



## بررسی آزمایشگاهی تغییرات تنش برشی در محدوده آبگیرهای جانبی موجود در کانال‌های قوسی

ندا برخورداری

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

محمدرضا پیرستانی

استادیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب - دانشکده فنی - گروه مهندسی عمران - تلفن: ۳۷۲۲۸۳۱ داخلی: ۲۱۴  
(Email: [mrpirestani@azad.ac.ir](mailto:mrpirestani@azad.ac.ir))

### چکیده:

با توجه به نوع الگوی جریان در کانالهای قوسی متناسب با قدرت جریان حلزونی و مشخصات رسوبات بستر، فرسایش و رسوبگذاری رخ می‌دهد. در نتیجه این مسئله همواره در انتخاب موقعیت سازه‌های رودخانه‌ای نظیر آبگیرها و پل‌ها و غیره دارای اهمیت و توجه بوده است.

از آنجا که هدف اصلی در آبگیرهای جانبی تسهیل در انتقال آب بدون رسوب بوده و اکثر رودخانه‌ها در بیشترین مسیر خود دارای پیچ و خم می‌باشند. با توجه به وجود جریان ثانویه حلزونی، قوس خارجی رودخانه 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 تنش برشی 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 (۱۱۵، ۷۵، ۴۰ درجه) و با اعداد فرود (۰/۲۷، ۰/۴۱، ۰/۵۵) انجام گرفت. با استفاده از سرعت‌های برداشت شده و روابط موجود، تنش برشی عرضی و طولی در محدوده آبگیر محاسبه و تغییرات آن ترسیم گردید. نتایج بدست آمده در این مقاله به تفصیل ارائه شده است.

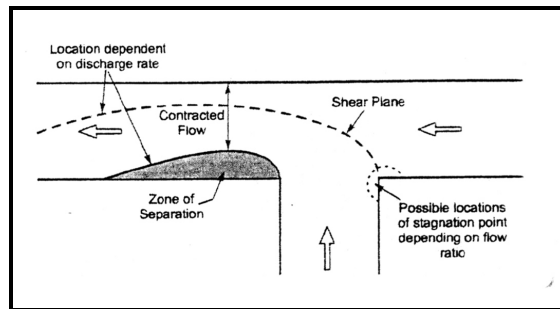
واژه‌های کلیدی: کانال قوسی شکل، آبگیر جانبی، تنش برشی، توزیع سرعت

**مقدمه :**

برای انتقال دبی مورد نیاز به منظور اهداف مختلف آبرسانی از سازه‌های آبرگیری استفاده می‌شود و در صورتیکه دبی انحرافی از ۲۵ درصد دبی حداقل رودخانه کمتر بوده و حداقل عمق جریان ۱/۵ تا ۲ متر باشد می‌توان از آبرگیر بدون بند انحرافی استفاده کرد [۱].

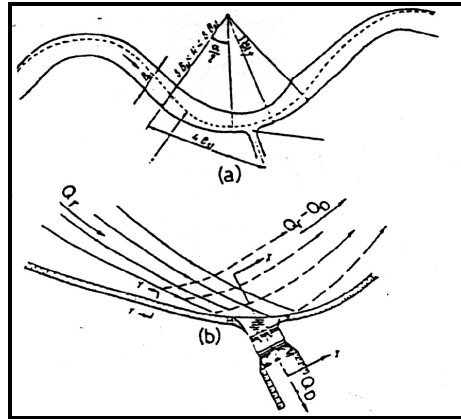
ساده‌ترین راه انحراف جریان از یک رودخانه یک انشعاب ۹۰ درجه آزاد از مسیر مستقیم می‌باشد ولی به دلیل آنکه الگوی جریان در دهانه آبرگیرهای جانبی سه بعدی و غیریکنواخت است این نوع زاویه انحراف مناسب نمی‌باشد. نیروی و همکارانش در سال ۱۹۹۹ با یک مدل عددی سه بعدی، الگوی جریان اغتشاشی را در محدوده یک آبرگیر جانبی با زاویه انحراف ۹۰ درجه مورد بررسی قرار دارند. نتایج بدست آمده نشان می‌دهد جریان نزدیک آبرگیرها بوسیله فشار مکش در انتهای کانال انشعابی شتاب گرفته که موجب انحراف مقداری از جریان بداخل کانال انحرافی شده و سطح جریان تقسیم در کانال اصلی ایجاد می‌کند. همچنین بعلاوه عدم تعادل بین تغییرات فشار عرضی و نیروی برشی و نیروی گریز از مرکز، یک جریان ثانویه - ای در جهت عقربه‌های ساعت تشکیل می‌شود. این جریان ثانویه با ناحیه جدا شده در طول جداره داخلی برخورد کرده و سپس باعث بوجود آمدن جریان سه بعدی می‌شود [۲].

لاری و همکارانش نیز در سال ۲۰۰۱ مهمترین مشخصه الگوی جریان در یک انشعاب دو شاخه ۹۰ درجه را مطابق شکل (۱) بیان کرده‌اند که عبارتند از ناحیه جریان منقبض شده در کانال اصلی که متناسب با ناحیه جدا شده می‌باشد. این محققین به نقطه ایستائی در بالادست کانال انشعابی و صفحه برشی که در محل پیوستن دو جریان ایجاد می‌شود، نیز اشاره کرده‌اند. [۳].



شکل (۱) الگوی جریان در یک انشعاب

رضوان (۱۹۸۶) کانال مستقیم را دارای جداره‌های فرسایش پذیر و ناپایدار بیان کرده و ساماندهی رودخانه را پیشنهاد کرده - است. بنابراین به دلیل ورود رسوبات به داخل کانال انحرافی، آبرگیری از مسیر مستقیم را مناسب نمی‌داند. این محققین بهترین مکان برای آبرگیر را در قوس خارجی و در ۳/۴ زاویه مرکزی قوس توصیه کرده‌است (شکل ۲) [۴].



شکل ۲) محل آبیگری جانبی از رودخانه

اودگارد و برگز (۱۹۸۸) با انجام آزمایش بر روی مدل قوسی ۱۸۰ درجه به مطالعه الگوی جریان و حرکت ذرات رسوبی پرداخته و محل تجمع رسوبات را در امتداد قوس داخلی و عمیق‌ترین حفره آبستگي، در امتداد قوس خارجی عنوان کردند. آنها بیشترین تغییرات پروفیل بستر را در نیمه اول قوس و قبل از راس مشاهده کردند [۵]. دهقانی و همکاران (۱۳۸۴) با بررسی آزمایشگاهی تغییرات بستر در قوس ۱۸۰ درجه با آبیگر جانبی نتیجه گرفته‌اند که نیمه اول قوس، رسوبات بستر به علت وجود جریان‌های ثانویه از جداره خارجی به طرف جداره داخلی جابجا می‌شود و با نزدیک شدن جریان به دهانه آبیگر خطوط جریان در سطح و در کف تحت تاثیر آبیگر قرار گرفته و به علت انحنا خطوط جریان، در بالادست آبیگر یک ناحیه فرسایشی بوجود می‌آید [۶].

### تجهیزات آزمایشگاهی و انجام آزمایشات

با توجه به آنکه تاکنون بیشتر تحقیقات انجام شده توسط محققین قبلی بررسی آبیگرهای جانبی موجود در کانالهای مستقیم بوده ولی از آنجا که رودخانه‌ها غالباً دارای مسیری پیچ و خم دار می‌باشند در نتیجه الگوی جریان در آبیگرهای جانبی موجود در کانالهای قوسی پیچیده‌تر شده که لازم است در این زمینه مطالعات بیشتری انجام شود.

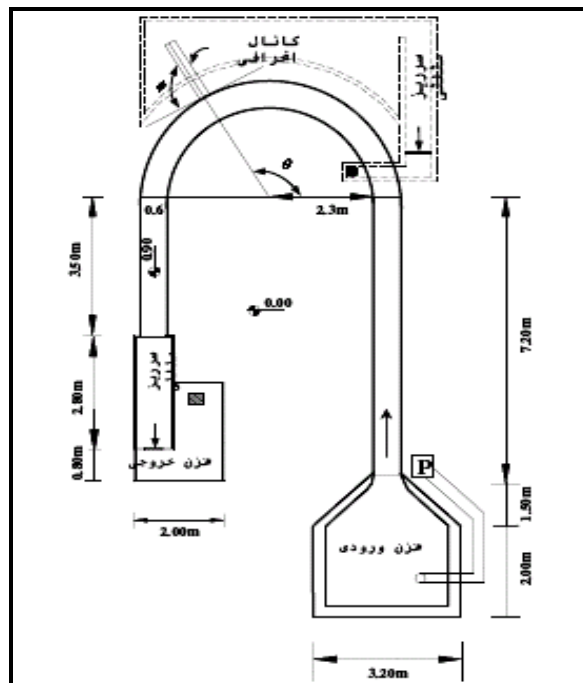
بنا به توصیه محققین قبلی قوس ۱۸۰ درجه دارای جریان ثانویه کاملاً توسعه یافته است، به همین منظور از یک فلوم قوسی ۱۸۰ درجه (شکل U) با مقطع مستطیلی به ابعاد عرض (b) ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر، شعاع انحناء (R) ۲/۶ متر با

نسبت شعاع انحناء به عرض  $\left(\frac{R}{B}\right)$  ۴/۳۳ استفاده شد. کانال انحرافی با مقطع مستطیلی به عرض ۰/۲۵ متر و ارتفاع ۳/۳

۰ متر با طول ۱/۱ متر می‌باشد. به منظور جلوگیری از ورود جریان متلاطم به فلوم قوسی در قسمت بالادست فلوم (U) شکل از یک کانال مستقیم با مقطع مستطیل به طول ۷/۲ متر، عرض ۰/۶ متر و ارتفاع ۰/۶ متر برای جلوگیری از تاثیر دریاچه انتهای کانال بر روی سطح آب، از یک کانال مستقیم با مقطع مستطیلی به طول ۳/۵ متر در پایین دست فلوم استفاده شد. شکل (۳) نمایی از فلوم آزمایشگاهی نشان می‌دهد. در انجام آزمایشات شیب طولی کانال به صورت یک پارامتر ثابت و معادل صفر و رقوم کف کانال اصلی و آبیگر یکسان و برابر ۰/۹ متر از کف آزمایشگاه در نظر گرفته شد. برای تامین

و انتقال آب از طریق مخزن زیرزمینی توسط یک پمپ ۸ اینچی با حداکثر دبی ۱۰ لیتر بر ثانیه استفاده گردید. برای اندازه گیری و تنظیم دبی کل ورودی به فلوم قوسی از یک سنج دبی استفاده شد. [www.civil-iran.com](http://www.civil-iran.com), [www.ecsofts.com](http://www.ecsofts.com), [www.Ajlan.com](http://www.Ajlan.com) و [www.felksem.com](http://www.felksem.com) استفاده شد.

با توجه به آنکه یکی از اهداف مطالعات تأثیر محل آبیگری در قوس بود، سه موقعیت آبیگری (۴۰، ۷۵ و ۱۱۵ درجه) به گونه‌ای در نظر گرفته شد که محدوده نسبتاً وسیعی از قوس را در برگیرد. همچنین با توجه به مطالعات انجام شده و توصیه محققین قبلی زاویه آبیگری ۶۰ درجه به عنوان یک پارامتر ثابت در نظر گرفته شد. از آنجایی که رژیم جریان در بالادست آبیگر در نسبت دبی انحرافی و میزان رسوبات به داخل کانال انحرافی موثر است، بنابراین عدد فرود بعنوان 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 و ثانیاً محدوده وسیعی از جریان زیر بحرانی را شامل شود. در نتیجه آزمایشات با دبی‌های ۳۰ و ۴۵ و ۶۰ لیتر بر ثانیه و عمق جریان ثابت ۰/۱۵ متر (اعداد فرود به ترتیب ۰/۲۷ و ۰/۴۱ و ۰/۵۵) انجام گرفت.



شکل (۳) نمایی از فلوم آزمایشگاهی

به دلیل آنکه با نزدیک شدن به دهانه آبیگر، خطوط جریان تحت تأثیر آبیگر قرار می‌گیرند، فواصل مقاطع اندازه‌گیری با نزدیک شدن به آبیگر کمتر در نظر گرفته شد. مقاطع اندازه‌گیری شده در هر موقعیت آبیگری مطابق جدول (۱) بدست می‌آید. از طرفی مطابق شکل (۴) برای اندازه‌گیری سرعت در هر مقطع از کانال از یک شبکه‌بندی (۶×۶) و در داخل کانال انحرافی از یک شبکه (۶×۵) استفاده شد. اندازه‌گیری‌های سرعت در عمقهای مختلف توسط یک دستگاه سرعت‌سنج دو بعدی P-EMS و یک سرعت‌سنج یک‌بعدی صورت گرفت.

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

مقطع محل آبیگر	۱	۲	۳	۴	۵	۶	۷	۸	۹	۱۰	۱۱	۱۲	۱۳	۱۴	۱۵	۱۶	۱۷
----------------	---	---	---	---	---	---	---	---	---	----	----	----	----	----	----	----	----

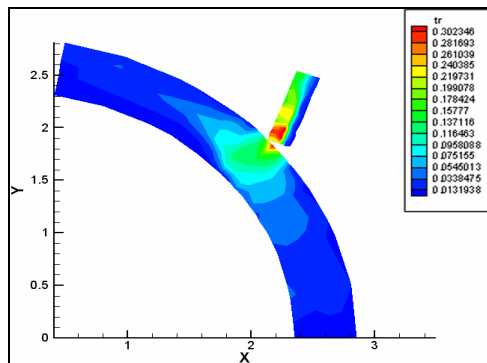


آبشستگی در این محل را میتوان پیش بینی کرد. پس از این ناحیه با برخورد ذرات جریان به انتهای دهانه آبگیر و ایجاد نقطه سکون (stagnation point) سرعت طولی کاهش و به کمترین میزان خود می رسد. همچنین با تشکیل ناحیه جدا شده بعد از دهانه آبگیر در مجاورت قوس داخل تنش برشی در این قسمت کاهش می یابد.

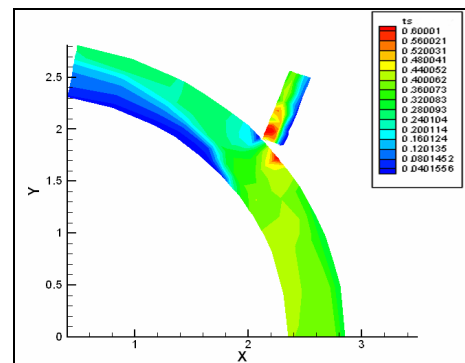
با تعیین تنش برشی طولی و عرضی برای هر محل تنش برشی کل به نام تنش برشی بستر مطابق شکل-های (۱۳، ۱۲، ۱۱، ۱۰، ۹، ۸، ۷، ۶، ۵) بدست می آید. تنش برشی کل (بستر) ترسیم شده نشان می دهد در نواحی بالادست ورودی دهانه آبگیر در امتداد دهانه آبگیر بیشترین مقدار تنش بستر وجود داشته که احتمال شروع پدیده آبشستگی را نشان می دهد. در پایین دست دهانه آبگیر با کاهش سرعت طولی و کاهش قدرت جریان ثانویه احتمال پدیده رسوبگذاری می باشد. به نظر می رسد با گذشت زمان و با توجه به حرکت ذرات رسوبی محدوده آبشستگی تا پایین دست دهانه آبگیر نیز توسعه می یابد آنجا که خطوط جریان پس از کانال انحرافی به سوی قوس داخلی حرکت می کنند به نظر می رسد محدوده رسوبگذاری به سمت قوس داخل حرکت کند. [۹].

در کانال انحرافی با تشکیل ناحیه جدا شده در ناحیه جداره سمت راست و کاهش سرعت جریان در امتداد کانال انحرافی احتمال رسوبگذاری و در ناحیه نزدیک جداره سمت چپ آن بعلاوه افزایش سرعت وقوع آبشستگی را می توان پیش بینی کرد.

با مقایسه مقادیر تنش برشی و با توجه به الگوی جریان ترسیم شده توسط پیرستانی (۱۳۸۳) در سه موقعیت آبگیری  $40^\circ$ ،  $75^\circ$ ،  $115^\circ$  نتیجه می شود که با توجه به آنکه در موقعیت  $115^\circ$  خطوط جریان تحتانی به طرف قوس داخلی بوده و کمتر تحت تاثیر آبگیر می باشد بنابراین کمتر از دو موقعیت دیگر تحت تاثیر ورود رسوبات بداخل آبگیر قرار می گیرد [۹].

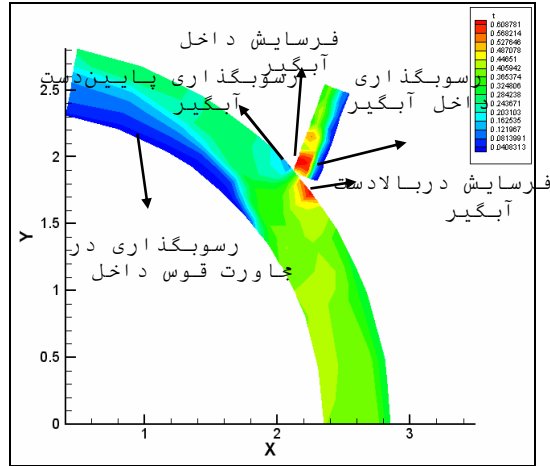


(ب)



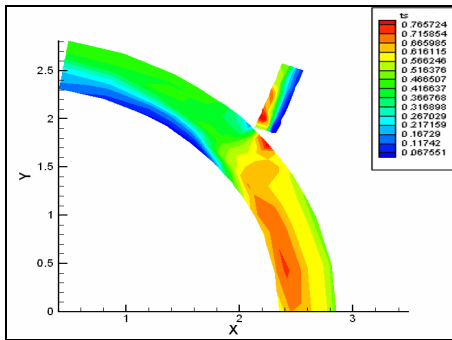
(الف)

دانشگاه شهرکرد، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶

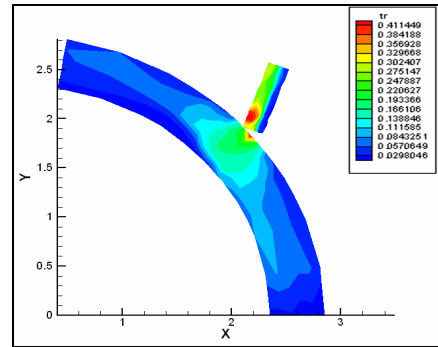


(ج)

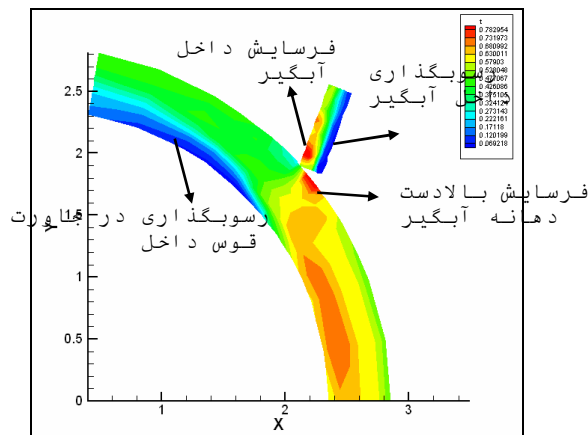
شکل ۵) توزیع تنش برشی بستر در مکان آبگیری  $\theta=40^\circ, Fr=0.27$  (الف عرضی ب) طولی ج) بستر



(ب)



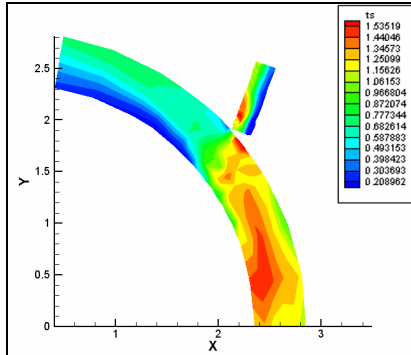
(الف)



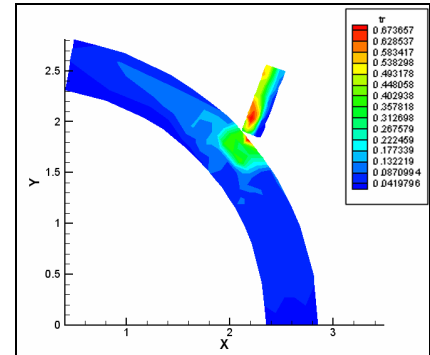
(ج)

شکل ۶) توزیع تنش برشی بستر در مکان آبگیری  $\theta=40^\circ, Fr=0.41$  (الف عرضی ب) طولی ج) بستر

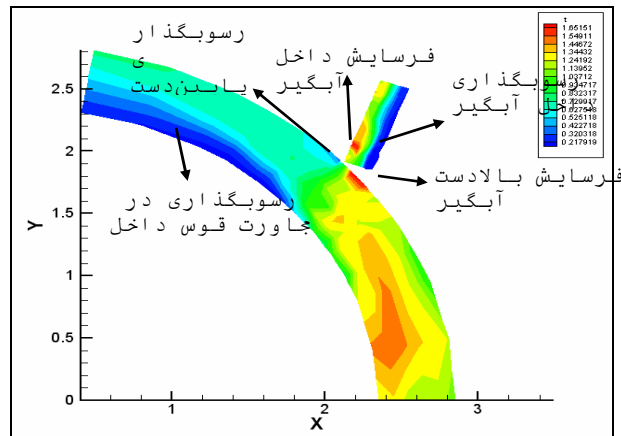
دانشگاه شاهرود، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶



(ب)

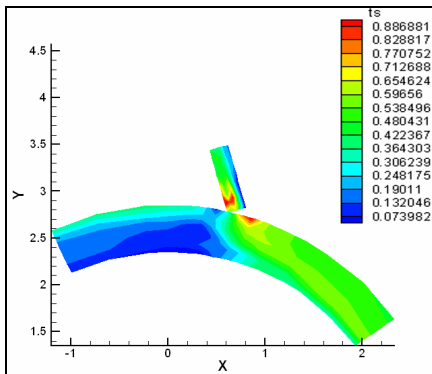


(ف)

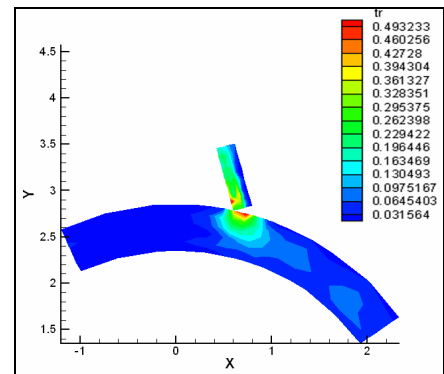


(ج)

شکل ۷ توزیع تنش برشی بستر در مکان آگیری  $\theta = 40^\circ$ ,  $Fr = 0.55$ , الف عرضی ب طولی ج) بستر

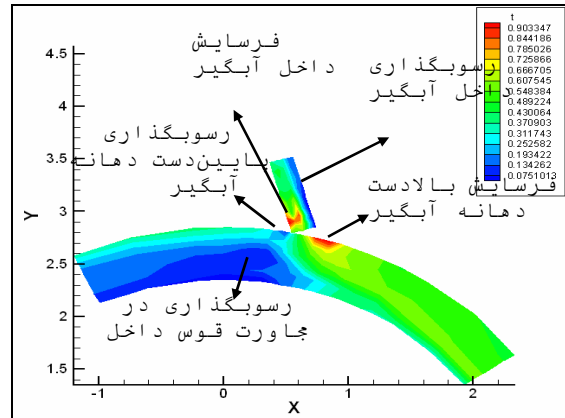


(ب)



(ف)

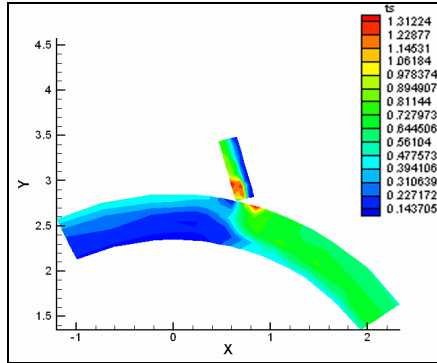
دانشگاه شاهرود، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶



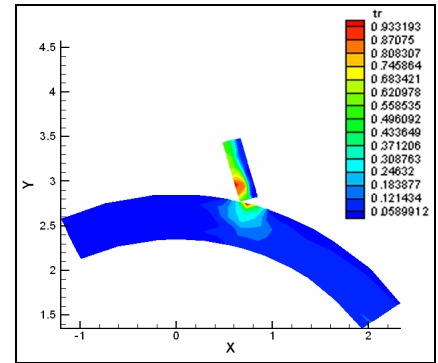
(ج)

شکل ۸) توزیع تنش برشی بستر در مکان آبگیری  $\theta=75^\circ$ ,  $Fr=0.27$ , الف) عرضی ب) طولی ج) بستر

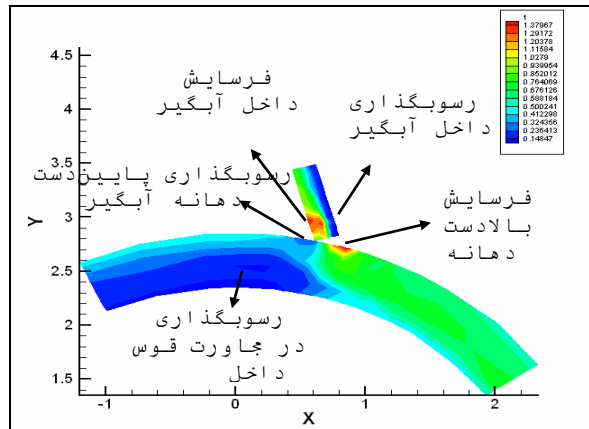
دانشگاه شهردرود، ۱۵-۱۳ شهریور ۱۳۸۶



(ب)

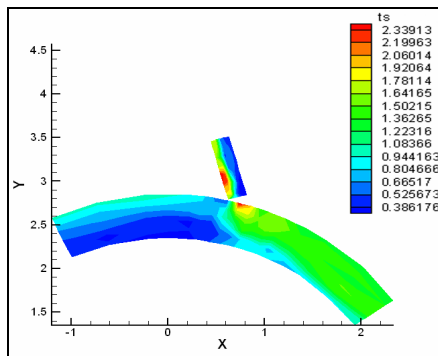


(الف)

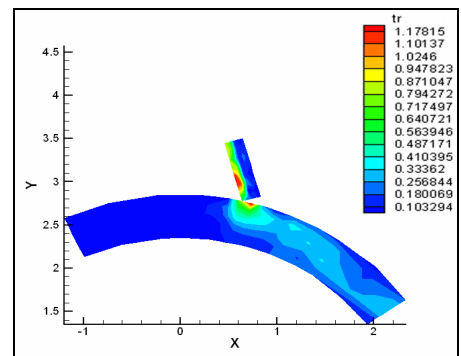


(ج)

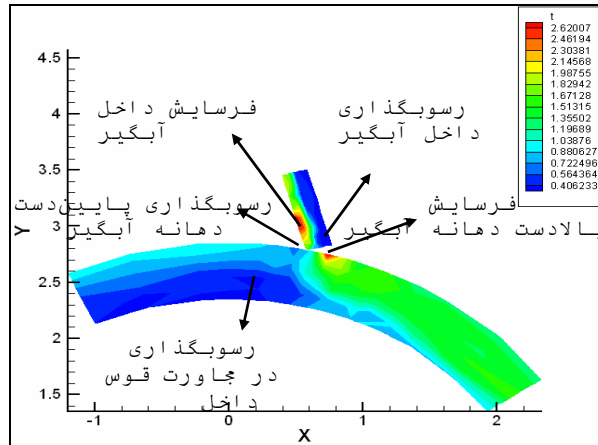
شکل ۹) توزیع تنش برشی بستر در مکان آگیری  $\theta = 75^\circ$ ,  $Fr = 0.41$  (الف عرضی ب) طولی ج) بستر



(ب)

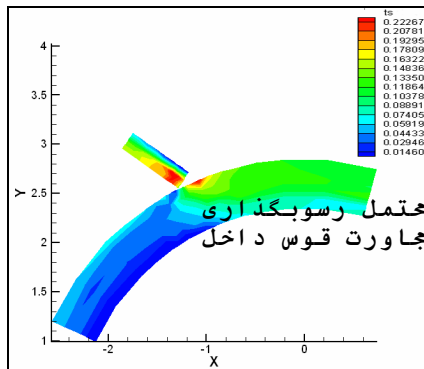


(الف)

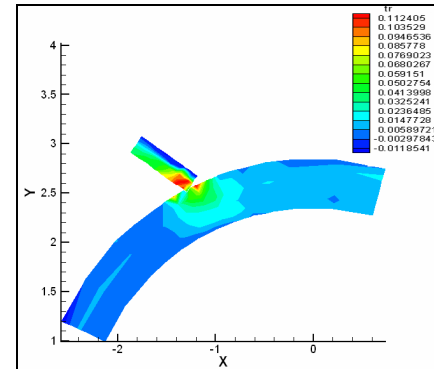


(ج)

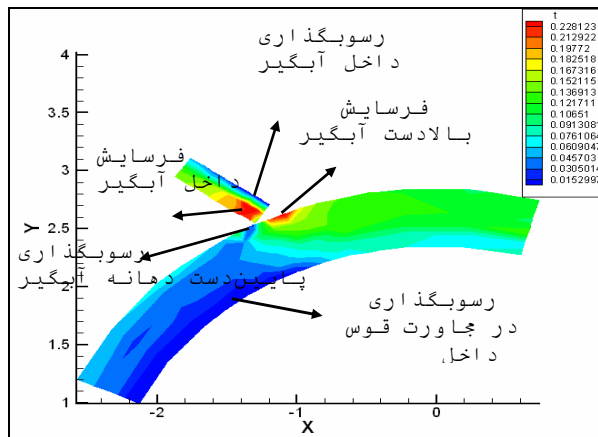
شکل ۱۰) توزیع تنش برشی بستر در مکان آبرگیری  $\theta=75^\circ$ ,  $Fr=0.155$  (عرضی ب) طولی ج) بستر



(ب)

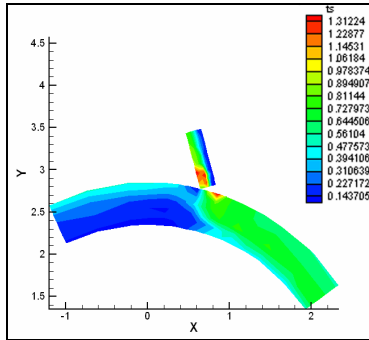


(الف)

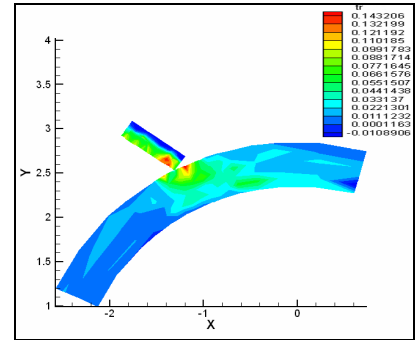


(ج)

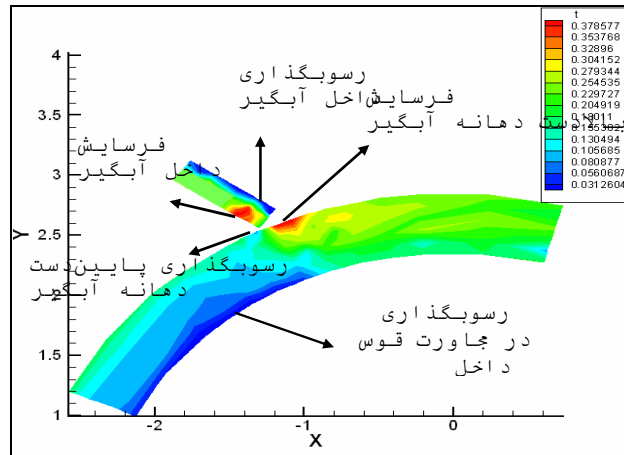
شکل ۱۱) توزیع تنش برشی در مکان آبرگیری  $\theta=115^\circ$ ,  $Fr=0.27$  (الف) عرضی ب) طولی ج) بستر



(ب)

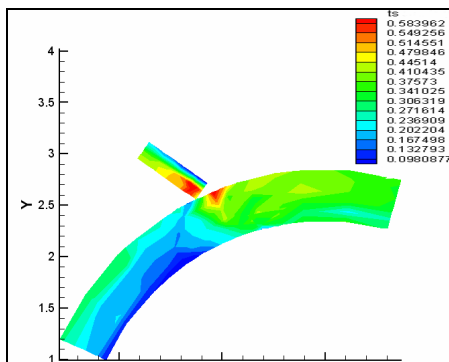


(ف)

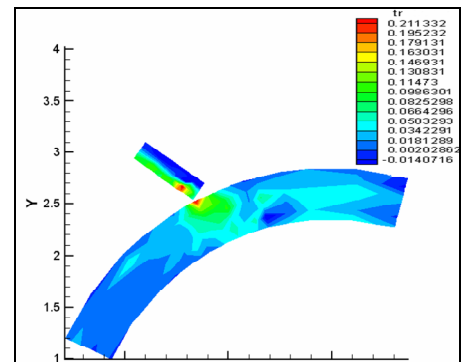


(ج)

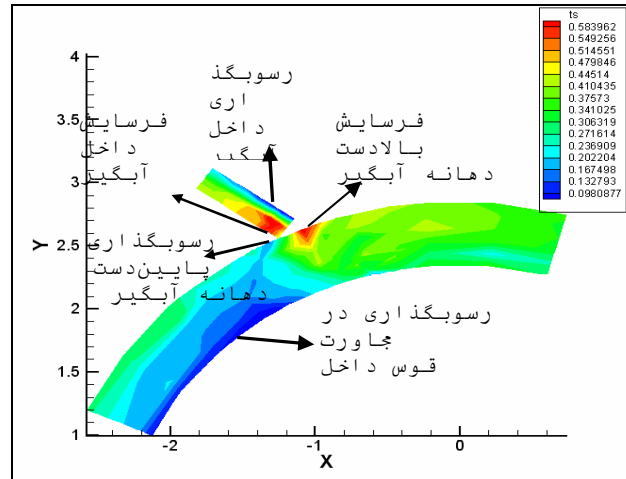
شکل ۱۲) توزیع تنش برشی در مکان آبگیری  $\theta = 115^\circ$ ,  $Fr = 0.41$  (الف عرضی ب) طولی ج) بستر



(ب)



(ف)



(ج)

شکل ۱۳) توزیع تنش برشی در مکان آبیگری  $\theta=115^\circ$ ,  $Fr=0.55$  (الف عرضی ب) طولی ج) بستر

## نتیجه گیری

از تجزیه و تحلیل‌های حاصل از ترسیم تغییرات تنش برشی نتایج زیر بدست می‌آید:

- ۱) بیشترین مقدار تنش برشی عرضی در محدوده دهانه آبگیر رخ می‌دهد.
- ۲) بیشترین میزان تنش برشی طولی در نواحی جداره بالادست دهانه آبگیر اتفاق می‌افتد. و در جداره پایین دست دهانه آبگیر و در مقابل دهانه آبگیر در مجاورت قوس داخلی تنش برشی کاهش می‌یابد.
- ۳) با توجه به بیشتر بودن تنش برشی طولی در مقایسه با تنش برشی عرضی تغییرات تنش برشی کل بیشتر تابع تغییرات تنش برشی طولی می‌باشد.
- ۴) با محاسبه تنش برشی بستر شروع حرکت رسوبات را می‌توان پیش بینی کرد بطوریکه با گذشت زمان و با توجه به الگوی جریان آبشستگی از جداره پایین دست دهانه آبگیر تا جداره بالادست دهانه آبگیر گسترش می‌یابد و رسوبگذاری در جداره بالادست دهانه آبگیر به سوی قوس داخل منتقل می‌شود.
- ۵) در آبگیر در جداره راست رسوبگذاری و در جداره چپ آبشستگی داریم.
- ۶) با افزایش عدد فرود تنش برشی افزایش می‌یابد.
- ۶) بطور کلی می‌توان ماکزیمم سرعت را عامل ایجاد تنش برشی ماکزیمم بیان کرد.



مراجع

- [1] Raudkivi, A. J. (1993). "Sedimentation, Exclusion and Removal of Sediment from Diverted Water, IAHR, AIRH Hydraulic Structures, Design Manual
- [2] Neary, V. Sotiropoulos, F., Member, ASCE, Odgaard, A. J. . 1999. Three-dimensional numerical model of lateral-intake in flows. d. Hydr. Engrg, ASCE. 125(2):126:14.
- [3] Larry, J et al. Experiments on flow at a 90° open-channel junction. Hydr. Engrg, ASCE. Vol 127. No 5
- [4] Razvan, E . 1989. River intake and diversion dams. Elsevier science publishing company Inc. New York, Ny. 10010, USA
- [5] Odgaard, J. and Bergs, A. 1988 . Flow processes in a curved alluvial channel . water Resources Research. 24(1)
- [۶] دهقانی ا، همکاران، "بررسی آزمایشگاهی تغییرات بستر در قوس ۱۸۰° با آبگیر جانبی"، پنجمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشگاه شهید باهنر کرمان
- [7] Molls, T. Chaudhry, Hanif. Depth-Averaged open-channel flow model. Hydr. Engrg, ASCE. Vol 121. No 6
- [۸] برخورداری ن، همکاران "بررسی آزمایشگاهی تغییرات سرعت در محدوده آبگیرهای موجود در کانل‌های قوسی"، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز
- [9] Pirestani, M. et al. "Investigation intake of Dividing Streamline in Lateral of U-Shape channels" ,XXXI IAHR CONGRESS