

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

به‌منظور 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 به‌تبع 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. به‌منظور 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 قابل‌قبول 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

جدول ۱- الگوی انجام مدل های آزمایشگاهی

Table 1 Pattern of performing laboratory models

حالت (درجه)	زاویه (cm)	طول (cm)	فاصله طولی	دبی (l/s)	عمق جریان (cm)
1	90	10.5	3	30	12
2	90	14	3	30	12
3	90	17.5	3	30	12
4	90	10.5	7	30	12
5	60	17.5	3	30	12
6	120	10.5	3	30	12



شکل ۱- فلوم مورد استفاده جهت مدل سازی ها

Fig. 1 Flume used for modeling

## ۲-۲- نرم افزار Star CCM+

این نرم افزار بر مبنای فناوری برنامه نویسی شیء گرا است که توانایی اجرای مدل های متنوع با سرعت بالا و نتایج هم زمان نتایج را ایجاد می کند. ابتدا به وسیله مدل ساز هندسی، هندسه دوبعدی مسئله با قابلیت ویرایش و به صورت پارامتری تولید می شود. سپس با ابزار آماده سازی سطح هندسه، کیفیت هندسه تولید شده و یا وارد شده را به بالاترین سطح ممکن برای تولید شبکه افزایش می دهد. در ادامه با فناوری شبکه بندی خودکار با سرعت بسیار بالا و قابلیت پردازش موازی محدوده محاسباتی را شبکه بندی می کند. پس از تولید شبکه محاسباتی مدل فیزیکی مسئله تعیین می شود. Star CCM+ با ارائه حل گرهای گوناگون امکان حل گسترده ی وسیعی از پدیده های فیزیکی مانند مسائل دوبعدی و سه بعدی، جریان های پایا و نا پایا، آرام و مغشوش، تراکم پذیر و تراکم نا پذیر، چندفازی و تک فازی فراهم کرده است. روش حل عددی در این نرم افزار به طور معمول روش حجم محدود است (Cd Adapco 2017).

(2018) در تحقیقی با استفاده از نرم افزار Ansys توزیع سرعت متوسط و تنش برشی حول سری آب شکن ها در یک قوس ۹۰ درجه ملایم را مورد بررسی قرار دادند. Abbasi et al. 2019 به بررسی تغییرات مورفولوژی بستر در کانال های دارای سری آب شکن های موازی با طول های نامساوی و جهت گیری های مختلف پرداختند. آن ها به منظور شبیه سازی عددی تحقیق خود از نرم افزار FLOW-3D استفاده کردند.

هدف از این تحقیق بررسی الگوی پارامترهای هیدرولیکی جریان از جمله توزیع سرعت متوسط و تنش برشی در قوس ۹۰° ملایم در شرایط هندسه و شرایط هیدرولیکی متفاوت می باشد.

## ۲- مواد و روش ها

### ۲-۱- الگوی مدل سازی

به منظور مدل سازی تحقیق حاضر از سناریوهای مختلف به صورت دو طول آب شکن ۱۵ و ۲۵٪ عرض کانال، زاویه قرارگیری ۹۰° (عمود) دو فاصله طولی میان آب شکن ها و در دو عمق ۳ cm و ۹ cm و برای دبی ثابت به مقدار ۲۵ l/s صورت گرفت. به منظور صحت سنجی و کالیبراسیون مدل تهیه شده از داده های برداشت شده سه بعدی سرعت که بر روی یک مدل فیزیکی در آزمایشگاه سازه های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز توسط Bakhtiari et al. (2013) انجام گردیده است، استفاده شد. در جدول (۱) الگوی آزمایش های انجام شده در قالب تحقیق آزمایشگاهی یاد شده ارائه شده است.

فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده جهت مدل سازی عددی با قوس ۹۰° درجه با نسبت شعاع انحنای مرکزی به عرض فلوم ۴ m و مقطع عرضی مستطیلی استفاده شد. جداره کانال از جنس پلکسی گلاس و جنس کف گالوانیزه می باشد. عرض فلوم ۰/۷ m، شعاع خارجی قوس ۳/۱۵ m و طول راستای مستقیم کانال در بالادست و پایین دست به ترتیب ۵ m و ۳ m می باشد. با توجه به نسبت R/B (R شعاع قوس و B عرض فلوم است) که برابر ۴ است قوس جزء قوس های ملایم محسوب می شود. در شکل (۱) نمایی از کانال آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق حاضر نشان داده شده است.

استفاده شد. روش کار بدین صورت است که با استفاده از رابطه (۱) در هر مرحله اندازه مش به نسبت یک به رادیکال دو کوچک تر می شود تا جایی که دقت مدل تغییر محسوسی نداشته باشد شکل (۲). به منظور محاسبه دقت مدل مقطع  $46^\circ$  قوس بدون حضور آبشکن و در حضور آبشکنها انتخاب و دقت متوسط مقادیر سرعت متوسط در ۱۵ نقطه از این مقطع بررسی شد که در نهایت مش بهینه از لحاظ زمان و دقت مدل تعداد المان  $736523$  شد. در رابطه (۱) X اندازه پایه مش است.

$$\frac{x_2}{x_1} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \frac{x_3}{x_2} = \frac{1}{\sqrt{2}}, \dots, \frac{x_n + 1}{x_n} \quad (1)$$



شکل ۲- مش بندی هندسه کانال  
Fig. 2 Meshing channel geometry

#### ۲-۳-۴- شرایط مرزی

با توجه به اینکه جریان در مدل مورد نظر در هر حالت برای دبی  $25 \text{ l/s}$  زیر بحرانی است، لذا توجه به نکات یاد شده در بالا، محاسبه عمق جریان در ورودی به نرم افزار واگذار شده و از شرط مرزی مقدار مشخص برای سرعت در این مقطع استفاده شده است. این شرط مرزی برای جریانهای تراکم ناپذیر مورد استفاده قرار می گیرد.

پس از انتخاب شرط مرزی سرعت در ورودی و با توجه به زیر بحرانی بودن جریان، شرط مرزی که برای خروجی کانال در نظر گرفته شد، عمق جریان است که در قالب فشار هیدرواستاتیک به این مقطع اعمال گردیده است. شرط مرزی دیوار برای محدود کردن نواحی سیال با جامد به کار می رود در مسئله مورد نظر، جدارهها شامل کف و دو دیواره ی کانال است. برای صحت سنجی بر اساس مدل آزمایشگاهی موجود، مسطح در نظر گرفته می شود. جریان با سطح آزاد به یک حالت جریان چند فاز از اطلاق

#### ۲-۳-۲- شبیه سازی

۲-۳-۱- ایجاد هندسه و شبکه بندی میدان حل در این قسمت به وسیله ابزارهای موجود، هندسه کانال طراحی شد. بدین منظور ابتدا هندسه دوبعدی مسئله در نرم افزار AUTO CAD طراحی و سپس بعد از استخراج مختصات در قسمت Geometry با ابزار موجود به صورت سه بعدی ایجاد شد. پس هندسه ایجاد شده در قسمت Mesh، مش بندی شده و کیفیت مش بندی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه گزارش مطالعه مش بندی آورده شده است.

#### ۲-۳-۲- شبکه بندی

مش بندی محدوده ی جریان دقت حل مسئله به تعداد سلول های موجود در شبکه بستگی دارد. اصولاً شبکه های غیر یکنواخت، با تعداد سلول های مختلف در قسمت های مختلف بدنه بسته به موقعیت آن، در حل یک مسئله قابلیت بیشتری دارند. البته باید در نظر داشت که ایجاد چنین شبکه ای به عوامل مختلفی از جمله نوع مدل اغتشاشی، شکل ظاهری مدل مانند مقطع عرضی، و نوع مسئله ی مورد بررسی بستگی دارد. رفع خطاهای موجود در حل مسئله از طریق تغییر در شبکه و بهینه نمودن آن صورت می پذیرد و در اکثر موارد تغییر شبکه شامل ریزتر نمودن آن در قسمت های مورد نیاز است تا جایی که نتایج حاصل مستقل از ابعاد سلول های موجود در شبکه شوند و نتایج کلیدی تغییر نکنند. این امر به کمک سعی و خطا و تکرار حل در دفعات مکرر با شبکه بندی های متفاوت حاصل می شود. در این مطالعه برای شبکه بندی محدوده ی جریان نیز از قسمت Mesh در نرم افزار Star CCM+ بهره گرفته شد.

برای مش بندی در قسمت های مستقیم کانال که از اهمیت کمتری نسبت به قوس کانال از شبکه بندی درشت تر و برای داخل قوس از مش ریزتر و برای اطراف آبشکنها به علت گرادیان بالا با هم از مش ریزتری استفاده شد. تعداد گره ها و المان های موجود در کل حجم  $736523$  می باشد.

#### ۲-۳-۲- کنترل کیفیت مش بندی مدل

به منظور مطالعه مش بندی در تحقیق حاضر و انتخاب مش بهینه (مش بندی که هم از لحاظ زمان محاسبات و هم از لحاظ دقت مناسب ترین باشد) از روش (Roache 1997)

می‌شود که فازها به کمک یک سطح مشترک مشخص از هم جدا می‌شوند. مثال‌هایی از جریان‌های با سطح آزاد شامل جریان کانال‌های روباز، مسائل خاک‌ریزی مخازن و بسیاری از موارد دیگر است. شرط مرزی سطح آزاد بیان‌کننده پیوستگی سطح آزاد و تعادل نیروها در این مرز است. در این نرم‌افزار برای سطح آزاد جریان از روش حجم سیال (VOF) استفاده می‌شود. در این روش برای هر المان با توجه به نوع سیال موجود در آن کسر حجمی اختصاص داده می‌شود که ۱ برای سیال حاوی آب، صفر برای سیال حاوی هوا و بین صفر و ۱ المان‌های سطح آزاد را شامل می‌شود.

$$\bar{V}_r = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \quad (2)$$

جهت محاسبه تنش برشی از روابط (۳) تا (۵) استفاده شد.

$$\tau_{bx} = \frac{\rho g}{c^2} \bar{U} \sqrt{\bar{U}^2 + \bar{V}^2} \quad (3)$$

$$\tau_{by} = \frac{\rho g}{c^2} \bar{V} \sqrt{\bar{U}^2 + \bar{V}^2} \quad (4)$$

$$\tau_b = \sqrt{\tau_{bx}^2 + \tau_{by}^2} \quad (5)$$

که در آن  $\bar{U}$  و  $\bar{V}$  به ترتیب متوسط سرعت در جهت‌های x و y (m/s)،  $\tau_{bx}$  و  $\tau_{by}$  به ترتیب تنش برشی بستر در جهات x و y ( $N/m^2$ ) و  $\rho$  و  $g$  به ترتیب دانسیته سیال و ضریب گرانش و  $c$  ضریب سزی است (Shaker and Kashefipour 2014).

### ۳- یافته‌ها و بحث

#### ۳-۱- صحت سنجی مدل عددی

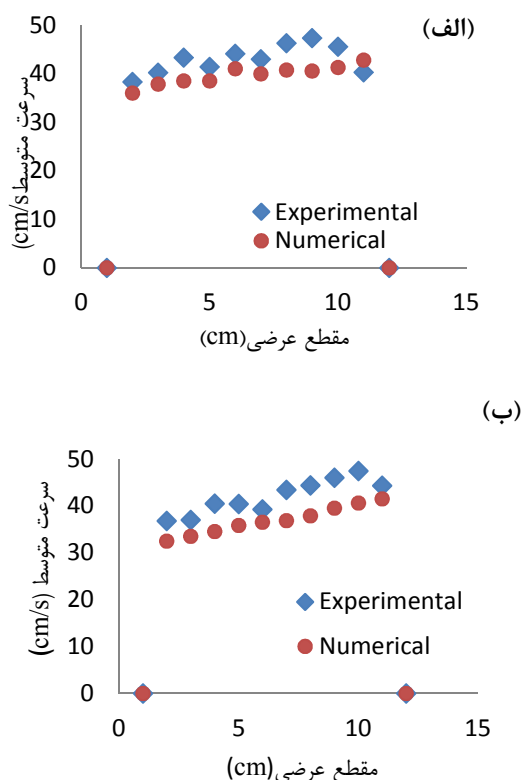
به منظور انجام صحت‌سنجی مدل عددی تهیه شده مطابق جدول (۱)، اقدام به تهیه شش مدل عددی گردید سپس نتایج به دست آمده با نتایج تحقیق آزمایشگاهی مقایسه گردید. شکل‌های (۳) و (۴) مقایسه میان مدل عددی و مدل آزمایشگاهی تهیه شده در برخی مقاطع عرضی را نشان می‌دهد.

نتایج حاصل مقایسه میان داده‌های مدل عددی و آزمایشگاهی نشان می‌دهد مطابقت خوبی بین داده‌های مورد مقایسه وجود دارد. بررسی‌های کمی نشان می‌دهد درصد اختلاف میان این داده‌ها در طیف زیادی از داده‌ها - کم‌تر از ۵٪ بوده است ولی حد مجاز تا اختلاف حدود ۱۰٪ بر اساس سطح معنی‌دار اختلاف‌ها در نظر گرفته شده است. Ahli et al. (2018) در پژوهش خود که با نرم‌افزار Ansys انجام دادند نیز به نتیجه مشابه دست یافتند.

به منظور انجام درجه‌بندی و صحت‌سنجی مدل از تحقیق آزمایشگاهی (Bakhtiari et al. 2013) استفاده شد. در این مطالعه در تمام آزمایش‌ها عمق جریان برابر ۱۲ cm بوده و تراز سطح آب و همچنین میزان دبی ورودی به صورت پیوسته در تمام طول آزمایش کنترل گردیده است. سرعت‌ها در اطراف آب‌شکن‌ها و مقاطع عرضی معین توسط دستگاه سرعت‌سنج سه‌بعدی الکترومغناطیس JEF ALEC برداشت شد. زمان نمونه‌برداری بسته به موقعیت نقاط متفاوت بوده و نمونه‌برداری با فرکانس ۲۰ mHz صورت گرفته است.

برای یافتن الگوی جریان نیاز به انتخاب مقاطعی مختلف از طول کانال می‌باشد که بتواند شاخصه‌های جریان را در حالت‌های مختلف نشان دهد. بدین منظور در طول کانال از ۲۴ مقطع طولی ثابت و تعداد زیادی مقاطع که با توجه به هر آزمایش و محل قرارگیری آب‌شکن‌ها موقعیتشان متفاوت بود استفاده شد. هر مقطع به ۱۵ نقطه عرضی با فاصله‌های ۲/۵ cm از دیواره‌ها در ابتدا و انتها و ۵ cm از یکدیگر تقسیم گردید. سرعت‌ها در دو عمق ۳ و ۹ cm از کف اندازه‌گیری شد. اولین مقطع عرضی برداشت نقاط در شروع قوس و بقیه نقاط به ترتیب به فاصله ۵° تا زاویه ۹۰° ادامه می‌یابد.

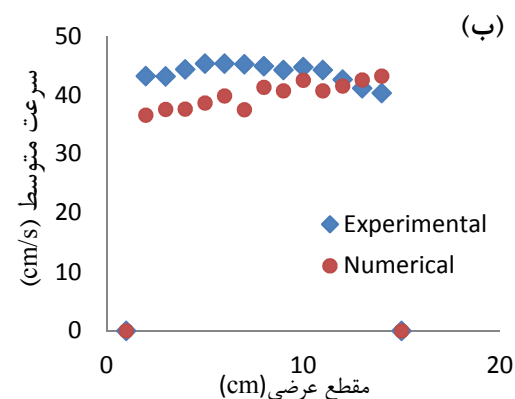
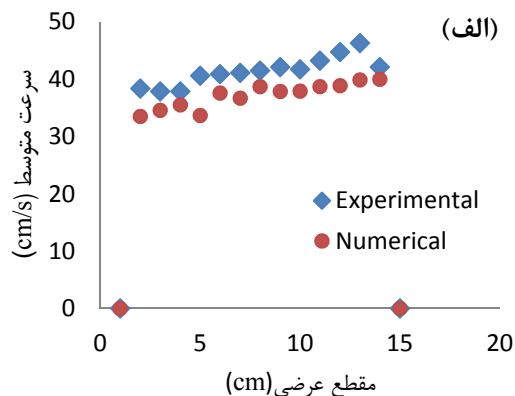
بیشتر در قوس سرعت‌ها در دیواره‌های داخلی و خارجی به یکدیگر نزدیک می‌شوند. نکته مهم وجود سرعت‌های بالا در پایین دست قوس در نزدیکی دیواره قوس است که این امر نشان می‌دهد محافظت از قوس می‌بایست تا پس از قوس ادامه یابد که این مورد از یافته‌های این تحقیق با یافته‌های Arman et al. (2017) مطابقت دارد.



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°

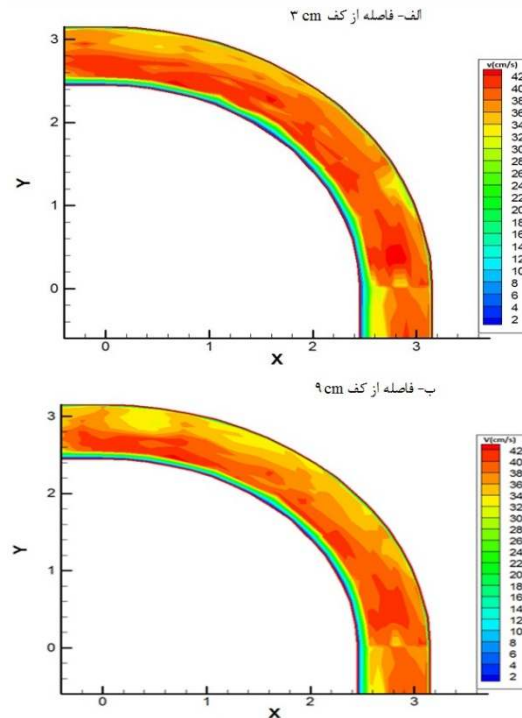
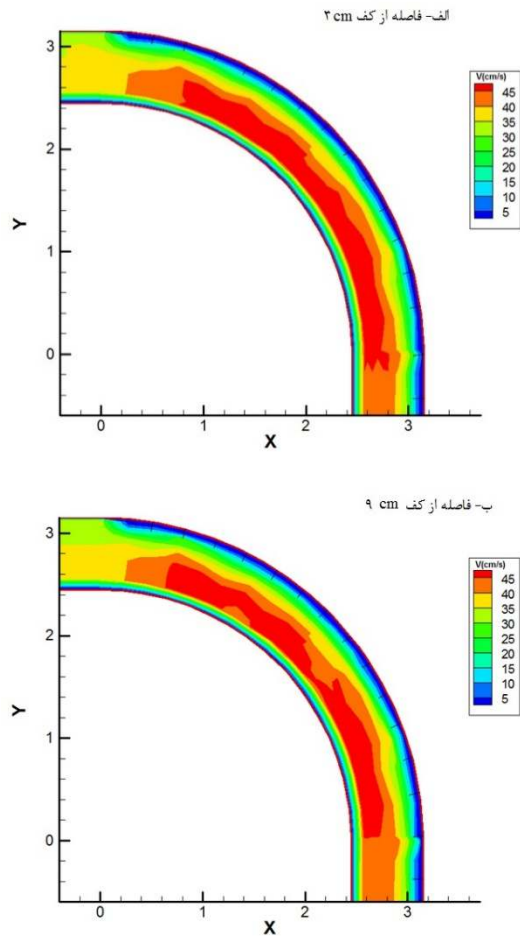
### ۳-۲- الگوی توزیع سرعت متوسط

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

پژوهش Shaker et al. (2014) نیز تغییرات زیاد سرعت در دماغه آبشکن‌ها را نشان می‌دهد.

نزدیک به بستر سرعت دارای توزیع تقریباً یکنواختی در طول کانال است.



شکل ۵- الگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در دبی 25 l/s در دو صفحه با فاصله‌های مختلف از بستر

Fig. 4 Pattern of velocity distribution in bend in discharge 25 l/s in two levels with different distances from bed

شکل ۶- الگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در حالت به- کارگیری آبشکن‌های قائم با طول ۱۵٪ عرض کانال، نسبت فاصله به طول ۳، در دبی 25 l/s برای عمق‌های مختلف

Fig. 6 Pattern of velocity distribution in the case of using spur with %15 of the channel width, distance to length ratio 3, in discharge rate of 25 l/s in two levels with different distances from bed

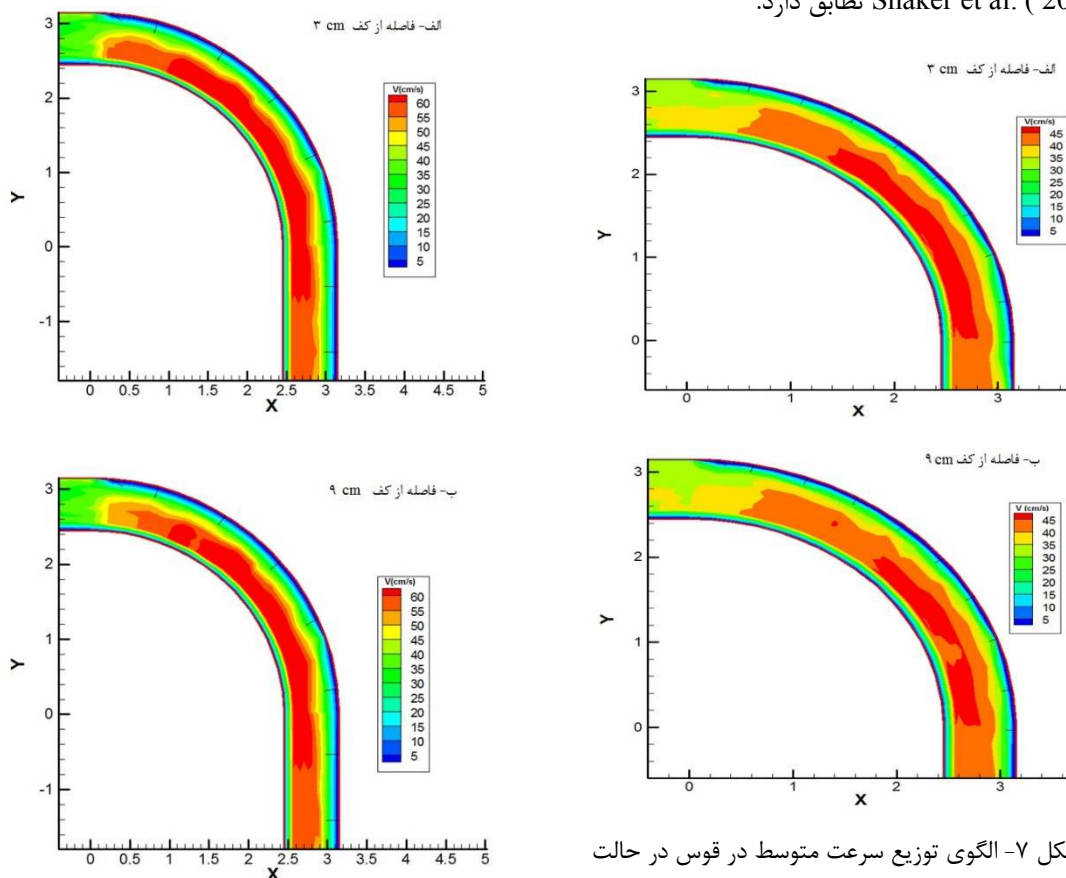
شکل (۷) توزیع سرعت را در دو صفحه در حالت به-کارگیری آبشکن‌هایی به طول ۲۵٪ عرض کانال دبی 25 l/s و فاصله طولی ۳ برابر طول آبشکن نشان می‌دهد. مطابق شکل سرعت در مجاورت قوس خارجی کاهش یافته و حضور آبشکن‌ها موجب انتقال ناحیه پرسرعت از دیواره‌ی خارجی به سمت دیواره داخلی در ابتدای قوس و میانه‌ی کانال در ادامه مسیر می‌شود. بررسی نتایج نشان می‌دهد در این شکل به دلیل حضور آبشکن‌ها در کمی بعد از انتهای قوس سرعت‌های بیشینه در انتهای قوس به سمت میانه کانال منحرف می‌شود. همچنین با افزایش

در شروع قوس در دیواره داخلی سرعت افزایش یافته و ناحیه پرسرعت در مجاورت دیواره داخلی و ناحیه کم‌سرعت در مجاورت دیواره خارجی به وجود می‌آید اما با پیشروی در قوس سرعت‌ها در دیواره‌های داخلی و خارجی به یکدیگر نزدیک می‌شود. در عمق دوم و در ابتدای قوس نواحی پرسرعت در مجاورت دیواره داخلی هستند ولی با نزدیک شدن به انتهای قوس و بعد از زاویه حدود  $40^\circ$  به سمت دیواره‌ی خارجی متمایل می‌شوند، به گونه‌ای که بیشینه‌ی سرعت در قوس، در یک سوم انتهایی و در مجاورت دیواره خارجی آن مشاهده می‌شود. در یک سوم ابتدایی قوس سرعت‌های حداکثر از دیواره خارجی قوس فاصله داشته است. تغییرات سرعت در مجاورت دماغه آبشکن‌ها به سرعت تغییر کرده و به فاصله کمی از دماغه آبشکن‌ها سرعت‌های بالا قرار گرفته‌اند. این امر نشان می‌دهد که محافظت دماغه آبشکن‌ها جهت حفظ پایداری سازه‌ی آبشکن امری اجتناب‌ناپذیر است. نتایج



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

شکل ۸- الگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در حالت به‌کارگیری آبشکن‌های قائم با طول ۲۵٪ عرض کانال، نسبت فاصله به طول ۵، دبی ۲۵ l/s برای عمق‌های مختلف از بستر  
Fig. 8 Pattern of velocity distribution in the case of using spur with 25% of the channel width, distance to length = 5, at discharge rate of 25 l/s in two levels with different distances from bed

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

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 منحرف‌شده و مانع از برخورد این بردارها با جداره بیرونی قوس گردیده‌اند. ناحیه با سرعت‌های حداکثر در یک‌سوم 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 به‌طوری‌که 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

ناحیه‌ای با سرعت بیش‌تر به‌وجود آمده است. این موضوع می‌تواند منجر به ناپایداری سازه آبشکن‌ها گردد. همچنین بررسی نتایج نشان می‌دهد با افزایش طول آبشکن‌ها و کاهش بیشتر سطح مقطع عبور جریان، سرعت‌ها در این حالت هم نسبت به حالت قبل افزایش یافته است.

که این موضوع می‌تواند باعث فرسایش نواحی بین آبشکن‌ها شود.

مقایسه حالت‌های مورد بررسی نشان می‌دهد توزیع سرعت در ابتدا و میانه کانال وضعیت مشابهی با یکدیگر داشته است؛ اما تفاوت در توزیع سرعت بین آبشکن‌هاست، در حالت فاصله کم بین آبشکن‌ها ناحیه‌ی با سرعت کم به‌طور کامل حاکم شده اما با افزایش فاصله بین آبشکن‌ها

جدول ۲- مقادیر سرعت‌های بیشینه و کمینه برای تمام حالت‌ها

Table 2 Pattern of performing laboratory models

ردیف	طول نسبی آبشکن	طول آبشکن (cm)	سرعت بیشینه (cm/s)	سرعت کمینه (cm/s)	محل وقوع سرعت (°)	
					کمینه	بیشینه
1	3	15%	45.98	1.32	81	51
2	3	25%	64.98	1.43	71	40
3	5	15%	45.97	1.55	76	56
4	5	25%	65.98	1.45	81	71

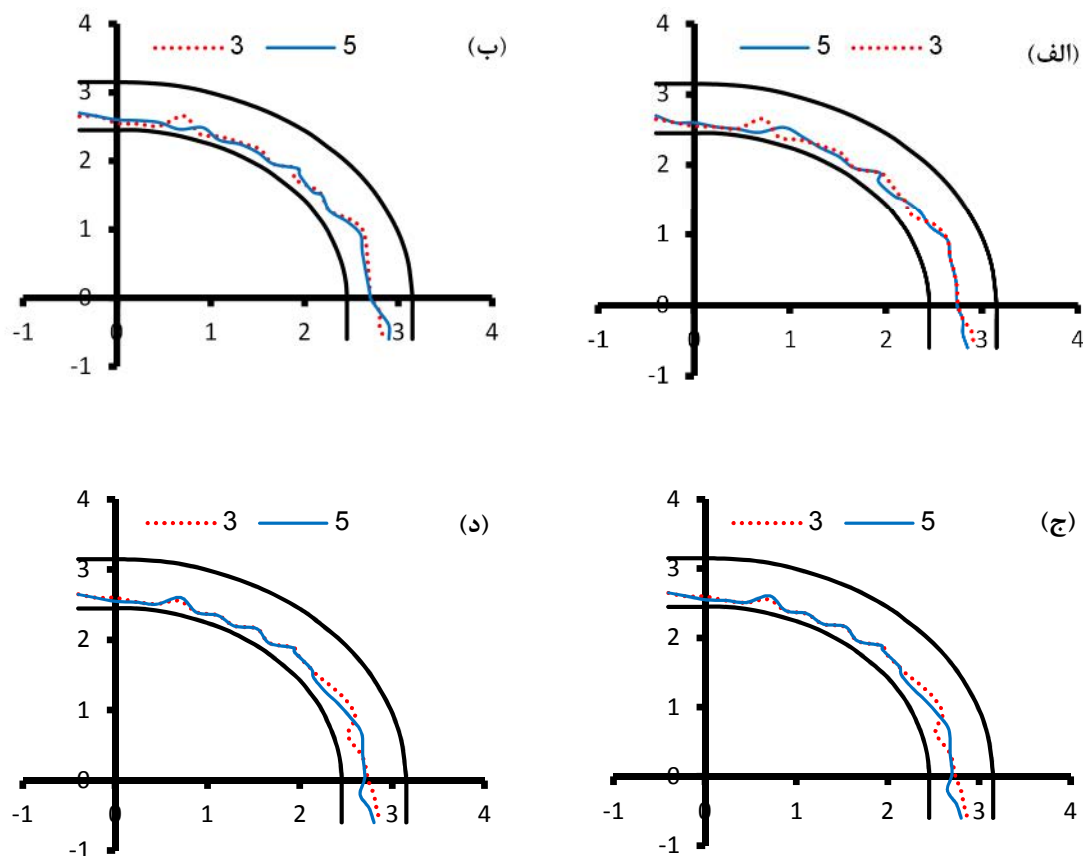
ناحیه به‌تدریج از دیواره داخلی فاصله گرفته و به سمت میانه‌ی کانال و سپس به طرف دیواره خارجی حرکت می‌کند و در انتهای قوس و ابتدای قسمت مستقیم پایین دست موقعیت سرعت بیشینه به دیواره خارجی قوس متمایل می‌شود.

همچنین نتایج حاصل از شکل (۹) نشان می‌دهد برای آبشکن‌های با طول ۱۵٪ عرض کانال، برای کلیه فواصل میان آبشکن‌ها با ورود جریان به قوس موقعیت سرعت بیشینه به نزدیکی دیواره داخلی منتقل می‌شود و تا زاویه ۴۰° در این ناحیه قرار دارد اما بعد از زاویه ۴۰° قوس محل اتفاق سرعت بیشینه شروع به حرکت به طرف میانه کانال کرده و تا انتهای قوس و مسیر مستقیم پایین دست در میانه کانال قرار دارد. با حضور آبشکن‌هایی با طول معادل ۲۵٪ عرض کانال موقعیت سرعت بیشینه را نسبت به الگوی رخ داده برای حالت قبل چندان تغییری ندارد؛ یعنی در مرحله ورود به قوس حداکثر سرعت متمایل به قوس داخلی سپس به میانه و در انتهای کانال به سمت قوس خارجی متمایل می‌گردد. لازم به ذکر است در هر دو عمق مورد مطالعه همین روند تکرار می‌شود و مانند حالت قبلی تغییر در فاصله میان آبشکن‌ها هیچ‌گونه تغییری در مکان وقوع سرعت بیشینه ایجاد نکرده است.

جدول (۲) نشان‌دهنده‌ی سرعت کمینه و بیشینه در قوس است. با توجه به جدول (۲)، با در نظر گرفتن یک زاویه ثابت سرعت بیشینه همیشه در حضور آبشکن ۲۵٪ عرض کانال و سرعت کمینه در حضور آبشکن ۱۵٪ عرض کانال رخ داده است. در بین تمامی آزمایش‌های انجام شده بیش‌ترین سرعت ۶۵/۹۸ cm/s است که در حضور آبشکن‌های ۲۵٪ عرض کانال رخ داده و کم‌ترین مقدار سرعت ۱/۳۲ cm/s است که در اثر حضور آبشکن ۱۵٪ عرض کانال رخ داده است.

### ۳-۳- موقعیت سرعت بیشینه

به‌منظور بررسی تأثیر آبشکن‌ها بر موقعیت سرعت بیشینه ابتدا مولفه‌های سه‌بعدی سرعت استخراج شد. سپس با محاسبه سرعت متوسط موقعیت بیشینه‌ی سرعت متوسط در دو صفحه نزدیک به بستر با فاصله ۳ cm و صفحه نزدیک به سطح آب با فاصله ۹ cm از بستر ترسیم شد. مطابق شکل (۹) بعد از ورود جریان به قوس تا زاویه ۱۰° سرعت در نزدیکی دیواره داخلی است سپس در زاویه حدود ۲۰° تا ۳۰° سرعت بیشینه به سمت آبشکن‌ها متمایل می‌شود و دوباره بعد از این زاویه به دیواره داخلی نزدیک می‌شود و تا حدود زاویه ۴۰° نزدیک دیواره داخلی قوس است و بعد از این



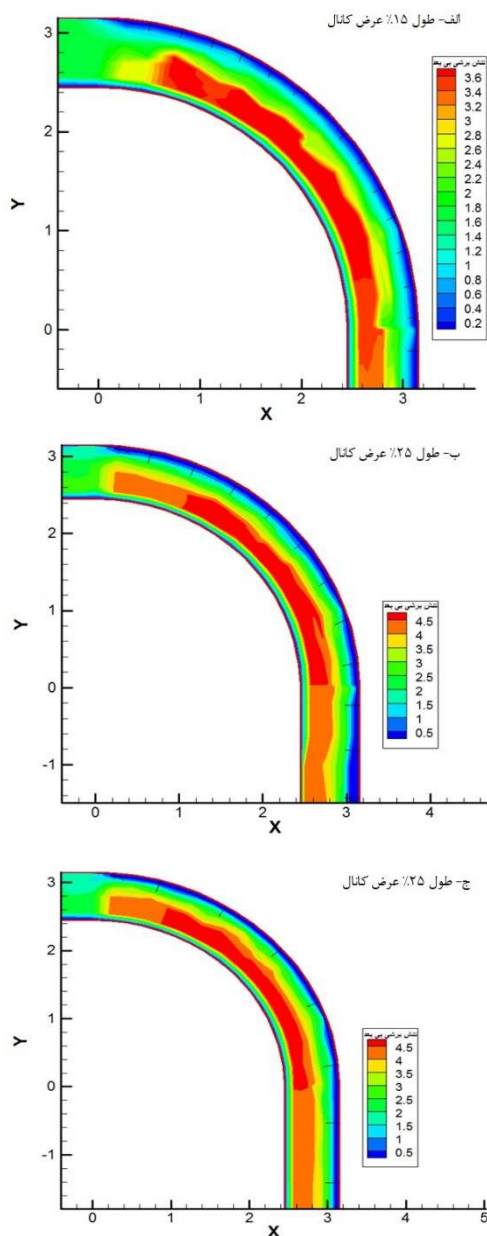
شکل ۹- موقعیت سرعت بیشینه در نسبت طول به فاصله ۳ و ۵ در حالت به کارگیری آبشکن‌هایی به طول ۱۵٪ عرض کانال برای عمق (الف) ۹ cm و (ب) ۳ cm از بستر و ۲۵٪ عرض کانال برای عمق (ج) ۹ cm و (د) ۳ cm از بستر  
Fig. 9 Maximum velocity position at distance to length = 3 and 5 in the case of using spur dike with 15%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

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.

### ۳-۴- بیشینه‌ی تنش برشی

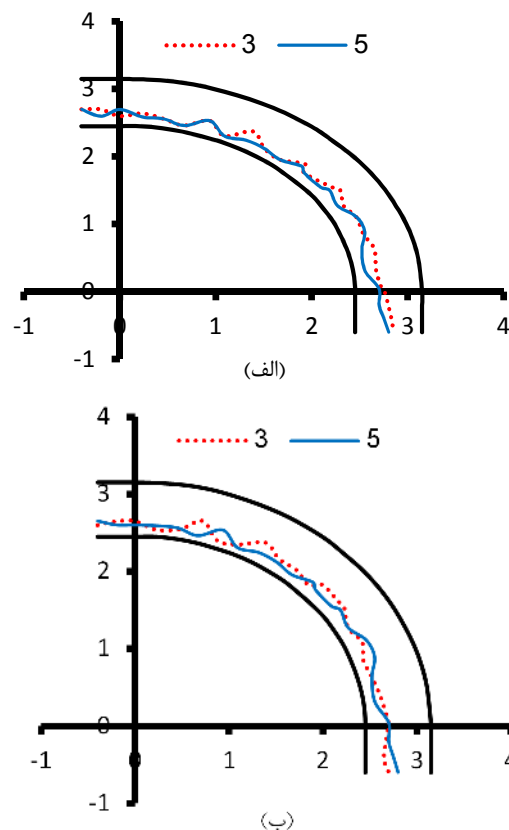
نظر به اینکه بررسی‌های صورت گرفته در مطالعات پیشین نشان می‌دهد جریان ثانویه در قوس موجب وقوع نیروی برشی بزرگی در قوس نسبت به مسیرهای مستقیم می‌گردد لذا در این بخش به بررسی تأثیر آبشکن‌ها بر موقعیت بیشینه تنش برشی پرداخته شده است. شکل (۱۰) موقعیت بیشینه تنش برشی بی‌بعد در مقاطع مختلف قوس را نشان می‌دهد. 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.

این زاویه به دیواره داخلی نزدیک می‌شود و تا حدود زاویه  $40^\circ$  نزدیک دیواره داخلی قوس است بعد از این زاویه به سمت میانه کانال منحرف می‌شود سپس در قسمت یک‌سوم انتهایی قوس به سمت قوس خارجی منحرف می‌شود.



شکل ۱۱- الگوی تنش برشی بستر با به‌کارگیری آبشکن‌هایی در دبی  $25 \text{ l/s}$  در فاصله الف) ۳ برابر، ب) ۳ برابر، و ج) ۵ برابر طول آبشکن

Fig. 11 Shear stress pattern of bed using spur dikes at discharge rate of  $25 \text{ l/s}$  and at distance of a) three times, b) three times, and c) five times the length of the spur dike



شکل ۱۰- تغییرات بیشینه تنش برشی بی‌بعد شده در طول قوس کانال برای طول الف) ۱۵٪ و ب) ۲۵٪ عرض کانال و نسبت طول به فاصله ۳ و ۵

Fig. 10 Dimensionless shear stress changes along the channel bend for (a) 15% and (b) 25% channel width with and distance to length ratio 3 and 5

### ۳-۵- الگوی توزیع تنش برشی در کانال

با توجه به این‌که محدوده‌های دارای بیشترین تنش برشی در قوس رودخانه‌ها آسیب‌پذیرترین مناطق در مقابل فرسایش بستر و نواحی با تنش برشی کم مناسب‌ترین مناطق برای رسوب‌گذاری می‌باشند لذا در این بخش به این بررسی الگوی توزیع تنش برشی متوسط پرداخته شده است. بررسی نتایج به‌دست آمده نشان می‌دهد افزایش در فاصله قرارگیری میان آبشکن‌ها موجب عدم یکنواختی توزیع تنش برشی می‌گردد. روند کلی الگوی تنش برشی تقریباً مشابه الگوی رخ داده بر توزیع سرعت متوسط می‌باشد بدین‌صورت که در ابتدای ورود جریان به قوس تا زاویه  $10^\circ$  در نزدیکی دیواره داخلی است سپس در زاویه حدود  $20^\circ$  تا  $30^\circ$  به سمت آبشکن‌ها متمایل می‌شود و دوباره بعد از

برشی نتایج به دست آمده نشان می دهد وضعیت رخ داده برای الگوی تنش برشی مشابه الگوی سرعت متوسط می باشد.

۳- افزایش طول آبشکن ها خود باعث افزایش میزان تنش برشی حداکثر شده و افزایش در فاصله میان آبشکن ها نیز موجب ایجاد ناحیه با تنش برشی بیش تر نسبت به فواصل کم تر می شود.

۴- تغییر در هندسه آبشکن ها تأثیر چندان قابل توجهی بر موقعیت تنش برشی حداکثر ندارد. بیش ترین میزان تنش برشی در زاویه حدود  $71^\circ$  تا  $81^\circ$  رخ داد.

## References

- Abbasi S., Pourshahbaz H. and Taghvaei, P. (2019). Investigation of bed morphological variation in channels with a group of parallel unequal spur dike in various orientations. *Irrig. water Eng. J.*, 9(35), 38-48.
- Ahli Y., Bakhtiari M. and Moore M. (2018). Numerical investigation velocity and shear stress in a  $90^\circ$  degree mild bend. *Hydrophys. J.*, 4(2), 59-73.
- Arman A., Fatahi P. and Zahiri J. (2017). Simulation of flow and sediment pattern with spur dikes series in a  $90^\circ$  degree mild bend using CCHE2D model. *J. Water Soil Conserv.*, 24(3), 21-39 [In Persian].
- Bakhtiari M., Kashefipour S., Ghomeshi M. and Zahiri J. (2012). Effect of geometric parameters of spur dike and depth-placed riprap on its failure threshold in a  $90^\circ$  flume bend. *Ecol. Environ. Conserv.*, 4, 479-484.
- CD Adapco, (2017). STAR CCM+ User's Guide Version 12.04.010.
- Duan J. G., He L., Fu X. and Wang Q. (2009). Mean flow and turbulence around experimental spur dike. *Adv. Water Resour.*, 32(12), 1717-1725.
- Ghodsian M. and Vaghefi M. (2009). Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T-shape spur dike in a  $90^\circ$  bend. *Int. J. Sediment Res.*, 24(2), 145-158.

همچنین افزایش طول آبشکن ها به علت افزایش سرعت ناشی از تنگ شدن مقطع سبب افزایش تنش برشی شده به طوری که افزایش طول آبشکن از  $15\%$  به  $25\%$  عرض کانال حدوداً سبب افزایش  $22\%$  تنش برشی بیشینه می شود. تغییرات طول و فاصله میان آبشکن ها تأثیری بر محل وقوع تنش برشی بیشینه نداشته و در تمامی موارد در زاویه  $71^\circ$  تا  $81^\circ$  رخ داده است گرچه با افزایش فاصله میان آبشکن ها در هر دو حالت طولی تنش برشی در فضای بین آبشکن ها افزایش یافته است. مهم ترین اثر قراردادن آبشکن ها در قوس، انتقال ناحیه پرتنش که سبب تخریب دیواره ها می شود از دیواره خارجی قوس به میانه کانال و دیواره داخلی است که علت این مسئله برخورد جریان با آبشکن ها و انحراف آن به سمت دیواره داخلی و ایجاد آشفتگی در محل دیواره داخلی است که سبب افزایش تنش برشی می شود اما نواحی با تنش برشی کم در بین آبشکن ها وجود دارد که این موقعیت ها محل های مستعد برای رسوب گذاری است.

## ۴- نتیجه گیری

همان گونه که پیش از این بیان شد هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر آبشکن ها بر الگوی جریان در شرایط قوس ملایم  $90^\circ$  با استفاده از مدل عددی Star CCM+ می باشد. بدین منظور اقدام به تعریف الگوی مدل سازی و سپس مدل سازی جهت اجرای مدل گردید. اهم نتایج به دست آمده به صورت زیر است:

۱- در شرایط مختلف قرارگیری آبشکن ها، در ابتدای قوس حداکثر سرعت در سمت قوس داخلی رخ می دهد سپس به سمت میانه کانال منحرف می شود. در ادامه و در یک سوم انتهایی قوس حداکثر سرعت به سمت قوس خارجی منحرف می گردد.

۲- افزایش طول آبشکن ها موجب افزایش حداکثر سرعت ها در کانال می شود. در خصوص وضعیت تنش

- Giglou A. N., Mccorquodale J. A. and Solari L. (2018). Numerical study on the effect of the spur dikes on sedimentation pattern. *Ain Shams Eng. J.*, 9(4), 2057-2066.
- Giri S., Shimizu Y. and Surajate B. (2004). Laboratory measurement and numerical simulation of flow and turbulence in a meandering-like flume with spurs. *Flow Measure. Instrum.*, 15(5-6), 301-309.
- Huang S. I., Jia Y. F., Hsun-Chuan C. and Sam S. (2009). Three-dimensional numerical modeling of secondary flows in a wide curved channel. *J. Hydrodyn., Ser. B*, 21(6), 758-766.
- Ramamurthy A., Han S. and Biron P. (2013). Three-dimensional simulation parameters for 90 open channel bend flows. *J. Comput. Civil Eng.*, 27(3), 282-291.
- Roache P. J. (1997). Quantification of uncertainty in computational fluid dynamics. *Annual Rev. Fluid Mechanic.*, 29(1), 123-160.
- Shaker E., Kashefipour S. and Shafai Bajestan M. (2014). Experimental investigation on the influence of some unsteady flow parameters on bed scour under the pipeline crossing across the current. *J. Water Soil Sci.*, 23(4), 83-98.
- Vaghefi M., Shakerdargah M., Fiouz A. and Akbari M. (2014). Numerical Investigation of the effect of Froude number on flow pattern around a single T-shaped spur dike in a bend channel. *Int. J. Eng. Res.*, 3(5), 351-355.
- Yazdi J., Sarkardeh H., Azamathulla H. M. and Ghani A. A. (2010). 3D simulation of flow around a single spur dike with free-surface flow. *Intl. J. River Basin Manage.*, 8(1), 55-62.
- Zhang M. I. and Shen Y. M. (2008). Three-dimensional simulation of meandering river based on 3-D RNG k- $\epsilon$  turbulence model. *J. Hydrodyn.*, 20(4), 448-455.

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

Morteza Alborzimoghadam<sup>1\*</sup>, Morteza Bakhtiari<sup>2</sup> and Ahmad Hajivand<sup>3</sup>

<sup>1</sup>M. Sc. Alumni, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

<sup>2</sup>Assist. Professor, Department of Naval Architecture and Marine Engineering, Faculty of Marine Engineering, Khorramshahr University of Marine Science and Technology, Khorramshahr, Iran

\*Corresponding author: [morteza\\_alborzi@yahoo.com](mailto:morteza_alborzi@yahoo.com)

### Original Paper

Received: February 05, 2020

Revised: March 18, 2020

Accepted: April 05, 2020

### Abstract

In order to protect the bank and prevent their erosion spur dike is used. Importance of these structures in the bend is more, because of secondary flows and consequently bank erosion. In this paper the flow pattern around series of vertical spure dikes in the 90° bend is investigated by a 3D RANS solver. In order to simulate the complex behavior of free surface and turbulent flow the volume of fluid method and realizable k-ε closure have been used, respectively. Two lengths spure dike (equal to 15 and 25 percent of width), two spacing (3 and 5 three times the length) and two depths (3 and 5cm) in constant discharge 25 lit/s in the mild bend flume with width 0.7m and depth 0.12 m has been examined. Comparison among the results with experimental data shows good agreement among them. Also, the results illustrate spure dike deviations maximum velocity to the inner bank in entrance of bend and then deviations to the middle flume. Increasing the length of the spure dikes increases the velocity but it has no effect on the location of the maximum velocity as in all arrangement occurrence in 71 to 81 degree of bend. In the case of shear stress, the maximum value is in the range of 71 to 81°.

**Keywords:** 3D RANS; 90° Mild Bend; Shear Stress Distribution; Spur Dike; Velocity Distribution.