

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

مرتضی البرزی‌مقدم، مرتضی بختیاری و احمد حاجیوند

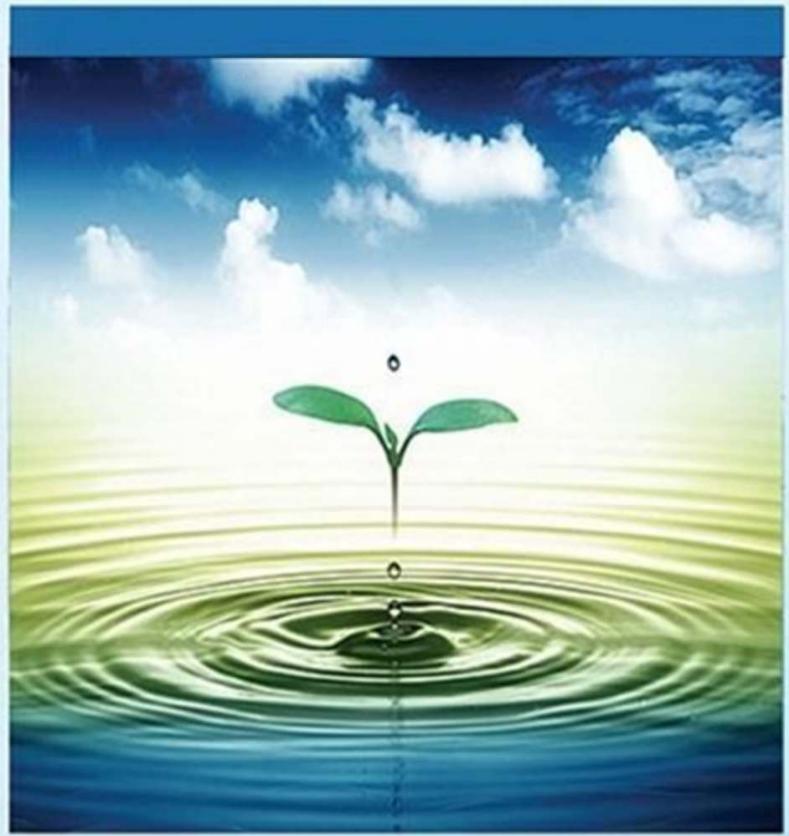
دوره ۶، شماره ۱، بهار ۱۳۹۹، صفحات ۴۴-۳۱

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

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

البرزی‌مقدم 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^{*}، مرتضی بختیاری^۲ و احمد حاجیوند^۲

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

^۲استادیار، گروه مهندسی دریا و ماشین‌آلات، دانشکده مهندسی دریا، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران
*نویسنده مسئول: 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 پایین دست آبشکن ظاهر می‌شود. همچنین افزایش طول بال آبشکن‌ها سبب افزایش طول ناحیه‌ی جدایی جریان و افزایش اندازه گردابه‌های ایجاد شده 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 مورد بررسی 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° 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 به سمت محور مرکزی رودخانه هدایت می‌کنند. در قوس رودخانه‌ها به دلیل اندرکنش بین جریان‌های ثانویه و عدم یکنواختی نیم‌رخ سرعت در عمق، الگوی جریانی به نام جریان حلزونی^۱ 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 ایجاد شده در بالادست و پایین دست 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 پر شمار 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 به صورت 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° ملایم پرداختند

¹ Helical flow

جدول ۱- الگوی انجام مدل‌های 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 مدل‌سازی‌ها

Fig. 1 Flume used for modeling

۲-۲- نرم‌افزار Star CCM+

این نرم‌افزار بر مبنای فناوری برنامه‌نویسی شیء‌گرا است که توانایی اجرای مدل‌های متنوع با سرعت بالا و نتایج هم‌زمان نتایج را ایجاد می‌کند. ابتدا به‌وسیله مدل‌ساز هندسی، هندسه دوبعدی مسئله با قابلیت ویرایش و به‌صورت پارامتری تولید می‌شود. 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 می‌شود. Star CCM+ با ارائه حل‌گرهای گوناگون امکان حل گسترده‌ی وسیعی از پدیده‌های فیزیکی مانند مسائل دوبعدی و سه‌بعدی، جریان‌های پایا و ناپایا، آرام و مغشوش، تراکم‌پذیر و تراکم‌ناپذیر، چندفازی و تک‌فازی فراهم کرده است. روش حل عددی در این نرم‌افزار به‌طور معمول روش حجم محدود است (Cd Adapco 2017).

(2018) در تحقیقی با استفاده از نرم‌افزار Ansys توزیع سرعت متوسط و تنش برشی حول سری آب‌شکن‌ها در یک قوس ۹۰ درجه ملایم را مورد بررسی قرار دادند. Abbasi et al. 2019 به بررسی تغییرات مورفولوژی بستر در کانال‌های دارای سری آب‌شکن‌های موازی با طول‌های نامساوی و جهت‌گیری‌های مختلف پرداختند. آن‌ها به‌منظور شبیه‌سازی عددی تحقیق خود از نرم‌افزار 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 می‌باشد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- الگوی مدل‌سازی

به‌منظور مدل‌سازی تحقیق حاضر از سناریوهای مختلف به‌صورت دو طول آب‌شکن ۱۵ و ۲۵٪ عرض کانال، زاویه قرارگیری ۹۰° (عمود) دو فاصله طولی میان آب‌شکن‌ها و در دو عمق ۳ cm و ۹ cm و برای دبی ثابت به مقدار ۲۵ l/s صورت گرفت. به‌منظور صحت‌سنجی و کالیبراسیون مدل تهیه‌شده از داده‌های برداشت‌شده سه‌بعدی سرعت که بر روی یک مدل فیزیکی در آزمایشگاه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز توسط Bakhtiari et al. (2013) انجام گردیده است، استفاده شد. در جدول (۱) الگوی آزمایش‌های انجام‌شده در قالب تحقیق آزمایشگاهی یاد شده ارائه شده است.

فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده جهت مدل‌سازی 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 می‌باشد. عرض فلوم ۰/۷ m، شعاع خارجی قوس ۳/۱۵ m و طول راستای مستقیم کانال در بالادست و پایین‌دست به ترتیب ۵ m و ۳ m می‌باشد. با توجه به نسبت R/B (R شعاع قوس و B عرض فلوم است) که برابر ۴ است قوس جزء قوس‌های ملایم محسوب می‌شود. در شکل (۱) نمایی از کانال آزمایشگاهی مورد استفاده در تحقیق حاضر نشان داده شده است.

۲-۳-۳- شبیه‌سازی

۲-۳-۳-۱ 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 ایجاد شده در قسمت Mesh، مش‌بندی شده و کیفیت مش‌بندی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه گزارش مطالعه مش‌بندی آورده شده است.

۲-۳-۳-۲- 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 بیشتری 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 می‌پذیرد 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 می‌شود. در این مطالعه برای شبکه‌بندی محدوده‌ی جریان نیز از قسمت Mesh در نرم‌افزار Star CCM+ بهره گرفته شد.

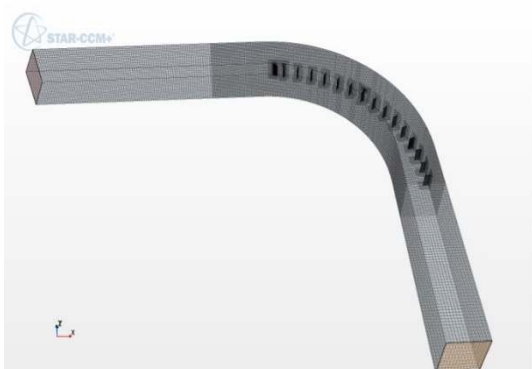
برای مش‌بندی در قسمت‌های مستقیم کانال که از اهمیت کم‌تری نسبت به قوس کانال از شبکه‌بندی درشت‌تر و برای داخل قوس از مش ریزتر و برای اطراف آب‌شکن‌ها به‌علت گرادیان بالا بازم از مش ریزتری استفاده شد. تعداد گره‌ها و المان‌های موجود در کل حجم ۷۳۶۵۲۳ می‌باشد.

۲-۳-۳-۲- کنترل کیفیت مش‌بندی مدل

به‌منظور مطالعه مش‌بندی در تحقیق حاضر و انتخاب مش بهینه (مش‌بندی که هم از لحاظ زمان محاسبات و هم از لحاظ دقت مناسب‌ترین باشد) از روش (Roache 1997)

استفاده شد. روش کار بدین‌صورت است که با استفاده از رابطه (۱) در هر مرحله اندازه مش به نسبت یک به رادیکال دو کوچک‌تر می‌شود تا جایی که دقت مدل تغییر محسوسی نداشته باشد شکل (۲). به‌منظور محاسبه دقت مدل مقطع 46° 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 ۷۳۶۵۲۳ 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

۲-۳-۳-۴- شرایط مرزی

با توجه به اینکه جریان در مدل موردنظر در هر حالت برای دبی ۲۵ l/s زیربحرانی است، لذا توجه به نکات یادشده در بالا، محاسبه عمق جریان در ورودی به نرم‌افزار 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 می‌گیرد.

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 فاز از اطلاق

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)، τ_{bx} و τ_{by} به ترتیب تنش برشی بستر در جهت x و y (N/m^2) و ρ 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

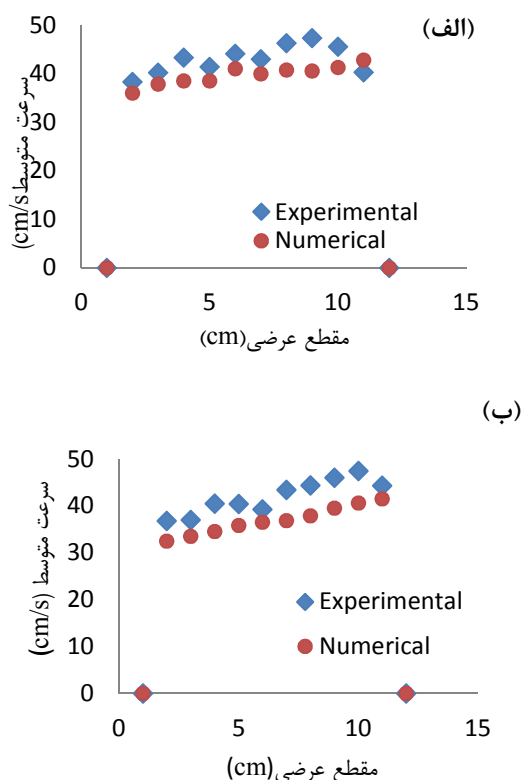
به منظور انجام صحت‌سنجی مدل عددی تهیه شده مطابق جدول (۱)، اقدام به تهیه شش مدل عددی گردید سپس نتایج به دست آمده با نتایج تحقیق آزمایشگاهی مقایسه گردید. شکل‌های (۳) و (۴) مقایسه میان مدل عددی و مدل آزمایشگاهی تهیه شده در برخی مقاطع عرضی را نشان می‌دهد.

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 (Bakhtari 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.

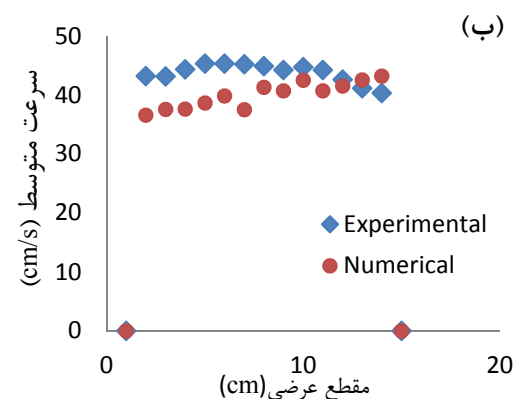
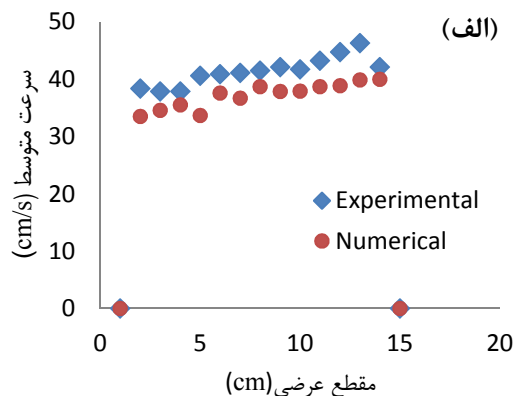
بیشتر در قوس سرعت‌ها در دیواره‌های داخلی و خارجی به یکدیگر نزدیک می‌شوند. نکته مهم وجود سرعت‌های بالا در پایین دست قوس در نزدیکی دیواره قوس است که این امر نشان می‌دهد محافظت از قوس می‌بایست تا پس از قوس ادامه یابد که این مورد از یافته‌های Arman et al. (2017) مطابقت دارد.



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°

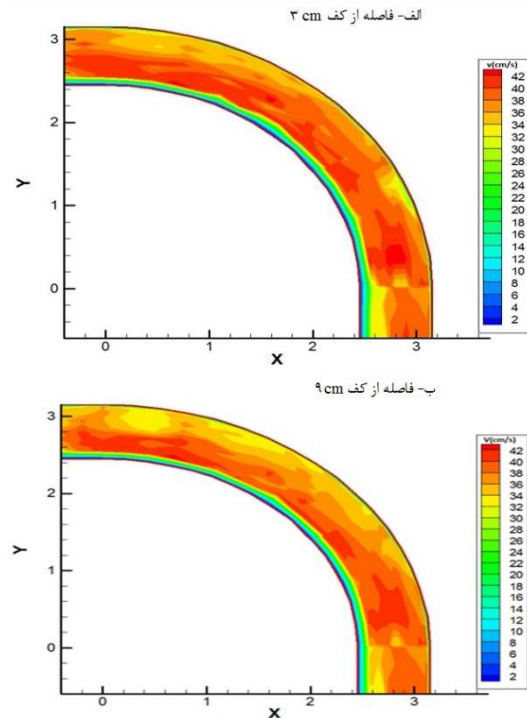
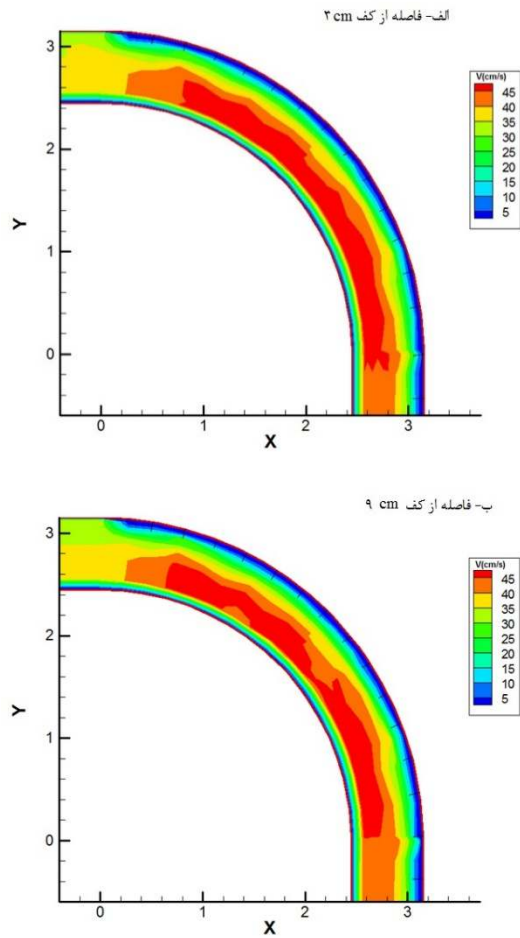
۳-۲- الگوی توزیع سرعت متوسط

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 ۲۵ 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 ۲۵ l/s برای عمق‌های مختلف

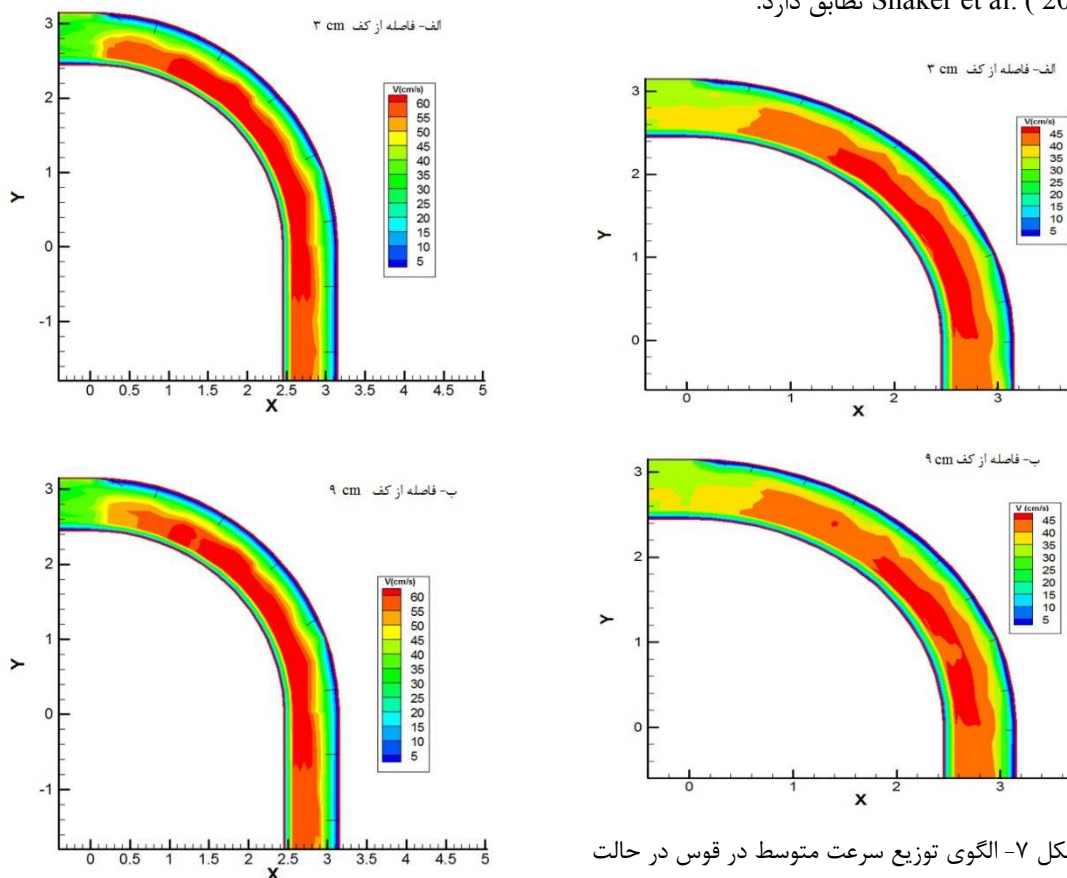
Fig. 6 Pattern of velocity distribution in the case of using spur with %15 of the channel width, distance to length ratio 3, in discharge rate of 25 l/s in two levels with different distances from bed

شکل (۷) توزیع سرعت را در دو صفحه در حالت به‌کارگیری آب‌شکن‌هایی به طول ۲۵٪ عرض کانال دبی ۲۵ 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° به سمت دیواره‌ی خارجی متمایل می‌شوند، به‌گونه‌ای که بیشینه‌ی سرعت در قوس، در یک‌سوم انتهایی و در مجاورت دیواره خارجی آن مشاهده می‌شود. در یک‌سوم 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 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
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 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

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 به-طور 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

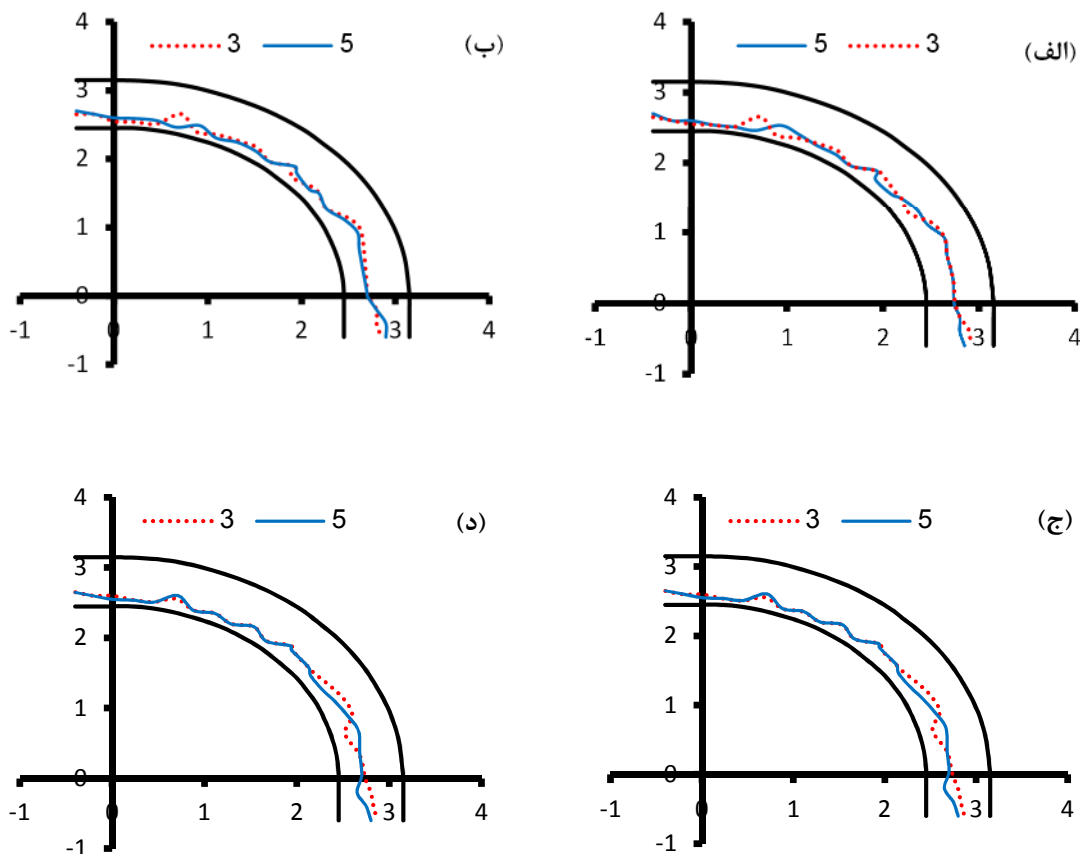
ناحیه به‌تدریج از دیواره داخلی فاصله گرفته و به-سمت میانه‌ی کانال و سپس به‌طرف دیواره خارجی حرکت می‌کند و در انتهای قوس و ابتدای قسمت مستقیم پایین‌دست موقعیت سرعت بیشینه به دیواره خارجی قوس متمایل می‌شود.

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 به‌طرف میانه 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 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 انجام‌شده بیش-ترین 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



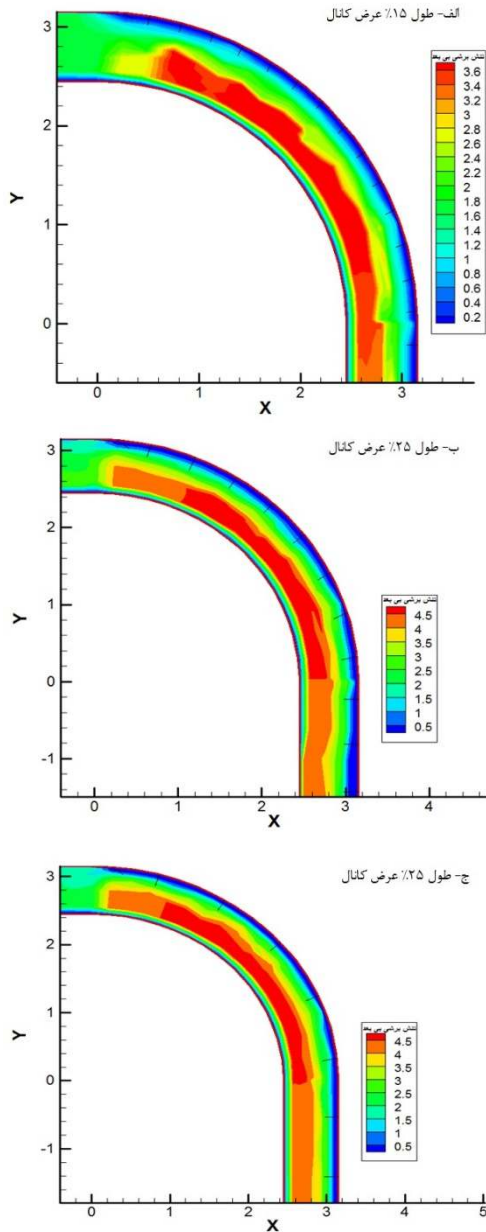
شکل ۹- موقعیت سرعت بیشینه در نسبت طول به فاصله ۳ و ۵ در حالت به کارگیری آبشکن‌هایی به طول ۱۵٪ عرض کانال برای عمق (الف) ۹ cm و (ب) ۳ cm از بستر و ۲۵٪ عرض کانال برای عمق (ج) ۹ cm و (د) ۳ cm از بستر
 Fig. 9 Maximum velocity position at distance to length = 3 and 5 in the case of using spur dike with 15%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

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.

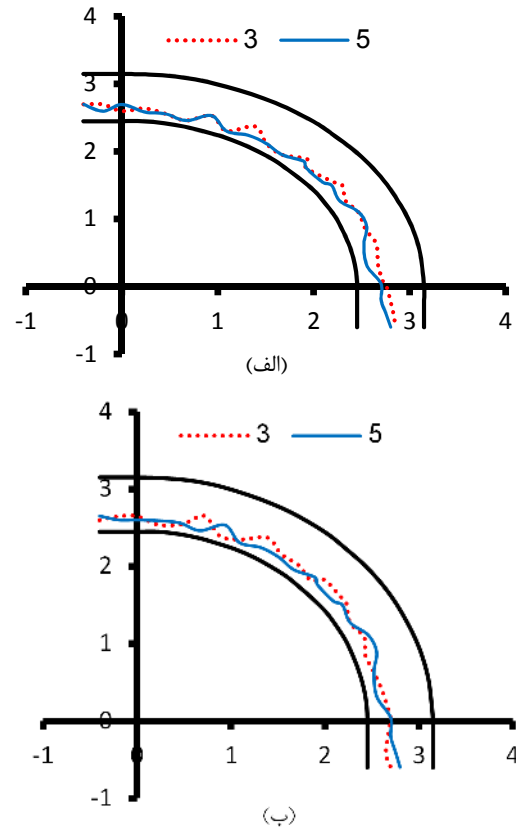
نظر به اینکه بررسی‌های صورت گرفته در مطالعات پیشین نشان می‌دهد جریان ثانویه در قوس موجب وقوع نیروی برشی بزرگی در قوس نسبت به مسیرهای مستقیم می‌گردد لذا در این بخش به بررسی تأثیر آبشکن‌ها بر موقعیت بیشینه تنش برشی پرداخته شده است. شکل (۱۰) موقعیت بیشینه تنش برشی بی‌بعد در مقاطع مختلف قوس را نشان می‌دهد.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

این زاویه به دیواره داخلی نزدیک می‌شود و تا حدود زاویه 40° 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 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 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° در نزدیکی دیواره داخلی است سپس در زاویه حدود 20° تا 30° به سمت آبشکن‌ها متمایل می‌شود و دوباره بعد از

برشی نتایج به دست آمده نشان می‌دهد وضعیت رخ داده برای الگوی تنش برشی مشابه الگوی سرعت متوسط می‌باشد.

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 بیش تر نسبت به فواصل کم تر می‌شود.

۴- تغییر در هندسه آب‌شکن‌ها تأثیر چندان قابل توجهی بر موقعیت تنش برشی حداکثر ندارد. بیش ترین میزان تنش برشی در زاویه حدود 71° تا 81° 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° 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° 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 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 می‌شود. تغییرات طول و فاصله میان آب‌شکن‌ها تأثیری بر محل وقوع تنش برشی بیشینه نداشته و در تمامی موارد در زاویه 71° تا 81° رخ داده است گرچه با افزایش فاصله میان آب‌شکن‌ها در هر دو حالت طولی تنش برشی در فضای بین آب‌شکن‌ها افزایش یافته است. مهم ترین اثر قراردادن آب‌شکن‌ها در قوس، انتقال ناحیه پرتنش که سبب تخریب دیواره‌ها می‌شود از دیواره خارجی قوس به میانه کانال و دیواره داخلی است که علت این مسئله برخورد جریان با آب‌شکن‌ها و انحراف آن به سمت دیواره‌ی داخلی و ایجاد آشفتگی در محل دیواره‌ی داخلی است که سبب افزایش تنش برشی می‌شود اما نواحی با تنش برشی کم در بین آب‌شکن‌ها 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 90° با استفاده از مدل عددی Star CCM+ می‌باشد. بدین منظور اقدام به تعریف الگوی مدل‌سازی و سپس مدل‌سازی 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 می‌شود. در ادامه و در یک سوم انتهایی قوس حداکثر سرعت به سمت قوس خارجی منحرف می‌گردد.

۲- افزایش طول آب‌شکن‌ها موجب افزایش حداکثر سرعت‌ها در کانال می‌شود. 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- ϵ 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^{1*}, Morteza Bakhtiari² and Ahmad Hajivand³

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

²Assist. 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-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.