



مطالعه عددی الگوی آبشستگی در کانال قوسی با استفاده از نرم افزار Flow-3D

محمد واقفی^{۱*}، مسعود قدسیان^۲، امیر عظیمی^۳

۱- *نویسنده مسئول: استادیار گروه مهندسی عمران، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خلیج فارس بوشهر، vaghefi@pgu.ac.ir

۲- استاد هیدرولیک، پژوهشکده مهندسی آب، دانشگاه تربیت مدرس، ghods@modares.ac.ir

۳- کارشناس ارشد مهندسی عمران-زلزله، دانشگاه آزاد اسلامی بوشهر، amir_azimi2298@yahoo.com

چکیده

در طبیعت به ندرت بتوان رودخانه با مسیر کاملاً مستقیم یافت. اکثر رودخانه‌ها دارای مسیرهای قوسی می‌باشند که الگوی آبشستگی کاملاً پیچیده‌ای بر آنها حاکم می‌باشد. جهت مطالعه رفتار یک رودخانه لازم است تا الگوی آبشستگی حاکم بر قوس‌های آن کاملاً شناخته شود. مدل‌های عددی به عنوان یک ابزار مناسب و توانمند علاوه بر پیش‌بینی چنین میدان‌هایی می‌توانند درک مطلوبی از آن ارائه کنند. در مطالعه حاضر با استفاده از مدل عددی سه بعدی Flow-3D، تاثیر تغییرات پارامتر U/U_c ، دبی جریان و عرض کانال بر الگوی آبشستگی در قوس ۹۰ درجه با بستر متحرک مورد بررسی قرار می‌گیرد. نتایج با داده‌های آزمایشگاهی مقایسه گردید. تجزیه و تحلیل نتایج مربوط به آبشستگی در مقاطع عرضی و پلان‌های مختلف از دیگر موارد مطرح شده در این مقاله می‌باشد.

واژه‌های کلیدی:

الگوی آبشستگی، پارامتر U/U_c ، دبی جریان، عرض کانال، قوس ۹۰ درجه، مدل عددی Flow-3D



Quarterly Journal of
Environmental Erosion Researches
No. 9, Spring 2013, pp: 59-72
www.magazine.hormozgan.ac.ir

Numerical Study Scour Pattern on Channel Bend Using Flow-3D Software

Vaghefi. M^{1*}, Ghodsian. M², Azimi .A³

- 1- *Corresponding Author: Assistant Professor of Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Persian Gulf University, Bushehr
- 2- Professor of Hydraulic, Department of Civil and Environmental Engineering, Tarbiat Modares University
- 3- M.Sc. Graduated , Department of Civil Engineering, Islamic Azad University, Bushehr

Abstract

Rarely found in nature can be quite direct route to the river. Most rivers have channels that bend are quite complex scour pattern is dominated. To study the behavior patterns necessary to scour a river known as the dominant bends. Numerical models as a powerful instrument for the prediction of such arenas can provide a good understanding of them. In the present study using three-dimensional numerical model Flow-3D, the effects of parameter U/U_c , flow rate and channel width of the scour pattern at a 90 degree arc of the moving bed is. The results were compared with experimental data. Analysis of results relevant to scour pattern in cross sections and different plans are among other points introduced in this paper.

Keywords:

U/U_c Parameter, Discharge, Channel width, 90 Degree Bend, Scour Pattern, Numerical Model, Flow-3D

۱- مقدمه

رودخانه یکی از سیستم‌های طبیعی است که از دیرباز ارتباط تنگاتنگی با زندگی بشر داشته است و از زمان‌های قدیم محل سکونت و فعالیت‌های بشر در اطراف رودخانه‌ها متمرکز بوده است. الگوی جریان و فرسایش ناشی از آن، مساله‌ای مرکب از جریان ثانویه و دانه‌بندی رسوبات می‌باشد. لازم به ذکر است در محل قوس‌ها سطح آزاد جریان و تراز کف در طول عمود بر مسیر جریان ثابت نبوده و تعیین آنها مشکل می‌باشد.

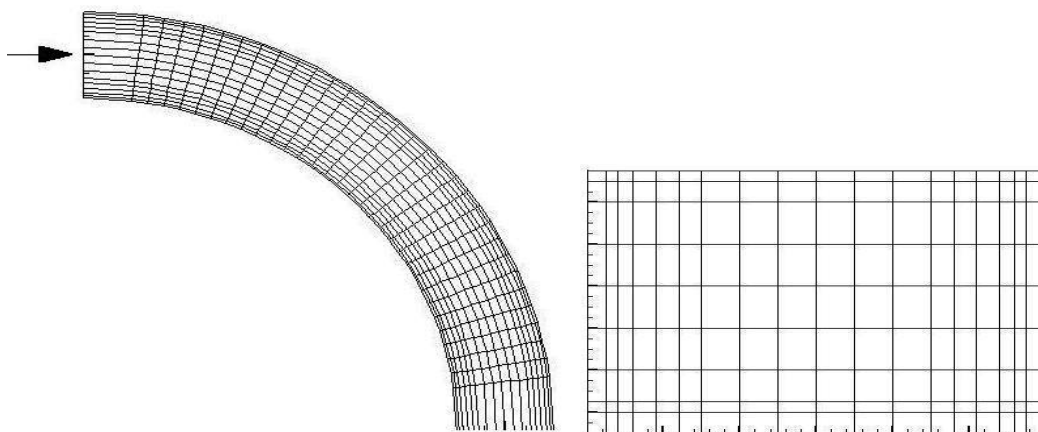
تعیین این دو پارامتر متأثر از عواملی چون طبیعت سه بعدی الگوی جریان در محل خم‌ها، فرسایش‌پذیری دیواره‌ها، جدایی مصالح بستر و شیب جانبی سطح آب می‌باشد. با توجه به اهمیت توپوگرافی بستر در قوس، در گذشته مطالعات عددی و آزمایشگاهی در این زمینه انجام شده است. Ruther & Olsen, 2005 جریان ثانویه و انتقال رسوب را در یک کانال ۹۰ درجه باریک با استفاده از مدل آشفتگی $k-\epsilon$ مدل‌سازی نمودند و نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه کردند. نتایج حاصل از مدل‌سازی آن‌ها نشان می‌دهد که جهت حرکت ذرات رسوب بستگی به جهت تنش برشی نزدیک بستر دارد. Jueyi et al. 2006 به بررسی آزمایشگاهی آبستگي موضعی در یک کانال با قوس ۹۰ درجه پرداختند و تاثیر پارامترهایی چون عدد فرود، شیب و عرض دیواره محافظ و اندازه ذرات بستر بر میزان آبستگي را مورد بحث و بررسی قرار دادند. ناجی و همکاران (۱۳۸۷) به مطالعه آزمایشگاهی و عددی آبستگي در قوس ۹۰ درجه پرداختند. آن‌ها با بررسی آزمایشگاهی و عددی توپوگرافی بستر در یک قوس ۹۰ درجه مناطقی که در معرض فرسایش و رسوبگذاری می‌باشند، را شناسایی کردند. همچنین نحوه تکامل بستر در طی زمان نشان داد که نخستین پدیده‌ای که در قوس شکل می‌گیرد، ناحیه فرسایشی نزدیک جداره خارجی در خروجی قوس است. قدسیان و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه پرداختند. آن‌ها تغییرات موقعیت سرعت ماکزیمم و تعیین مقدار تنش برشی ماکزیمم در عبور جریان در قوس ۹۰ درجه را برای دبی‌های مختلف مد نظر قرار دادند. آن‌ها نتیجه گرفتند که محدوده سرعت‌های ماکزیمم تا زاویه ۴۵ درجه در نزدیکی دیواره داخلی قرار دارد و از ۴۵ درجه به بعد به طرف میانه کانال منحرف می‌شود. واقفی و همکاران (۱۳۸۷) به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان سه بعدی و آبستگي در قوس ۹۰ درجه پرداختند. نتایج به دست آمده بیانگر تشکیل جریانی در خلاف جهت جریان ثانویه اصلی، موسوم به جریان ثانویه دوم در نزدیکی ساحل خارجی است. این جریان از مقاطع میانی نیمه اول قوس تا انتهای قوس مشهود است. همچنین آن‌ها مشاهده نمودند که قدرت جریان ثانویه اصلی و مقدار چرخش سلول‌ها در موقعیت ۴۵ درجه بیشترین مقدار را دارد. ناجی و قدسیان (۱۳۸۷) به شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه با استفاده از نرم افزار SSIIM پرداختند. آن‌ها خصوصیات جریان از جمله: نحوه اثر جریان ثانویه بر باز توزیع سرعت، مسیر حداکثر سرعت و توزیع تنش برشی جداره‌ها را مورد مطالعه قرار دادند و بر این اساس محل‌های محتمل برای فرسایش و رسوبگذاری در کانال را پیش‌بینی کردند. واقفی و همکاران (۱۳۸۷) به بررسی تاثیر شعاع انحنا بر توپوگرافی بستر قوس ۹۰ درجه پرداختند و نتیجه گرفتند که با کاهش شعاع انحنا قوس، تغییرات توپوگرافی بستر و میزان آبستگي و رسوبگذاری بیشتر می‌شود. واقفی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی آزمایشگاهی تغییرات تنش برشی دو بعدی در قوس ۹۰ درجه با استفاده از روش سرعت متوسط پرداختند. نتایج بیانگر این است که مقدار تغییرات تنش برشی در قوس به تنش برشی در مسیر مستقیم بالادست، بین ۰/۹ تا ۱/۲ متغیر می‌باشد. واقفی و همکاران (۱۳۸۸) به مقایسه روش‌های مختلف درون‌یابی در بررسی توپوگرافی بستر کانال‌های قوسی پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد که روش کریجینگ بهترین دقت را در تعیین توپوگرافی بستر در کانال‌های قوسی دارد. فضلی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی و مقایسه روش‌های محاسبه تنش برشی در کانال‌های قوسی شکل پرداختند. آن‌ها میدان جریان سه بعدی برداشت شده بوسیله ADV در یک قوس ۹۰ درجه با بستر متحرک را برای محاسبه تنش برشی با دو روش متوسط‌گیری در عمق (Depth-Average) و تنش‌های رینولدز (Reynolds stress) مورد استفاده قرار دادند. واقفی و همکاران (۱۳۸۸) به بررسی کاربرد مدل‌های DEM و TIN در بررسی تغییرات توپوگرافی قوس رودخانه‌ها پرداختند. نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که مدل TIN به لحاظ تفسیر بصری بهتر از مدل DEM می‌باشد، ولی مدل DEM در تحلیل هندسی سطح، نتایج بهتری دارد. ناجی ابهری و همکاران (۲۰۱۰) به بررسی آزمایشگاهی

و عددی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که خطوط جریان در تراز نزدیک بستر به سمت جداره داخلی و در تراز نزدیک سطح آب به سمت جداره خارجی متمایل می‌شوند. همچنین محل وقوع حداکثر سرعت طولی در ابتدای قوس، در نیمه داخلی مقطع و سپس به سمت دیواره خارجی کانال جابه جا می‌شود. همانطور که ملاحظه می‌شود، اکثر مطالعات صورت گرفته در زمینه الگوی جریان و آبستگي تاکنون به صورت آزمایشگاهی و کمتر به صورت عددی بوده است. هدف از انجام این تحقیق مطالعه الگوی آبستگي تحت تاثیر پارامترهای مختلف از جمله پارامتر U/U_c ، دبی جریان و عرض کانال در قوس ۹۰ درجه با بستر متحرک می‌باشد. جهت اطمینان از صحت نتایج عددی، این نتایج با نتایج آزمایشگاهی نیز مقایسه شده است. در واقع نوآوری این تحقیق استفاده از مدل سه بعدی Flow-3D برای شبیه‌سازی میدان نظر بوده که تاکنون مورد مطالعه قرار نگرفته است.

۲- مواد و روش‌ها

آزمایشات مورد نظر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس توسط واقفی در یک کانال به عرض ۶۰ سانتی‌متر و به ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر و به صورت ترکیبی از مسیر مستقیم و قوسی انجام شده است. طول مسیر مستقیم بالادست ۷۱۰ سانتی‌متر می‌باشد، که به وسیله یک قوس ۹۰ درجه به شعاع خارجی ۲۷۰ سانتی‌متر و شعاع داخلی ۲۱۰ سانتی‌متر به مسیر مستقیم پایین دست به طول ۵۲۰ سانتی‌متر متصل می‌شود. نسبت شعاع قوس به عرض کانال برابر با ۴ می‌باشد. بستر کانال از یک لایه ماسه یکنواخت به ضخامت ۳۵ سانتی‌متر با قطر متوسط ۱/۲۸ میلی‌متر پوشیده شده است. جریان آب در کانال زیر بحرانی و آشفته می‌باشد. دبی جریان در کلیه مدل‌ها ثابت بوده و برابر با ۲۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد. در این مدل‌سازی به بررسی الگوی آبستگي چهار حالت مختلف پارامتر U/U_c (۰/۹۸، ۰/۱۹، ۰/۸ و ۰/۷) نسبت به یکدیگر و همچنین به مقایسه توپوگرافی بستر یک نمونه آزمایشگاهی با نمونه عددی برای $U/U_c = 0/98$ پرداخته شده است.

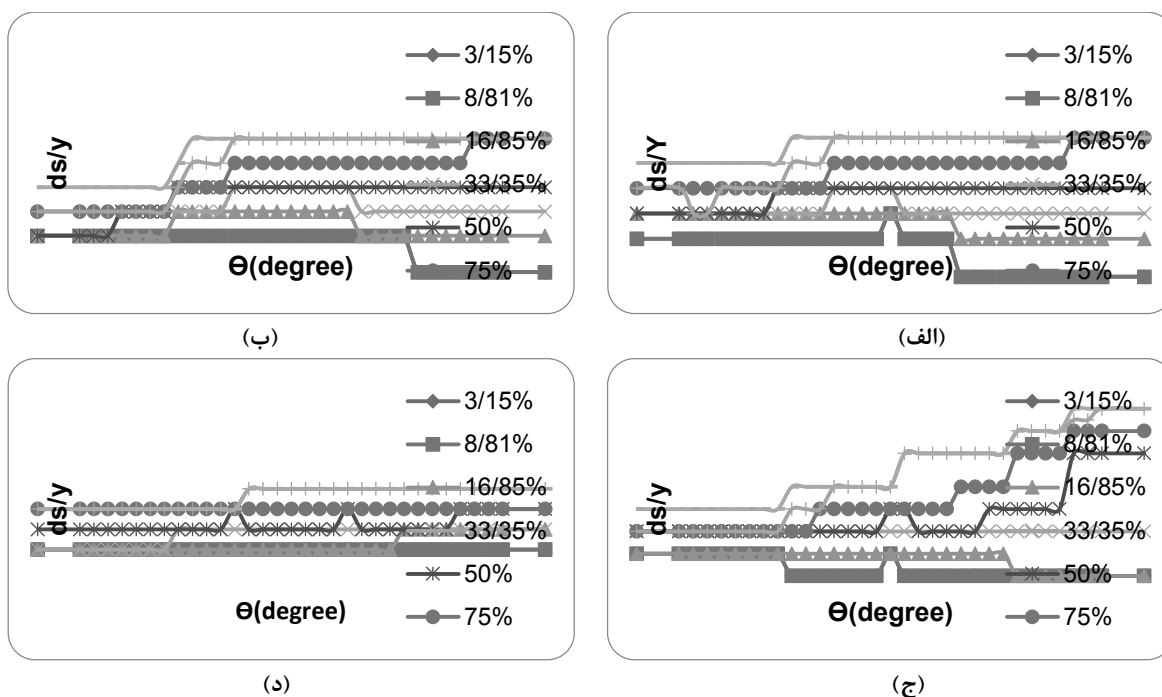
در نرم افزار FLOW-3D تولید شبکه به دو روش کارترین و استوانه‌ای صورت می‌گیرد و این امکان وجود دارد که با توجه به اهمیت برخی مقاطع، تعداد و اندازه شبکه‌هایی که برای تولید میدان حل مورد نیاز می‌باشد ریزتر (پر اهمیت) و یا درشت‌تر (کم اهمیت) در نظر گرفته شود. زمان اجرای محاسبات و میزان مطابقت نتایج آزمایشگاهی با نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی، دو فاکتور مهم در انتخاب شبکه‌بندی بهینه خواهد بود. در این تحقیق با توجه به قوسی بودن کانال از روش استوانه‌ای برای تولید شبکه استفاده شده است و با در نظر گرفتن دو فاکتور فوق ابعاد $19 \times 33 \times 27$ انتخاب شده است که به ترتیب نشان دهنده تقسیمات در راستای شعاعی، زاویه‌ای و ارتفاعی می‌باشد و با توجه به تغییرات مدل، این شبکه‌بندی دستخوش تغییر در جهات مختلف می‌شود. محاسبات نشان می‌دهد که ریزتر کردن شبکه باعث تغییر اساسی در دقت محاسبات نشده است بلکه موجب افزایش زمان اجرای برنامه گردیده است که این مساله از نظر اقتصادی توجیه مناسبی نخواهد داشت. شکل (۱) شمایی از شبکه‌بندی تولید شده را نشان می‌دهد.



شکل (۱) شمایی از شبکه بندی

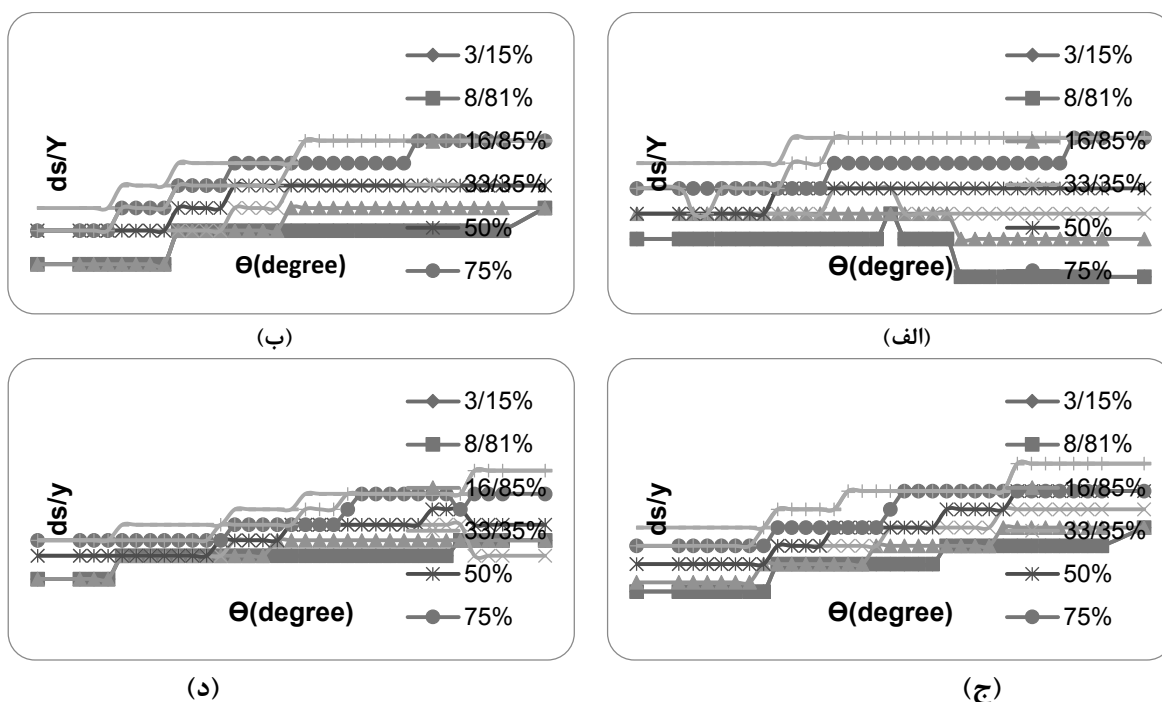
۳- نتایج

در شکل (۲) تغییرات طولی بدون بعد پروفیل بستر در فواصل مختلف از قوس خارجی به ترتیب برای U/U_c های مختلف در طول قوس نشان داده شده است که در آن مقدار آبشستگی، y عمق جریان و R_c شعاع میانی قوس می باشد. همانطور که مشاهده می شود θ موقعیت مقاطع مختلف برداشت تراز بستر در طول کانال را بیان می کند. در فاصله ای معادل ده درصد عرض کانال از ساحل خارجی (شکل ۲-الف)، شروع آبشستگی در قوس و از نیمه دوم قوس تا انتهای قوس مشاهده می شود که دلیل آن تغییر سرعت حداکثر به سمت ساحل خارجی در نیمه دوم قوس می باشد. همانطور که مشاهده می شود این روند در شکل (۲)-ب، ج و د نیز حالتی مشابه با شکل (۲)-الف دارد یعنی هر چه به سمت پایین دست قوس حرکت می کنیم مقدار آبشستگی در قوس خارجی افزایش می یابد و در مقابل افزایش میزان رسوبگذاری در قوس داخلی قابل مشاهده است و با کاهش مقدار U/U_c که خود باعث افزایش ارتفاع جریان و کاهش سرعت می باشد، مقدار آبشستگی و همچنین مقدار رسوبگذاری کاهش می یابد.



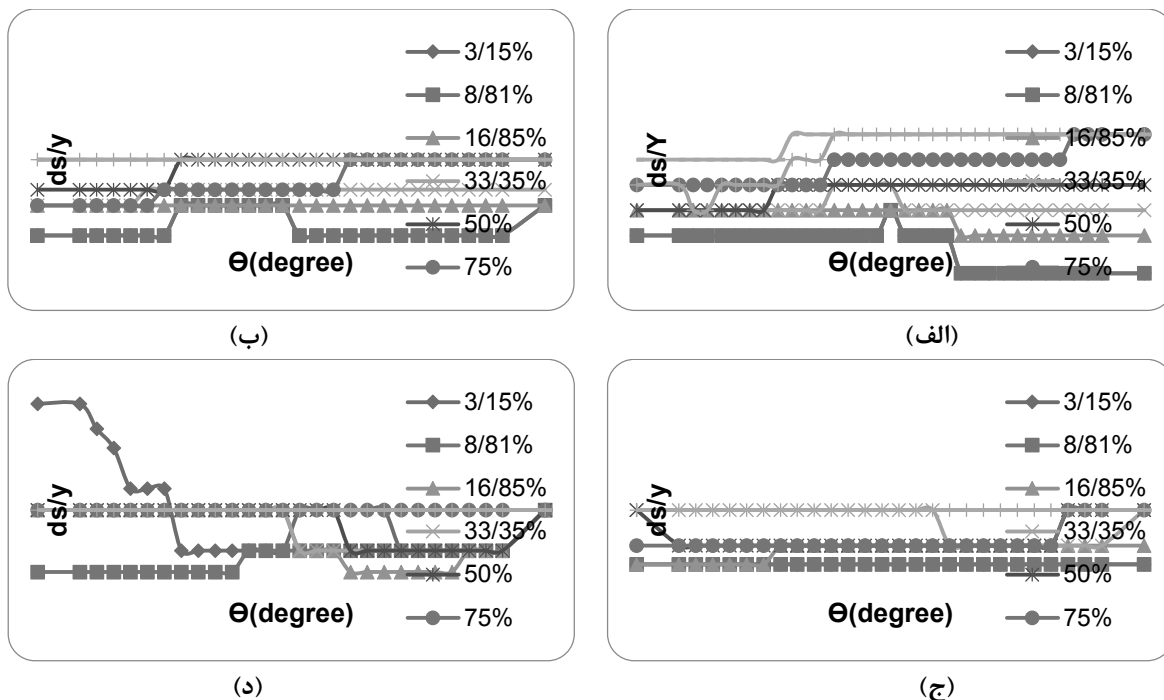
شکل (۲) تغییرات طولی بدون بعد توپوگرافی بستر در فواصل مختلف از ساحل خارجی برای U/U_c های (الف) ۰/۹۸، (ب) ۰/۹، (ج) ۰/۸ و (د) ۰/۷

در شکل (۳) تغییرات طولی بدون بعد پروفیل بستر در فواصل مختلف از ساحل خارجی و برای دبی‌های مختلف ذکر شده و در طول قوس نشان داده شده است. در فاصله‌ای حدود ده درصد عرض کانال از ساحل خارجی (شکل ۳-الف)، شروع آبستگي در قوس و از نیمه دوم قوس تا انتهای قوس مشاهده می‌شود این روند در شکل (۳-ب، ج و د) نیز با کاهش آبستگي و در مقابل افزایش میزان رسوبگذاری در قوس داخلی قابل مشاهده است. همچنین با افزایش دبی که خود باعث افزایش سرعت می‌شود، مقدار آبستگي کاهش و همچنین مقدار رسوبگذاری افزایش می‌یابد.



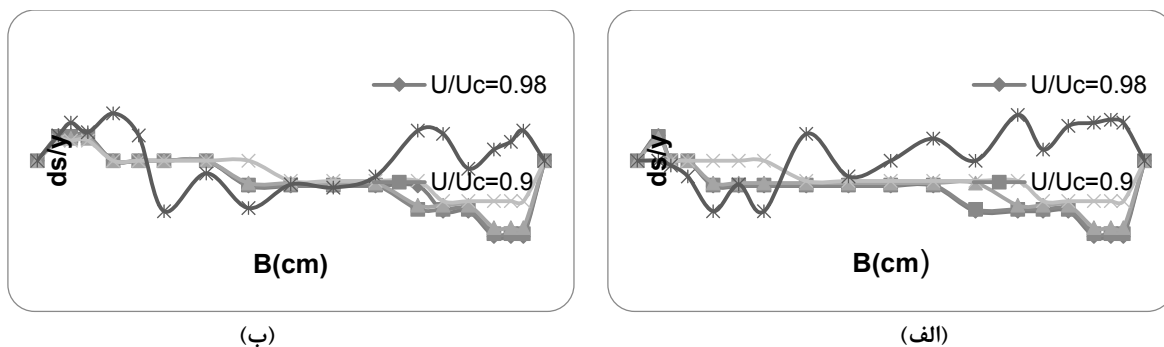
شکل (۳) تغییرات طولی بدون بعد توپوگرافی بستر در فواصل مختلف از ساحل خارجی در شرایط $U/U_c = 0.98$ و $B = 60 \text{ cm}$ برای دبی‌های (الف) 25 lit/s ، (ب) 30 lit/s ، (ج) 40 lit/s و (د) 50 lit/s

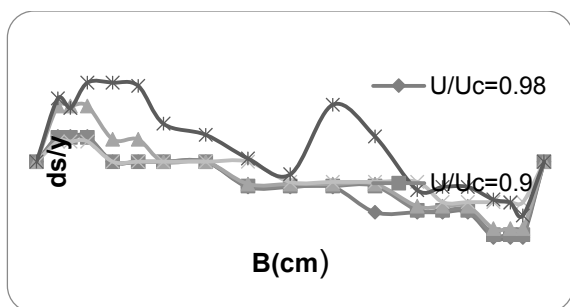
در شکل (۴) تغییرات طولی بدون بعد توپوگرافی بستر در فواصل مختلف از ساحل خارجی $U/U_c = 0.98$ و $Q = 25 \text{ lit/s}$ برای عرض‌های مختلف کانال در طول قوس نشان داده شده است. در فاصله‌های معادل ده درصد عرض کانال از ساحل خارجی (شکل ۴-الف)، شروع آبستگي در قوس و از نیمه دوم قوس تا انتهای قوس مشاهده می‌شود این روند در شکل (۴-ب) نیز بیانگر این است که آبستگي در نیمه اول قوس کاهش یافته یعنی هر چه به سمت پایین دست حرکت می‌کنیم مقدار آبستگي در قوس خارجی کاهش می‌یابد و در مقابل افزایش میزان رسوبگذاری در قوس داخلی قابل مشاهده است و با افزایش عرض باعث کاهش سرعت می‌شود به گونه‌ای که مقدار آبستگي و همچنین مقدار رسوبگذاری کاهش می‌یابد به طوریکه در شکل (۴-ج) میزان آبستگي و رسوبگذاری در طول کانال به یک مقدار ثابتی میل می‌کند و نوسانات کمتری را در نمودار آن قابل مشاهده می‌باشد و در نهایت در شکل (۴-د) در فاصله تقریبی سه درصد از ساحل خارجی یک رشد قابل ملاحظه در آبستگي مشاهده می‌گردد که در فاصله ۲۰ تا ۳۰ درجه از ابتدای کانال به روندی تقریباً ثابت دست یافته و رسوبگذاری آغاز می‌شود و در نهایت رفته رفته به سمت ساحل داخلی (تقریباً در فاصله ۷۵ درصدی از ساحل خارجی)، آبستگي ثابتی ملاحظه می‌گردد.



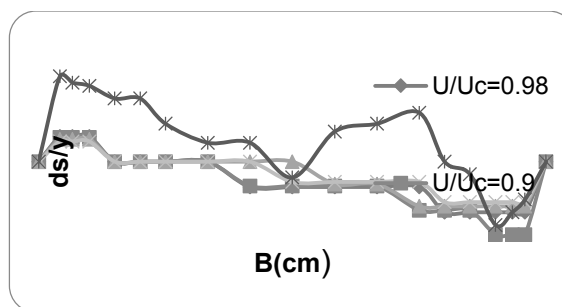
شکل (۴) تغییرات طولی بدون بعد توپوگرافی بستر در فواصل مختلف از ساحل خارجی و $U/U_c = 0.98$ و $Q = 25 \text{ lit/s}$ برای عرض های (الف) ۶۰ سانتی متر، (ب) ۸۰ سانتی متر، (ج) ۱۰۰ سانتی متر و (د) ۱۲۰ سانتی متر

شکل (۵) تغییرات عرضی بدون بعد توپوگرافی بستر در مقاطع مختلف و مقایسه با نتایج آزمایشگاهی در حالتی که نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی برابر 0.98 است را نشان می‌دهد. همانطور که مشاهده می‌شود در مقاطع مختلف روند تغییرات برای مدل‌های عددی، روند تقریباً ثابتی هست و با کاهش مقدار U/U_c ، کاهش میزان رسوبگذاری و آبشستگی را به همراه دارد. بیشترین مقادیر رسوبگذاری در مقاطع مختلف در فاصله حدود ۱۰ درصد عرض کانال از ساحل داخلی و در مقطع ۸۰ درجه و بیشترین مقدار آبشستگی در فاصله ۱۰ درصد عرض کانال از ساحل خارجی و در مقطع ۸۰ درجه می‌باشد. در مقاطع موجود در نیمه دوم قوس، تطابق نسبتاً خوبی بین مدل عددی و آزمایشگاهی قابل مشاهده است.

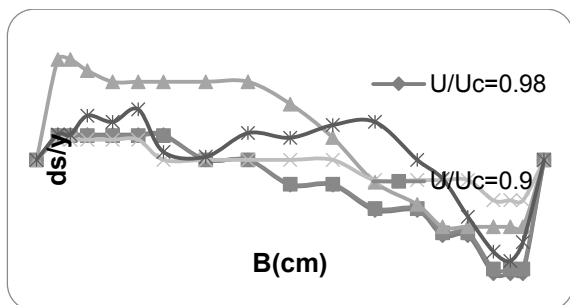




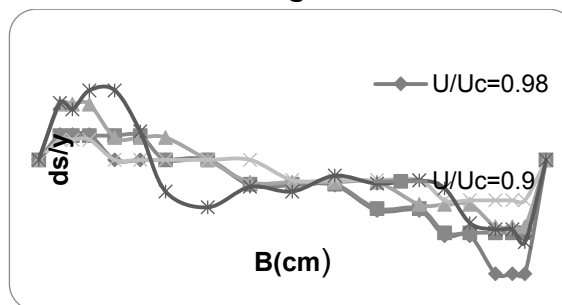
(د)



(ج)



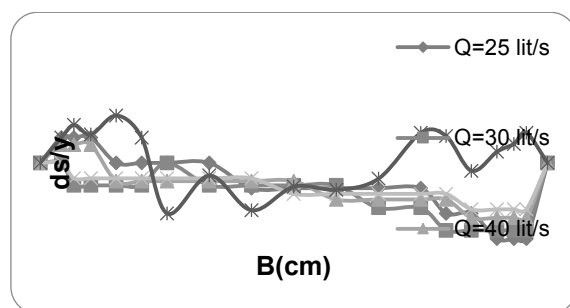
(و)



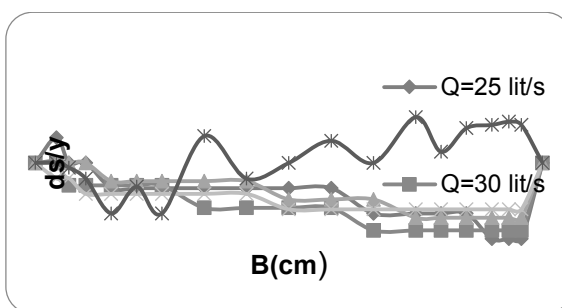
(ه)

شکل (۵) تغییرات عرضی بدون بعد توپوگرافی بستر برای U/U_c های مختلف در مقاطع (الف) ۳۰، (ب) ۴۰، (ج) ۴۵، (د) ۵۰، (ه) ۶۰ و (و) ۸۰ درجه و مدل آزمایشگاهی

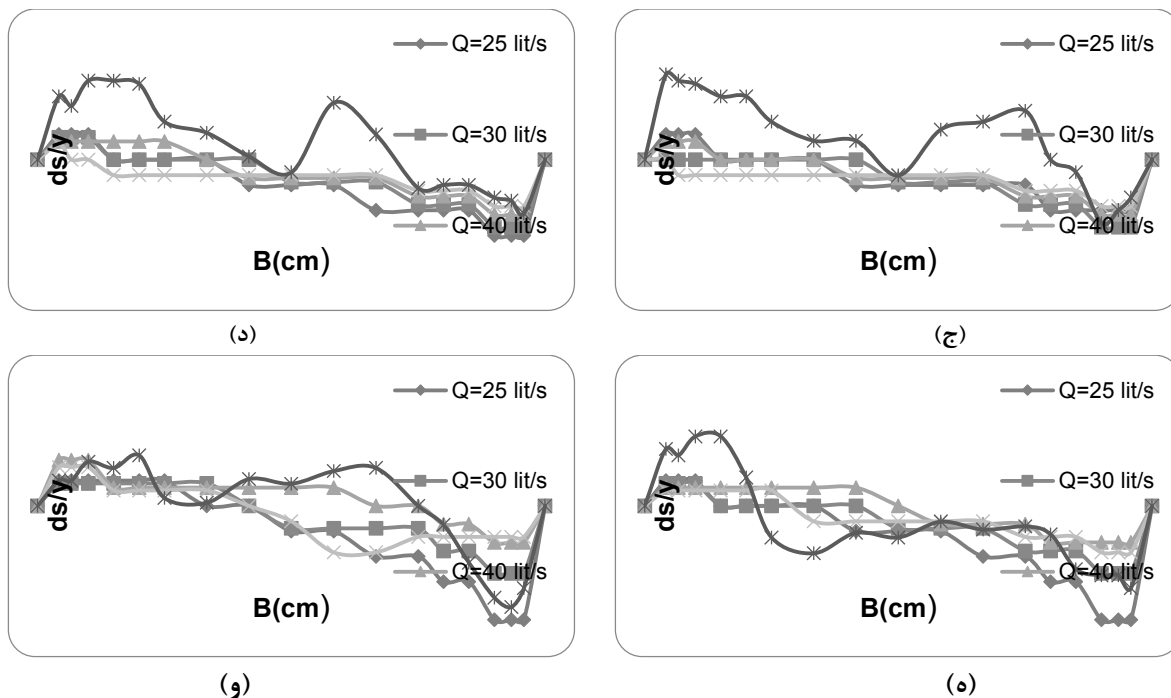
شکل (۶) تغییرات عرضی بدون بعد توپوگرافی بستر برای دبی‌های مختلف در شرایط $U/U_c=0.98$ و $B=60\text{ cm}$ در مقاطع متفاوت و مقایسه آن با نتایج آزمایشگاهی نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود در مقاطع مختلف روند تغییرات برای مدل‌های عددی، روند تقریباً ثابتی هست اما در حالت کلی با افزایش دبی با توجه به ثابت ماندن عرض کانال و نسبت سرعت جریان به سرعت بحرانی جریان، با کاهش آبستگي و افزایش رسوبگذاری توام خواهد شد و این روند در طول کانال دارای روندی افزایشی می‌باشد. بیشترین مقادیر رسوبگذاری در دبی ۴۰ لیتر بر ثانیه و در نزدیکی قوس خارجی رخ می‌دهد. در مقاطع ۶۰ و ۸۰ درجه، تطابق نسبتاً خوبی نسبت به درجات دیگر، بین مدل عددی و آزمایشگاهی قابل مشاهده است.



(ب)



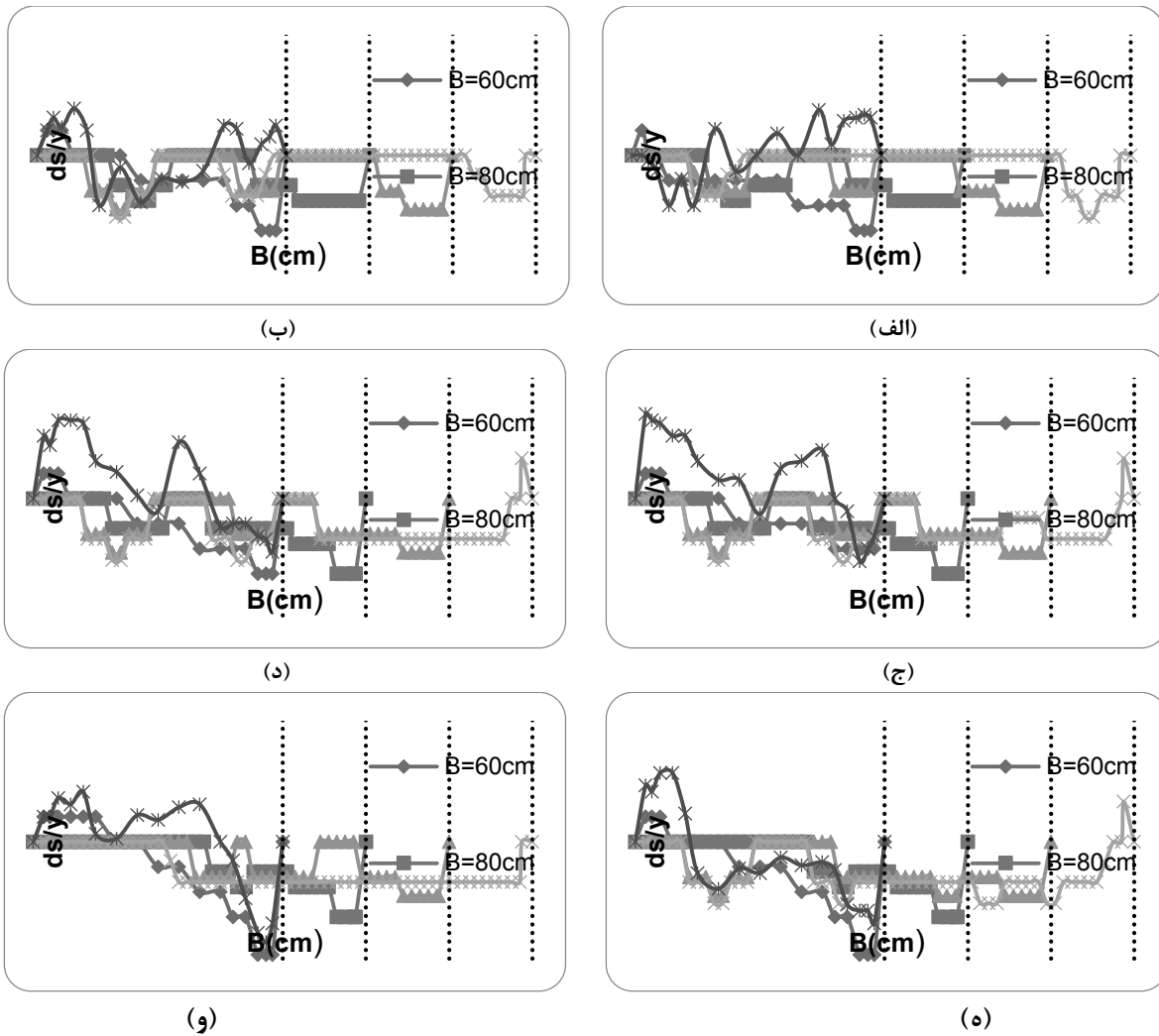
(الف)



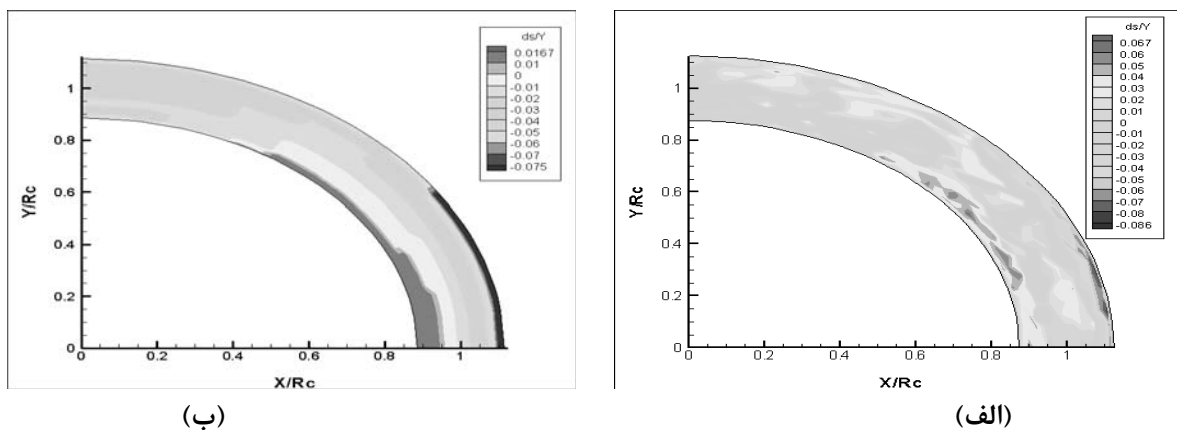
شکل (۶) تغییرات عرضی بدون بعد توپوگرافی بستر در دبی های مختلف و در شرایط $U/U_c=0/98$ و $B=60\text{cm}$ در مقاطع (الف) ۳۰، (ب) ۴۰، (ج) ۴۵، (د) ۵۰، (ه) ۶۰ و (و) ۸۰ درجه و مدل آزمایشگاهی

شکل (۷) تغییرات عرضی بدون بعد توپوگرافی بستر در شرایط $U/U_c=0/98$ و $Q=25\text{lit/s}$ در مقاطع مختلف و برای عرض های متفاوت کانال و تطابق آن با مدل آزمایشگاهی مشاهده می گردد. همانطور که مشاهده می شود در مقاطع مختلف روند تغییرات برای مدل های عددی، روند تقریباً یکسانی دارند ولی با افزایش عرض کانال باتوجه به کاهش سرعت جریان، کاهش میزان آبستگي در ساحل خارجی مشاهده می گردد و در مقابل افزایش رسوبگذاری صورت گرفته است. بیشترین مقادیر رسوبگذاری در مقاطع مختلف ۶۰ و ۸۰ درجه می باشد و در عرض ۱۲۰ سانتی متری و بیشترین مقدار آبستگي در زاویه ۸۰ درجه و در عرض ۶۰ سانتی متری می باشد. در کلیه مقاطع، تطابق نسبتاً خوبی بین مدل عددی و آزمایشگاهی برای عرض ۶۰ سانتی متر قابل مشاهده است.

شکل (۸) تغییرات بدون بعد توپوگرافی بستر برای $U/U_c=0/98$ (الف) نمونه آزمایشگاهی و (ب) مدل عددی نشان داده شده است [۱۱]. همانطور که مشاهده می شود بیشترین مقدار آبستگي در خروجی قوس در نزدیکی ساحل خارجی اتفاق افتاده است و شروع آبستگي از زاویه حدود ۵۰ درجه می باشد و تا انتهای مسیر ادامه دارد. در مدل عددی ماکزیمم مقدار آبستگي به میزان ۷/۵ درصد عمق جریان و در مدل آزمایشگاهی به میزان ۸/۵ درصد عمق جریان می باشد که این بیانگر تشابه نسبتاً قابل قبولی میان مدل آزمایشگاهی و مدل عددی از نظر کمی و کیفی می باشد. ماکزیمم مقدار رسوبگذاری در مدل عددی به میزان ۱/۶۷ درصد عمق جریان و در مدل آزمایشگاهی به میزان ۷/۶ درصد عمق جریان می باشد و در هر دو مدل محل وقوع رسوب گذاری در قوس داخلی می باشد.



شکل (۷) تغییرات عرضی بدون بعد توپوگرافی بستر در عرضهای مختلف کانال و در شرایط $U/U_c=0.98$ و $Q=25 \text{ lit/s}$ در مقاطع (الف) ۳۰، (ب) ۴۰، (ج) ۴۵، (د) ۵۰، (ه) ۶۰ و (و) ۸۰ درجه

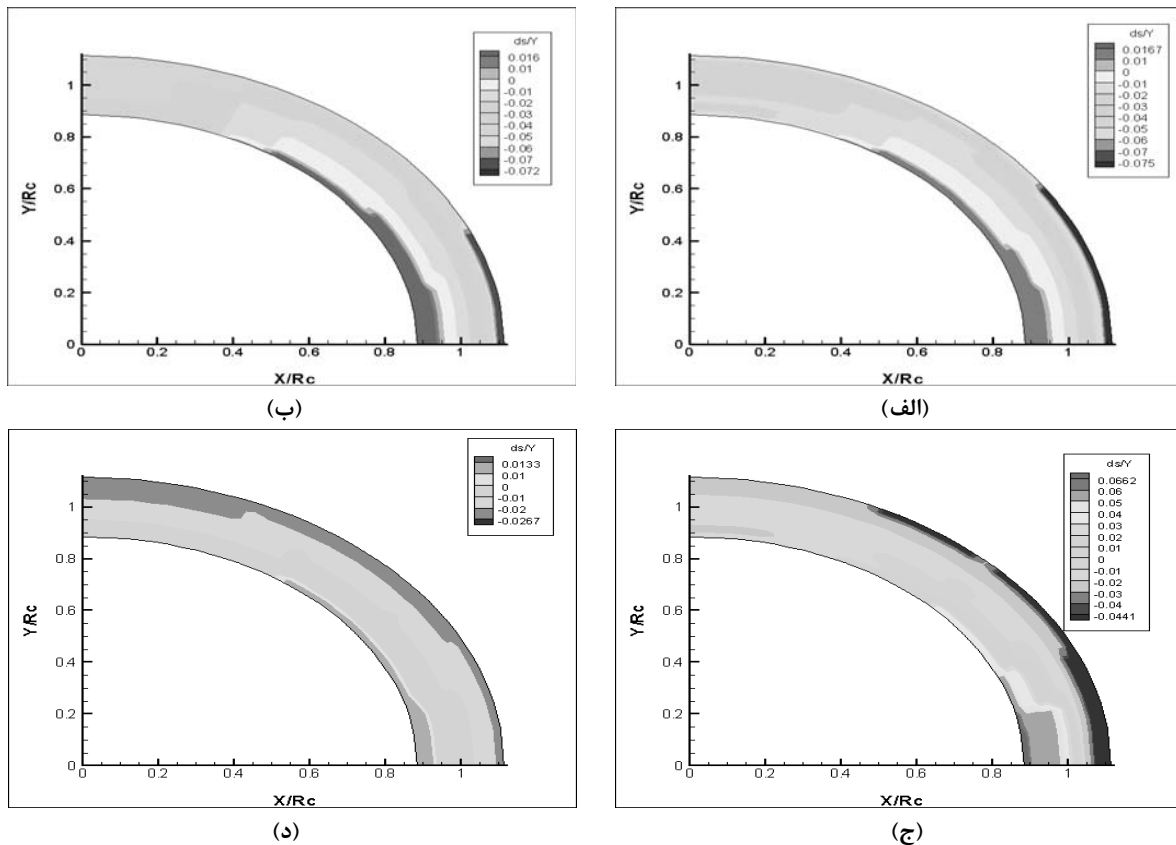


شکل (۸) تغییرات بدون بعد توپوگرافی بستر برای $U/U_c=0.98$ (الف) نمونه آزمایشگاهی، (ب) مدل عددی

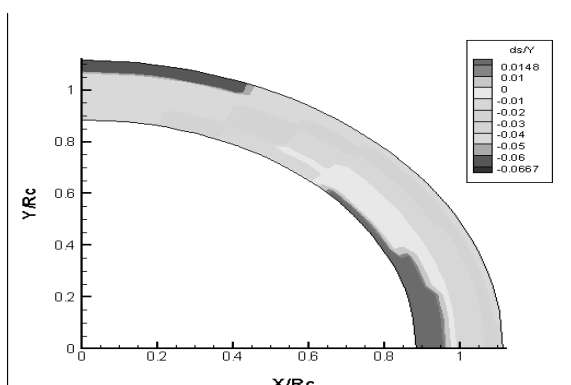
در شکل (۹) تغییرات بدون بعد توپوگرافی بستر برای U/U_c های (الف) ۰.۹۸، (ب) ۰.۹، (ج) ۰.۸ و (د) ۰.۷ نشان داده شده است. همانطور که قابل مشاهده است با ورود جریان به قوس ذرات سیال تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز قرار می‌گیرند و با

توجه به اینکه سرعت جریان در سطح آب بیشتر از کف می‌باشد، ذرات در سطح آب، تحت تاثیر نیروی گریز از مرکز بیشتری قرار می‌گیرند. همچنین نیروی گریز از مرکز موجود در خم باعث ایجاد شیب عرضی در سطح آب می‌شود به طوری که سطح آب را در قوس بیرونی بالا برده و در قوس داخلی باعث کاهش عمق می‌شود. این پدیده باعث گرادیان فشار جانبی در قوس خواهد شد. بنابراین در هر موقعیت از عمق، دو نیرو بر ذره وارد می‌گردد. نیروی ناشی از گرادیان فشار که سعی دارد ذره را به سمت قوس داخلی حرکت دهد و نیروی ناشی از شتاب گریز از مرکز که تمایل به حرکت ذره به سمت قوس خارجی دارد. گرادیان فشار در کف بر نیروی گریز از مرکز غلبه می‌کند و در نتیجه باعث انتقال رسوب از قوس خارجی به سمت قوس داخلی می‌شود و این امر باعث بوجود آمدن پشته رسوبی در فاصله تقریبی ۵۵ تا ۸۵ درجه در نزدیک ساحل داخلی می‌شود. همچنین آبستگي نیز به دلیل مشابه در نزدیکی قوس خارجی اتفاق می‌افتد. بیشترین مقدار آبستگي در $U/U_c = 0.98$ و به میزان $7/5$ درصد عمق جریان و کمترین مقدار آن به میزان $2/67$ درصد عمق جریان در $U/U_c = 0.7$ اتفاق می‌افتد. همچنین بیشترین مقدار رسوبگذاری به میزان $6/62$ درصد عمق جریان در $U/U_c = 0.8$ و کمترین مقدار آن به میزان $1/33$ درصد عمق جریان در $U/U_c = 0.7$ می‌باشد.

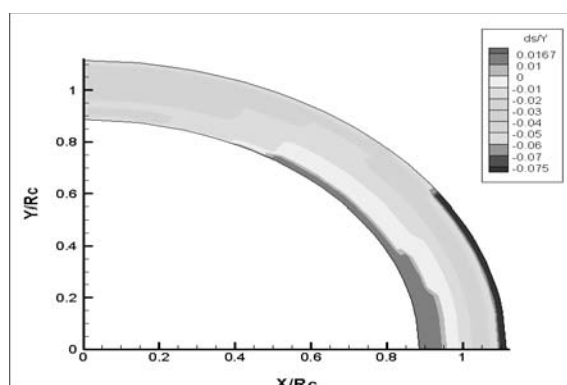
در شکل (۱۰) تغییرات بدون بعد توپوگرافی بستر برای دبی‌های مختلف نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود بیشترین مقدار آبستگي در شکل (۱۰-الف) تقریباً در 30 درجه انتهایی قوس و متقابل آن از نیمه قوس تا انتهای آن رسوبگذاری در ساحل داخلی اتفاق می‌افتد. در دبی‌های 30 و 40 در شکل‌های (۱۰-ب) و (۱۰-ج) قابل مشاهده هست که در ابتدای قوس در ساحل خارجی آبستگي و در نیمه تا انتهای قوس رسوبگذاری روی می‌دهد. اما در دبی 50 لیتر بر ثانیه بیشترین آبستگي نسبت به دبی‌های قبل قابل مشاهده است و از ابتدا تا انتهای قوس در ساحل خارجی کمابیش ادامه دارد.



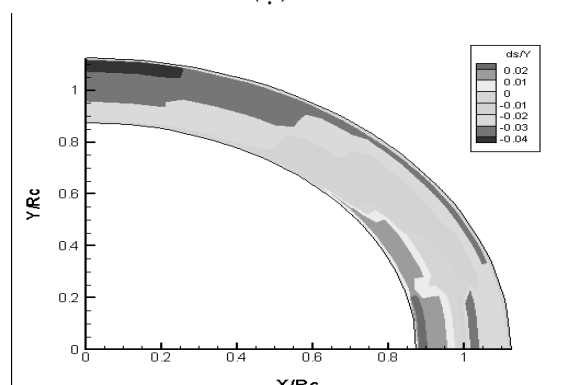
شکل (۹) تغییرات بدون بعد توپوگرافی بستر برای U/U_c های (الف) 0.98 ، (ب) 0.9 ، (ج) 0.8 و (د) 0.7



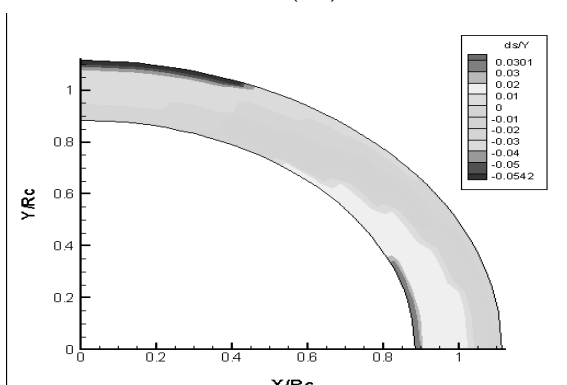
(ب)



(الف)



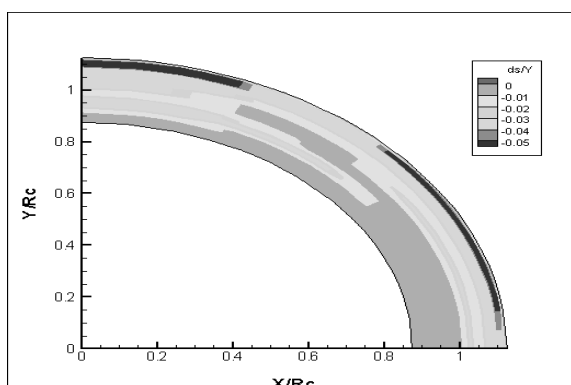
(د)



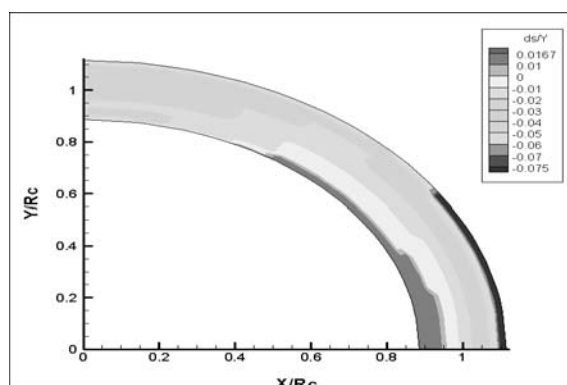
(ج)

شکل (۱۰) تغییرات بدون بعد توپوگرافی بستر برای دبی های (الف) ۲۵ lit/s، (ب) ۳۰ lit/s، (ج) ۴۰ lit/s و (د) ۵۰ lit/s

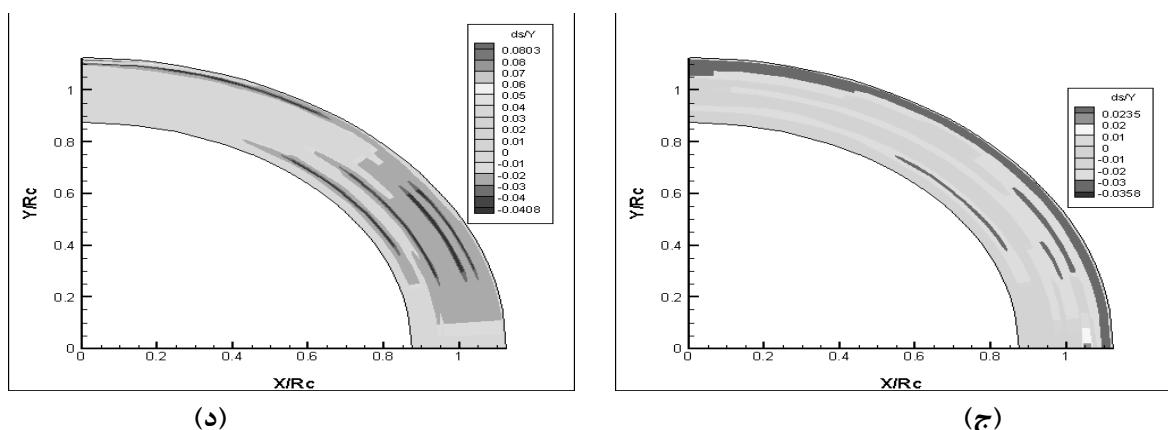
در شکل (۱۱) تغییرات بدون بعد توپوگرافی بستر برای عرض‌های مختلف نشان داده شده است. در بین مقاطع رسم شده حداکثر رسوبگذاری از نظر وسعت در عرض ۸۰ سانتی‌متر و حداکثر وسعت آبشستگی در عرض ۱۲۰ سانتی‌متر قابل مشاهده است. و این نشانگر رابطه عکس میزان رسوبگذاری با عرض کانال و رابطه مستقیم میزان آبشستگی با عرض کانال می‌باشد.



(ب)



(الف)



شکل (۱۱) تغییرات بدون بعد توپوگرافی بستر برای عرض های (الف) ۶۰cm، (ب) ۸۰ cm، (ج) ۱۰۰ cm و (د) ۱۴۰ cm

۴- نتیجه گیری

در این مقاله به بررسی تاثیر تغییرات پارامتر U/U_c ، دبی جریان و عرض کانال بر تغییرات توپوگرافی بستر پرداخته شده است که اهم نتایج به شرح زیر است:

- با توجه به اینکه با افزایش U/U_c میزان رسوبگذاری افزایش می یابد ولی به دلیل خطای نرم افزاری بیشترین مقدار رسوبگذاری در ساحل داخلی و در نزدیکی خروجی قوس به میزان هفت درصد عمق جریان در $U/U_c=0/8$ اتفاق افتاده است و کمترین مقدار آن به میزان ۱/۳ درصد عمق جریان در $U/U_c=0/7$ می باشد.
- بیشترین مقدار آبشستگی در ساحل خارجی و در نزدیکی خروجی قوس به میزان ۷/۵ درصد عمق جریان در $U/U_c=0/98$ و کمترین مقدار آن به میزان ۲/۷ درصد عمق جریان در $U/U_c=0/7$ اتفاق می افتد.
- افزایش عرض کانال همراه با کاهش میزان آبشستگی و در مقابل افزایش رسوبگذاری می باشد.
- با افزایش دبی جریان در شرایط ثابت ماندن سرعت جریان به سرعت بحرانی جریان، میزان آبشستگی نیز افزایش می یابد.
- مدل آزمایشگاهی و مدل عددی در قوس تنها و از نظر کمی و کیفی تشابه نسبتاً خوبی با هم دارند یعنی هم از نظر موقعیت و هم از نظر مقدار آبشستگی و رسوبگذاری روند مشابهی را دارند.

۵- مراجع

۱. فضلی، م.، م. واقفی، و م. قدسیان، ۱۳۸۸. بررسی و مقایسه روشهای محاسبه تنش برشی در کانال های قوسی شکل. هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.
۲. قدسیان، م. م. واقفی، و ن. پناه‌پور، ۱۳۸۷. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.
۳. ناجی ابهری، م.، و م. قدسیان، ۱۳۸۷. شبیه سازی عددی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه با استفاده از نرم افزار SSIM. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران.
۴. ناجی ابهری، م.، م. واقفی، و م. قدسیان، ۱۳۸۷. مطالعه آزمایشگاهی و عددی آبستنگی در قوس ۹۰ درجه. سومین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
۵. واقفی، م.، ۱۳۸۸. مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان و آبستنگی پیرامون آبشکن های T شکل مستقر در قوس ۹۰ درجه. رساله دکتری دانشگاه تربیت مدرس تهران.
۶. واقفی، م.، ع. احمد آبادی، ا. فتح نیا، و م. قدسیان، ۱۳۸۸. مقایسه روش های درون یابی در بررسی توپوگرافی بستر کانالهای قوسی. مجله علمی و پژوهشی مهندسی آب و آبخیزداری، سال سوم، شماره ۶، ۱۷-۲۷.
۷. واقفی، م.، ع. احمد آبادی، ا. فتح نیا، و ا. ادیب، ۱۳۸۸. کاربرد مدل های DEM و TIN در بررسی تغییرات توپوگرافی قوس رودخانه ها. هشتمین کنفرانس بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه اهواز.
۸. واقفی، م.، و م. قدسیان، ۱۳۸۹. بررسی آزمایشگاهی تاثیر شعاع انحنا قوس ۹۰ درجه بر تغییرات توپوگرافی بستر. مجله علمی کشاورزی علوم و مهندسی آبیاری، جلد سی و سوم، شماره ۲، ۹۳-۱۱۲.
۹. واقفی، م.، م. قدسیان، و ع. ا. صالحی نیشابوری، ۱۳۸۷. تاثیر شعاع انحنا بر توپوگرافی بستر قوس ۹۰ درجه. سومین کنفرانس ملی مدیریت منابع آب ایران، دانشگاه تبریز.
۱۰. واقفی، م.، م. قدسیان، و ع. ا. صالحی نیشابوری، ۱۳۸۷. مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان سه بعدی و آبستنگی در قوس ۹۰ درجه. مجله علمی و پژوهشی هیدرولیک ایران، دوره ۳، شماره ۳، ۴۱-۵۷.
۱۱. واقفی، م.، م. قدسیان، ع. موسوی نائینی، و ن. پناه‌پور، ۱۳۸۸. بررسی آزمایشگاهی تغییرات تنش برشی دو بعدی در قوس ۹۰ درجه با استفاده از روش سرعت متوسط. دهمین کنفرانس ملی خشکسالی و کاهش تبخیر، دانشگاه کرمان.
12. Jueyi, S., F. Daxian., and W.K. Bryan., 2006. An experimental study into local scour in a channel caused by a 90° bend. *Can. J. Civ. Eng*, Vol. 33, No. 7, 902-911.
13. Naji Abhari, M., M. Ghodsian., M. Vaghefi., and N. Panahpur., 2010. Experimental and numerical simulation of flow in a 90° bend. *Flow Measurement and Instrumentation*, Vol. 21, No.3, 292-298.
14. Ruther, N., and B. Olsen., 2005. Three dimensional modeling of sediment transport in a narrow 90 channel bend. *Journal of Hydraulic Engineering*, ASCE, Vol. 131, No. 10, 917-920.