

الگوی جریان پیرامون آبشکن‌های قائم در قوس ۹۰ درجه ملایم با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

مرتضی البرزی مقدم، مرتضی بختیاری و احمد حاجیوند

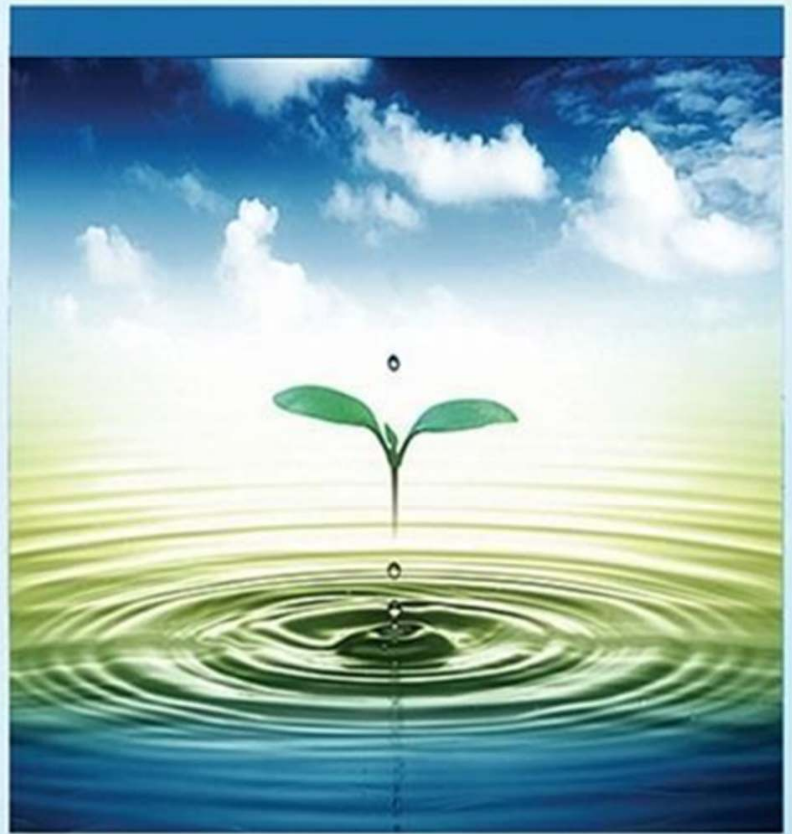
دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، صفحات ۴۴-۳۱

Vol. 6(1), Spring 2020, 31 – 44

DOI: 10.22034/jewe.2020.211691.1340

Flow Pattern around the Vertical Spur Dikes in A  
90-Degree Mild Bend with Computational Fluid  
Dynamics

Alborzi Moghadam M., Bakhtiari M. and  
Hajivand A.



[www.jewe.ir](http://www.jewe.ir)

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

البرزی مقدم م. و بختیاری م. و حاجیوند ا. (۱۳۹۹). الگوی جریان پیرامون آبشکن‌های قائم در قوس ۹۰ درجه ملایم با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۱، صفحات: ۴۴-۳۱.

**Citing this paper:** Alborzi Moghadam M., Bakhtiari M. and Hajivand A. (2020). Flow pattern around the vertical spur dikes in a 90-degree mild bend with computational fluid dynamics. Environ. Water Eng., 6(1), 31-44. DOI: 10.22034/jewe.2020.211691.1340.

# الگوی جریان پیرامون آبشکن‌های قائم در قوس ۹۰ درجه ملایم با استفاده از دینامیک سیالات محاسباتی

مرتضی البرزی مقدم<sup>۱\*</sup>، مرتضی بختیاری<sup>۲</sup> و احمد حاجیوند<sup>۲</sup>

دانش‌آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی دریا و ماشین‌آلات، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران

استادیار، گروه مهندسی دریا و ماشین‌آلات، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران  
\*نویسنده مسئول: [morteza\\_alborzi@yahoo.com](mailto:morteza_alborzi@yahoo.com)

## مقاله اصلی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۸/۰۹/۲۲]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۸/۰۱/۱۲]

تاریخ پذیرش: [۱۳۹۹/۰۱/۱۹]

## چکیده

به منظور محافظت سواحل و جلوگیری از فرسایش آن‌ها از سازه آبشکن استفاده می‌شود. اهمیت این سازه‌ها در قوس خارجی رودخانه‌ها ضرورت بیش‌تری دارد، چراکه در این محدوده از رودخانه، جریان‌های ثانویه ایجاد شده و به تبع آن ساحل فرسایش پیدا می‌کند. در این مقاله، الگوی جریان پیرامون مجموعه‌ای از آبشکن‌های قائم در قوس ۹۰° ملایم با استفاده از یک حل‌گر سه‌بعدی RANS بررسی شده است. به منظور شبیه‌سازی رفتار پیچیده سطح آب و جریان آشفته به ترتیب از روش حجم سیال و مدل آشفته‌گی Realizable k-ε استفاده شده است. از دو طول آبشکن معادل ۱۵ و ۲۵٪ عرض کانال آزمایشگاهی، دو فاصله قرارگیری معادل ۳ و ۵ برابر طول آبشکن، در دو عمق ۳ و ۹ cm از بستر و در دبی l/s ۲۵ در یک فلوم با قوس ملایم با عرض ۰/۷ m و عمق آب ۱۲ cm مورد بررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج با داده‌های آزمایشگاهی نشان‌دهنده تطابق قابل قبول بین آن‌ها است. همچنین نتایج نشان می‌دهد که حضور آبشکن‌ها در قوس موجب تمایل حداکثر سرعت متوسط به سمت قوس داخلی در بخش ورودی قوس می‌شود. سپس به سمت میانه کانال منحرف می‌شود. افزایش طول آبشکن‌ها باعث افزایش سرعت می‌شود ولی تأثیری در وقوع سرعت حداکثر ندارد طوری که در تمامی آرایش قرارگیری آبشکن‌ها در زاویه ۷۱°-۸۱° رخ داده است. در مورد تنش برشی نیز حداکثر مقدار آن در زاویه ۸۱°-۷۱° است.

**واژه‌های کلیدی:** آبشکن؛ توزیع سرعت؛ توزیع تنش برشی؛ روش 3D RANS؛ قوس ۹۰° ملایم.

## ۱- مقدمه

و نتیجه گرفتند که با قرار دادن آبشکن در موقعیت‌های مختلف یک گردابه در خلاف جهت عقربه‌های ساعت در بالادست و یک گردابه در خلاف جهت عقربه‌های ساعت در پایین‌دست آبشکن ظاهر می‌شود. همچنین افزایش طول بال آبشکن‌ها سبب افزایش طول ناحیه‌ی جدایی جریان و افزایش اندازه گردابه‌های ایجادشده می‌گردد. Duan et al. (2009) با استفاده از یک سرعت‌سنج ADV داده‌های سه‌بعدی سرعت را در یک کانال مستقیم با حضور یک آبشکن مستطیلی به‌دست آورده و در دو میدان جریان کف صاف و کف با چاله آب شستگی تفاوت در سرعت متوسط و شدت آشفتگی و تنش‌های رینولدزی را موردبررسی قرار دادند. تحقیقات آن‌ها نشان‌دهنده‌ی افزایش مؤلفه‌ی طولی و عرضی و کاهش مؤلفه عمودی سرعت بعد از تشکیل چاله آبشستگی است، همچنین تنش برشی بستر در اطراف آبشکن ۶ تا ۸ مرتبه بزرگ‌تر از تنش برشی بالادست گزارش شده است.

Yazdi et al. (2010) الگوی جریان پیرامون آبشکن تک در مسیر مستقیم با مدل آشفتگی  $k-\epsilon$  و نرم‌افزار فلوئنت را شبیه‌سازی کردند. ایشان اثر دبی، طول و زاویه آبشکن را بر توزیع تنش برشی مطالعه کردند. Ramamurthy et al. (2013) با استفاده از مدل‌سازی دوبعدی و مدل‌های آشفتگی متفاوت یک قوس  $90^\circ$  تند را بررسی کردند. آن‌ها تغییرات سطح آب را با استفاده از روش درپوش صلب، متخلخل و روش حجم سیال شبیه‌سازی کردند. ایشان بیان کردند که نتایج مدل عددی RSM مدل آشفتگی و روش حجم سیال تطابق بهتری با نتایج آزمایشگاهی دارند. Yazdi et al. (2010) با استفاده از نرم‌افزار FLUENT الگوی جریان سه‌بعدی پیرامون سازه آبشکن را بررسی کردند. در این مدل برای پیش‌بینی رفتار پیچیده سطح آزاد از روش حجم سیال با الگوی باز ساخت هندسی و برای شبیه‌سازی آشفتگی جریان از روش  $K-\omega$  استفاده شده است. Giglou et al. (2018) به بررسی زاویه، طول‌ها و فاصله‌های متفاوت سری آبشکن‌های موازی با طول مساوی بر روی الگوی جریان، فرسایش و رسوب‌گذاری با استفاده از مدل‌سازی عددی به‌وسیله FLOW-3D پرداختند. Ahli et al.

آبشکن‌ها سازه‌های متقاطع یا عرضی هستند که از دیواره طبیعی رودخانه با طول مناسب و با زاویه مناسبی نسبت به راستای عمومی جریان قرار می‌گیرند. این سازه‌ها سبب انحراف جریان از کناره‌ها و نواحی بحرانی شده و جریان را به‌سمت محور مرکزی رودخانه هدایت می‌کنند. در قوس رودخانه‌ها به‌دلیل اندرکنش بین جریان‌های ثانویه و عدم یکنواختی نیم‌رخ سرعت در عمق، الگوی جریانی به نام جریان حلزونی<sup>۱</sup> تشکیل می‌شود. این الگو باعث آشفتگی شدید در جریان می‌گردد. پیچیدگی الگوی جریان در قوس، همراه با پیچیدگی جریان پیرامون آبشکن، شرایط الگوی جریان پیرامون آبشکن را در قوس دوچندان می‌کند زیرا که به وجود آمدن جریان حلزونی در قوس، در ترکیب با گردابه‌های ایجادشده در بالادست و پایین‌دست آبشکن، تحلیل الگوی جریان را دشوار می‌سازد. با توجه به اثرات مهم و تعیین‌کننده آبشکن بر الگوی جریان و از طرفی زمان‌بر بودن شبیه‌سازی مدل‌های آزمایشگاهی، لزوم شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در اطراف آبشکن‌ها در مسیر قوسی شکل آشکار می‌شود (Vaghefi et al. 2014). در این راستا، پژوهش‌گران زیادی در چند دهه گذشته به بررسی عواملی پرشمار بر این سازه پرداخته‌اند. Giri et al. (2004) با بررسی آزمایشگاهی و عددی جریان و آشفتگی در نهر پایه‌داری شبیه به پیچان‌رودها با وجود آبشکن‌های غیرمستغرق پرداختند. ایشان سرعت جریان را با تغییرات موقعیت آبشکن‌ها تعیین کرده و میدان گردابه و شدت آشفتگی را به‌صورت دوبعدی اندازه گرفتند. Zhang and Shen (2006) یک مدل عددی سه‌بعدی جریان در کانال قوسی را ارائه دادند. آن‌ها بیان کردند که قدرت جریان ثانویه ناشی از نیروی گریز از مرکز علت اصلی تغییر در الگوی توزیع سرعت و ارتفاع سطح آب در قوس است. Huang et al. (2006) با استفاده از مدل‌سازی سه‌بعدی و مدل‌های آشفتگی متفاوت، جریان ثانویه و توزیع عمقی سرعت متوسط و ارتفاع سطح آب در یک کانال قوسی را بررسی کردند. Ghodsian and Vaghefi (2009) با تغییر دادن طول و طول بال آبشکن و عدد فرود جریان به بررسی میدان جریان و آبشستگی اطراف آبشکن‌های T شکل در یک قوس  $90^\circ$  ملایم پرداختند

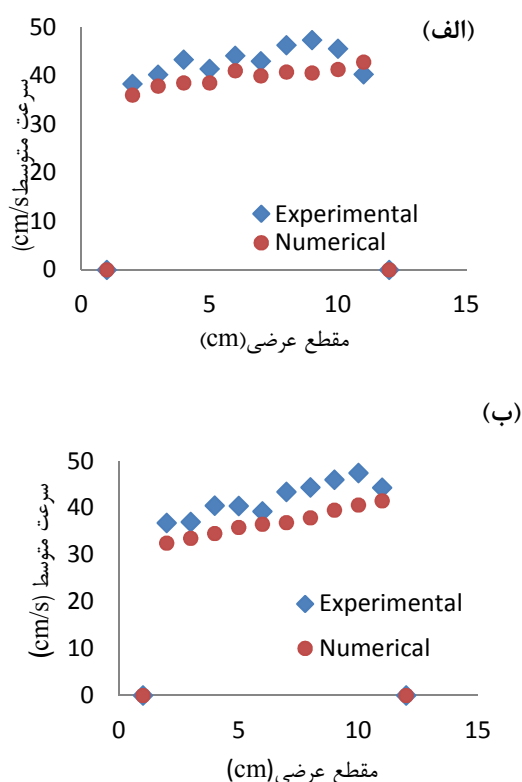
<sup>1</sup> Helical flow







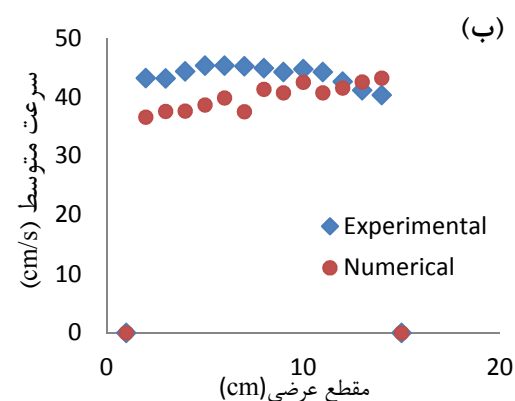
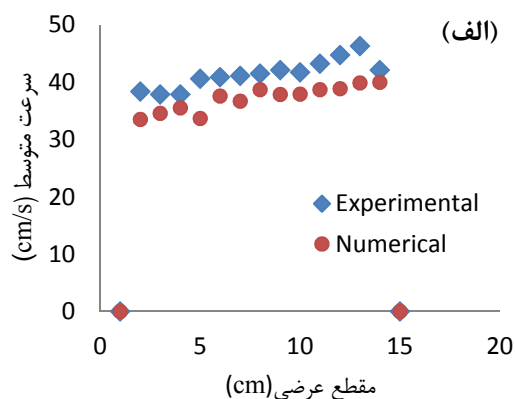
بیشتر در قوس سرعت‌ها در دیواره‌های داخلی و خارجی به یکدیگر نزدیک می‌شوند. نکته مهم وجود سرعت‌های بالا در پایین دست قوس در نزدیکی دیواره قوس است که این امر نشان می‌دهد محافظت از قوس می‌بایست تا پس از قوس ادامه یابد که این مورد از یافته‌های Arman et al. (2017) مطابقت دارد.



شکل ۴- مقایسه مقادیر سرعت در حالت مدل عددی و تحقیق آزمایشگاهی در شرایط حضور آبشکن با طول ۱۴ cm و نسبت فاصله به طول ۳: الف- دو مقطع قبل از شروع قوس و ب- زاویه ۴۶°

Fig. 4 Comparison of velocity values in numerical modeling and laboratory research with 14 cm long spur, and distance/length = 3: a) Two stages before the arc starting and b) 46°

شکل (۶) الگوی توزیع سرعت متوسط را در پلان برای قوس در شرایط آبشکن‌هایی به طول ۱۵٪ عرض کانال دبی ۲۵ l/s و فاصله طولی ۳ برابر طول آبشکن نشان می‌دهد. همان‌گونه که در شکل مشخص است، در صفحه



شکل ۳- مقایسه مقادیر سرعت در حالت مدل عددی و تحقیق آزمایشگاهی در شرایط بدون حضور آبشکن: الف- زاویه ۴۶°، ب- زاویه ۹۱°

Fig. 3 Comparison of velocity values in numerical modeling and laboratory research without spur dike condition: a) 46° and b) 91°

### ۳-۲- الگوی توزیع سرعت متوسط

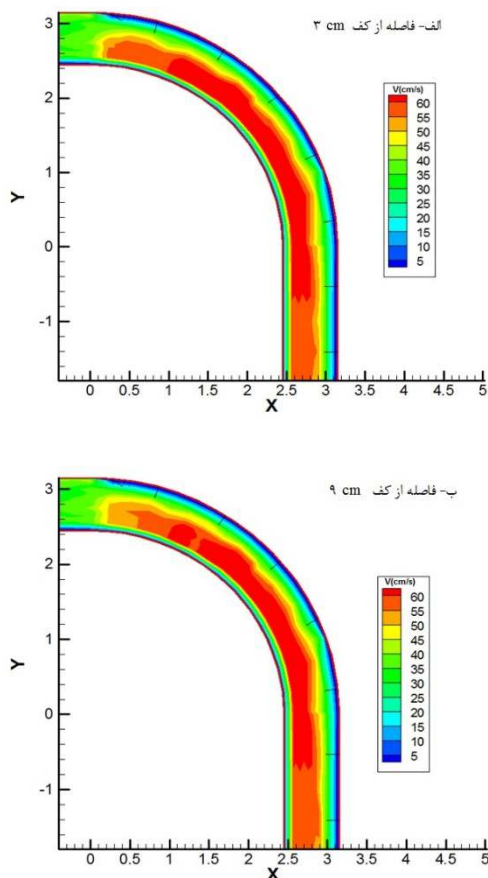
بعد از استخراج مؤلفه‌های سه‌بعدی سرعت و محاسبه سرعت‌های متوسط نقطه‌ای، الگوی توزیع سرعت برای لایه‌های عمقی مختلف ترسیم شد. نتایج در دو صفحه نزدیک به کف با فاصله ۳ cm از کف و صفحه نزدیک به سطح آب با فاصله ۹ cm از کف در شرایط دبی ثابت و هندسه‌های مختلف آبشکن (از نظر طول و فاصله قرارگیری آبشکن‌ها) ارائه شده است.

همان‌گونه که در شکل (۵) مشخص است، در شروع قوس در دیواره داخلی سرعت افزایش یافته و ناحیه پرسرعت در نزدیک دیواره داخلی و ناحیه کم‌سرعت در نزدیک دیواره خارجی به وجود می‌آید اما با پیشروی





کانال به ۲۵٪ عرض کانال سرعت بیشینه به ترتیب ۹ و ۱۶٪ افزایش یافته است.



فاصله میان آبشکن‌ها سرعت‌های بالا در فضای میان آبشکن‌ها نفوذ کرده که این نتیجه با نتایج تحقیق Shaker et al. (2014) تطابق دارد.

شکل ۷- الگوی توزیع متوسط سرعت در قوس در حالت

به کارگیری آبشکن‌های قائم در شرایط ۲۵٪ عرض کانال، نسبت فاصله به طول = ۳، دبی ۲۵ l/s در دو صفحه با فاصله‌های مختلف از بستر

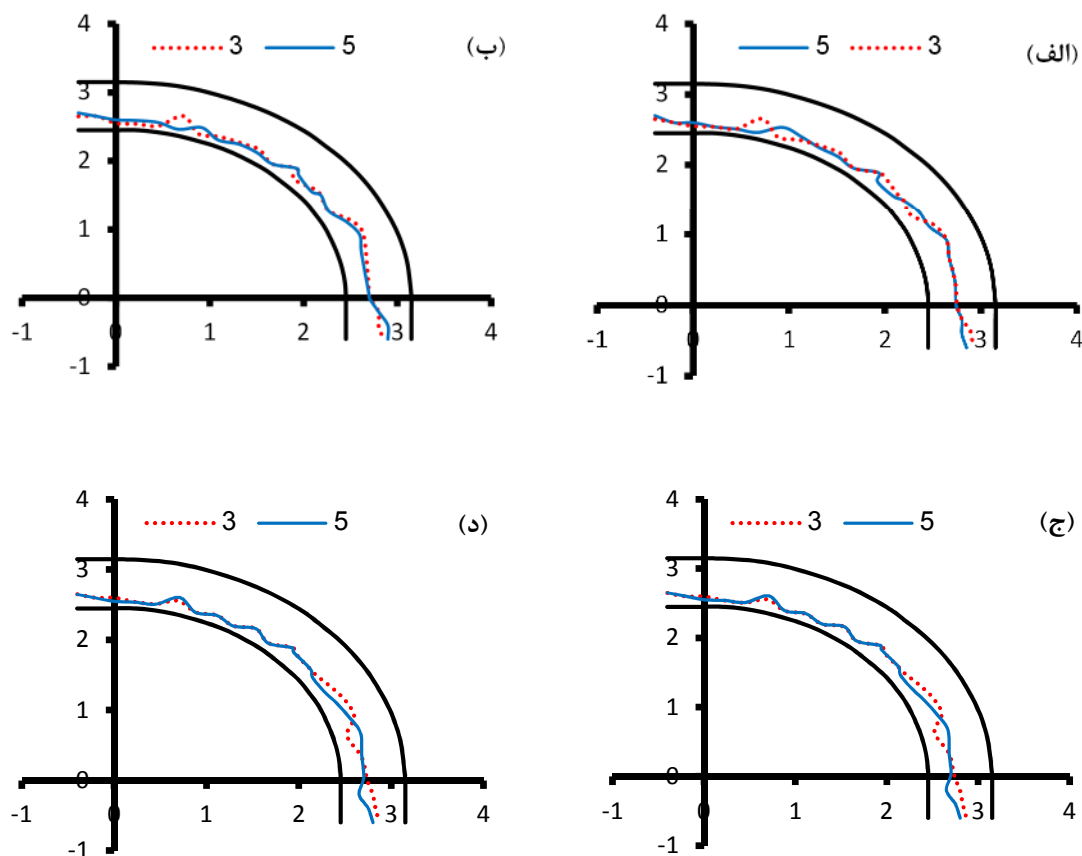
Fig. 7 Pattern of velocity distribution in the case of using spur with 25% of the channel width, distance to length = 3, at discharge rate of 25 l/s at two levels with different distances from bed

شکل ۸- الگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در حالت به- کارگیری آبشکن‌های قائم با طول ۲۵٪ عرض کانال، نسبت فاصله به طول ۵، دبی ۲۵ l/s برای عمق‌های مختلف از بستر

توزیع سرعت در دو صفحه نزدیک بستر و نزدیک به سطح آب برای حالت قرارگیری آبشکن با طول ۲۵٪ عرض کانال برای فاصله نسبی ۵ در شکل (۸) مورد بررسی قرار گرفته است. در این حالت نیز بردارهای حداکثر سرعت را از مجاورت ساحل بیرونی قوس منحرف شده و مانع از برخورد این بردارها با جداره بیرونی قوس گردیده‌اند. ناحیه با سرعت‌های حداکثر در یک سوم انتهایی قوس و در مجاورت ساحل داخلی اتفاق افتاده است. تفاوت این حالت با حالت‌های قبل در این است که به دلیل فاصله زیاد بین آبشکن‌ها سرعت‌های زیاد به میان آبشکن‌ها وارد شده

با مقایسه شکل‌های (۶) و (۷) می‌توان دریافت که افزایش طول آبشکن‌ها سبب افزایش سرعت شده به طوری که افزایش طول آبشکن از ۱۵ به ۲۵٪ عرض کانال سبب افزایش حدوداً ۳۰٪ سرعت بیشینه برای فواصل نسبی آبشکن‌ها شده است اما بر محل وقوع سرعت حداکثر تأثیری نداشته و در تمامی حالات سرعت بیشینه در زاویه ۷۱ تا ۸۱° رخ داده است. دلیل افزایش سرعت در اثر افزایش طول آبشکن‌ها این است که طبق اصل پیوستگی به دلیل کاهش سطح مقطع و به دلیل ثابت بودن دبی سرعت جریان افزایش می‌یابد. (Arman et al. (2017 نشان دادند که با افزایش طول آبشکن از ۱۵ و ۲۰٪ عرض





شکل ۹- موقعیت سرعت بیشینه در نسبت طول به فاصله ۳ و ۵ در حالت به کارگیری آبشکن‌هایی به طول ۱۵٪ عرض کانال برای عمق (الف) ۹ cm و (ب) ۳ cm از بستر و ۲۵٪ عرض کانال برای عمق (ج) ۹ cm و (د) ۳ cm از بستر  
 Fig. 9 Maximum velocity position at distance to length = 3 and 5 in the case of using spur dike with 15% of the channel width with distance (a) 9 cm and (b) 3 cm from bed and %25 of the channel width with distance (c) 9 cm and (d) 3 cm from bed

### ۳-۴- بیشینه‌ی تنش برشی

بررسی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد در شرایط حضور آبشکن‌های با طول ۱۵٪ عرض کانال، در ابتدای ورود به قوس تنش برشی بیشینه به سمت قوس داخلی بیشتر متمایل است به تدریج به سمت میانه کانال منحرف شده و سپس در یک سوم انتهایی قوس به سمت قوس خارجی متمایل می‌گردد. همچنین با افزایش طول آبشکن به میزان ۲۵٪ عرض کانال، نیز همین روند مشاهده می‌گردد با این تفاوت که در شرایط طول کم-تر این روند در هر سه بخش کانال متمایل به قوس داخلی می‌باشد و افزایش در طول آبشکن بیش‌ترین میزان تنش برشی را همواره به میانه متمایل تر نموده است.

نظر به اینکه بررسی‌های صورت گرفته در مطالعات پیشین نشان می‌دهد جریان ثانویه در قوس موجب وقوع نیروی برشی بزرگی در قوس نسبت به مسیرهای مستقیم می‌گردد لذا در این بخش به بررسی تأثیر آبشکن‌ها بر موقعیت بیشینه تنش برشی پرداخته شده است. شکل (۱۰) موقعیت بیشینه تنش برشی بی‌بعد در مقاطع مختلف قوس را نشان می‌دهد. تنش برشی بی‌بعد از تقسیم تنش برشی قوس بر تنش برشی مسیر مستقیم حاصل می‌شود. بررسی صورت گرفته برای دو طول آبشکن معادل ۱۵ و ۲۵٪ عرض کانال، در دبی ۲۵ l/s انجام شده است.







