

مطالعه عددی بررسی تأثیر فاصله و زاویه آبشکن‌ها بر توزیع سرعت متوسط و موقعیت حداکثر

سرعت در قوس ۹۰ درجه ملایم

یاسر اهلی^۱، مرتضی بختیاری*^۲ و مسیح مر^۳

(۱) کارشناس ارشد، گروه مهندسی رودخانه، دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

(۲) استادیار، گروه مهندسی دریا دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

(۳) مربی، گروه مهندسی دریا دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر، خرمشهر، ایران.

* نویسنده مسئول: mortezabakhtiari@yahoo.com

تاریخ پذیرش: ۹۵/۰۷/۱۹

تاریخ دریافت: ۹۵/۰۳/۳۰

چکیده

استفاده از آبشکن به عنوان یکی از ساده‌ترین راهکارهای حفاظت از سواحل همواره مورد توجه مهندسين رودخانه بوده است. در تحقیق حاضر هدف، بررسی عددی تأثیر پارامترهای فاصله و زاویه قرارگیری آبشکن‌ها بر الگوی توزیع سرعت متوسط و موقعیت سرعت حداکثر در شرایط قوس ۹۰ درجه ملایم بوده است بدین منظور از نرم‌افزار ANSYS CFX برای شبیه‌سازی عددی رفتار جریان و جهت کالیبراسیون مدل یاد شده از نتایج داده‌های آزمایشگاهی برداشت شده سه بعدی سرعت در تحقیق بختیاری و همکاران (۲۰۱۳) استفاده شده است. متغیرهای تحقیق حاضر دو طول آبشکن معادل ۱۵ و ۲۵ درصد عرض کانال آزمایشگاهی، سه فاصله قرارگیری معادل ۳، ۵ و ۷ برابر طول آبشکن، در دو زاویه قرارگیری قائم و جاذب در عمق ۳ سانتی‌متر از بستر بوده است که در یک فلوم با نسبت $R/B = 4$ ، عرض ۰/۷ متر و عمق آب ۰/۱۲ متر مورد بررسی قرار گرفت. نتایج صحت‌سنجی مدل حاکی از مطابقت مناسب میان نتایج مدل عددی و آزمایشگاهی می‌باشد. نتایج نشان می‌دهد در شرایط با افزایش فاصله میان آبشکن‌ها سرعت جریان میان آبشکن‌ها افزایش یافته و همچنین منجر به افزایش سرعت در دماغه آبشکن‌ها در حدود ۷۵ سانتی‌متر در ثانیه می‌گردد. همچنین نتایج نشان می‌دهد با قرارگیری آبشکن‌ها به صورت جاذب حداکثر سرعت به سمت قوس خارجی و داغه آبشکن‌ها کشیده می‌شود لذا در این حالت مخرب‌ترین حالت برای آبشکن‌ها می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: آبشکن، توزیع سرعت متوسط، حداکثر سرعت، نرم افزار ANSYS CFX و قوس ۹۰ درجه ملایم.

مقدمه

مکانیزم رودخانه‌ها به گونه‌ای است که مقطع یک رودخانه به مرور زمان دچار تغییرات شدید می‌گردد. این تغییرات بویژه در قوس رودخانه‌ها مشهودتر است. فرآیندهای فرسایش ساحل به طور مستقیم به مهاجرت جانبی آبراهه‌های آبرفتی مربوط می‌شود. اندرکنش نیروهای فعال حاصل از جریان آب و نیروهای مقاوم به جریان ناشی از مواد بستر باعث فرسایش ساحل می‌شود. در قوس رودخانه، نیروهای هیدرودینامیکی جریان‌های ثانوی را بوجود می‌آورند که خطوط جریان سطحی را به سمت ساحل بیرونی و خطوط جریان نزدیک به بستر را به سمت ساحل داخلی منحرف می‌سازند. در مقطع جریان در امتداد قائم، خطوط جریان مجاور ساحل بیرونی بطرف پایین و خطوط جریان پشته متمرکز داخلی به طرف بالا هستند در نتیجه پایداری ذره در نزدیکی ساحل خارجی بهم می‌خورد و بستر رودخانه گود می‌شود و از طرف دیگر در مجاورت پشته متمرکز داخلی به پایداری ذره اضافه می‌شود و تراز بستر افزایش پیدا می‌کند. آبشستگی در پنجه ساحل خارجی، خط‌القعر را به سمت ساحل بیرونی قوس جابجا می‌کند و شیب ساحل را افزایش می‌دهد که در نهایت به شکست ساحل منتهی می‌شود. نظر به اهمیت موضوع حفاظت از سواحل، محققین متعددی در سالیان گذشته به بررسی حفاظت سواحل توسط سازه آبشکن پرداخته‌اند که در این بخش به مهم‌ترین و جدیدترین آنها اشاره می‌شود. Gini و همکاران (۲۰۰۴) با بررسی آزمایشگاهی و عددی جریان و آشفتگی در نهر پایه‌داری شبیه به پیچان رودها با وجود آبشکن‌های غیرمستغرق پرداختند. ایشان سرعت جریان را با تغییرات موقعیت آبشکن‌ها تعیین کرده و میدان گردابه و شدت آشفتگی را به صورت دو بعدی اندازه گرفتند. Zhang و Shen (۲۰۰۸) یک مدل عددی سه بعدی جریان در کانال قوسی را ارائه دادند. ایشان 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 و همکاران (۲۰۰۹) 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 و Vaghefi (۲۰۰۹) 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 ۹۰ درجه ملایم پرداختند و با تحلیل داده‌های سرعت سه بعدی حاصل از آزمایش‌ها نتیجه گرفتند که با قرار دهی آبشکن در موقعیت‌های مختلف یک گردابه در خلاف جهت عقبه‌های ساعت در بالادست و یک گردابه در خلاف جهت عقبه‌های ساعت در پایین‌دست آبشکن ظاهر می‌شود همچنین افزایش طول بال آبشکن‌ها سبب افزایش طول ناحیه‌ی جدایی جریان و افزایش اندازه گردابه‌های ایجاد شده می‌شود. Duan و همکاران (۲۰۰۹) با استفاده از یک سرعت‌سنج ADV داده‌های سه بعدی سرعت را در یک کانال مستقیم با حضور یک آبشکن مستطیلی بدست آورده و در دو میدان جریان کف صاف و کف با چاله آبشستگی 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 و همکاران (۲۰۰۹) لگوی 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 و همکاران (۲۰۱۳) با استفاده از مدلسازی دوبعدی و مدل‌های آشفتگی متفاوت یک قوس ۹۰ درجه 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 و همکاران (۲۰۱۶) با استفاده از نرم‌افزار FLUENT الگوی جریان سه بعدی 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.

مواد و روش‌ها

معرفی نرم‌افزار ANSYS

این نرم‌افزار نیز یکی از نرم‌افزارهای بسیار پر قدمت در تحلیل‌های CFD است که به دلیل توانمندی‌های بالا و قابلیت کاربری آسان، کاربران بسیاری دارد. انتشار نسخه ابتدایی این نرم‌افزار مربوط به سال ۱۹۹۶ بوده که بعدها با خریداری نرم‌افزار TASC FLOW، قادر به انجام شبیه‌سازی بر روی شبکه‌های بدون سازمان نیز شد. هدف اولیه آن انجام شبیه‌سازی‌هایی مربوط به فیزیک‌های هسته‌ای بوده است. نرم‌افزار CFX نیز در حال حاضر، متعلق به خانواده Ansys بوده و بر پایه دیدگاه حجم محدود و میان‌یابی المان محدود، با مقادیر ذخیره شده در گره‌های محاسباتی استفاده می‌کند. استفاده از این نرم‌افزار، خصوصاً در جریان‌های توربوماشینری و آیرودینامیکی، موجب دستیابی سریع به نتایجی دقیق می‌گردد. به همین دلیل استفاده از حلگر کوپل و ذخیره‌سازی مقادیر در نقاط شبکه، نیازمند حافظه موقت بالاتری نسبت به نرم‌افزار فلوئنت است. همچنین به دلیل استفاده از روش حل کوپل شبه‌گذرا در فیزیک‌های پایا، از همگرایی نسبتاً بالاتری در مقایسه با فلوئنت برخوردار است. البته این روش حل از نسخه ۱۴، به نرم‌افزار فلوئنت نیز اضافه شد لیکن به نظر می‌رسد، توانایی آن در بهبود همگرایی حل در مقایسه با نرم‌افزار CFX پایین‌تر است گسترش مدل‌های آشفتگی آن در مقایسه با نرم‌افزار فلوئنت کمی بیش‌تر بوده لیکن در فیزیک‌های خاص مانند جریان در هندسه‌های دارای مرز متحرک و همچنین فیزیک‌های واکنشی فلوئنت در مقایسه با آن از توانایی بالاتری برخوردار است. می‌توان گفت در حال

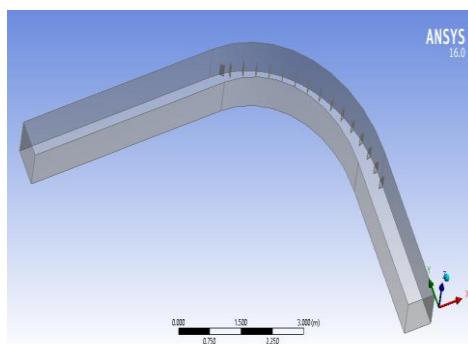
حاضر بیشتر کاربران این نرم افزار کاربران صنعتی بوده و درمقایسه با فلونتت در برخی از صنایع و خصوصاً سازندگان تجهیزات دوار، استفاده از آن بیشتر است. بخش های مختلف نرم افزار Ansys CFX عبارتند از:

Geometry: در این قسمت به وسیله ابزارهای موجود، هندسه کانال طراحی شد و هندسه مورد نظر قبل از مش‌بندی، در محیط Design Modeler از لحاظ داشتن نقص‌های احتمالی و کیفیت طراحی، کنترل شد. سپس هندسه ایجاد شده در قسمت Mesh، مش‌بندی شده و کیفیت مش‌بندی نیز مورد ارزیابی قرار گرفت. در ادامه گزارش کنترل کیفیت هندسه و مش‌بندی آورده شده است. **Setup:** در این قسمت مشخصات جریان، شرایط مرزی، به نرم‌افزار معرفی شد. **Solution:** در این قسمت بعد از بازبینی اطلاعات وارد شده، از نرم‌افزار Run گرفته شد. **Results:** در این قسمت نتایج حاصل از تحلیل، برای بحث و نتیجه‌گیری قابل مشاهده است.

شبیه سازی

ایجاد هندسه و شبکه‌بندی میدان حل

برای مدل‌سازی هندسه‌ی کانال مورد نظر، با استفاده از دو نرم افزار اتوكد و سالیدورک رسم و در (شکل ۱) نشان داده شده است. بعد از ایجاد هندسه مدل، در سیستم Geometry، نرم‌افزار ANSYS، امکان کنترل کیفیت هندسه ایجاد شده را به کاربر می‌دهد و اشکالات احتمالی موجود در هندسه ایجاد شده را لیست کرده و به کاربر نشان می‌دهد تا کاربر آنها را، قبل از وارد شدن به مرحله تحلیل، اصلاح نماید. با اجرای دستور Fault Detection و انتخاب کل هندسه، اشکال و ایرادی برای هندسه ایجاد شده وجود نداشت و هندسه مدل برای انجام بقیه مراحل تحلیل به سیستم Mesh انتقال داده شد.



شکل ۱: هندسه ایجاد شده در نرم افزار اتوكد و سالیدورک

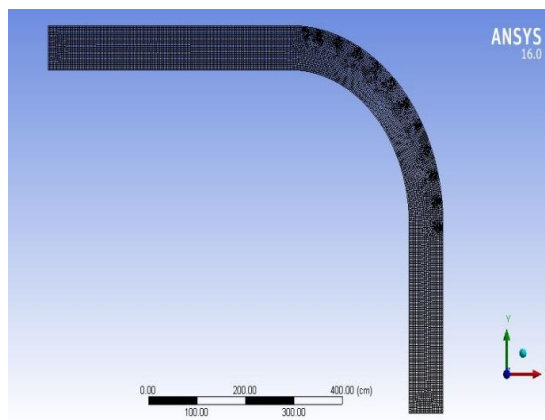
شبکه بندی

مش بندی محدوده ی جریان. دقت حل مسأله به تعداد سلول‌های موجود در شبکه بستگی دارد و اصولاً شبکه‌های غیریکنواخت، با تعداد سلول‌های مختلف در قسمت‌های مختلف بدنه بسته به موقعیت آن، در حل یک مسأله قابلیت

بیشتری دارند. البته باید در نظر داشت که ایجاد چنین شبکه ای بستگی به عوامل مختلفی از جمله نوع مدل اغتشاشی، شکل ظاهری مدل مانند مقطع عرضی، نوع مسأله‌ی مورد بررسی و مواردی از این قبیل دارد. رفع خطاهای موجود در حل مسأله از طریق تغییر در شبکه و بهینه نمودن آن صورت می پذیرد و در اکثر موارد تغییر شبکه شامل ریزتر نمودن آن در قسمت های مورد نیاز است تا جایی که نتایج حاصل مستقل از ابعاد سلولهای موجود در شبکه شوند و نتایج کلیدی تغییر نکنند. این امر به کمک سعی و خطا و تکرار حل در دفعات مکرر با شبکه بندی های متفاوت حاصل می شود. در این مطالعه برای شبکه بندی محدوده ی جریان نیز از قسمت Mesh در نرم افزار Ansys CFX بهره گرفته شد. برای مش بندی در قسمت های مستقیم کانال که از اهمیت کمتری نسبت به قوس کانال از شبه بندی درشت تر به اندازه ۵ سانتی متر و برای داخل قوس سه سانتی متر و برای اطراف آبشکن یک سانتی متر استفاده شد. تعداد گره ها و المان های موجود در کل حجم به ترتیب ۵۴۸۷۲۶ و ۳۱۴۰۹۸۹ می باشد.

کنترل کیفیت مش بندی مدل

برای کنترل مش بندی در نرم افزار ANSYS از سیستم مستقل Mesh استفاده می شود. برای این کار و از قسمت Component systems نرم افزار ANSYS یک سیستم Mesh، به محیط Project Schematics، فرا خوانده شد. بعد از انتقال هندسه مدل به سیستم Mesh، مش بندی مدل انجام شد و کیفیت مش بندی کنترل شد. نتایج آمار مش بندی با استفاده از قسمت Statistics قابل مشاهده است. از این گزینه جهت مشاهده و ارزیابی کیفیت مش بندی استفاده می شود. همان طور که در شکل نشان داده شده است، در قسمت Orthogonal Quality مقادیر Max, Min, Average، به ترتیب برابر ۰/۹۹۱۱۹، ۰/۹۳۰۳۲، ۰/۴۳۳۱۱ می باشد. برای یک مش بندی با کیفیت عالی، مقدار Average باید برابر یک باشد و هر چه قدر این مقدار به یک نزدیک تر باشد، نشان دهنده کیفیت مناسب مش بندی است (شکل ۲).



شکل ۲: مش بندی هندسه کانال

شرایط مرزی

شرایط مرزی در ورودی کانال (Inlet)

با توجه به این که جریان در مدل مورد نظر در هر سه حالت برای دبی های ۲۵، ۳۴،۴ و ۳۸ سانتی متر مکعب زیر بحرانی ($Fr < 0.26$ ، 0.35 ، 0.39) است، لذا توجه به نکات یاد شده در بالا، محاسبه عمق جریان در ورودی به نرم افزار واگذار شده و از شرط مرزی مقدار مشخص برای سرعت در این مقطع استفاده شده است این شرط مرزی برای جریان های تراکم ناپذیر مورد استفاده قرار می گیرد. در جریان های تراکم پذیر استفاده از این شرط مرزی به نتیجه های غیر فیزیکی منتهی خواهد شد.

شرایط مرزی در خروجی کانال (Outlet)

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.

شرایط مرزی جداره های کانال (Wall)

شرط مرزی دیوار برای محدود کردن نواحی سیال با جامد به کار می رود در مسأله مورد نظر، جداره ها شامل کف و دو دیواره کانال می باشد. برای صحت سنجی براساس مدل آزمایشگاهی موجود، مسطح (Smooth Wall) در نظر گرفته می شود.

شرایط مرزی سطح آزاد (Opening)

جریان با سطح آزاد به یک حالت جریان چند فازی اطلاق می شود که فازها به کمک یک سطح مشترک مشخص از هم جدایی شوند. مثلهایی از جریان های با سطح آزاد شامل جریان کانال های روباز، مسائل خاکریزی مخازن و بسیاری از موارد دیگر است. جریان های با سطح آزاد با مدل های همگن باید در مواردی که امکان پذیر است استفاده شوند. جریان های با سطح آزاد با مدل غیرهمگن می توانند برای پذیرفتن جدایش دو فاز جریان استفاده شوند. در این نرم افزار برای سطح آزاد جریان از شرط مرزی (Opening) استفاده می شود. نرم افزار Ansys CFX شرط (Opening) را به دلیل وجود دو فاز آب و هوا در سطح مشترک این دو نوع سیال در نظر می گیرد.

الگوی مدل سازی

همانگونه که بیان شد، هدف از این تحقیق بررسی تأثیر پارمترهای فاصله و زاویه قرارگیری آبشکن‌ها بر الگوی پارامترهای هیدرولیکی جریان از جمله توزیع سرعت متوسط و موقعیت سرعت حداکثر در قوس ۹۰ درجه ملایم در شرایط

هیدرولیکی متفاوت می‌باشد. بدین منظور اقدام به مدلسازی برای سناریوهای مختلف شد. که در قالب دو طول آبشکن ۱۵ و ۲۵ درصد عرض کانال، دو زاویه قرارگیری قائم (عمود) و جاذب و سه فاصله طولی میان آبشکن‌ها (۳، ۵ و ۷ برابر طول آبشکن) در دو عمق ۳ سانتی‌متر از بستر انجام پذیرفت. در جدول ۱ الگوی مدل‌های تهیه شده ارائه شده است. به منظور صحت سنجی و کالیبراسیون مدل تهیه شده از داده‌های برداشت شده سه بعدی سرعت که بر روی یک مدل فیزیکی در آزمایشگاه سازه‌های آبی دانشگاه شهید چمران اهواز توسط Bakhtiari و همکاران (۲۰۱۲) انجام شده است، استفاده شد. در (جدول ۱) الگوی آزمایش‌های انجام شده در قالب تحقیق آزمایشگاهی یاد شده ارائه شده است.

جدول ۱: الگوی انجام آزمایش‌های بخش صحت سنجی

حالت	زاویه (α)	طول (cm)	فاصله طولی	دبی (lit/s)	عمق جریان (cm)
۱	۹۰	۱۰/۵	۳	۳۰	۱۲
۲	۹۰	۱۴	۳	۳۰	۱۲
۳	۹۰	۱۷/۵	۳	۳۰	۱۲
۴	۹۰	۱۰/۵	۷	۳۰	۱۲
۵	۶۰	۱۷/۵	۳	۳۰	۱۲
۶	۱۲۰	۱۰/۵	۳	۳۰	۱۲

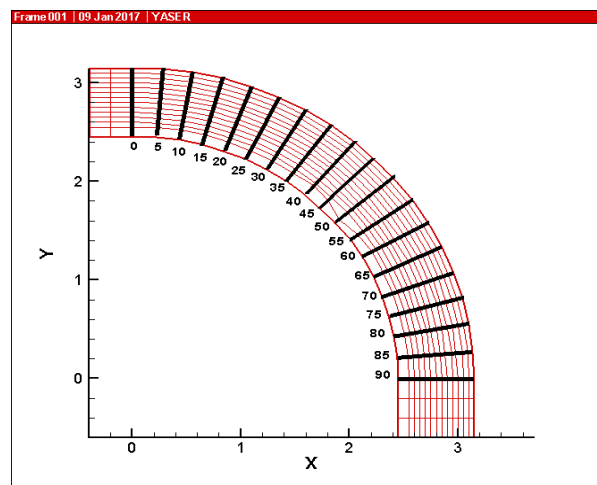
فلوم آزمایشگاهی مورد استفاده جهت مدلسازی عددی با قوس ۹۰ درجه با نسبت شعاع انحنای مرکزی به عرض فلوم ۴ و مقطع عرضی مستطیلی استفاده شد. جداره کانال از جنس پلکسی گلاس و جنس کف گالوانیزه می‌باشد. عرض فلوم ۰/۷ متر، شعاع خارجی قوس ۳/۱۵ متر و طول راستای مستقیم کانال در بالادست و پایین دست به ترتیب ۵ و ۳ متر می‌باشد. با توجه به نسبت R/B 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.



شکل ۳: فلوم قوسی مورد استفاده جهت مدل‌سازی‌ها

در این مطالعه در تمام آزمایش‌ها عمق جریان برابر ۱۲ سانتی‌متر بوده و تراز سطح آب و همچنین میزان دبی ورودی

به صورت پیوسته در تمام طول آزمایش کنترل می‌شد. سرعت‌ها در اطراف آبشکن‌ها و مقاطع عرضی معین توسط دستگاه سرعت سنج سه بعدی الکترومغناطیس JEF ALEC برداشت شد. زمان نمونه برداری بسته به موقعیت نقاط متفاوت بوده و نمونه برداری با فرکانس ۲۰ مگاهرتز 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 سانتیمتر از دیواره‌ها در ابتدا و انتها و ۵ سانتی‌متر از یکدیگر تقسیم شد. همچنین به منظور بررسی جامع تری از الگوی جریان، سرعت‌ها در دو عمق ۳ و ۹ سانتیمتر از کف اندازه‌گیری شد. شکل ۴ نمایی از وضعیت مقاطع یاد شده ارائه شده است.



شکل ۴: طرح شماتیک از مقاطع مختلف طول کانال

برای محاسبه سرعت متوسط با استفاده از داده‌های سه بعدی سرعت از (رابطه ۱) استفاده شده است که در آن u ، v و w مولفه‌های طولی، عرضی و عمقی سرعت می‌باشند. برای محاسبه سرعت متوسط با استفاده از داده‌های سه بعدی سرعت از (رابطه ۲) استفاده شده است که در آن u ، v و w مولفه‌های طولی، عرضی و عمقی سرعت می‌باشند.

$$\bar{V}_r = \sqrt{u^2 + v^2 + w^2} \quad \text{رابطه ۱:}$$

جهت محاسبه تنش برشی از روابط زیر استفاده شده است.

$$\tau_{bx} = \frac{\rho g}{c^2} \bar{U} \sqrt{\bar{U}^2 + \bar{V}^2} \quad \text{رابطه ۲:}$$

$$\tau_{by} = \frac{\rho g}{c^2} \bar{V} \sqrt{\bar{U}^2 + \bar{V}^2} \quad \text{رابطه ۳:}$$

$$\tau_b = \sqrt{\tau_{bx}^2 + \tau_{by}^2} \quad \text{رابطه ۴:}$$

که در آن \bar{U} و \bar{V} به ترتیب متوسط سرعت در جهت‌های X و Y (متر بر ثانیه)، τ_{bx} و τ_{by} به ترتیب تنش برشی بستر در جهات X و Y (نیوتن بر متر مربع) و ρ و g به ترتیب دانسیته سیال و ضریب گرانش و C ضریب شزی است.

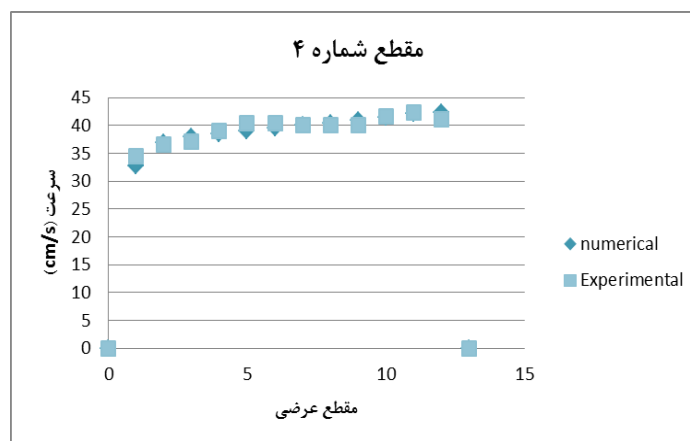
نتایج و بحث

صحت سنجی مدل عددی

به منظور انجام صحت سنجی مدل عددی تهیه شده مطابق جدول ۲، اقدام به تهیه شش مدل عددی شد سپس نتایج بدست آمده با نتایج تحقیق آزمایشگاهی مقایسه شد. شکل‌های ۵ و ۶ مقایسه میان مدل عددی و مدل آزمایشگاهی تهیه شده در برخی مقاطع عرضی را نشان می‌دهد.



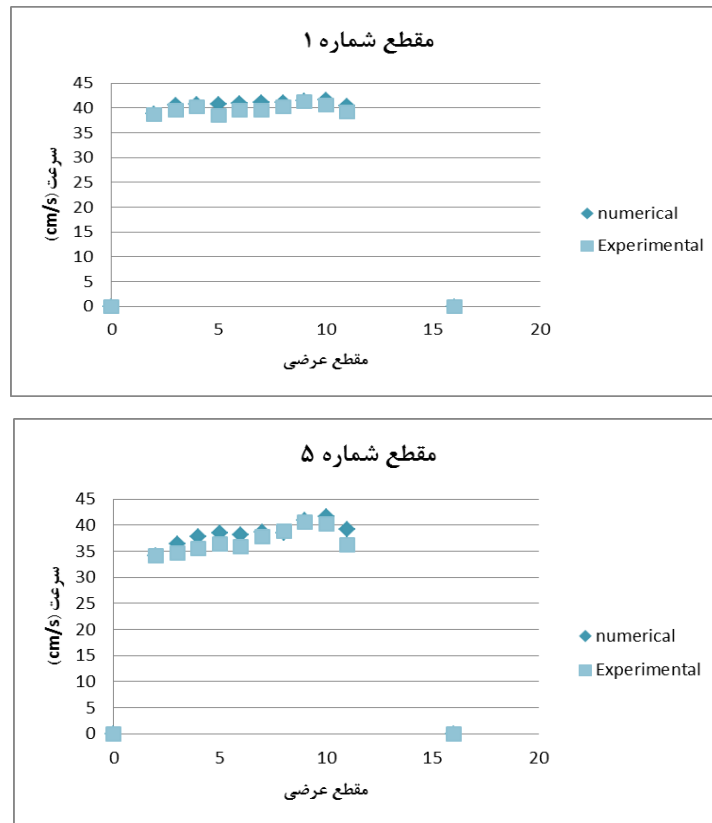
(الف)



(ب)

شکل ۵: مقایسه مقادیر سرعت در حالت مدل عددی و تحقیق آزمایشگاهی در شرایط بدون حضور آبشکن الف)

مقطع شماره ۱، ب) مقطع شماره ۴



شکل ۶: مقایسه مقادیر سرعت در حالت مدل عددی و تحقیق آزمایشگاهی در شرایط حضور آبشکن

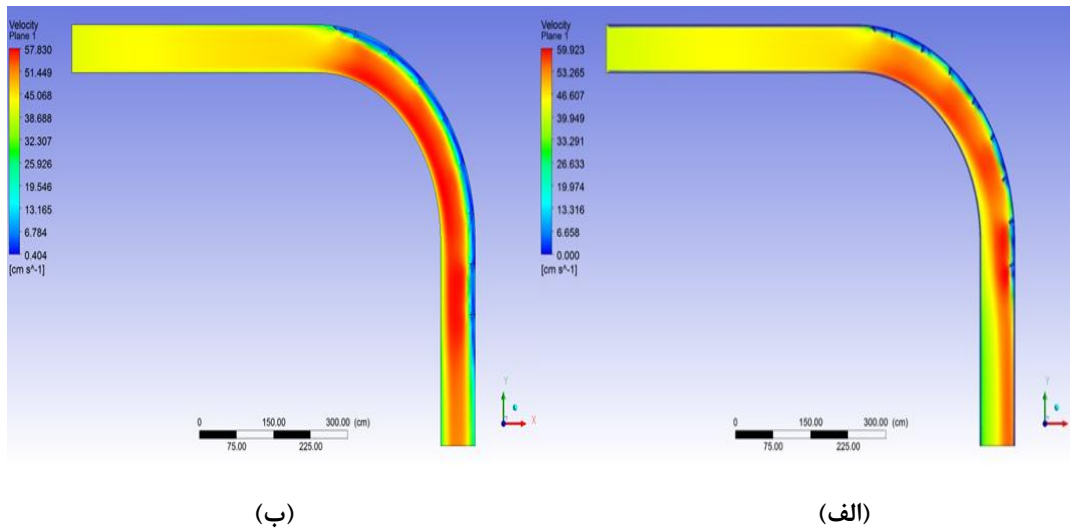
$$\alpha = 60^\circ, \lambda = 3, b = 17.5 \text{ cm}$$

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 درصد بوده است ولی حد مجاز تا اختلاف حدود ۱۰ درصد بر اساس سطح معنی‌دار اختلاف‌ها در نظر گرفته شده است.

اثر زاویه قرارگیری آبشکن‌ها بر الگوی توزیع سرعت متوسط

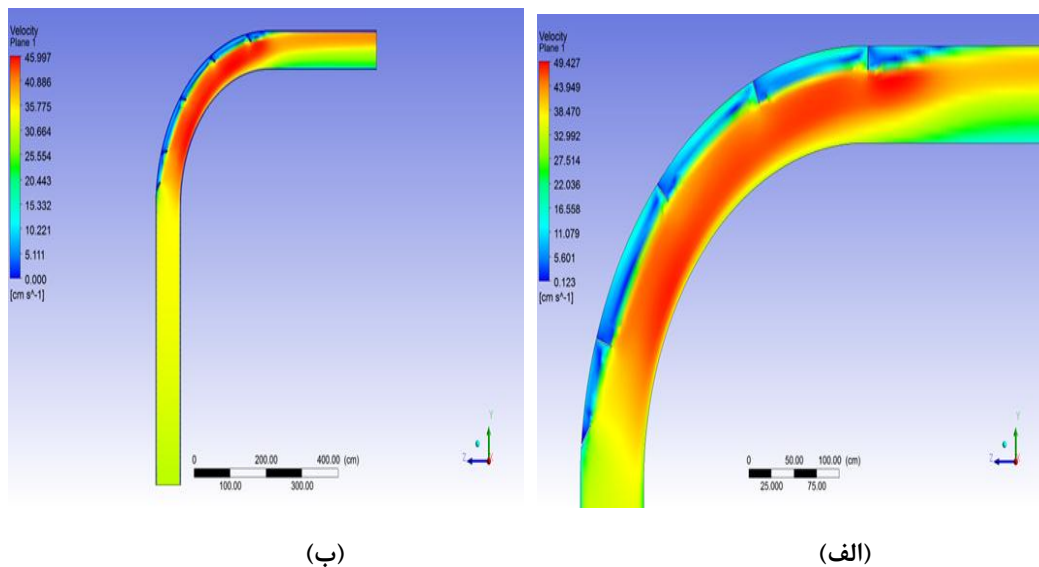
شکل‌های ۷ تا ۹ الگوی توزیع سرعت متوسط را در پلان برای آبشکن‌هایی با شرایط مختلف نشان داده شده است. روند بدست آمده در صورت تغییر در زاویه قرارگیری آبشکن‌ها تقریباً مشابه یکدیگر است. همانگونه که در شکل مشخص است. در شروع قوس در دیواره داخلی سرعت افزایش یافته و ناحیه پرسرعت در مجاورت دیواره داخلی و ناحیه کم‌سرعت در مجاورت دیواره خارجی به وجود می‌آید بررسی‌ها نشان می‌دهد در حالت استفاده از آبشکن‌های جاذب موجب می‌گردد حداکثر سرعت متوسط به سمت قوس خارجی حرکت نماید. در ابتدای قوس نواحی پرسرعت در مجاورت دیواره داخلی هستند ولی با نزدیک شدن به انتهای قوس و بعد از زاویه حدود ۴۰ درجه بسمت دیواره‌ی خارجی متمایل می‌شوند، به‌گونه‌ای که بیشینه‌ی سرعت در قوس، در یک سوم انتهایی و در مجاورت دیواره خارجی آن مشاهده می‌شود. در یک سوم

ابتدائی 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 اجتناب ناپذیر است. نتایج تحقیق Shaker و Kashefipour (۲۰۱۴) نیز تغییرات زیاد سرعت در دماغه آبشکن‌ها را نشان می‌دهد.



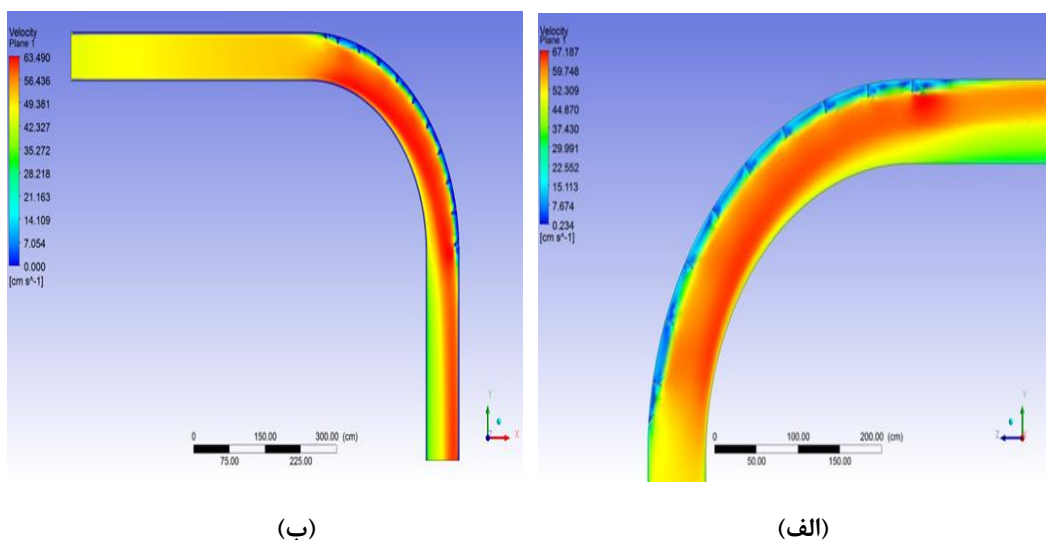
شکل ۷: الگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در حالت بکارگیری آبشکن‌های قائم و جاذب در شرایط

$$Q = 34.4 \text{ lit/s}, \lambda = 7, b = 10.5 \text{ cm}$$



شکل ۸: الگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در حالت بکارگیری آبشکن‌های قائم و جاذب در شرایط

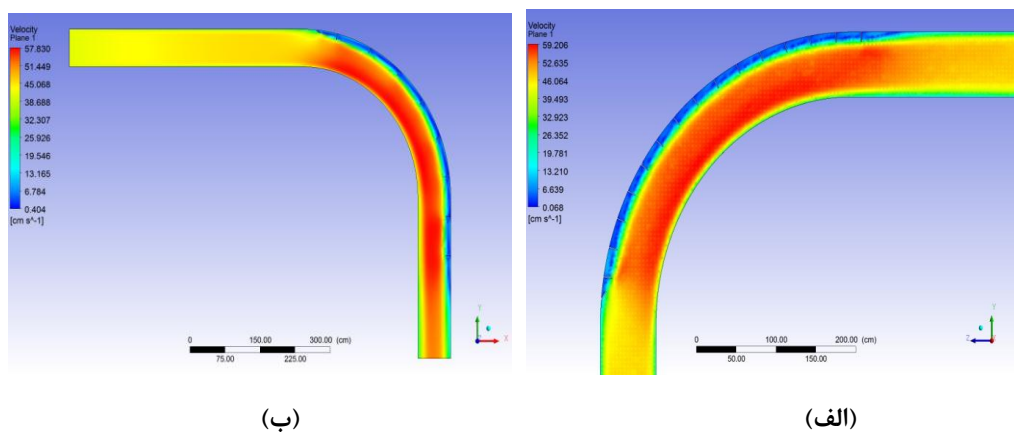
$$Q = 25 \text{ lit/s}, \lambda = 7, b = 17.5 \text{ cm}$$



شکل ۹: لگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در حالت بکارگیری آبشکن‌هایی در شرایط
 $Q = 38 \text{ lit/s}, \lambda = 5, b = 10.5 \text{ cm}$ در دو صفحه با فاصله (الف) قائم و (ب) جاذب

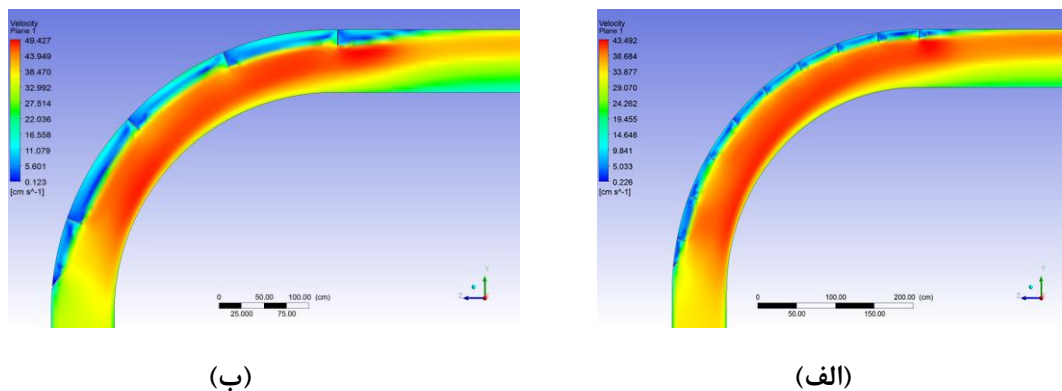
بررسی اثر فاصله آبشکن‌ها بر لگوی توزیع سرعت متوسط

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ اثر فاصله قرارگیری آبشکن بر توزیع سرعت متوسط در شرایط طول و دبی ثابت با دبی متغیر را نشان می‌دهد.



شکل ۱۰: لگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در حالت بکارگیری آبشکن‌های قائم (الف)
 $Q = 34.4 \text{ lit/s}, \lambda = 7, b = 10.5 \text{ cm}$ (ب) و $Q = 34.4 \text{ lit/s}, \lambda = 3, b = 10.5 \text{ cm}$

شکل‌های ۱۰ و ۱۱ تأثیر فاصله طولی بر توزیع سرعت متوسط را 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.



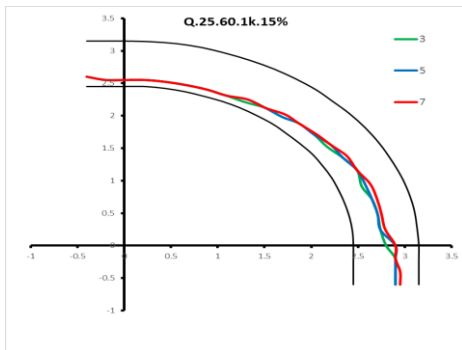
شکل ۱۱: الگوی توزیع سرعت متوسط در قوس در حالت بکارگیری آبشکن‌های قائم (الف)

$$Q = 25 \text{ lit/s}, \lambda = 7, b = 17.5 \text{ cm} \text{ (ب) و } Q = 25 \text{ lit/s}, \lambda = 3, b = 17.5 \text{ cm}$$

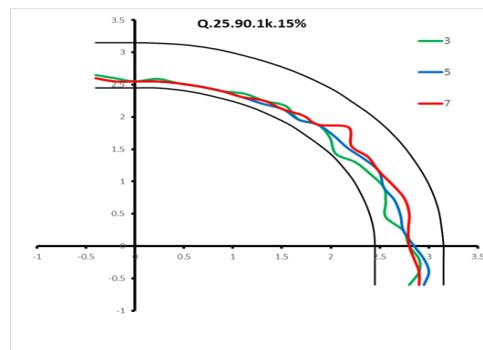
بررسی نتایج نشان می‌دهد در این شکل به دلیل حضور آبشکن‌ها در کمی بد از انتهای قوس سرعت‌های بیشینه در انتهای قوس به سمت میانه کانال منحرف می‌شود. همچنین با افزایش فاصله میان آبشکن‌ها سرعت‌های بالا در فضای میان آبشکن‌ها نفوذ کرده که این نتیجه با نتایج Shaker و Kashefipour (۲۰۱۴) تطابق دارد.

بررسی تأثیر همزمان فاصله و زاویه قرارگیری آبشکن‌ها بر موقعیت سرعت بیشینه

در شکل‌های ۱۲ تا ۱۴ به بررسی تأثیر همزمان فاصله و زاویه قرارگیری آبشکن‌ها بر موقعیت حداکثر سرعت متوسط پرداخته شده است. به منظور بررسی تأثیر آبشکن‌ها بر موقعیت سرعت بیشینه ابتدا مولفه‌های سه‌بعدی سرعت استخراج شد سپس با محاسبه سرعت متوسط موقعیت بیشینه‌ی سرعت متوسط در صفحه با فاصله ۳ سانتی‌متر از بستر ترسیم شد. بررسی نتایج بدست آمده نشان می‌دهد بعد از ورود جریان به قوس تا زاویه ۱۰ درجه سرعت در نزدیکی دیواره داخلی است سپس در زاویه حدود ۲۰ تا ۳۰ درجه سرعت بیشینه به سمت آبشکن‌ها متمایل می‌شود و دوباره بعد از این زاویه به دیواره داخلی نزدیک می‌شود و تا حدود زاویه ۴۰ درجه نزدیک دیواره داخلی قوس است و بعد از این ناحیه به تدریج از دیواره داخلی فاصله گرفته و به سمت میانه‌ی کانال و سپس به طرف دیواره خارجی حرکت می‌کند و در انتهای قوس و ابتدای قسمت مستقیم پایین دست موقعیت سرعت ماکزیمم به دیواره خارجی قوس متمایل می‌شود. لازم به ذکر است نتیجه بدست آمده تقریباً با نتیجه تحقیق Naji Abhari و همکاران (۲۰۱۰) مطابقت دارد. ایشان در تحقیقی که روی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه انجام دادند نتیجه گرفتند که سرعت‌های بیشینه تا زاویه ۳۰ درجه نزدیک به دیواره داخلی هستند و بعد از آن به سمت دیواره خارجی قوس متمایل می‌شوند.



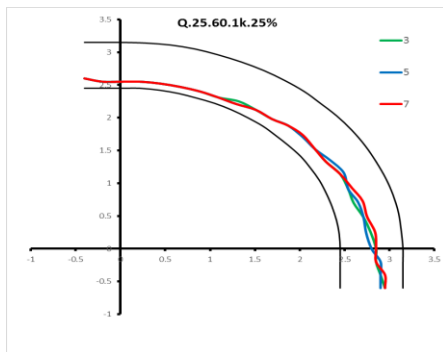
(ب)



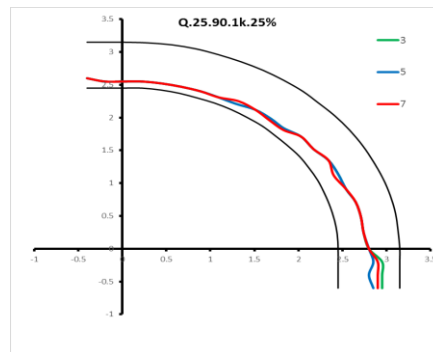
(الف)

شکل ۱۲: موقعیت سرعت بیشینه در حالت بکارگیری آبشکن‌های قائم و جاذب در شرایط

$$Q = 25 \text{ lit/s}, b = 10.5 \text{ Cm}$$



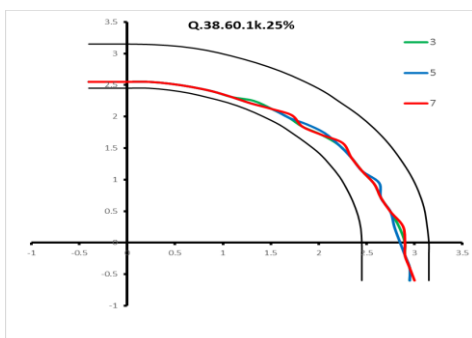
(ب)



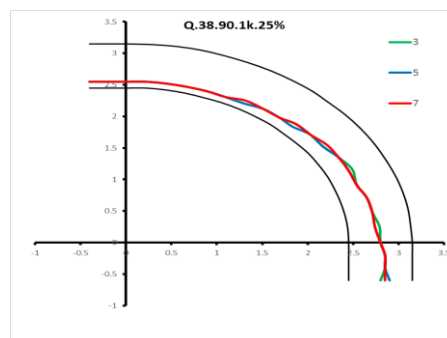
(الف)

شکل ۱۳: موقعیت سرعت بیشینه در حالت بکارگیری آبشکن‌های قائم و جاذب در شرایط

$$Q = 25 \text{ lit/s}, b = 17.5 \text{ Cm}$$



(ب)



(الف)

شکل ۱۴- موقعیت سرعت بیشینه در حالت بکارگیری آبشکن‌های قائم و جاذب در شرایط

$$Q = 38 \text{ lit/s}, b = 17.5 \text{ Cm}$$

نتیجه گیری

همانگونه که بیان شد هدف از مطالعه حاضر بررسی تأثیر فاصله و زاویه قرارگیری آبشکن‌ها بر الگوی توزیع سرعت متوسط و موقعیت حداکثر سرعت در شرایط قوس ملایم ۹۰ درجه با استفاده از مدل عددی ANSYS می‌باشد. بدین منظور اقدام به تعریف الگوی مدلسازی جهت اجرای مدل شد. جهت کالیبراسیون مدل از داده‌ای آزمایشگاهی Bakhtiari و همکاران (۲۰۱۲) استفاده شد. سپس اقدام به مدلسازی شد. پس از استخراج داده‌های سرعت در سه بعد، سرعت متوسط، الگوی توزیع سرعت متوسط، موقعیت بیشینه سرعت متوسط در مقاطع مختلف کانال استخراج و ترسیم شد. نتایج حاصل از تحقیق را می‌توان به این صورت خلاصه نمود: با افزایش فاصله میان آبشکن‌ها عمدتاً سرعت بین آنها نیز افزایش یافته است. آبشکن جاذب مخرب ترین حالت کاربرد آبشکن هاست هم از نظر ناپایداری دیواره داخلی و خارجی و قوس و هم از نظر ناپایداری سازه‌ی آبشکن زیرا از طرفی با افزایش طول آبشکن و به تبع آن سرعت جریان در قوس، نواحی با سرعت زیاد در نزدیکی دیواره‌ی داخلی قوس از یک سوم میانی قوس تا انتهای آن بوجود می‌آید که سبب ناپایداری و فرسایش آن می‌شوند. با افزایش فاصله میان آبشکن‌ها اندازه‌ی گردابه‌ها بزرگتر شده و گردابه‌ها به شکل کامل‌تری تشکیل می‌شوند. همچنین نتایج حاصل از تحقیق حاضر با مطالعه‌ی Ghodsian و همکاران (۲۰۰۹). صورت گرفته است مطابقت دارد. این نتیجه مشترک بدین صورت می‌باشد که، قرار دادن آبشکن در قوس سبب دور شدن سرعت بیشینه از دیواره خارجی قوس می‌شود.

سپاسگزاری

بدینوسیله نویسندگان این مقاله از دانشگاه علوم و فنون دریایی خرمشهر به جهت ایجاد شرایط انجام تحقیق حاضر، سپاسگزاری می‌نمایند.

منابع

- Bakhtiari, M., Kashefipour S. M. and M. Ghomeshi (2012).** investigation on effect of geometric parameters of spur dike and depth-placed riprap for protection of spur dike in 90° bend, Ph.D. thesis, Shahid Chamran university of Ahwaz, Iran.
- Shaker. E, Kashefipour. S.M. (2014).** Experimental investigation The Effect of Length, Angle location of Rectangular Spur Dike on velocity distribution and shear stress at 90 degree bend. Journal of scientific agriculture. 38, 3, pp: 1-12
- Ghodsian, M. (2010).** Investigation Scouring, sedimentation and flow pattern around the abutment at a 90 degree bend, Final report research plan, Water resource management of Iran.

- Zahiri, J., Kashefipour, S. M., Shafaiebajestan, M and Ghomieshi, M. (2011).** The Effect of riprap Geometric parameters at spur dike protection at 90 degree bend, *Journal of science and irrigation Engineering*, 35, 4, pp:49-58
- Vaghefi, M. Ghodsiyan, M. Soleimani, B. and Akbari, M. (2014).** Numerical investigation bend curvature radius on flow pattern around T-shape spur dike at 90 degree bend with rigid bed. *Journal of water management*, 7, 53.
- Duan J, Li, H, Xudong, X and Wang, W. (2009).** Mean flow and turbulence around experimental spur dike. *advances in water resources* , 32, pp: 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. *International Journal of Sediment Research* 24: 145-158.
- Giri, S., Shimizu, Y. and Surajata, B. (2004).** Laboratory measurement and numerical simulation of flow and turbulence in a meandering-like flume with spurs. *Flow Measurement and Instrumentation*, 15, pp: 301-309.
- Huang, S. L., Jia, Y. F., Chan, H. C., and Wang, S. S. Y. (2009).** Three dimensional numerical modeling of secondary flows in a wide curved channel. *Journal of Hydrodynamics*, 21, 6, pp: 758–766.
- Naji Abhari, M. Ghodsian, M. Vaghefi, M. and Panahpur, N. (2010).** Experimental and numerical simulation of flow in a 90 degrees bend. *Flow Measurement and Instrumentation* 21, pp: 292-298.
- Ramamurthy, A., Han, S., and Biron, P. (2013).** Three-dimensional simulation parameters for 90° open channel bend flows. *Journal of Computing in Civil Engineering*, 27, 3, pp: 282–291.
- Zhang, M. L., & Shen, Y. M. (2008).** Three dimensional simulation of meandering river based on 3-D $k - \epsilon$ (RNG) turbulence model. *Journal of Hydrodynamics*, 20(4), 448–455.
- Yazdi, J. Sarkardeh, H. Azamathulla H.M. and Ghani, A.A. (2009).** 3D simulation of flow around a single spur dike with free-surface. *International Journal of River Basin Management*, 8, pp: 55-62.
- Yazdi, J., Sarkardeh, H. and Azamathulla, H. (2016).** 3D simulation of flow around a single spur dike with free-surface flow” *International Journal of River Basin Management*, *International Journal of River Basin Management*, 8, 1, pp: 55–62.