشد. به عبارتی احتمال ته نشینی رسوب در دهانه آبگیر بر روی قوس ملایم کمتر است.

- در مقاطع عرضی قبل و بعد از آبگیر جانبی بیشترین مقدار عمق جریان در مجاورت دیواره خارجی قوس و کمترین مقدار آن در مجاورت دیواره داخلی قوس رخ می‌دهد. هراندازه که قوس تند تر باشد شیب عرضی سطح آب بیشتر است.

- در مقطع ۱۱۵ درجه که منطبق بر محور آبگیر جانبی است، حداکثر رقوم سطح آب در حوالی خط مرکزی قوس قابل مشاهده است؛ و هر اندازه قوس تند تر باشد، مقدار بالازدگی سطح آب در حوالی خط مرکزی قوس بیشتر است.

منابع

- پیرستانی، محمد رضا، صالحی نیشابوری، سید علی اکبر، و مجدزاده طباطبائی، محمد رضا. (۱۳۸۵). بررسی آزمایشگاهی جریان انحرافی ابگیرهای جانبی در کانال‌های قوسی. *مجله تحقیقات منابع آب*، ۲(۲)، ۷۸-۷۸. https://www.iwrr.ir/article_15436.html
- پیرستانی، محمد رضا، مجدزاده طباطبائی، محمد رضا، و برخوردارری، ندا. (۱۳۸۷). تحلیل جریان بر روی آبگیر جانبی در آبراهه قوسی با استفاده از مدل فیزیکی. *مجله آب و خاک (علوم صنایع کشاورزی)*، ۲۲(۲)، ۱۰۱۷-۱۰۲۲. <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i22.1017>
- حیبی، سحر، رستمی، محمد، و موسوی، سید علی اکبر. (۱۳۹۳). بررسی عددی الگوی جریان و رسوب در محال تلاقی رودخانه‌ها. *نشریه علوم و مهندسی آب‌خیزداری ایران*، ۸(۲۴)، ۳۰۳-۳۱۳. <http://dorl.net/dor/20.1001.1.20089554.1393.8.24.3.0>
- دهقانی، امیر احمد، قدسیان، مسعود، صالحی نیشابوری، سید علی اکبر، و شفیع فر، مهدی. (۱۳۸۴). بررسی شرایط جریان بر تغییرات بستر کانالهای آبرفتی در قوس ۱۸۰ درجه. *مجله هیدرولیک، انجمن هیدرولیک ایران*، ۱(۲)، ۱۶-۱۰. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2007.85385>
- سراجیان، محمد تقی، مسجدی، علیرضا، حیدرنازاد، محمد، و حسونی زاده، هوشنگ. (۱۴۰۱). بررسی اثر ترکیب همگرایی و صفحات مستغرق بر روی هیدرولیک جریان ورودی به آبگیر جانبی در قوس ۹۰ درجه رودخانه‌ها. *مجله علوم و فنون دریایی*، ۲۱(۳)، ۴۳-۳۳. <https://doi.org/10.22113/jmst.2021.250222.2394>
- منتصری، حسین، قدسیان، مسعود، شفیع فر، مهدی، صالحی نیشابوری، سید علی اکبر، و دهقانی، امیر احمد. (۱۳۸۷). مطالعه آزمایشگاهی میدان جریان و آبشستگی در قوس ۱۸۰ درجه با حضور آبگیر جانبی. *مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی*، ۱۵(۲)، ۲۴۰-۲۲۵. <https://www.magiran.com/volume/43888>
- رستم آبادی، معصومه، صالحی نیشابوری، سید علی اکبر، منتصری، حسین، و پیرستانی، محمد رضا. (۱۳۸۸). شبیه سازی عددی تاثیر صفحات مستغرق بر جریان ثانویه در قوس ۱۸۰ درجه در مقابل دهانه آبگیر جانبی. *مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۱۶(۳)، ۳۹-۱۷. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1388.16.3.2.6>
- منتصری، حسین، و آسیانی، حسین. (۱۳۹۳). ارزیابی دقت مدل سه بعدی SSIIM2 در شبیه سازی میدان جریان در کانال قوسی U شکل با آبگیر جانبی. *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۱(۴)، ۵۳-۲۹. https://jwsc.gau.ac.ir/article_2008.html?lang=fa
- مشکاتی، سید محمد هادی، و صالحی نیشابوری، سید علی اکبر. (۱۴۰۰). شبیه‌سازی عددی سه‌بعدی الگوی جریان در آبگیری از قوس ۱۸۰ درجه. *مجله تحقیقات آب و خاک ایران*، ۱(۵۲)، ۵۱-۳۷. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.306318.668672>
- قبادیان، رسول، و صیدی تبار، زهرا. (۱۳۹۴). بررسی عددی تاثیر موقعیت اتصال کانال فرعی بر الگوی جریان در قوس رودخانه. *نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۲(۶)، ۹۸-۸۱. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1394.22.6.5.7.81-98>

References

- Abbasi, A.A., & MalekNejad, M. (2014). The effect of threshold and submerged vanes on sedimentary flow input to side basin. *Journal of Irrigation & Water Engineering*, 4(16),104-116. https://scholar.google.com/citations?view_op=view_citation&hl=en&user=-5sA2gIAAAAJ&citation_for_view=-5sA2gIAAAAJ:evX43VCCuoAC
- Graf and Blanckaert, H. W. (2001), Experiments on flow in a strongly curved channel bend, XXIXTAHR-congress, Beijing, China. https://www.researchgate.net/publication/37451825_Experiments_on_flow_in_a_strongly-curved_channel_bend

- Ghobadian, R., & Seyedi tabar, Z. (2016). Numerical investigating of the effect of lateral channel junction position on flow pattern at river bend. *Journal of Water and Soil Conservation*, 22(6), 81-98. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1394.22.6.5.7> [In Persian]
- Meshkati, S. H., & Salehi, S. A. A. (2021). Numerical Simulation of 3D Flow Pattern at Lateral Intake in 180-degree bend. *Iranian Journal of Soil and Water Research*, 52(1), 37-51. <https://doi.org/10.22059/ijswr.2020.306318.668672> [In Persian]
- Montaseri, H., & Asiaei, H. (2014). Validating of SSIIM 3D MODEL for Flow field Simulation in a U shape Channel Bend with Intake. *Journal of Water and Soil Conservation*, 21(4), 29-53. https://jwsc.gau.ac.ir/article_2008.html?lang=fa [In Persian]
- Rostam Abadi, M., Salehi Neishabouri, S.A.A., Montaseri, H., & Pirestani, M.R. (2012). Numerical simulation of the effect of submerged vanes on strength of secondary flow at 180° bend with lateral intake. *Journal of Water and Soil Conservation*, 16(3), 17-39. <https://dorl.net/dor/20.1001.1.23222069.1388.16.3.2.6> [In Persian]
- Montsari, H., Ghodsian, M., Shafiifar, M., Salehi Neishabouri, S. A. A., & Dehghani, A. A. (2008). Laboratory study of flow field and scouring in 180- degree bend with the presence of lateral catchment. *Journal of Agricultural Sciences and Natural Resources*, 15(2), 225-240. <https://www.magiran.com/volume/43888> [In Persian]
- Serajian, M. T., Masjedi, A., Heidarnejad, M., & Hasonizadeh, H. (2022). Investigating the Effect of Convergence and Submerged Vanes Composition on the Hydraulic of the Lateral Intakes' Inlet Flow at 90° River Bends. *Journal of Marine Science and Technology*, 21(3), 33-43. <https://doi.org/10.22113/jmst.2021.250222.2394> [In Persian]
- Dehghani, A., Ghodsian, M., Salehi Neyshabouri, S., & Shafeifar, M. (2007). Study on River Bed Evolution in 180° Alluvial Channel Bend. *Journal of Hydraulics*, 2(2), 1-16. <https://doi.org/10.30482/jhyd.2007.85385> [In Persian]
- Habibi, S., Rostami, M., & Mousavi, S. A. (2014). Numerical Simulation of Flow and Sediment Structure in Confluence of Rivers. *Jwmseir*, 8(24). <http://jwmsei.ir/article-1-358-fa.html> [In Persian]
- Pirestani, M., Tabatabai, M., & Barkhordari, N. (2008). Flow analysis on lateral intake in the bend channel using a physical model. *Water and Soil*, 22(2). <https://doi.org/10.22067/jsw.v0i22.1017> [In Persian]
- Pirestani, M., Salehi Neyshabouri, A., & Majdzadeh Tabatabai, M. (2006). Experimental Investigation of Flow in Lateral Intakes in Curved Channels. *Iran-Water Resources Research*, 2(2), 78-87. https://www.iwrr.ir/article_15436.html?lang=en [In Persian]
- Neary, V., Sotiropoulos, F., & Odgaard, A.J. (1999). Three-Dimensional Numerical Model of Lateral Intake Inflows. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 125(2), 126-140. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9429\(1999\)125:2\(126\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9429(1999)125:2(126))
- Neary, V. S., Sotiropoulos, F., & Odgaard, A. J. (1995). Predicting 3-D flows at lateral water intakes. Proc., Int. Conf. and Exposition on Hydropower, Hydropower Division, American Society of Civil Engineers, New York, 2305 – 2314. <https://experts.umn.edu/en/publications/predicting-3-d-flows-at-lateral-water-intakes>
- Montaseri, H., Asiaei, H., Baghlani, A., & Omidvar, P. (2019). Numerical study of flow pattern around lateral intake in a curved channel. *International Journal of Modern Physics*, 30(11). <https://doi.org/10.1142/S0129183119500839>
- Roberts, M.V.T. (2004). Flow Dynamics at Open Channel Confluent-Meander Bends. Ph.D. thesis, The University of Leeds, United Kingdom. <https://ethos.bl.uk/OrderDetails.do?uin=uk.bl.ethos.414170>
- Sarhadi, A., & Jabbari, E. (2017). Investigating Effect of Different Parameters of the Submerged Vanes on the Lateral Intake Discharge Located in the 180 Degree Bend Using the Numerical Model. *Civil Engineering Journal* 3(11). <https://doi.org/10.28991/cej-030947>

- Sui, B., & Huang. S. (2017). Numerical analysis of flow separation zone in a confluent meander bend channel. *Journal of Hydrodynamics*, 29(4),716-723. [https://doi.org/10.1016/S1001-6058\(16\)60783-7](https://doi.org/10.1016/S1001-6058(16)60783-7)
- Shokrian Hajibehza, M., Shafai Bejestan, M., Ferro, V., & Avaran, R. (2022). Mean flow, secondary currents and bed shear stress at a 180-degree laboratory bend with and without enhanced permeable groins as an Eco-friendly river structure. *Journal of Hydro-environment Research*, 44, 2-12. <https://doi.org/10.1016/j.jher.2022.07.004>
- Yang, Q.Y., Liu, T.H., Lu, W.Z., & Wang, X.K. (2013). Numerical simulation of Confluence Flow in Open channel with Dynamic Meshes Techniques. Hindawi Publishing Corporation *Advances in Mechanical Engineering*, 860431. <http://dx.doi.org/10.1155/2013/860431>