

مطالعه عددی تأثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان پیرامون آبشکن سرسپری مستغرق

محمد واقفی^۱، هادی زره پوش شیرازی^۲، مریم اکبری^۳

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۰۲/۱۶

تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۱۴

چکیده

آبشکن‌ها، یکی از انواع سازه‌های هیدرولیکی مورد استفاده در رودخانه می‌باشند که برای حفاظت از سواحل رودخانه، انحراف جریان از کناره‌ها و هدایت آن به سمت مجرای اصلی به کار می‌روند. در نتیجه انحراف جریان، یک ناحیه چرخشی متلاطم در پیرامون آبشکن ظاهر می‌شود. به همین دلیل، برای جلوگیری از فرسایش موضعی دماغه آبشکن را پهن‌تر و به صورت سرسپری در نظر می‌گیرند. در این مقاله به بررسی الگوی جریان پیرامون آبشکن سرسپری مستغرق ۲۵ درصد واقع در موقعیت ۴۵ درجه و مستقر در قوس ۹۰ درجه با بستر صلب و با شعاع انحناهای نسبی مختلف ۲، ۳، ۴ و ۵ و با دبی ثابت 25 lit/s با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D پرداخته شده است. نتایج عددی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه و مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفته است. نتایج بیانگر این است که با افزایش شعاع انحنا، تعداد گردابه‌ها در مقاطع عرضی نزدیک به بال آبشکن و همچنین سرعت عرضی جریان افزایش یافته و محل بیشترین سرعت عرضی در بالادست بال آبشکن سرسپری به وجود آمده است. همچنین مشاهده شد که هر چه شعاع انحنا نسبی کمتر باشد، ناحیه وسیع‌تری در پایین دست آبشکن دارای سکون نسبی جریان خواهد بود.

واژه‌های کلیدی: آبشکن سرسپری مستغرق، الگوی جریان، شعاع انحنا، قوس ۹۰ درجه، Flow-3D.

^۱ استادیار سازه های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران (نویسنده مسئول)، ۰۷۷-۳۱۲۲۲۴۰۱، vaghefi@pgu.ac.ir

^۲ کارشناس ارشد سازه، گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، بوشهر، ایران، ۰۹۳۳۳۷۷۱۱۱۷، hadizerehpoushshirazi@gmail.com

^۳ دانشجوی سازه های هیدرولیکی، گروه مهندسی عمران، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر، ایران، ۰۷۷-۳۳۵۵۶۴۷۸، makbari@mehr.pgu.ac.ir

مقدمه

تغییرات و جابه‌جایی‌هایی که در اثر روند طبیعی یا توسعه‌طلبی هنجار یا ناهنجار بشر در مسیر، راستا و هندسه رودخانه رخ می‌دهد، نتیجه منطقی واکنش سامانه رودخانه برای برقراری موازنه جدید می‌باشد. تغییرات رودخانه‌ای به صورت فرسایش و رسوب‌گذاری متناوب در بستر، جابه‌جایی الگوی مارپیچی و راستای جریان، تخریب و تعریض دیواره‌ها و سواحل و یا انحراف مسیر رخ می‌دهد. با توجه به این که توزیع سرعت در مسیرهای مستقیم از قانون لگاریتمی پیروی می‌کند اما در قوس‌ها توزیع سرعت لگاریتمی نیست، با ورود جریان به قوس رودخانه توزیع سرعت دست‌خوش تغییرات چشم‌گیری می‌شود. به همین دلیل برای حفاظت از سواحل رودخانه‌ها و جلوگیری از فرسایش دیواره‌های آن، از آبشکن‌ها استفاده می‌شود؛ اما باید توجه داشت که استقرار آبشکن در سواحل رودخانه‌ها، خود باعث ایجاد و تقویت آبستگي موضعی می‌گردد (صفرزاده، ۱۳۸۳)؛ بنابراین تحلیل الگوی سه‌بعدی جریان در قوس رودخانه‌ها به دلیل وجود جریان‌های ثانویه و حلزونی و همچنین گردابه‌های تشکیل‌شده ناشی از استقرار آبشکن، بسیار پیچیده می‌باشد و ضرورت مطالعه بیشتر در این زمینه را روشن می‌سازد. در این راستا از زمان‌های گذشته مطالعات فراوانی در زمینه الگوی جریان و آبستگي در رودخانه‌ها انجام شده است که به خلاصه‌ای از آن‌ها اشاره می‌شود:

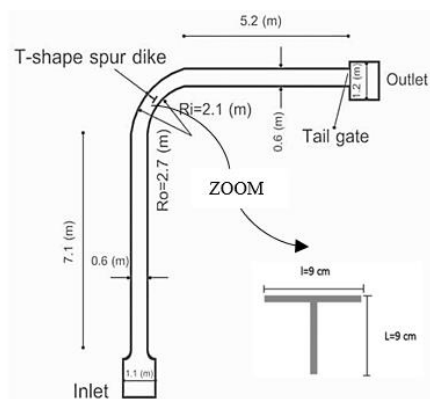
احمد در سال‌های ۱۹۵۱ و ۱۹۵۳، الگوی جریان در اطراف آبشکن‌های نفوذناپذیر را بررسی کرد. وی آبشکن‌ها را تحت زوایای مختلف از ۳۰ تا ۱۵۰ درجه نسبت به بستر بالادست در یک فلوم مستقیم قرارداد و مشاهده نمود با افزایش زاویه ذکرشده از ۹۰ درجه سرعت نسبی جریان کاهش می‌یابد (احمد، ۱۹۵۱-۱۹۵۳). تینگسانچالی و ماهسواران در سال ۱۹۹۰، به اصلاح ضرایب مربوط در مدل عددی $k-\epsilon$ به دلیل انحنا خطوط جریان در قوس و در اطراف آبشکن پرداختند و نتیجه گرفتند که این ضریب تأثیر

عمده‌ای بر میزان سرعت جریان دارد درحالی‌که بر تنش برشی حداکثر در دماغه آبشکن تأثیر قابل‌توجهی ندارد (تینگسانچالی و ماهسواران، ۱۹۹۰). سلیمان و همکاران در سال ۱۹۹۷، یک مدل ریاضی دو بعدی برای بررسی اثرات آبشکن‌ها بر مورفولوژی قوس‌های رودخانه‌ی نیل تبیین نمودند. آن‌ها در این تحقیق از طول‌ها و فواصل مختلف آبشکن‌ها استفاده نمودند تا تأثیر آن‌ها را بر تراز سطح آب و مؤلفه‌های سرعت ارزیابی کنند (سلیمان، ۱۹۹۷). گیری و همکاران در سال ۲۰۰۴، به بررسی آزمایشگاهی و عددی شبیه‌سازی جریان و آشفتگی در کانال مئاندری با وجود آبشکن‌های غیرمستغرق پرداختند. آن‌ها به اندازه‌گیری سرعت جریان با تغییر دادن موقعیت آبشکن‌ها پرداختند و میدان گردابه‌ها و شدت آشفتگی را به صورت دو بعدی اندازه‌گیری نمودند (گیری و همکاران، ۲۰۰۴). ناگاتا و همکاران در سال ۲۰۰۵، به شبیه‌سازی عددی الگوی جریان سه بعدی پیرامون تک آبشکن با بستر متحرک پرداخت. ایشان ضمن تحلیل ساختار جریان متوسط، ارتباط آن را با نحوه وقوع و توسعه حفره آبستگي مورد بررسی قراردادند (ناگاتا و همکاران، ۲۰۰۵). فضلی و همکاران در سال ۲۰۰۸، به بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان و آبستگي پیرامون یک آبشکن تیغه‌ای مستقر در قوس ۹۰ درجه که در موقعیت‌های مختلف در قوس قرار گرفته بود پرداختند. آن‌ها مشاهده کردند که با تغییر موقعیت استقرار آبشکن در طول قوس طول ناحیه جدایی افزایش یافته درحالی‌که طول ناحیه بازگشتی کاهش می‌یابد (فضلی و همکاران، ۲۰۰۸). واقفی و همکاران از سال ۲۰۰۸ تاکنون به صورت آزمایشگاهی به مطالعه الگوی جریان و آبستگي تحت پارامترهای مختلف از جمله عدد فرود، شعاع انحنا، هندسه آبشکن، موقعیت آبشکن، نسبت طول بال به جان آبشکن، تأثیر زمان، شرایط جریان و ... در قوس ۹۰ درجه پیرامون آبشکن سرسپری غیرمستغرق پرداختند (واقفی و همکاران، ۲۰۰۸-۲۰۱۲). دوان در سال ۲۰۰۹، به مطالعه ساختار جریان‌های متوسط و

مواد و روش‌ها

- معرفی مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌های مورد نظر در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس توسط واقفی در یک کانال به عرض ۶۰ سانتی‌متر و به ارتفاع ۷۰ سانتی‌متر و به صورت ترکیبی از مسیر مستقیم و قوسی انجام شده است. طول مسیر مستقیم بالادست ۷۱۰ سانتی‌متر می‌باشد که به وسیله یک قوس ۹۰ درجه به شعاع خارجی ۲۷۰ سانتی‌متر و شعاع داخلی ۲۱۰ سانتی‌متر به مسیر مستقیم پایین‌دست به طول ۵۲۰ سانتی‌متر متصل می‌شود. نسبت شعاع قوس به عرض کانال برابر با ۴ می‌باشد. کف کانال آزمایشگاهی مورد نظر صلب و با زبری ۰/۰۱۵ می‌باشد و قطر مصالح بستر نیز ۱/۲۸ میلی‌متر در نظر گرفته شده است. همچنین دبی جریان در تمام آزمایش‌ها ثابت و برابر با ۲۵ لیتر بر ثانیه می‌باشد. آبشکن مورد استفاده در این آزمایش، آبشکن سرسپری و از جنس پلکسی گلاس می‌باشد. طول بال (L) و جان (I) این آبشکن مساوی و برابر با ۹ سانتی‌متر و ارتفاع آن نیز ۲۵ سانتی‌متر در نظر گرفته شده است. این آبشکن به صورت قائم و غیر مستغرق در موقعیت ۴۵ درجه و در قوس خارجی مستقر شده است. مشخصات کانال آزمایشگاهی و نمایش شماتیک کانال و آبشکن مورد نظر، در شکل (۱)، نشان داده شده است.



شکل (۱): نمایش شماتیک کانال آزمایشگاهی و آبشکن مورد استفاده در آزمایش

آشفته حول آبشکن مستقیم واقع در یک کانال آزمایشگاهی با بستر صلب پرداخت و نتیجه گرفت که جریان متوسط در هر دو جهت جانبی و قائم جدا شده و در داخل ناحیه چرخشی پشت آبشکن، ترکیبی از گردابه‌های افقی و قائم وجود دارد. همچنین هر سه مؤلفه تنش‌های قائم رینولدز با عبور از مقطع آبشکن تشدید شده و حداکثر تنش در عمق میانی کانال و در امتداد لایه تنش برشی اتفاق می‌افتد (دوان، ۲۰۰۹). ناجی و همکاران در سال ۲۰۱۰، به بررسی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه پرداختند و مشاهده نمودند که خطوط جریان در تراز نزدیک بستر به سمت جداره داخلی و در تراز نزدیک سطح آب به سمت جداره خارجی متمایل می‌شوند. همچنین محل وقوع حداکثر سرعت طولی در ابتدای قوس، در نیمه داخلی مقطع و سپس به سمت دیواره خارجی کانال جابه‌جا می‌شود (ناجی و همکاران، ۲۰۱۰). آچاریا و همکاران در سال ۲۰۱۳، به مطالعه عددی سه بعدی الگوی جریان آشفته پیرامون سری آبشکن‌های تیغه ای واقع در مسیر مستقیم با بستر ثابت و متحرک با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D پرداختند. آن‌ها از مدل آشفتگی k-ε برای مدل‌سازی استفاده نمودند و نتایج حاصل از مدل‌سازی را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نمودند (آچاریا و همکاران، ۲۰۱۳).

به دلیل عدم مطالعات کافی در زمینه الگوی جریان پیرامون آبشکن‌های مستغرق و مستقر در قوس، در این تحقیق به بررسی تأثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان پیرامون آبشکن سرسپری مستغرق و مستقر در قوس ۹۰ درجه به صورت عددی پرداخته شده است. همچنین نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی با نتایج به دست آمده از مدل آزمایشگاهی نیز مقایسه شده است.

که در آن:

V_F : نسبت کسر حجمی فضای باز به جریان

P : فشار

(G_x, G_y, G_z) : شتاب جرمی در مختصات کارتزین

(f_x, f_y, f_z) : شتاب ناشی از لزجت در جهت‌های (x, y, z)

می‌باشد (Flow-3D User's Manual).

برای این‌که بتوان به راحتی سرعت‌های طولی، عرضی و عمقی برای هر نقطه از جریان را تعیین کرد، از یک شبکه‌بندی به تعداد ۴۲ مقطع در طول، ۷۲ مقطع در عرض و ۶۰ مقطع در ارتفاع استفاده شده است. در شکل ۲، شمایی از شبکه‌بندی تولیدشده در نرم‌افزار Flow-3D نشان داده شده است. همان‌طور که در شکل مشخص است، در نزدیکی آبشکن از مش‌های ریزتر به دلیل افزایش گرادیان، استفاده شده است. مدل‌سازی‌های صورت گرفته برای شعاع انحنای نسبی ۲، ۳، ۴ و ۵ می‌باشد. آبشکن مدل‌سازی شده نیز، یک مدل ۹×۹ سانتی‌متری می‌باشد و برای آبشکن مستغرق ۲۵ درصد، در موقعیت ۴۵ درجه و عدد فرود ۰/۳۴ در نظر گرفته شده است.

نتایج و بحث

- صحت‌سنجی

برای اطمینان از صحت نتایج به‌دست آمده از مدل‌سازی عددی، این نتایج با نتایج آزمایشگاهی در شرایط یکسان مقایسه و صحت‌سنجی شده است. در شکل (۳)، نتایج آزمایشگاهی و عددی مربوط به مؤلفه‌های سه بعدی سرعت طولی، عرضی و عمقی در مقطع عرضی و به فاصله ۰/۲۵ برابر طول آبشکن در پایین‌دست و در حالت آبشکن غیرمستغرق و عدد فرود ۰/۳۴ نشان داده شده است. در شکل (۳-الف)، تغییرات سرعت طولی در مقطع عرضی به‌صورت آزمایشگاهی و عددی مقایسه شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، بافاصله گرفتن از قوس داخلی میزان سرعت طولی افزایش و با نزدیک شدن به قوس

- معرفی مدل عددی

نرم‌افزار Flow-3D یکی از نرم‌افزارهای قوی در زمینه‌ی دینامیک سیالات است که توسعه و پشتیبانی آن توسط Flow Science, Inc صورت گرفته است. این نرم‌افزار، قابلیت تحلیل یک، دو و سه بعدی میدان جریان را دارد. معادله‌های حاکم بر جریان سیال شامل معادله‌های پیوستگی و اندازه حرکت می‌باشد. معادله پیوستگی جریان از قانون بقای جرم و با نوشتن معادله‌ی تعادل جرم برای یک المان سیال به دست می‌آید. معادله پیوستگی جرم در مختصات کارتزین (x, y, z) به صورت رابطه (۱) می‌باشد (Flow-3D User's Manual).

$$V_F \frac{\partial(\rho)}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial t}(uA_x) + \frac{\partial}{\partial y}(vA_y) + \frac{\partial}{\partial z}(wA_z) = \frac{R_{SOR}}{\rho} \quad (1)$$

که در آن:

(u, v, w) : مؤلفه‌های سرعت در جهت‌های (x, y, z)

ρ : چگالی سیال

R_{SOR} : چگالی منبع جرم

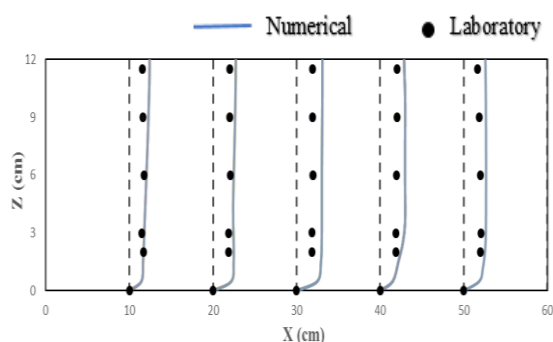
(A_x, A_y, A_z) : کسری از مساحتی که مرتبط با سیال است.

معادله‌های مربوط به اندازه حرکت نیز به صورت روابط (۲) تا (۴) می‌باشد:

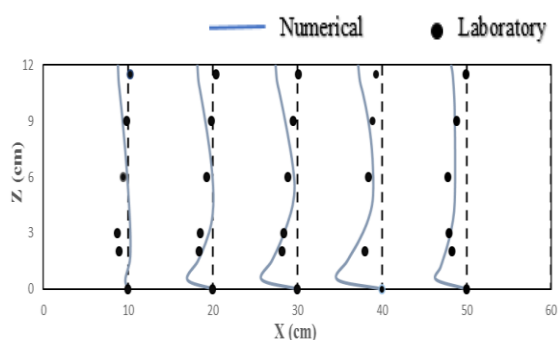
$$\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial u}{\partial x} + vA_y \frac{\partial u}{\partial y} + wA_z \frac{\partial u}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial x} + G_x + f_x \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial v}{\partial x} + vA_y \frac{\partial v}{\partial y} + wA_z \frac{\partial v}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial y} + G_y + f_y \quad (3)$$

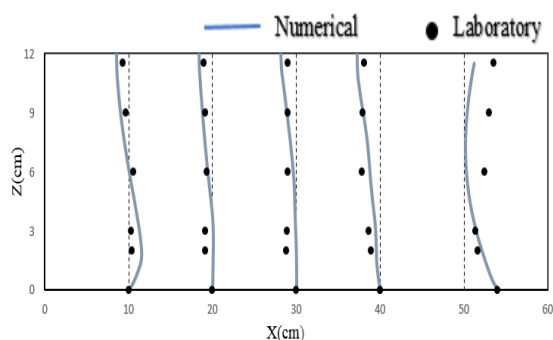
$$\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{1}{V_F} \left(uA_x \frac{\partial w}{\partial x} + vA_y \frac{\partial w}{\partial y} + wA_z \frac{\partial w}{\partial z} \right) = -\frac{1}{\rho} \frac{\partial P}{\partial z} + G_z + f_z \quad (4)$$



شکل (۳-الف): صحت‌سنجی سرعت طولی در مقطع عرضی در ۰/۲۵ برابر طول آبشکن در پایین دست برای $R/B=4$ و با آبشکن غیرمستغرق 20 cm/s



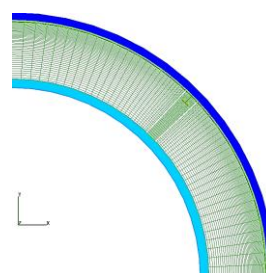
شکل (۳-ب): صحت‌سنجی سرعت عرضی در مقطع عرضی در ۰/۲۵ برابر طول آبشکن در پایین دست برای $R/B=4$ و با آبشکن غیرمستغرق 10 cm/s



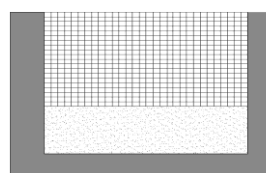
شکل (۳-ج): صحت‌سنجی سرعت عمقی در مقطع عرضی در ۰/۲۵ برابر طول آبشکن در پایین دست برای $R/B=4$ و با آبشکن غیرمستغرق 2.5 cm/s

خارجی این میزان سرعت کاهش می‌یابد. از قوس داخلی تا بال آبشکن سرعت هم‌جهت و یکسان است و از بال آبشکن تا قوس خارجی جهت سرعت برعکس شده و از میزان آن کاسته شده است. مطابق شکل (۳-ب)، بافاصله گرفتن از قوس داخلی، سرعت عرضی جریان افزایش می‌یابد و بیشترین میزان سرعت عرضی نیز در نزدیکی بال آبشکن مشاهده می‌شود. همچنین قابل ملاحظه است که جهت سرعت عرضی نیز از بال آبشکن تا قوس خارجی تغییر کرده است. همان‌طور که در شکل (۳-ج)، مشاهده می‌گردد بیشترین سرعت عمقی از قوس داخلی تا بال آبشکن در میانه کانال می‌باشد و بیشترین تلاطم جریان نیز بین بال آبشکن تا قوس خارجی می‌باشد.

همان‌طور که از مقایسه سرعت‌های سه‌بعدی جریان در شکل (۳) مشخص شد، نتایج به‌دست آمده با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D و نتایج آزمایشگاهی به هم نزدیک بوده و از تطابق مناسبی برخوردار می‌باشند.

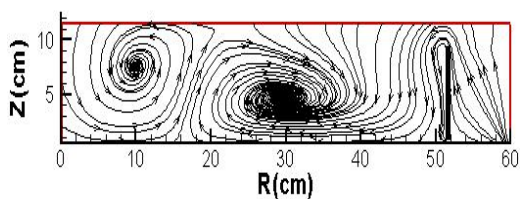


(الف)



(ب)

شکل (۲): شمایی از شبکه‌بندی تولیدشده در نرم‌افزار Flow-3D الف: در طول و عرض، ب: در عمق



(د)

شکل (۴): تغییرات الگوی عرضی جریان در فاصله ۵

درصد طول جان آبشکن در بالادست برای

الف) $(R_0/B=2)$ ب) $(R_0/B=3)$ ج) $(R_0/B=4)$ د) $(R_0/B=5)$

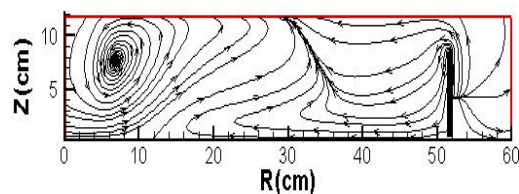
در شکل (۵)، خطوط جریان در مقطع عرضی و در فاصله ۵ درصد طول جان و در پایین دست آن برای شعاع انحناهای نسبی متفاوت ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. در این شکل مشاهده می شود که در فاصله‌ی بین بال آبشکن و دیواره خارجی جریان به صورت بالارونده می باشد. همچنین به دلیل مستغرق بودن آبشکن، جریان از روی بال آبشکن عبور کرده و در تمام حالات یک گردابه پادساعتگرد در نزدیکی دیواره داخلی تشکیل می گردد. همانند شکل (۴)، با افزایش نسبت شعاع انحنا $(4-5)$ و مرکز کانال تشکیل می شود که دلیل آن ورود جریان به قوس و به وجود آمدن گردابان های فشار عرضی و اندرکنش آن با نیروی گریز از مرکز می باشد. مطابق شکل های (۵-الف) تا (۵-د)، مکان تشکیل گردابه ها به ترتیب در فاصله‌ی ۳۹، ۳۲، ۳۴ و ۳۰ سانتی متری از ساحل داخلی می باشد.

- الگوی جریان سه بعدی پیرامون آبشکن

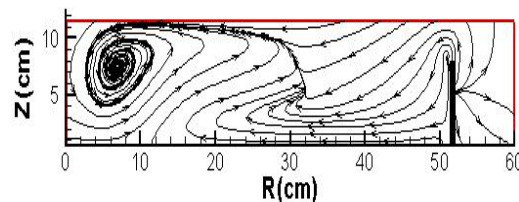
به منظور تعیین تأثیر شعاع انحنا نسبی بر الگوی جریان پیرامون آبشکن سرسپری مستغرق در قوس ۹۰ درجه، الگوی جریان در مقاطع طولی، عرضی و پلان بررسی شده و نتایج زیر حاصل شده است:

الگوی جریان در مقطع عرضی

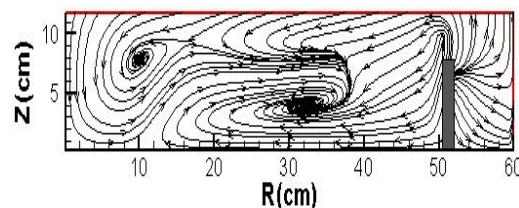
در شکل (۴)، خطوط جریان در مقطع عرضی و در فاصله ۵ درصد طول جان و در بالادست آن برای شعاع انحناهای نسبی متفاوت ۲، ۳، ۴ و ۵ نشان داده شده است. همان طور که مشاهده می شود، به دلیل استقرار آبشکن مستغرق در فاصله بین بال آبشکن و دیواره خارجی، سکون نسبی جریان به وجود آمده است؛ اما در نزدیکی ساحل داخلی برای همه حالات شعاع انحنا نسبی، گردابه پادساعتگرد تشکیل شده است. مطابق شکل، با افزایش شعاع انحناء به تدریج یک گردابه ساعتگرد در مرکز کانال شکل می گیرد که در شکل های (۴-ج) و (۴-د) این گردابه ها به ترتیب در ۳۵ و ۳۰ سانتی متری از ساحل داخلی مشاهده می شود.



(الف)

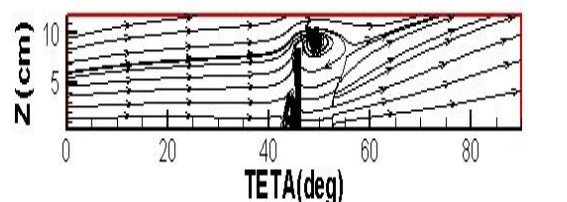


(ب)

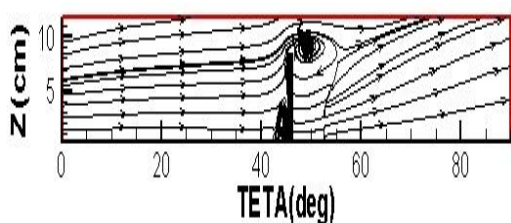


(ج)

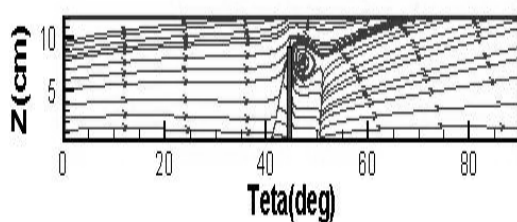
انتهای کانال ادامه می‌یابد. همچنین مطابق شکل‌های (۶-الف) و (۶-ب) نیز، دو گردابه ساعت‌گرد در بالا و پایین جان آبشکن تشکیل شده است.



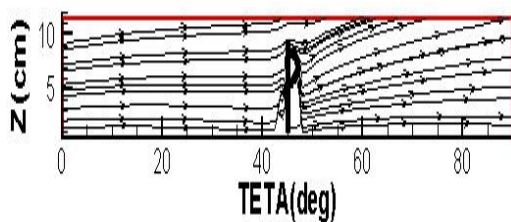
(الف)



(ب)

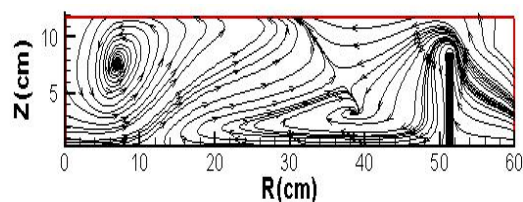


(ج)

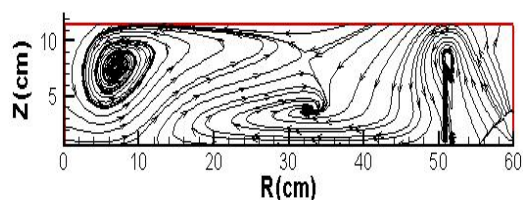


(د)

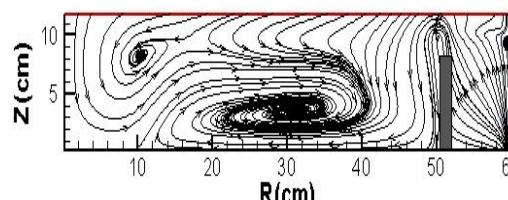
شکل (۶): تغییرات الگوی طولی جریان در فاصله ۳۰ درصد طول جان آبشکن از دیواره خارجی قوس برای (الف) (R_c/B=2) (ب) (R_c/B=3) (ج) (R_c/B=4) (د) (R_c/B=5)



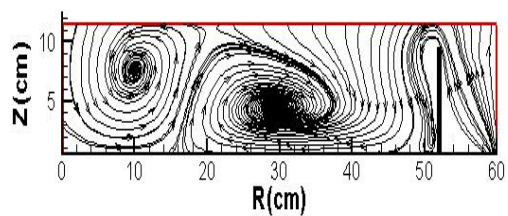
(الف)



(ب)



(ج)



(د)

شکل (۵): تغییرات الگوی عرضی جریان در فاصله ۵

درصد طول جان آبشکن در پایین دست برای

(الف) (R_c/B=2) (ب) (R_c/B=3) (ج) (R_c/B=4) (د) (R_c/B=5)

الگوی جریان در مقطع طولی

در شکل (۶)، نمونه‌ای از الگوی طولی جریان در فاصله ۳۰ درصد جان آبشکن از دیواره خارجی قوس برای چهار شعاع انحناء نسبی مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. همان طور که در شکل‌های (۶-الف) تا (۶-د) مشاهده می‌شود، جهت خطوط جریان قبل از آبشکن از ابتدای کانال به سمت جان آبشکن می‌باشد اما در محل برخورد با آبشکن این خطوط قطع شده و پس از عبور از جان آبشکن، خطوط جریان به طرف

الگوی جریان در پلان

در شکل (۷)، نمونه‌ای از خطوط جریان در تراز نزدیک به کف کانال برای چهار شعاع انحناء نسبی مختلف نشان داده شده است. همان‌طور که مشاهده می‌شود، گردابه‌های پادساعت‌گرد و ساعت‌گرد در پایین‌دست و بالادست آبشکن تشکیل شده است. این گردابه‌ها باعث کاهش سرعت و شدت جریان می‌شود. همچنین مشاهده می‌شود که با افزایش شعاع انحناء، ابعاد گردابه‌های مذکور کاهش می‌یابد. از طرف دیگر خطوط جریان ترسیمی در تراز نزدیک بستر به سمت ساحل داخلی انحراف می‌یابند. که این انحراف به سمت ساحل داخلی با افزایش شعاع انحناء افزایش پیدا می‌کند. همان‌طور که در شکل (۷-الف) مشاهده می‌شود، در شعاع انحناء نسبی ۲ و در پایین‌دست آبشکن نسبت به بقیه حالت‌ها محدوده‌ی بیشتری از کانال تحت تأثیر این سازه هیدرولیکی قرار خواهد گرفت که این امر باعث انحراف بیشتر جریان از دیواره خارجی قوس و حفاظت از آن خواهد شد.

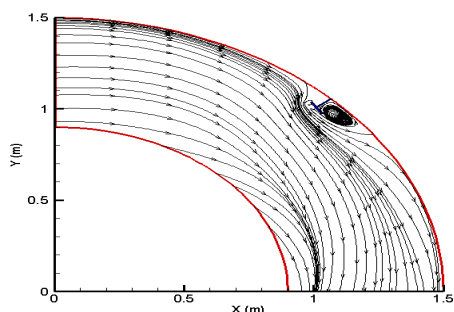
- بررسی ابعاد ناحیه جدایی جریان پیرامون آبشکن سرسپری مستغرق

از جمله پارامترهای مهم در بررسی الگوی جریان، تعیین ابعاد ناحیه جدایی ناشی از تأثیر آبشکن بر الگوی جریان می‌باشد. با تعیین این پارامتر می‌توان شناخت بهتری از رفتار جریان پیرامون آبشکن مستغرق در قوس به دست آورد. به دلیل حضور آبشکن در مسیر جریان، ناحیه جریان چرخشی در اطراف آن تقویت خواهد شد. این ناحیه در اطراف آبشکن با مرزی از جریان اصلی جدا می‌شود که این مرز، خط جدایی جریان نامیده می‌شود. به عبارت دیگر اگر تابع جریان ϕ با رابطه (۵) بیان شود، خط جدایی جریان مکان هندسی نقاطی است که در آن‌ها $\phi=0$ می‌باشد.

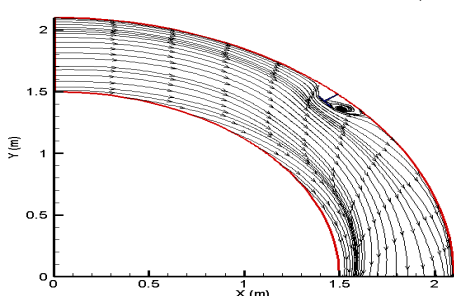
$$\int \phi = u \cdot dr \quad (۵)$$

که در آن:

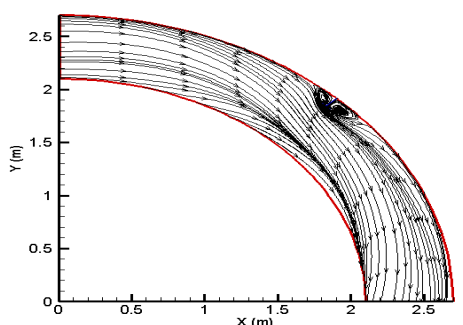
u: سرعت عمقی در راستای جریان می‌باشد.



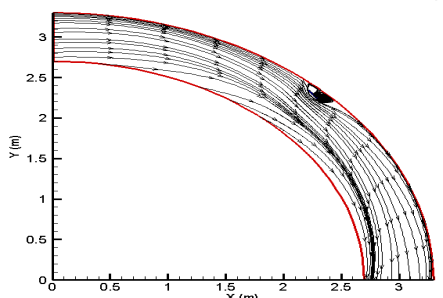
(الف)



(ب)



(ج)

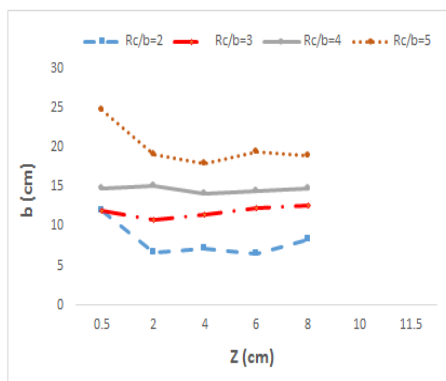


(د)

شکل (۷): تغییرات تراز الگوی جریان

در فاصله ۵ درصد عمق جریان از کف برای

الف) ($R_0/B=2$) ب) ($R_0/B=3$) ج) ($R_0/B=4$) د) ($R_0/B=5$)



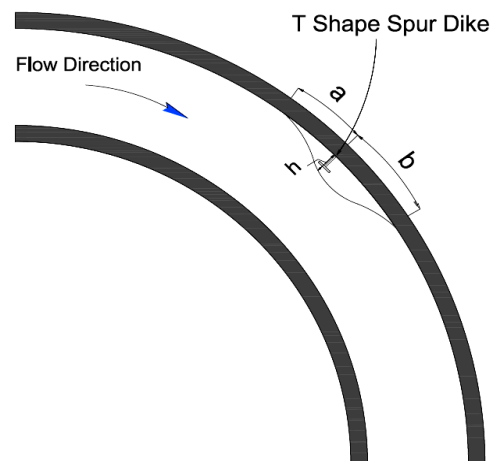
شکل (۱۰): تغییرات عرض ناحیه جدایی جریان در ترازهای مختلف عمقی برای شعاع انحناهای مختلف و آبشکن مستغرق ۲۵ درصد

نتیجه‌گیری

از آن جایی که تاکنون تاثیر شعاع انحنا در کانال‌های قوسی توام با استقرار آبشکن مستغرق بر الگوی جریان مورد مطالعه قرار نگرفته است، در این تحقیق به کمک نرم‌افزار Flow-3D به بررسی الگوی جریان پیرامون آبشکن سرسپری مستغرق (با نسبت استغراق ۲۵ درصد) در کانال‌های قوسی شکل با تغییرات شعاع انحنا پرداخته شده است. نتایج عددی به دست آمده حاصل از مدل‌سازی با نتایج آزمایشگاهی در شرایط یکسان، مقایسه و صحت‌سنجی شده و صحت آن‌ها تأیید شده است. به‌طور کلی، نتایج به دست آمده از این تحقیق به صورت زیر می‌باشد:

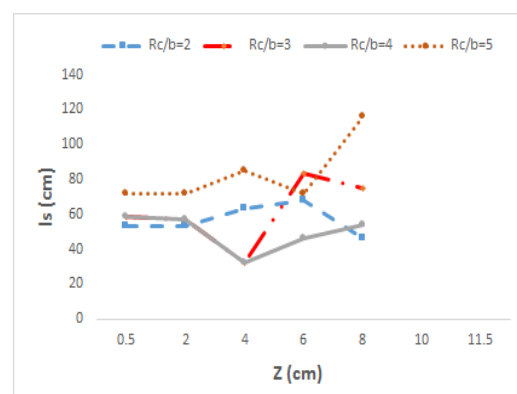
- در نزدیکی ساحل داخلی برای همه حالت‌های شعاع انحنا نسبی، گردابه پادساعتگرد تشکیل شده است.
- با افزایش شعاع انحنا تعداد گردابه‌ها در مقاطع عرضی نزدیک به بال بالادست آبشکن افزایش یافته و همچنین یک گردابه ساعتگرد نیز در مرکز کانال و در فاصله ۳۰ و ۳۵ درصدی عرض کانال از ساحل داخلی در نسبت شعاع انحنا ۴ و ۵ تشکیل می‌گردد.

با توجه به تعاریف فوق در ادامه به بررسی تغییرات طول و عرض ناحیه جدایی جریان پرداخته می‌شود. در شکل (۸)، به صورت شماتیک طول و عرض ناحیه جدایی و همچنین محل اتصال مجدد جریان نشان داده شده است.



شکل (۸): نمایش شماتیک از طول و عرض جدایی جریان و ناحیه اتصال مجدد آن

در شکل‌های (۹) و (۱۰)، تغییرات طول و عرض ناحیه جدایی جریان در ترازهای مختلف عمقی برای شعاع انحناهای متفاوت نشان داده شده است. همانطور که مشاهده می‌شود، با افزایش شعاع انحنا، محدوده‌های طول و عرض ناحیه جدایی جریان نیز افزایش می‌یابد.



شکل (۹): تغییرات طول ناحیه جدایی جریان در ترازهای مختلف عمقی برای شعاع انحناهای مختلف و آبشکن مستغرق ۲۵ درصد

• سرعت عرضی جریان با افزایش شعاع انحناء نسبی کانال، افزایش چشم‌گیری می‌یابد و محل بیشترین سرعت عرضی در بالادست بال آبشکن سرسپری قرار دارد.

• هر چه شعاع نسبی انحناء کمتر باشد، ناحیه وسیع‌تری در پایین‌دست آبشکن دارای سکون نسبی جریان خواهد بود.

• با افزایش شعاع انحناء محدوده طول و عرض ناحیه جداشدگی جریان نیز افزایش خواهد یافت.

• در نسبت شعاع انحناء ۲، ۳، ۴ و ۵ و در پایین‌دست آبشکن، گردابه‌های تشکیل شده در مرکز کانال، به ترتیب در ۳۹، ۳۲، ۳۴ و ۳۰ سانتی‌متری از ساحل داخلی تشکیل می‌گردد.

• در مقطع طولی به فاصله ۳۰ درصدی جان آبشکن از دیواره خارجی قوس، دو گردابه ساعتگرد کوچک در بالا و پایین جان آبشکن در نسبت شعاع انحناء ۲ و ۳ تشکیل شده است.

• انحراف خطوط جریان به سمت ساحل داخلی، در تراز نزدیک به کف با افزایش شعاع انحناء، افزایش یافته است.

• با افزایش شعاع انحناء، ابعاد گردابه‌های تشکیل شده در فاصله ۵ درصدی عمق جریان از کف، کاهش می‌یابد.

منابع

- صفرزاده گندشمین، ا. ۱۳۸۳. مدل‌سازی عددی جریان ثانویه در قوس رودخانه. سمینار کارشناسی ارشد، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه تربیت مدرس.
- واقفی، م. و م. قدسیان. ۱۳۸۹. مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر متحرک. نشریه مهندسی عمران و نقشه‌برداری دانشکده فنی دانشگاه تهران، دوره ۴۴، شماره ۲، ص ۲۷۶-۲۶۵.
- واقفی، م.، م. قدسیان و س. ع. ا. صالحی نیشابوری. ۱۳۸۷. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان کمی اطراف آبشکن T شکل در قوس ۹۰ درجه با بستر صلب. مجله علمی-پژوهشی دانشگاه تبریز، جلد ۳۷، شماره ۳، ص ۸۱-۸۷.
- واقفی، م.، م. قدسیان و س. ع. ا. صالحی نیشابوری. ۱۳۸۸. بررسی آزمایشگاهی اثر شعاع انحناء و موقعیت استقرار آبشکن های T شکل در قوس ۹۰ درجه بر میزان آبشستگی اطراف آن‌ها. مجله علمی-پژوهشی هیدرولیک ایران، دوره ۴، شماره ۱، ص ۹۱-۱۰۷.
- Acharya, A., A. Acharya and J. G. Duan. 2011. Three Dimensional Simulation of Flow Field around Series of Spur Dikes. International Refereed Journal of Engineering and Science (IRJES), 2(7): 36-57.
- Ahmad, M. 1951. Spacing and protection of spurs for bank protection. Civil Engineering and Publication review, 46(1): 3-7.
- Ahmad, M. 1951. Experiments on Design and Behavior of Spur dikes. Proc. Of Cong. Of IAHR: 145-159.
- Duan, J. G., L. He, X. Fu and Q. Wang. 2009. Mean flow and turbulence around experimental spur dike. Advances in Water Resources, 32(12): 1717-1725.
- Fazli, M., M. Ghodsian and S. A. A. Salehi Neyshaboori. 2008. Scour and Flow Field around a Spur Dike in 90 Degree Bend. International Journal of Sediment Research, 23: 56-68.
- Flow Science, Inc. 2008. Flow-3D User's Manual, 9.3 editions.

- Ghodsian, M. and M. Vaghefi. 2009. Experimental study on scour and flow field in a scour hole around a T shape spur dike in a 90 degree bend. *Journal of Sediment Research*, 24(2):145-158.
- Giri, S., Y. Shimizu and B. Surajata. 2004. Laboratory Measurement and Numerical Simulation of Flow and Turbulence in a Meandering-Like Flume with Spurs. *Flow Measurement and Instrumentation*, 15: 301-309.
- Nagata, N., T. Hosoda and T. Nakato. 2005. Three-Dimensional Numerical Model for Flow and Bed Deformation around River Hydraulic Structures. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 131(12): 1074-1087.
- Naji Abhari, M. N., M. Ghodsian, M. Vaghefi and N. Panahpur. 2010. Experimental and numerical simulation of flow in a 90 bend, *Flow Measurement and Instrumentation*, 21(3): 292-298.
- Soliman, M. M., K. M. Attia, Kotb, A. M. Talaat and A. F. Ahmed. 1997. Spur Dike Effects on the River Nile Morphology after High Aswan Dam. *Congress of the International Association of Hydraulic Research, IAHR*, 120(9): 125-146.
- Tingsanchali, T. and S. Maheswaran. 1990. 2-D Depth-Averaged Flow Computation near Groin. *Journal of Hydraulic Engineering, ASCE*, 116(1): 71-86.
- Vaghefi, M., M. Ghodsian and S.A.A. Salehi Neyshaboori. 2009. Experimental Study on the Effect of a T-Shaped Spur Dike Length on Scour in a 90 degree channel bend. *The Arabian Journal for Science and Engineering*, 34(2B): 337-348.
- Vaghefi, M., M. Ghodsian and S.A.A. Salehi Neyshaboori. 2012. Experimental Study on Scour around a T-Shaped Spur Dike in a Channel Bend. *Journal of Hydraulic Engineering*, Vol. 138, No.5, pp. 471-474.
- Vaghefi, M., M. Ghodsian and A. Adib. 2012. Experimental Study on the Effect of Froude Number on Temporal Variation of Scour around a T-shaped Spur Dike in a 90 Degree Bend. *Applied Mechanics and Materials*, 147: 75-79.
- Yazdi, J., H. Sarkardeh, H. M. Azamathulla and A. A. Ghani. 2010. 3D simulation of flow around a single spur dike with free-surface flow. *International Journal of River Basin Management*, 8(1): 55-62.

Numerical investigation of Radius of Curvature on Flow Pattern around a Submerged T-shaped Spur Dike

M.Vaghefi^۱, H.Zerehpoushan shirazi^۲, M.Akbari^۳

Abstract

Spur dike is one of the various hydraulic structures used in rivers, and are utilized in order to protect river banks, keeping the flow away from the walls, and directing them towards the main route. Due to flow digression, a turbulent circulation zone appears around the spur dike. Consequently, in order to prevent local scour, they use a wider, T-shaped nose for the spur dike. In this paper, a study on flow pattern around a 25 percent submerged T-shaped spur dike, located in a 45 degree position, in a 90 degree bend with rigid bed, and various relative radius of curvature 2, 3, 4, and 5, with a constant discharge of 25 lit/s has been conducted using Flow-3D software. Numerical results have been compared with experimental results, and they have been analyzed. The results indicate that with an increase in radius of curvature, the number of vortexes in cross sections near the wing of the spur dike, as well as lateral velocity of the flow increases, and the maximum lateral velocity is found upstream of the wing of the T-shaped spur dike. It was also observed that the less the relative radius of curvature is, the wider zone downstream of the spur dike has relative immobility of the flow.

Keywords: Flow Pattern, Flow-3D, Radius of Curvature, Submerged T-shaped Spur Dike, 90° Bend.

¹ Assistant Professor of Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran; Vaghefi@pgu.ac.ir

² M.Sc. Graduate, Civil Engineering Department, Islamic Azad University, Bushehr, Iran; hadizerehpoushshirazi@gmail.com

³ M.Sc. Student of Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Persian Gulf University, Bushehr, Iran; makbari@mehr.pgu.ac.ir