Archive of SID

90-Degree Mild Bend with Computational Fluid **Dynamics** 

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

**Environment and** Water Engineering ISSN: 2476-3683

محيط زيست و مهندسي آب شانک : ۲٤٧٦-۳٦٨٣

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

مرتضى البرزىمقدم، مرتضى بختياري و احمد حاجيوند

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

Vol. 6(1), Spring 2020, 31 – 44

DOI: 10.22034/jewe.2020.211691.1340



www.jewe.ir

OPEN CACCESS

ارجاع به این مقاله:

البرزىمقدم م.، بختيارى م. و حاجيوند ا. (١٣٩٩). الگوى جريان پيرامون آبشكنهاى قائم در قوس ٩٠ درجه ملايم با استفاده از ديناميك سيالات 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

مرتضى البرزىمقدم"\*، مرتضى بختيارى ًو احمد حاجيوند ً

<sup>۱</sup>دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی دریا و ماشین آلات، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران <sup>۲</sup>استادیار، گروه مهندسی دریا و ماشین آلات، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران \*نویسنده مسئول: <u>morteza\_alborzi@yahoo.com</u>

### مقاله اصلى

تاریخ دریافت: [۱۳۹۸/۰۹/۲۲]

تاریخ بازنگری: [۱۳۹۸/۰۱/۱۲]

تاريخ پذيرش: [١٣٩٩/٠١/١٩]

### چکیدہ

بهمنظور محافظت سواحل و جلوگیری از فرسایش آنها از سازه آبشکن استفاده میشود. اهمیت این سازهها در قوس خارجی رودخانهها ضرورت بیش تری دارد، چراکه در این محدوده از رودخانه، جریانهای ثانویه ایجادشده و به تبع آن ساحل فرسایش پیدا می کند. در این مقاله، الگوی جریان پیرامون مجموعهای از آبشکنهای قائم در قوس <sup>۹</sup>۰<sup>9</sup> ملایم با استفاده از یک حل گر سه بعدی RANS بررسی شده است. به منظور شبیه سازی رفتار پیچیده سطح آب و جریان آشفته به ترتیب از روش حجم سیال و مدل آشفتگی Realizable k-٤ بررسی شده است. از دو طول آب شکن معادل ۱۵ و ۲۵٪ عرض کانال آزمایشگاهی، دو فاصله قرار گیری معادل ۳ و ۵ برابر طول آب شکن، در دو عمق ۳ و ۳ n ۹ از بستر و در دبی ا ۲۵ در یک فلوم با قوس ملایم با عرض ۳ /۱۰ و عمق آب ۲۲ موردبررسی قرار گرفت. مقایسه نتایج با داده های آزمایشگاهی نشان دهنده تطابق قابل قبول بین آنها است. همچنین نتایج نشان می دهد که حضور آب شکنها در قوس موجب تمایل حداکثر سرعت متوسط به سمت قوس داخلی در بخش ورودی قوس میشود. سپس به سمت میانه کانال منحرف می شود. افزایش طول آب شکنها باعث افزایش سرعت می شود ولی تأثیری در وقوع سرعت حداکثر ندارد طوری که در تمامی آرایش قرار گیری آب شکنها در زاویه ۲۱–۱۸ رخداده است. در مورد تنش برشی نیز داخلی در بخش ورودی قوس می شود. سپس به سمت میانه کانال منحرف می شود. افزایش طول آب شکنها باعث افزایش سرعت می شود ولی داخلی در مقوار آن در زاویه ۱۸<sup>۹</sup>–۱۷</sup> ست.

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

محیطزیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

### ۱– مقدمه

آبشکنها سازههای متقاطع یا عرضی هستند که از دیواره طبيعي رودخانه با طول مناسب و با زاويه مناسبي نسبت به راستای عمومی جریان قرار می گیرند. 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 جريان حلزوني تشكيل مي شود. اين الكو باعث أشفتكي شدید در جریان می گردد. پیچیدگی الگوی جریان در قوس، همراه با پیچیدگی جریان پیرامون آبشکن، شرایط الگوی جریان پیرامون آبشکن را در قوس دوچندان می-کند 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 تعیین کننده آبشکن بر الگوی جریان و از طرفی زمانبر بودن شبیهسازی مدلهای آزمایشگاهی، لزوم شبیه سازی عددی الگوی جریان در اطراف آب شکن ها در مسیر قوسی شکل آشکار می شود ( Vaghefi et al. 2014). در این راستا، پژوهش گران زیادی در چند دهه گذشته به بررسی عواملی پرشمار بر این سازه پرداختهاند.

(2004) Giri et al. (2004) با بررسی آزمایشگاهی و عددی جریان و آشفتگی در نهر پایهداری شبیه به پیچانرودها باوجود آبشکنهای غیرمستغرق پرداختند. ایشان سرعت جریان را با تغییرات موقعیت آبشکنها تعیین کرده و میدان گردابه و شدت آشفتگی را بهصورت دوبعدی اندازه گرفتند. (2006) Zhang and Shen 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

تعییر در الکوی توزیع سرعت و ارتفاع سطح آب در قوس است. (2006) Huang et al. (2006) با استفاده از مدل سازی سهبعدی و مدل های آشفتگی متفاوت، جریان ثانویه و توزیع عمقی سرعت متوسط و ارتفاع سطح آب در یک کانال قوسی را بررسی کردند. Ghodsian and Vaghefi کانال قوسی را بررسی کردند. (2009) با تغییر دادن طول و طول بال آبشکن و عدد فرود جریان به بررسی میدان جریان و آب شستگی اطراف آبشکن های T شکل در یک قوس <sup>۹</sup>۰<sup>۹</sup> ملایم پرداختند

<sup>1</sup> Helical flow

۳۲

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 می گردد. ADV جریان و افزایش اندازه گردابههای ایجادشده می گردد. دادههای سهبعدی سرعت را در یک کانال مستقیم با حضور دادههای سهبعدی سرعت را در یک کانال مستقیم با حضور یک آبشکن مستطیلی بهدست آورده و در دو میدان مریان کف صاف و کف با چاله آب شستگی تفاوت در سرعت متوسط و شدت آشفتگی و تنشهای رینولدزی را فزایش مؤلفهی طولی و عرضی و کاهش مؤلفه عمودی افزایش مؤلفهی طولی و عرضی و کاهش مؤلفه عمودی برشی بستر در اطراف آبشکن ۶ تا ۸ مرتبه بزرگتر از تنش برشی بالادست گزارششده است.

و نتیجه گرفتند که با قرار دادن آبشکن در موقعیتهای

Yazdi et al. (2010) الگوی جریان پیرامون آبشکن تک در مسیر مستقیم با مدل آشفتگی k-ε و نرمافزار فلوئنت را شبیه سازی کردند. ایشان اثر دبی، طول و زاویه آبشیکن را بر توزیع تنش برشیی مطالعه کردند. Ramamurthy et al. (2013) با استفاده از مدل سازی دوبعدی و مدلهای آشفتگی متفاوت یک قوس <sup>۹</sup>۰۴ تند را برر سی کردند. آنها تغییرات سطح آب را با استفاده از روش درپوش صــلب، متخلخل و روش حجم سـيال شبیهسازی کردند. ایشان بیان کردند که نتایج مدل عددی RSM مدل آشفتگی و روش حجم سیال تطابق بهتری با نتایج آزمایشگاهی دارند. (2010) Yazdi et al. 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 هند سی و برای شبیه سازی آ شفتگی Giglou et al. جریان از روش  $K_{0}$  استفاده شده است. (2018) به بررسی زاویه، طولها و فاصلههای متفاوت سری آب شکنهای موازی با طول مساوی بر روی الگوی جریان، فر سایش و ر سوب گذاری با استفاده از مدل سازی ahli et al. پرداختند. FLOW-3D عددی بهوسیله

(2018) در تحقیقی با استفاده از نرمافزار Ansys توزیع سرعت متوسط و تنش بر شی حول سری آب شکنها در یک قوس ۹۰ در جه ملایم را مورد بررسی قرارداد ند. Abbasi et al. 2019 به بررسی تغییرات مورفولوژی بستر در کانالهای دارای سری آبشکنهای موازی با طولهای نامساوی و جهت گیریهای مختلف پرداختند. آنها بهمنظور شبیه سازی عددی تحقیق خود از نرمافزار FLOW-3D

هدف از این تحقیق بررسی الگوی پارامترهای هیدرولیکی جریان ازجمله توزیع سرعت متوسط و تنش برشی در قوس<sup>°۹۰</sup> ملایم در شرایط هندسه و شرایط هیدرولیکی متفاوت میباشد.

## ۲– مواد و روشها ۲–۱–الگوی مدلسازی

به منظ و مدل سازی تحقیق حاضر از سناریوهای مختلف به صورت دو طول آب شکن ۱۵ و ۲۵٪ عرض کانال، زاویه قرارگیری <sup>۹</sup>۰<sup>°</sup> (عمود) دو فاصله طولی میان آب شکن ها و در دو عمق ۳ و cm ۹ و برای دبی ثابت به مقدار ۲۵ ا/۶ صورت گرفت. به منظور صحت سنجی و کالیبراسیون مدل تهیه شده از داده های برداشت شده سه بعدی سرعت که بر روی داده های برداشت شده سه بعدی سرعت که بر روی همدل فیزیکی در آزمایشگاه سازه های آبی Bakhtiari et گردیده است، استفاده شد. در جدول (۱) الگوی آزمایش های انجام شده در قالب

تحقیق آزمایشگاهی یاد شده ارائه شده است. فلوم آزمایشگاهی مورداستفاده جهت مدل سازی عددی با قوس ۹۰° در جه با نسببت شبعاع انحنای مرکزی به عرض فلوم m ۴ و مقطع عرضی مستطیلی استفاده شد. جداره کانال از جنس پلکسی گلاس و جنس کف گالوانیزه میباشید. عرض فلوم m ۲/۰، شبعاع خارجی قوس m میباشید. عرض فلوم m ۲/۰، شبعاع خارجی قوس m پاییندسبت بهترتیب ۵ و m ۳ میباشید. با توجه به نسبت R/B (R شبعاع قوس و B عرض فلوم است) که برابر ۴ است قوس جزء قوسهای ملایم محسوب می شود. در شکل (۱) نمایی از کانال آزمایشگاهی مورداستفاده در تحقیق حاضر نشان دادهشده است.

جدول ۱- الگوی انجام مدلهای آزمایشگاهی	
Table 1 Dettern of performing laboratory mode	-1

Table 1 Pattern of performing laboratory models								
عمق جريان	دبى	فاصله	طول	زاويه	حالت			
(cm)	(l/s)	طولى	(cm)	(درجه)				
12	30	3	10.5	90	1			
12	30	3	14	90	2			
12	30	3	17.5	90	3			
12	30	7	10.5	90	4			
12	30	3	17.5	60	5			
12	30	3	10.5	120	6			



شکل ۱- فلوم مورداستفاده جهت مدلسازیها Fig. 1 Flume used for modeling

### Star CCM+ نرمافزار +۲-۲

این نرمافزار بر مبنای فناوری برنامهنویسی شیءگرا است که توانایی اجرای مدلهای متنوع با سرعت بالا و نتایج همزمان نتايج را ايجاد ميكند. ابتدا بهوسيله مدلساز هندسی، هندسه دوبعدی مسئله باقابلیت ویرایش و بهصورت پارامتری تولید می شود. سپس با ابزار آمادهسازی سطح هندسه، کیفیت هندسه تولید شده و یا وارد شده را به بالاترین سطح ممکن برای تولید شبکه افزایش میدهد. در ادامه با فناوری شبکهبندی خودکار با سرعت بسیار بالا و قابلیت پردازش موازی محدوده محاسباتی را شبکهبندی میکند. پس از تولید شبکه محاسباتی مدل فیزیکی مسئله تعیین می شود. +Star CCM با ارائه حل گرهای گوناگون امکان حل گستردهی وسیعی از پدیدههای فیزیکی مانند مسائل دوبعدی و سهبعدی، جریانهای پایا و نا پا یا، آرام و مغشـوش، تراکم پذیر و تراکم نا پذیر، چندفازی و تک فازی فراهم کرده است. روش حل عددی در این نرمافزار بهطور معمول روش حجم محدود است .(Cd Adapco 2017)

استفاده شد. روش کار بدینصورت 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 <sup>6</sup>8<sup>4</sup> قوس بدون حضور آب شکن و در حضور آب شکن ها انتخاب و دقت متوسط مقادیر سرعت متوسط در ۱۵ نقطه از این مقطع بررسی شد که درنهایت مش بهینه ازلحاظ زمان و دقت مدل تعداد المان ۲۳۶۵۲۳ شد. در رابطه (۱) X اندازه یایه مش است.

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



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

### ۲-۳-۴- شرایط مرزی

با توجه به اینکه جریان در مدل موردنظر در هر حالت برای دبی ۲۵ ا/۲۵ زیربحرانی است، لذا توجه به نکات یادشده در بالا، محاسبه عمق جریان در ورودی به نرمافزار واگذارشده و از شرط مرزی مقدار مشخص برای سرعت در این مقطع استفادهشده است. این شرط مرزی برای جریانهای تراکم ناپذیر مورداستفاده قرار می گیرد.

پس از انتخاب شرط مرزی سرعت در ورودی و با توجه به زیربحرانی 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 میرود در مسئله موردنظر، جدارهها شامل کف و دو دیوارهی کانال است. برای صحتسنجی براساس مدل آزمایشگاهی موجود، مسطح در نظر گرفته میشود. جریان با سطح آزاد به یک حالت جریان چند فازی اطلاق ۲-۳- شبیهسازی

۲-۳-۱-ایجاد هندسه و شبکهبندی میدان حل

در این قسمت بهوسیله ابزارهای موجود، هندسه کانال طراحی شد. بدین منظور ابتدا هندسه دوبعدی مسئله در نرمافزار AUTO CAD طراحی و سپس بعد از استخراج مختصات در قسمت Geometry با ابزار موجود بهصورت سهبعدی ایجاد شد. پس هندسه ایجادشده در قسمت سهبعدی ایجاد شد. و کیفیت مشبندی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه گزارش مطالعه مشبندی آورده شده است.

### ۲-۳-۲-شبکهبندی

مشبندی محدودهی جریان دقت حل مسئله به تعداد سلولهای موجود در شبکه بستگی دارد. اصولاً شبکههای غیریکنواخت، با تعداد سلولهای مختلف در قسمتهای مختلف بدنه بسته به موقعیت آن، در حل یک مسئله قابلیت بیش تری دارند. البته باید در نظر داشت که ایجاد چنین شبکهای به عوامل مختلفی از جمله نوع مدل اغتشاشی، شکل ظاهری مدل مانند مقطع عرضی، و نوع مسئلهی موردبررسی 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 قسمتهای موردنیاز است تا جایی که نتایج حاصل مستقل از ابعاد سلولهای موجود در شبکه شوند و نتایج کلیدی تغییر نکنند. این امر به کمک سعی و خطا و تکرار حل در دفعات مکرر با شبکهبندیهای متفاوت حاصل می شود. در این مطالعه برای شبکهبندی محدوده-ی جریان نیز از قسمت Mesh در نرمافزار +Star CCM بهره گرفته شد.

برای مشبندی در قسمتهای مستقیم کانال که از اهمیت کمتری نسبت به قوس کانال از شبکهبندی درشتتر و برای داخل قوس از مش ریزتر و برای اطراف آبشکنها بهعلت گرادیان بالا بازهم از مش ریزتری استفاده شد. تعداد گرهها و المانهای موجود در کل حجم ۷۳۶۵۲۳ میباشد.

### ۲-۳-۳-کنترل کیفیت مشبندی مدل

بهمنظور مطالعه مش بندی در تحقیق حاضر و انتخاب مش بهمنظور مطالعه مش بندی که هم ازلحاظ زمان محاسبات و هم ازلحاظ دقت مناسب ترین باشد) از روش (1997) Roache

٣۴

برای محاسبه سرعت متوسط با استفاده از دادههای سهبعدی سرعت از رابطه (۲) استفاده شد که در آن *u*، *v* و *w* بهترتیب مو<sup>ء</sup>لفه های طولی، عرضی و عمقی سرعت است.

$$\overline{V_r} = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \tag{(1)}$$

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

$$\tau_{bx} = \frac{\rho g}{c^2} \overline{U} \sqrt{\overline{U}^2 + \overline{V}^2} \tag{(7)}$$

$$\tau_{by} = \frac{\rho g}{c^2} \overline{V} \sqrt{\overline{U}^2 + \overline{V}^2} \tag{(f)}$$

$$\tau_b = \sqrt{\tau_{bx}^2 + \tau_{by}^2} \tag{(a)}$$

که در آن  $\overline{U}$  و  $\overline{V}$  بهترتیب متوسط سرعت در جهتهای x و  $\overline{U}$  (m/s) و  $\tau_{bx}$  (m/s) بهترتیب تنش برشی بستر در جهات x و y (N/m<sup>2</sup>) و  $\rho$  و g بهترتیب دانسیته سیال و ضریب گرانش و c ضریب شزی است Shaker (Shaker 2014).

# ۳- یافته ها و بحث ۳-۱-صحت سنجی مدل عددی

بهمنظور انجام صحتسنجی مدل عددی تهیهشده مطابق جدول (۱)، اقدام به تهیه شش مدل عددی گردید سپس نتایج بهدست آمده با نتایج تحقیق آزمایشگاهی مقایسه گردید. شکلهای (۳) و (۴) مقایسه میان مدل عددی و مدل آزمایشگاهی تهیهشده 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 -میان این دادهها در طیف زیادی از دادهها -کمتر از ۵٪ بوده است ولی حد مجاز تا کمتر از ۵٪ بوده است ولی مد مجاز تا ملاف حدود ۱۰٪ بر اساس سطح معنیدار اختلافها در نظر گرفتهشده است. Ahli et اخراد و یژوهش خود که با نرمافزار Ansys یافتند. می شود که فازها به کمک یک سطح مشترک مشخص از هم جدا می شوند. مثال هایی از جریان-های با سطح آزاد شامل جریان کانال های روباز، مسائل خاکریزی مخازن و بسیاری از موارد دیگر است. شرط مرزی سطح آزاد بیان کننده پیوستگی سطح آزاد و تعادل نیروها در این مرز است. در این نرمافزار برای سطح آزاد جریان از روش حجم سیال (VOF) استفاده می شود. در این روش برای هر المان با توجه به نوع سیال موجود در آن کسر حجمی اختصاص داده می شود که ۱ برای سیال حاوی آب، صفر برای سیال حاوی هوا و بین صفر و ۱ المان های سطح آزاد را شامل می شود.

به منظور انجام درجه بندی و صحت سنجی مدل از تحقیق آزمایشگاهی (2013) Bakhtiari et al. (2013) عمق استفاده شد. در این مطالعه در تمام آزمایش ها عمق جریان برابر Cm ۲۱ بوده و تراز سطح آب و همچنین میزان دبی ورودی به صورت پیوسته در تمام طول آزمایش کنترل گردیده است. سرعتها در اطراف آب شکن ها و مقاطع عرضی معین توسط JEF دستگاه سرعت سنج سه بعدی الکترومغناطیس JEF ملاح ال است شد. زمان نمونه برداری بسته به موقعیت نقاط متفاوت بوده و نمونه برداری با

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 ۲۵ از دیوارهها در ابتدا و انتها فاصلههای ۲۵ از دیوارهها در ابتدا و انتها فاصلههای ۲۵ از دیوارهها در ابتان مقاط فاصله ما نقط به ۱۵ نقط ما عرضی با فاصله ما نقط ما در ابتاه او انتها فاصله ما در دو عمان ۲۵ ما در ابتان مقاط در دو عمان ۲۵ از کان از کان از ما داره که شروع قام و بقیه نقاط به ترتیات به فاصله ۵ تا زاویه ۱۹۰ ادامه می یابد. بیشتر در قوس سرعتها در دیوارههای داخلی و خارجی به یک دیگر نزدیک میشوند. نکته مهم وجود سرعتهای بالا در پاییندست قوس در نزدیکی دیواره قوس است که این امر نشان میدهد محافظت از قوس میبایست تا نشان میدهد محافظت از قوس میبایست تا میان این تحقیق با یافتههای . Arman et al (2017) مطابقت دارد.



شکل ۴- مقایسه مقادیر سرعت در حالت مدل عددی و تحقیق آزمایشگاهی در شرایط حضورآبشکن با طول ۲۴ و نسبت فاصله به طول ۳: الف- دو مقطع قبل از شروع قوس و ب- زاویه ۴۶<sup>°</sup>

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)  $46^{\circ}$ 

شکل (۶) الگوی توزیع سرعت متوسط را در پلان برای قوس در شرایط آبشکنهایی به طول ۱۵٪ عرض کانال دبی ۱/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 ۹۱۵

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

### ۲-۳- الگوی توزیع سرعت متوسط

بعد از استخراج مؤلف های سه بعدی سرعت و محاسبه سرعتهای متوسط نقطهای، الگوی توزیع سرعت برای لایه های عمقی مختلف ترسیم شد. نتایج در دو صفحه نزدیک به کف با فاصله ۳ از کف و صفحه نزدیک به سطح آب با فاصله ۹ ۳ از کف در شرایط دبی ثابت و هندسه های مختلف آبشکن (از نظر طول و فاصله قرار گیری

همان گونه که در شکل (۵) مشخص است، در شروع قروس در دیواره داخلی سرعت افزایش یافته و ناحیه پرسرعت در نزدیک دیواره داخلی و ناحیه کرمسرعت در نزدیک دیواره خارجی به وجود میآید اما با پیشروی

محیطزیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

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



شکل ۵- الگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در دبی l/s ۲۵ 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

در شروع قوس در دیواره داخلی سرعت افزایشیافته و ناحیه پرسرعت در مجاورت دیواره داخلی و ناحیه کمسرعت در مجاورت دیواره خارجی بهوجود میآید اما با پیشروی در قوس سرعتها در دیوارههای داخلی و خارجی به یکدیگر نزدیک می شود. 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 <sup>°</sup>۴۰ به سمت دیوارهی خارجی متمایل میشوند، به گونهای که بیشینهی سرعت در قوس، در یکسوم انتهایی و در مجاورت دیواره خارجی آن مشاهده می شود. در یک سوم ابتدائی قوس سرعتهای حداکثر از دیواره خارجی قوس فاصله داشته است. تغییرات سرعت در مجاورت دماغه آبشکنها بهسرعت تغییر کرده و به فاصله کمی از دماغه آبشکنها سرعتهای بالا قرارگرفتهاند. این امر نشان مىدهد كه محافظت دماغه آبشكنها جهت حفظ یایداری سازهی آبشکن امری اجتنابناپذیر است. نتایج

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



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 l/s ۲۵ 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 251/s in two

levels with different sdistancs from bed

شکل (۷) توزیع سرعت را در دو صفحه در حالت به کار گیری آب شکن هایی به طول ۲۵٪ عرض کانال دبی ۲۵ l/s و فاصله طولی ۳ برابر طول آبشکن نشان میدهد. مطابق شكل سرعت در مجاورت قوس خارجي كاهشيافته و حضور آبشكنها موجب انتقال ناحيه پرسرعت از دیوارهی خارجی به سمت دیواره داخلی در ابتدای قوس و میانهی کانال در ادامه مسیر می شود. 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 می شود. همچنین با افزایش

فاصله میان آب شکن ها سرعت های بالا در فضای میان آب شکن ها نفوذ کرده که این نتیجه با نتایج تحقیق Shaker et al. (2014) تطابق دارد.



شکل ۷- الگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در حالت به کارگیری آبشکنهای قائم در شرایط ٪۲۵ عرض کانال، نسبت فاصله به طول = ۳، دبی l/s ۲۵ در دو صفحه با فاصله-های 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

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 ۱۲ تا °۱۸ رخداده 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. (2017) ۲۰ عرض نشان دادند که با افزایش طول آبشکن از ۱۵ و ۲۰٪ عرض

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



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 ا/۲۵ 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

توزیع سرعت در دو صفحه نزدیک بستر و نزدیک به سطح آب برای حالت قرار گیری آبشکن با طول ۲۵٪ عرض کانال برای فاصله نسبی ۵ در شکل (۸) موردبررسی 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 یک سوم انتهایی قوس و در مجاورت ساحل داخلی اتفاق افتاده است. تفاوت این حالت با حالت-های قبل در این است که به دلیل فاصله زیاد بین آبشکنها سرعتهای زیاد به میان آبشکنها واردشده

محیطزیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹

www.SID.ir

که این موضوع میتواند باعث فرسایش نواحی بین آبشکنها شود.

مقایسه حالتهای موردبررسی 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 به-طور کامل حاکم شده اما با افزایش فاصله بین آبشکنها

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 افزایشیافته است.

Table 2 Pattern of performing laboratory models									
محل وقوع سرعت ( <sup>°</sup> )		سرعت كمينه	سرعت بيشينه	طول آبشکن (cm)	طول نسبی	رت. ر			
بيشينه	كمينه	(cm/s)	(cm/s)		آبشكن	٠ġ.			
51	81	1.32	45.98	15%	3	1			
40	71	1.43	64.98	25%	3	2			
56	76	1.55	45.97	15%	5	3			
71	81	1.45	65.98	25%	5	4			

#### جدول ۲- مقادیر سرعتهای بیشینه و کمینه برای تمام حالتها Table 2 Pattern of performing laboratory models

ناحیه به تدریج از دیواره داخلی فاصله گرفته و به-سمت میانهی کانال و سپس بهطرف دیواره خارجی حرکت میکند و در انتهای قوس و ابتدای قسمت مستقیم پاییندست موقعیت سرعت بیشینه به دیواره خارجی قوس متمایل می شود.

همچنین نتایج حاصل از شکل (۹) نشان میدهد برای آب شکنهای با طول ۱۵٪ عرض کانال، برای کلیه فواصل ميان آبشـكنها با ورود جريان به قوس موقعيت سـرعت بیشینه به نزدیکی دیواره داخلی منتقل می شود و تا زاویه °۴۰ در این ناحیه قرار دارد اما بعد از زاویه °۴۰ قوس محل اتفاق سرعت بيشينه شروع به حركت بهطرف ميانه کانال کرده و تا انتهای قوس و مسیر مستقیم پاییندست در میانه کانال قرار دارد. با حضور آبشکنهایی با طول معادل ۲۵٪ عرض کانال موقعیت سرعت بیشینه را نسبت به الگوی رخداده برای حالت قبل چندان تغییری ندارد؛ یعنی در مرحله ورود به قوس حداکثر سرعت متمایل به قوس داخلی سیس به میانه و در انتهای کانال به سمت قوس خارجی متمایل می گردد. لازم به ذکر است در هر دو عمق موردمطالعه همین روند تکرار می شود و مانند حالت قبلی تغییر در فاصله میان آبشکنها هیچگونه تغییری در مکان وقوع سرعت بیشینه ایجاد نکرده است.

جدول (۲) نشاندهنده ی 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 رخداده است. در بین تمامی آزمایشهای انجامشده بیش-رخداده است. در بین تمامی آزمایشهای انجامشده بیش-ترین سرعت ۶۵/۹۸ cm/۶ است که در حضور آبشکنهای ۲۵٪ عرض کانال رخداده و کمترین مقدار سرعت cm/s رخداده است.

۳-۳- موقعیت سرعت بیشینه

به منظور بررسی تأثیر آب شکن ها بر موقعیت سرعت بیشینه ابتدا مو<sup>ع</sup>لفه های سه بعدی سرعت استخراج شد. سپس با محاسبه سرعت متوسط موقعیت بیشینهی سرعت متوسط در دو صفحه نزدیک به بستر با فاصله ۳۵ ۳ و صفحه نزدیک به سطح آب با فاصله ۳۵ ۳ 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 تیا °۳۰ سرعت بیشینه به سمت آب شکن ها متمایل می شود و دوباره بعد از این زاویه به دیواره داخلی نزدیک می شود 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 می دهد در شرایط حضور آبشکن های 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 منحرف دو سپس در یک سوم انتهایی قوس به سمت قوس خارجی متمایل می گردد. ۵۲٪ عرض کانال، نیز همین روند مشاهده می گردد با این تفاوت که در شرایط طول کم-تر این روند در هر سه بخش کانال متمایل به قوس داخلی می باشد و افزایش در طول آبشکن بیش برشی را قمواره 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 تسنش برشی پرداختهشده است. شکل (۱۰) موقعیت بیشینه تسنش برشی بییعد در مقاطع مختلف قوس را نشان می-دهد. تسنش برشی بی بیمیم تسنش برشی قوس بر تسنش برشی مسیر مستقیم حاصل قوس بر تسنش برشی مسیر مستقیم حاصل میشود. بررسی صورت گرفته برای دو طول آبشکن معادل ۱۵ و ۲۵٪ عصرض کانال در دبی ۲/۵ تا انجامشده است. این زاویه به دیواره داخلی نزدیک میشود و تا حدود زاویه <sup>°</sup>۴۰ نزدیک دیواره داخلی قوس است بعد از این زاویه به سمت میانه کانال منحرف می-شود سپس در قسمت یکسوم انتهایی قوس به سمت قوس خارجی منحرف میشود.



شکل ۱۱- الگوی تنش برشی بستر با به کارگیری آبشکنهایی در دبی ۲۵ ا۲۵ 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 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 with and distance to length ratio 3 and 5

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

با توجه به این که محدودههای دارای بیش ترین تنش برشی در قوس رودخانهها آسیب پذیر ترین مناطق در مقابل فرسایش بستر و نواحی با تنش برشی کم مناسب ترین مناطق برای رسوب گذاری میباشند لذا در این بخش به این بررسی الگوی توزیع تنش برشی متوسط پرداخته شده است. بررسی نتایج به دست آمده نشان می دهد افزایش در فاصله قرار گیری میان آبشکن ها موجب عدم یکنواختی توزیع تنش برشی می گردد. روند کلی الگوی تنش برشی تقریباً مشابه الگوی رخداده بر توزیع سرعت متوسط می باشد بدین صورت که در ابتدای ورود جریان به قوس تا زاویه "۱۰ در نزدیکی دیواره داخلی است سپس در زاویه حدود ۲۰ تا "۲۰ برشی نتایج بهدست آمده نشان میدهد وضعیت رخداده برای الگوی تنش برشی مشابه الگوی سرعت متوسط می-باشد.

۳- افزایش طول آبشکنها خود باعث افزایش میزان تنش برشی حداکثر شده و افزایش در فاصله میان آبشکنها نیز موجب ایجاد ناحیه با تنش برشی بیشتر نسبت به فواصل کمتر میشود.
۴- تغییر در هندسه آبشکنها تأثیر چندان قابل توجهی

بر موقعیت تنش برشی حداکثر ندارد. بیشترین میزان تنش برشی در زاویه حدود <sup>۷</sup>۱ تا ۸۱<sup>°</sup> رخ داد.

### References

- Abbasi S., Pourshahbaz H. and Taghvai, 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° degree mild bend. Hydrophys. J., 4(2), 59-73.
- Arman A., Fatahi P. and Zahiri J. (2017). Simulation of flow and sediment pattern with spurdikes series in a 90 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 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 bend. Int. J. Sediment Res., 24(2), 145-158.

همچنین افزایش طول آبشکنها به علت افزایش سـرعت ناشــي از تنــگ شـدن مقطـع ســبب افــزايش تنش برشی شدہ بےطوری کے افزایش طول آبشےکن از ۱۵ بـه ۲۵٪ عـرض كانـال حـدودا سـبب افـزايش ۲۲٪ تنش برشی بیشینه میشود. تغییرات طول و فاصله میان آبشکن، ا تأثیری بر محل وقوع تنش برشی بیشینه نداشته و در تمامی موارد در زاویه ۷۱ تـا <sup>°</sup>۸۱ رخداده اسـت گرچـه بـا افـزایش فاصـله میان آبشکن ها در هر دو حالت طولی تنش برشی در فضای بین آبشکنها افزایشیافته است. مهمترین اثر قراردادن آبشکنها در قوس، انتقال ناحیہ پرتنش کے سبب تخریب دیوارہ ہا مے شود از دیواره خارجی قوس به میانه کانال و دیواره داخلی است کے علت این مسئلہ برخورد جریان با آبشکنها و انحراف آن به سمت دیوارهی داخلی و ایجاد آشفتگی در محل دیواروی داخلے است که سبب افزایش تنش برشی می شود اما نواحی با تنش برشی کم در بین آبشکن ها وجود دارد که این موقعیتها محلهای مستعد برای رسوبگذاری است.

### ۴- نتیجهگیری

همان گونه که پیش از این بیان شد هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر آبشکنها بر الگوی جریان در شرایط قوس ملایم <sup>۹۰</sup> با استفاده از مدل عددی +Star CCM میباشد. 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 آبشکنها، در ابتدای قوس حداکثر سرعت در سمت قوس داخلی رخ میدهد 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 آبشکنها موجب افزایش حداکثر
سرعتها 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 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. l. and Shen Y. M. (2008). Threedimensional simulation of meandering river based on 3-D RNG k-ɛ turbulence model. J. Hydrodyn., 20(4), 448-455.

### 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

### **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- $\varepsilon$  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.