

تأثیر زاویه استقرار آبشکن T شکل در قوس بر الگوی جریان با استفاده از مدل عددی (FLOW-3D)

محمد واقفی^{1*}، علی خوشابی²، مریم اکبری³، مسعود قدسیان⁴

تاریخ دریافت: 1394/12/18 تاریخ پذیرش: 1395/7/28

چکیده

در این تحقیق الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل مستقر در کانال قوسی 90 درجه با استفاده از نرم‌افزار FLOW-3D در شرایط تغییر موقعیت آبشکن در طول قوس (زاویه‌های: 15، 30، 45، 60 و 75 درجه) با بستر صلب مورد بررسی قرار گرفت. بدین منظور ابتدا نتایج حاصل از شبیه‌سازی عددی در شرایط مشابه (در زاویه استقرار 45 درجه) با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شد. نتایج این مقایسه نشان داد که نتایج عددی و آزمایشگاهی از تطابق نسبتاً مناسبی برخوردارند. بنابراین پس از تأیید صحت نتایج عددی، به بررسی خطوط جریان، طول نواحی جدایی و اتصال مجدد جریان و طول گردابه‌ها تحت تأثیر موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن پرداخته شد. نتایج حاصل از مدل‌سازی عددی نشان داد که در لایه‌های نزدیک به کف و سطح آب، برای تمامی زوایای استقرار آبشکن به جز موقعیت 75 درجه، در پایین دست آبشکن یک گردابه پادساعت‌گرد تشکیل شده است. علاوه بر این، با تغییر موقعیت آبشکن از ورودی کانال به سمت خروجی کانال، در لایه نزدیک به کف کانال بیش‌ترین طول گردابه (به طول 4/7 برابر طول آبشکن) برای حالت استقرار آبشکن در موقعیت 15 درجه و کم‌ترین طول گردابه (به طول 1/9 برابر طول آبشکن) در موقعیت 75 درجه رخ داده است.

واژه‌های کلیدی: آبشکن T شکل، الگوی جریان، زاویه استقرار آبشکن، قوس 90 درجه، موقعیت آبشکن

مقدمه

یکی از انواع سازه‌های هیدرولیکی پرکاربرد هستند که جهت جلوگیری از فرسایش ساحل رودخانه‌ها و ساماندهی آن‌ها به کار می‌روند.

جریان‌های ثانویه در قوس و یا در هنگام برخورد جریان به هر گونه مانعی از قبیل آبشکن در رودخانه‌ها، تابع اختلاف فشار در سطح آب و کف بستر، نیروی گریز از مرکز و اصطکاک دیواره‌ها و کناره‌ها می‌باشد (قدسیان و همکاران، 1387). با توجه به پیچیده بودن الگوی جریان در اطراف آبشکن‌های مستقر در قوس رودخانه‌ها، درک هیدرولیک جریان در قوس رودخانه، مطالعه جریان‌های ثانویه، سرعت‌های طولی و عرضی، قدرت جریان‌های ثانویه، آشفتگی جریان و پیچیدگی آن توجه بسیاری از محققین را به خود جلب نموده است. در این راستا در چند دهه گذشته محققان زیادی به بررسی عوامل متعدد تأثیرگذار بر الگوی جریان پیرامون آبشکن‌ها پرداخته‌اند. در ادامه به بررسی تعدادی از تحقیقات انجام شده در رابطه با الگوی جریان و آبستتگی پیرامون آبشکن‌های مستقر در رودخانه‌ها پرداخته می‌شود.

احمد به بررسی الگوی جریان و آبستتگی در اطراف آبشکن‌های منفرد پرداخت و به همین دلیل آبشکن‌ها را تحت زاویه‌های مختلف از 30 تا 150 درجه نسبت به بستر بالادست در فلوام مستقیم قرار داد

رودخانه پدیده‌ای فعال می‌باشد که مدام بستر و کناره‌های خود را دست‌خوش تغییر قرار داده و همین امر سبب می‌شود که مسیر رودخانه در طول زمان دچار تحولات اساسی شود. علاوه بر این، پاره‌ای از فعالیت‌های انسان نظیر بهره‌برداری از مصالح رودخانه‌ای و همچنین اصلاح مسیر رودخانه‌ها، موجب جابجایی مسیر رودخانه‌ها خواهد شد. از زمان‌های گذشته، ضرورت بهره‌برداری مستقیم انسان از رودخانه و سرمایه‌های طبیعی و حادثاتی در دو طرف آن و نیز ضرورت حفاظت پایدار سامانه حیاتی رودخانه برای نسل‌های آینده باعث گردیده تا مساله کنترل و مهار رودخانه‌ها و تعیین حدود و حریم آن مورد توجه قرار گیرد (محسنی مهر و همکاران، 1394). آبشکن‌ها

1 - دانشیار سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده فنی و مهندسی، دانشگاه خلیج فارس، بوشهر

2 - کارشناس ارشد مهندسی عمران، منطقه ده عملیات انتقال گاز ایران، بوشهر

3 - دانشجوی دکتری مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی

عمران، دانشگاه علم و صنعت ایران، تهران

4 - استاد هیدرولیک، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست، دانشگاه تربیت

مدرس، تهران

* - نویسنده مسئول: (Email: Vaghefi@pgu.ac.ir)

چاله آبشستگی می‌گردد. هم‌چنین آن‌ها معادلات جدیدی برای محاسبه پارامترهای چاله آبشستگی ارائه نمودند (Ghodsian and Vaghefi, 2009; Vaghefi et al., 2009-2012). آچاربا و همکاران به مطالعه عددی سه‌بعدی الگوی جریان آشفته پیرامون سری آبشکن‌های تیغه‌ای واقع در مسیر مستقیم با بستر ثابت و متحرک با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D پرداختند. آن‌ها از مدل آشفستگی k-ε برای مدل‌سازی استفاده نمودند و نتایج حاصل از مدل‌سازی را با نتایج آزمایشگاهی مقایسه نمودند (Achary et al., 2011). واقفی و همکاران به صورت عددی اثر عدد فرود و درصد استغراق بر الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل در قوس 90 درجه را با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D بررسی نمودند و نتیجه گرفتند که با افزایش عدد فرود در پایین دست آبشکن، فاصله جریان‌های بازگشتی از جان آبشکن حدود 10 درصد بیش‌تر می‌شود و هم‌چنین در نزدیکی دیواره داخلی با افزایش استغراق آبشکن، سرعت طولی به نصف سرعت اولیه کاهش می‌یابد. ایشان هم‌چنین با استفاده از نرم‌افزار SSIIM به مطالعه تاثیر پارامتر طول بال به جان آبشکن سرسپری مستقر در قوس 90 درجه بر الگوی آبشستگی پرداختند و نشان دادند که چاله آبشستگی اصلی تا حدود 0/67 عرض کانال نسبت به ساحل خارجی پیشروی کرده است (Vaghefi et al., 2014-2015). الیاسی و همکاران (1394) به بررسی الگوی جریان پیرامون آبشکن سرسپری در کانال قوسی 90 درجه تحت تاثیر تنگ‌شدگی‌های مختلف با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D پرداختند. نتایج شبیه‌سازی‌های آن‌ها نشان داد که با افزایش تنگ‌شدگی مقطع، نوسانات سطح آب نیز بیش‌تر شده و بیش‌ترین ارتفاع در بالادست و کم‌ترین ارتفاع در پایین دست مربوط به آبشکن با ابعاد بزرگ‌تر است. علاوه بر این، گردابه‌ها نیز در طول بیش‌تری از قوس در ناحیه پایین دست آبشکن ظاهر شده‌اند. واقفی و همکاران به مطالعه عددی اثر استغراق بر تغییرات الگوی جریان پیرامون آبشکن کوتاه در قوس پرداختند و نتیجه گرفتند که با افزایش درصد استغراق، طول و عرض ناحیه جدایی جریان به ترتیب حدود 1/5 و 1/6 برابر حالت غیرمستغرق می‌باشد (Vaghefi et al., 2016). رادان و واقفی (1394) الگوی جریان پیرامون آبشکن سرسپری جاذب و دافع را با استفاده از نرم‌افزار SSIIM مورد بررسی قرار دادند. نتایج مدل‌سازی‌های آن‌ها نشان داد که با افزایش درصد استغراق، قدرت جریان ثانویه در حالت دافع، کاهش و در حالت جاذب افزایش می‌یابد. علاوه بر این، در حالت دافع نسبت به حالت جاذب خطوط جریان در بالادست آبشکن بیش‌تر منحرف می‌شوند.

علی‌رغم مطالعات فراوان انجام شده در زمینه درک هیدرولیک جریان در قوس رودخانه‌ها، تاکنون مطالعه‌ای در زمینه تاثیر موقعیت قرارگیری آبشکن‌های T شکل در قوس رودخانه به صورت عددی صورت نگرفته است. بدین منظور، در این تحقیق به بررسی تاثیر

و مشاهده نمود با افزایش زاویه ذکر شده از 90 درجه سرعت نسبی جریان کاهش می‌یابد (Ahmad, 1951-1953). تینگسانچالی و ماهسواران الگوی جریان و تنش برشی حول آبشکن را در کانال مستقیم و با بستر صلب، به صورت عددی مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها برای بررسی صحت نتایج عددی، اطلاعات خروجی از نرم‌افزار را با داده‌های آزمایشگاهی راجاراتنام و ناواچوکو مقایسه نمودند (Tingsanchali and Maheswaran, 1990; Rajaratnam and Nwachukwu, 1983). چن و ایکادا مطالعاتی در خصوص ناحیه چرخشی ایجاد شده توسط توده‌های رسوبی انباشته شده ماسه‌ای در امتداد رودخانه کلرادو انجام دادند و بیان کردند که میدان جریان در اطراف آبشکن به چهار ناحیه اصلی تقسیم می‌شود (Chen and Ikeda, 1997). یوجتوال با تحقیق بر روی میدان جریان پیرامون یک آبشکن نتیجه گرفت که نسبت طول به عرض میدان آبشکن می‌تواند بیانگر تعداد و شکل گردابه‌های نمایان شده در ناحیه جریان ایستا باشد و هنگامی که این نسبت نزدیک به یک باشد، یک گردابه ایجاد می‌شود (Uijtewaal, 2001). گیری و همکاران به صورت آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان و آشفستگی در فلومی شبیه به رودخانه‌های مائندری را با وجود آبشکن‌های غیرمستغرق شبیه‌سازی کردند. آن‌ها به اندازه‌گیری سرعت جریان با تغییر موقعیت آبشکن‌ها پرداختند و میدان گردابه‌ها و شدت آشفستگی را به صورت دو بعدی اندازه‌گیری نمودند (Giri et al., 2001). دوان و همکاران به مطالعه ساختار جریان‌های متوسط و 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 مولفه تنش‌های قائم رینولدز با عبور از مقطع آبشکن تشدید شده و حداکثر تنش در عمق میانی کانال اتفاق می‌افتد (Duan et al., 2009). ابهری و همکاران به مطالعه‌ی آزمایشگاهی و عددی الگوی جریان حول آبشکن در قوس 90 درجه با بستر صلب در شرایط تغییر موقعیت آبشکن مستقیم در طول کانال و هندسه‌ی ثابت آبشکن پرداختند. آن‌ها مشاهده نمودند که خطوط جریان در تراز نزدیک به بستر به سمت جداره داخلی و در تراز نزدیک سطح آب به سمت جداره خارجی متمایل می‌شود. هم‌چنین محل وقوع حداکثر سرعت طولی در ابتدای قوس، در نیمه داخلی مقطع و سپس به سمت دیواره خارجی کانال جابه‌جا می‌شود (Abhari et al., 2010). قدسیان و واقفی، واقفی و همکاران به مطالعه آزمایشگاهی الگوی جریان و آبشستگی حول آبشکن T شکل مستقر در قوس 90 درجه تحت تاثیر پارامترهایی مانند طول جان، طول بال و موقعیت آبشکن در قوس و نیز شعاع انحنای قوس پرداختند. نتایج بیانگر این است که افزایش طول آبشکن، کاهش طول بال آبشکن، افزایش عدد فرود و تغییر موقعیت آبشکن به سمت پایین دست قوس، باعث افزایش ابعاد

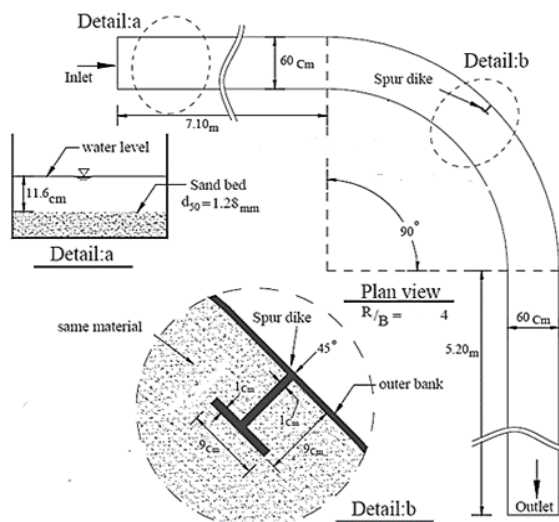
قوس به عرض کانال برابر 4 ارتفاع آن 70 سانتی متر و عرض آن نیز 60 سانتی متر است. کف کانال صلب و از رسوبات یکنواخت در کف استفاده شده است. بدین منظور مصالح بستر را از ماسه طبیعی رودخانه‌ای انتخاب نموده که قطر میانگین رسوبات 1/28 میلی‌متر و دانسیته نسبی رسوبات نیز 2/35 می‌باشد. دبی جریان در آزمایشات ثابت و برابر با 25 لیتر بر ثانیه است. آبشکن مورد استفاده در آزمایشات به صورت صفحات مستطیلی با پلان T شکل در نظر گرفته شده که ضخامت آن 1 سانتی متر و ارتفاع آن نیز 30 سانتی متر می‌باشد. همچنین طول آبشکن نیز 9 سانتی متر و برابر با طول بال آبشکن و معادل 15 درصد عرض کانال در نظر گرفته شده است. این آبشکن به صورت قائم و غیرمستغرق در موقعیت 45 درجه و در قوس خارجی مستقر شده است. شکل 1 پلان کانال آزمایشگاهی و آبشکن موجود در آن را با جزئیات مربوطه نشان می‌دهد.

موقعیت قرارگیری آبشکن T شکل مستقر در قوس 90 درجه بر تغییرات الگوی جریان با استفاده از نرم‌افزار Flow-3D پرداخته شده است. در این راستا، ابتدا نتایج حاصل از شبیه‌سازی با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده و پس از تایید صحت نتایج عددی، به بررسی خطوط جریان در مقاطع مختلف عرضی و پلان پرداخته شده است. بحث در مورد طول نواحی جدایی و اتصال مجدد جریان و طول گردابه‌ها از دیگر موارد مطرح شده در این مقاله می‌باشد.

مواد و روش‌ها

معرفی مدل آزمایشگاهی

آزمایش‌های مورد نظر توسط واقفی و همکاران (1387) در کانالی با قوس 90 درجه در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس تهران انجام گرفت. این کانال دارای قوس 90 درجه به شعاع انحنای خارجی 2/7 متر و شعاع انحنای داخلی 2/1 متر می‌باشد. نسبت شعاع



شکل 1- پلان کانال آزمایشگاهی و مشخصات آن

است، ρ : چگالی سیال و R_{SOR} چگالی Source Term می‌باشد. معادله‌های مربوط به اندازه حرکت نیز به صورت رابطه 2 تا 4 می‌باشند:

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

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

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

که در آن، V_F : درصد حجم آب ورودی، P : فشار، (G_x, G_y, G_z) : شتاب جرمی در مختصات کارتزین، (f_x, f_y, f_z) : شتاب مربوط به

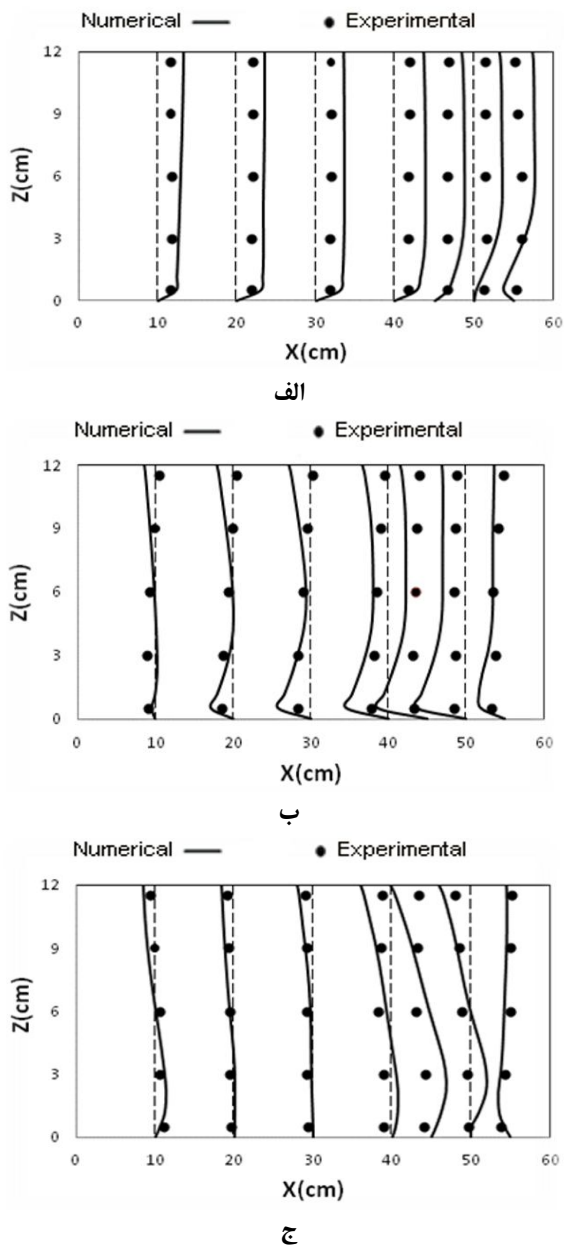
معرفی مدل عددی

نرم‌افزار Flow-3D یکی از نرم‌افزارهای قوی در زمینه‌ی دینامیک سیالات است که توسعه آن توسط Flow Science, Inc صورت گرفته است. این نرم‌افزار، قابلیت تحلیل یک، دو و سه‌بعدی میدان جریان را دارد. معادله‌های حاکم بر جریان سیال، معادله‌های پیوستگی و اندازه حرکت می‌باشند. معادله پیوستگی در دستگاه مختصات کارتزین (x, y, z) به صورت رابطه 1 می‌باشد:

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

که در آن، (u, v, w) : مولفه‌های سرعت جریان در جهت‌های (x, y, z) ، (A_x, A_y, A_z) : کسری از مساحتی هستند که مرتبط با سیال

آزمایشگاهی مولفه طولی سرعت بیانگر تطابق نسبتاً خوب داده‌های عددی و آزمایشگاهی بوده و تفاوت اندک این داده‌ها در نزدیکی ساحل خارجی نیز به دلیل استقرار آبشکن در این ناحیه و آشفتگی بیش از حد جریان می‌باشد.



شکل 2- مقایسه نمونه‌ای از داده‌های مولفه طولی سرعت در مدل‌های آزمایشگاهی و عددی در موقعیت استقرار آبشکن در زاویه 45 درجه و در مقطعی به فاصله 1/25 برابر طول آبشکن در بالادست: (الف) طولی 200 cm/s، (ب) عرضی 60 cm/s و (ج) عمقی 20 cm/s

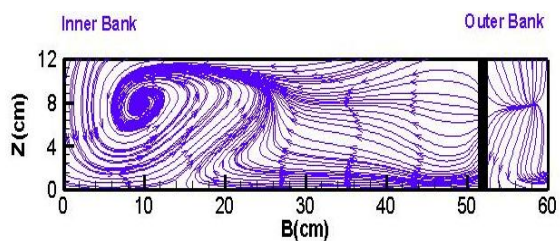
لزجت می‌باشد (Flow Science, Inc., 2008). نرم‌افزار Flow-3D، معادله‌های حاکم بر حرکت سیال را با استفاده از تقریب‌های احجام محدود حل می‌کند. محیط جریان به شبکه‌ای با سلول‌های مستطیلی ثابت تقسیم‌بندی می‌شود که برای هر سلول مقادیرهای میانگین کمیت‌های وابسته وجود دارد. در تحلیل مدل، از روش Explicit و مدل آشفتگی $k-\epsilon$ استفاده گردیده است. در این نرم‌افزار از دو تکنیک عددی برای شبیه‌سازی سطوح استفاده می‌شود: 1- روش حجم سیال: این روش برای نشان دادن رفتار سیال در سطح آزاد مورد استفاده قرار می‌گیرد. 2- روش کسر مساحت-حجم مانع: این روش برای شبیه‌سازی سطوح و احجام صلب مثل مرزها کاربرد دارد (Flow Science, Inc., 2008). در مدل حاضر، شش شرط مرزی در نظر گرفته شده است. در مرز ورودی، شرط دبی ثابت (Volume Flow Rate) برابر با 25 lit/s در دیواره‌ها و بستر کانال، شرط مرزی دیواره (Wall) و در مرز فوقانی کانال نیز شرط تقارن (Symmetry) به کار رفته است. در سطح آزاد نیز با استفاده از روش حجم سیال شبیه‌سازی صورت گرفته و در مرز خروجی نیز با توجه به معلوم بودن ارتفاع آب، شرط مرزی فشار مشخص (Specified Pressure) اعمال شده است. فشار هیدرواستاتیک در جهت z و همچنین ارتفاع کانال در پایین دست نیز جز شرایط اولیه برای انجام این مدل‌سازی‌ها در نظر گرفته شده‌اند (وفاقی و همکاران، 1394).

نتایج و بحث

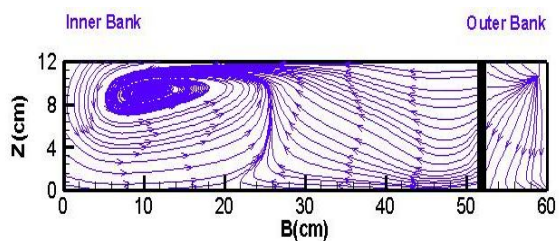
در این قسمت ابتدا برای حصول اطمینان از صحت نتایج به دست آمده از مدل‌سازی عددی، این نتایج با نتایج آزمایشگاهی در شرایط یکسان مقایسه و صحت‌سنجی شده است. سپس به بررسی خطوط جریان در مقاطع مختلف، طول نواحی جدایی و اتصال مجدد جریان و همچنین طول گردابه‌ها تحت تاثیر تغییر موقعیت آبشکن در قوس پرداخته شده است.

صحت‌سنجی

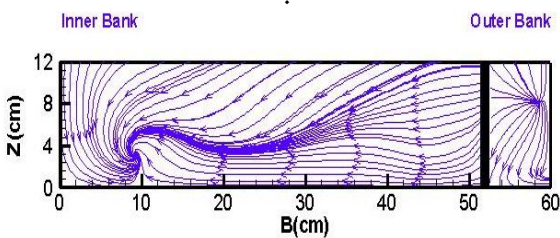
در شکل 2، پس از واسنجی مدل عددی به عنوان نمونه نتایج داده‌های آزمایشگاهی و عددی برای مولفه‌های سه بعدی سرعت جریان (مولفه‌های طولی، عرضی و عمقی) پیرامون آبشکن T شکل منفرد مستقر در موقعیت 45 درجه در مقطعی به فاصله 1/25 برابر طول آبشکن در بالادست نشان داده شده است. همان‌طور که ملاحظه می‌شود، مقطع ارائه شده در جلو دماغه بال آبشکن در بالادست می‌باشد. همان‌طور که در شکل 2-الف مشاهده می‌شود با فاصله گرفتن از دیواره داخلی کانال، سرعت طولی جریان در دو مدل عددی و آزمایشگاهی افزایش یافته است. بررسی مقادیر عددی و



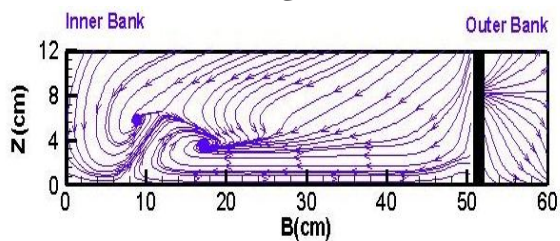
الف



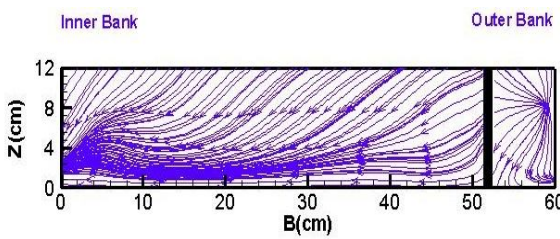
ب



ج



د



ه

شکل 3- نمونه‌ای از خطوط جریان در مقطع عرضی به فاصله معادل لبه بال آبشکن از بالادست برای استقرار آبشکن در موقعیت‌های: (الف) 15 درجه، (ب) 30 درجه، (ج) 45 درجه، (د) 60 درجه و (ه) 75 درجه از ورودی قوس

نمونه‌ای از خطوط جریان در مقطع عرضی به فاصله معادل لبه بال آبشکن از پایین دست برای موقعیت‌های مختلف استقرار آبشکن

در شکل‌های 2-ب و 2-ج وجود جریان‌های ثانویه در توزیع مولفه‌های عرضی و عمقی جریان در مدل‌های عددی و آزمایشگاهی کاملاً مشهود می‌باشد. با توجه به این شکل‌ها مشاهده می‌شود که در نیمه عرض کانال، داده‌ها از تطابق بسیار مناسبی برخوردارند اما پس از آن ضمن افزایش یافتن مولفه‌های سرعت، از تطابق داده‌های عددی و آزمایشگاهی نیز کاسته شده است.

اختلاف موجود بین داده‌های عددی و آزمایشگاهی را می‌توان به عوامل مختلفی از جمله ساده‌سازی‌های موجود در معادلات عددی، اختلاف موجود در مدل کردن هندسه بال آبشکن در حالت عددی و آزمایشگاهی و همچنین به خطاهای انسانی در برداشت داده‌های آزمایشگاهی در نزدیکی آبشکن به دلیل هندسه خاص آبشکن T شکل، استفاده از حسگرهای مختلف دستگاه سرعت‌سنج برای برداشت داده‌های سرعت پیرامون آبشکن و وجود جریان‌های بازگشتی و تشکیل گردابه‌ها در این منطقه مربوط دانست. با این وجود، توجه به این نکته ضروری است که مقطع انتخابی در شکل 2 کاملاً نزدیک به محل استقرار آبشکن و در محدوده بال بالادست آبشکن بوده و منطقه‌ای بسیار بحرانی محسوب می‌شود ولی در سایر مناطق قوس داده‌های عددی و آزمایشگاهی بسیار به هم نزدیک و منطبق می‌باشند. بنابراین می‌توان اظهار نمود که نتایج به دست آمده از نرم‌افزار Flow-3D و نتایج آزمایشگاهی از انطباق مناسبی برخوردار بوده و این نرم‌افزار از توانایی بالایی برای شبیه‌سازی الگوی جریان پیرامون آبشکن‌های موجود در قوس برخوردار می‌باشد.

خطوط جریان

در شکل 3، نمونه‌ای از خطوط جریان در مقطع عرضی به فاصله معادل لبه بال آبشکن از بالادست برای موقعیت استقرار آبشکن در زاویه‌های: 15، 30، 45، 60 و 75 درجه نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل مشاهده می‌شود، خطوط جریان پایین رونده در نزدیکی ساحل داخلی در برخورد با جریان‌های بالارونده در نیمه کانال، سبب تشکیل گردابه‌های پادساعت‌گرد شده‌اند.

در شکل 3-الف، این گردابه به طول 45 درصد عرض کانال تشکیل شده در حالی که در شکل 3-ب برای آبشکن در موقعیت 30 درجه، طول آن به 35 درصد عرض کانال تقلیل یافته و هر چه موقعیت آبشکن به سمت خروجی کانال پیش‌روی نموده، از طول این گردابه کاسته شده است، به طوری که در شکل 3-ه در موقعیت 75 درجه گردابه‌ای تشکیل نشده است. در پشت بال آبشکن نیز برای تمامی حالات جریان به دو دسته بالارونده و پایین‌رونده تقسیم شده است که جریان‌های پایین‌رونده تمایل به کف‌کنی و آبشستگی در محدوده مورد نظر را تقویت می‌کنند.

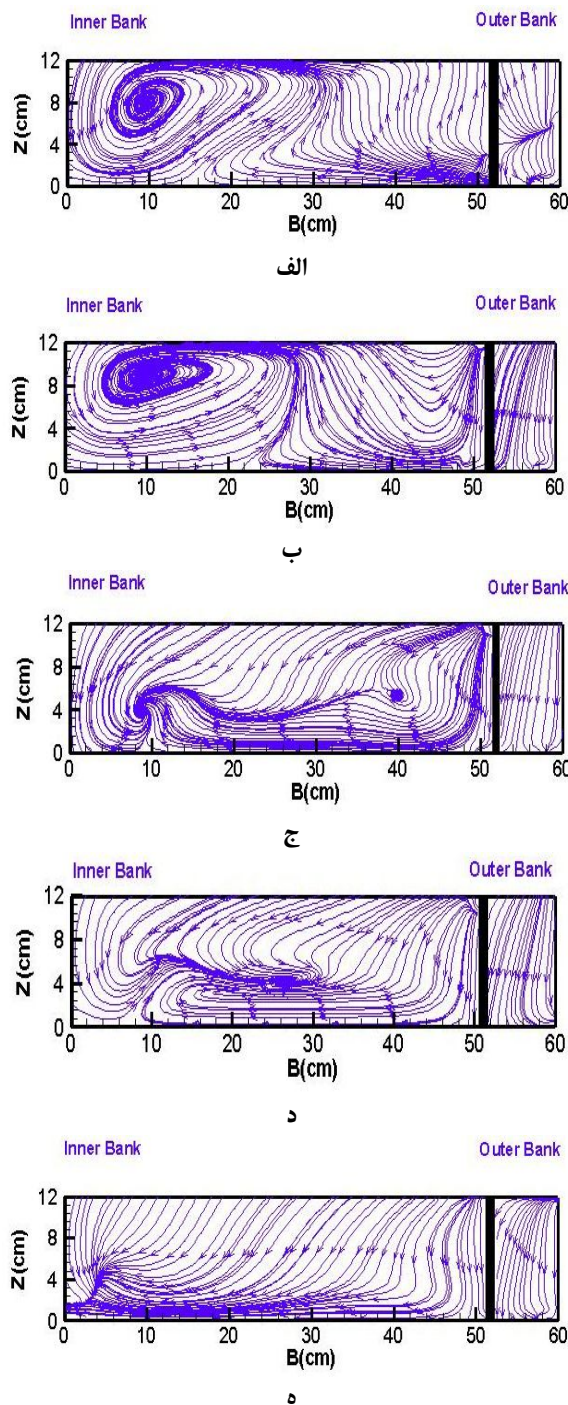
در شکل 4 ارائه شده است.

با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که خطوط جریان در محدوده بین ساحل خارجی و بال آبشکن به صورت پایین‌رونده هستند که این موضوع افزایش قدرت جریان‌های ثانویه و تنش برشی بستر در این ناحیه را تقویت می‌کند. علاوه بر این، با دور شدن از محل استقرار آبشکن در ورودی قوس و بررسی آبشکن‌هایی که در نیمه دوم قوس مستقر شده‌اند، ملاحظه می‌شود که خطوط جریان در نزدیکی و میانه عرض کانال از بالا رونده به پایین‌رونده تغییر جهت داده‌اند و این موضوع سبب شده که در زاویه‌های استقرار انتهایی قوس، گردابه کاملی تشکیل نشود (شکل‌های 4-د و 4-ه). نکته حایز اهمیت دیگری که در این شکل وجود دارد این است که از میان زاویه‌های استقرار مختلف، فقط زاویه 30 درجه (شکل 4-ب) تمایل به تشکیل گردابه ثانویه در نزدیکی سطح آب و در فاصله 10 تا 20 درصدی عرض کانال از ساحل خارجی را داشته است.

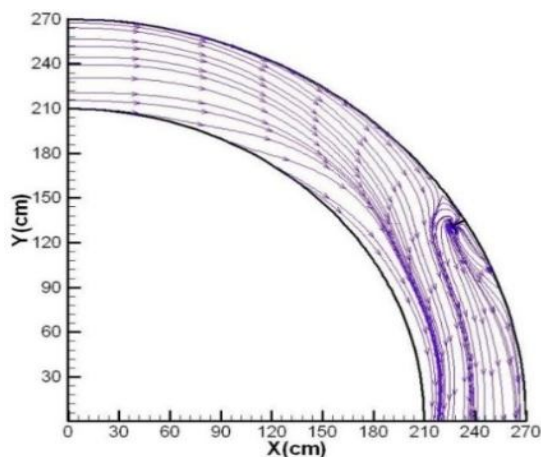
در شکل 5، نمونه‌ای از خطوط جریان در تراز 5 درصد عمق جریان از کف، برای موقعیت استقرار آبشکن در زاویه‌های: 15، 30، 45، 60 و 75 درجه نشان داده شده است. همان‌طور که در این شکل‌ها مشاهده می‌شود، خطوط جریان پس از برخورد به آبشکن بازگشت داده شده و بر خلاف جریان امتداد یافته و سبب ایجاد گردابه‌های پادساعت‌گرد در پایین دست آبشکن می‌شود.

مقایسه شکل‌های ارائه شده بیانگر این است که هر چه موقعیت آبشکن به سمت پایین دست کانال یا خروجی قوس پیشروی می‌کند، ابعاد گردابه‌های تشکیل شده در نزدیکی کف و پایین دست آبشکن نیز کوچک‌تر می‌شود و برای حالت استقرار 75 درجه نیز گردابه‌ای تشکیل نشده است. به این دلیل که خطوط جریان از بالادست، برخورد کم‌تری با آبشکن داشته و به خروجی قوس منتقل می‌شوند (شکل‌های 5-د و 5-ه). در حالی که در شکل‌های 5-الف، 5-ب و 5-ج خطوط پس از برخورد به آبشکن به دیواره داخلی کانال نیز اصابت می‌کنند و نقش بیش‌تری در انحراف خطوط جریان و حفاظت از دیواره خارجی کانال به عهده دارند. وجود گردابه‌های پادساعت‌گرد در پایین دست آبشکن T شکل مستغرق در مطالعات واقفی و همکاران (1393) تحت تاثیر تغییر شعاع انحنا قوس (قوس‌های ملایم، تند و توسعه یافته) نیز گزارش شده است.

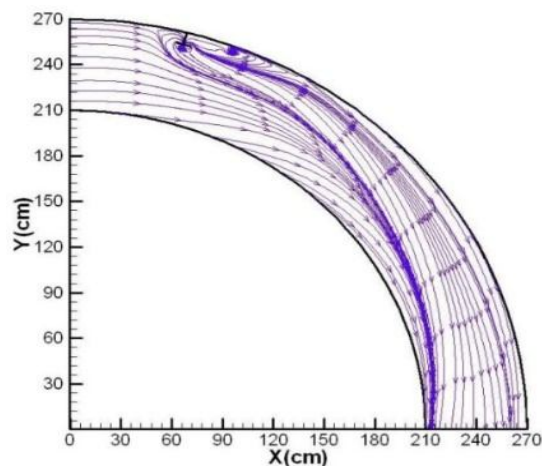
در شکل 6 نمونه‌ای از خطوط جریان برای لایه نزدیک به سطح آب (تراز 95 درصد عمق جریان از کف) برای موقعیت استقرار آبشکن در زاویه‌های مختلف ارائه شده است. همان‌طور که در این شکل مشخص است، ابعاد گردابه‌های شکل گرفته در پایین دست آبشکن در این حالت برای تغییر موقعیت آبشکن‌های مختلف تغییرات کم‌تری نسبت به لایه نزدیک به کف داشته است اما ابعاد آن بزرگ‌تر می‌باشد.



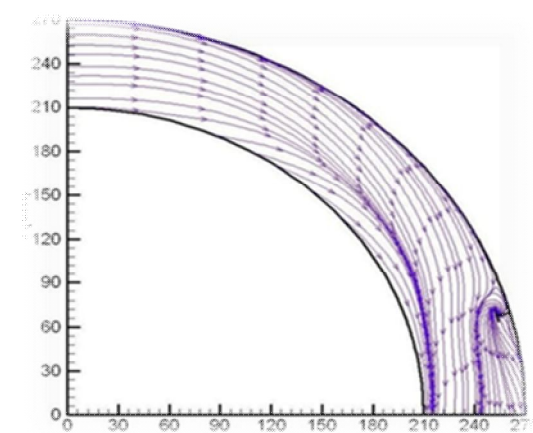
شکل 4- نمونه‌ای از خطوط جریان در مقطع عرضی به فاصله معادل لبه بال آبشکن از پایین دست برای استقرار آبشکن در موقعیت‌های: (الف) 15 درجه، (ب) 30 درجه، (ج) 45 درجه، (د) 60 درجه و (ه) 75 درجه از ورودی قوس



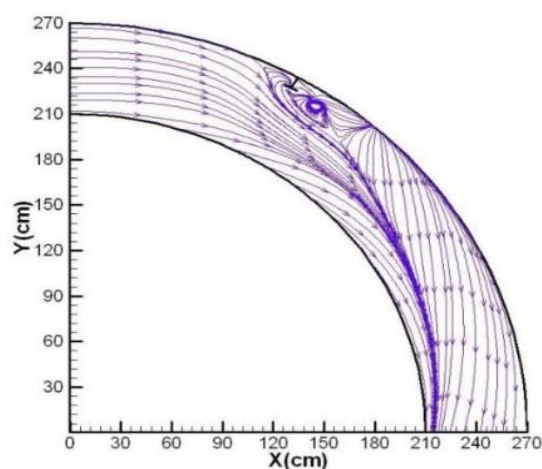
د



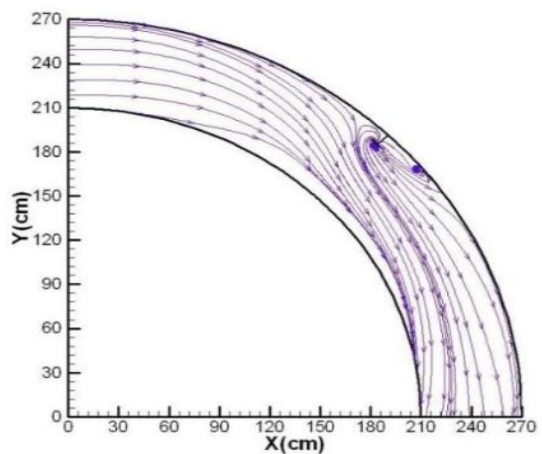
الف



ه



ب



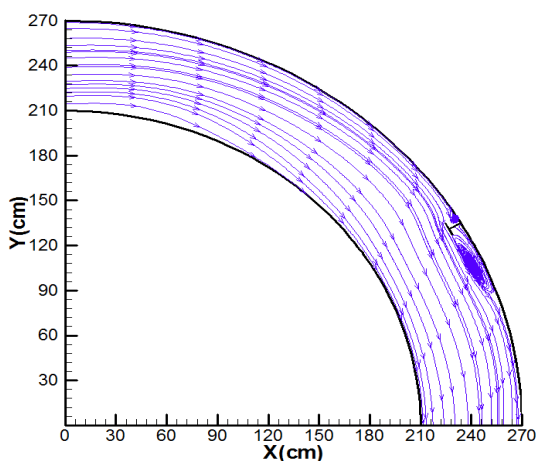
ج

شکل 5- نمونه‌ای از خطوط جریان در تراز 5 درصد عمق جریان از کف برای استقرار آبشکن در موقعیت (الف) 15 درجه، (ب) 30 درجه، (ج) 45 درجه، (د) 60 درجه و (ه) 75 درجه

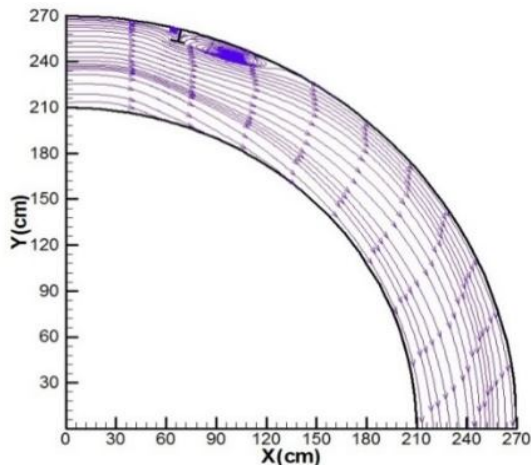
مجدداً مانند لایه نزدیک به کف در این لایه نیز، در موقعیت آبشکن 75 درجه گردابه‌ای شکل نگرفته است. نکته مهم دیگری که در این شکل قابل توجه می باشد این است که در تمامی حالات استقرار آبشکن، خطوط جریان در راستای قوس بوده و به سمت خروجی قوس امتداد یافته است.

طول نواحی جدایی و اتصال مجدد جریان

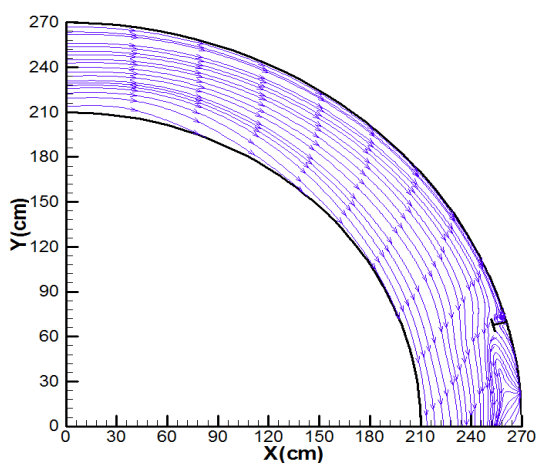
شکل 7، نمای شماتیکی از طول ناحیه جدایی جریان (G)، طول ناحیه اتصال مجدد جریان (H) و طول گردابه تشکیل شده در پایین دست آبشکن (M) را نشان می‌دهد.



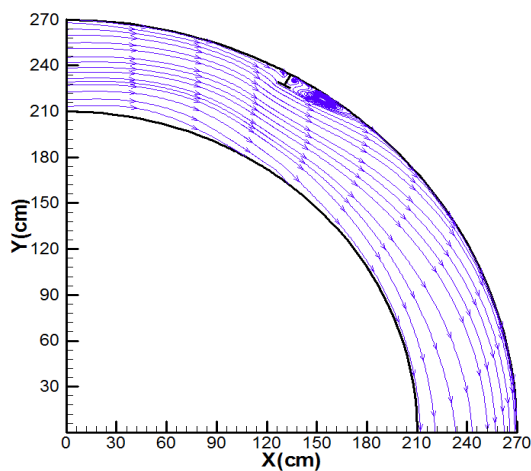
د



الف

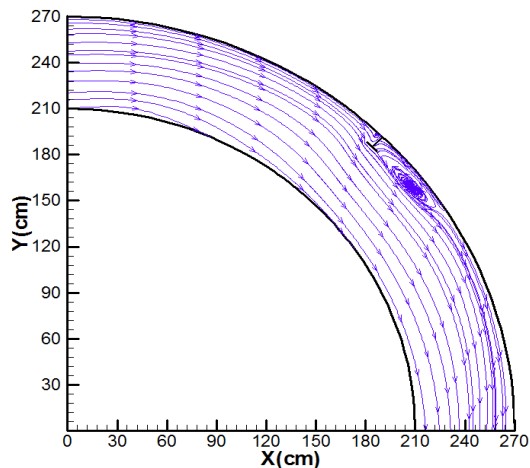


ه



ب

شکل 6- نمونه‌ای از خطوط جریان در تراز 95 درصد عمق جریان از کف برای استقرار آبشکن در موقعیت‌های: (الف) 15 درجه، (ب) 30 درجه، (ج) 45 درجه، (د) 60 درجه و (ه) 75 درجه



ج

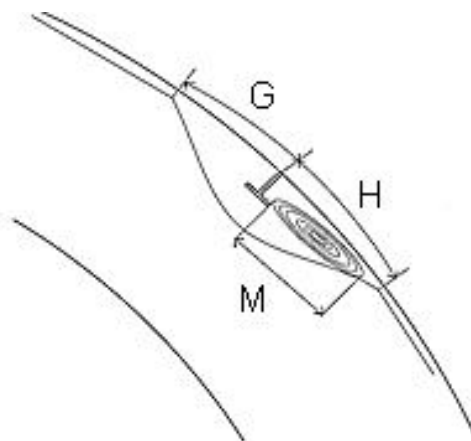
در شکل 8، تغییرات طول ناحیه جداشدگی جریان با تغییر موقعیت استقرار آبشکن ارایه شده است. در این شکل، G : فاصله انتهای ناحیه جداشدگی جریان تا آبشکن (طول ناحیه جداشدگی جریان)، L : طول آبشکن و Z : فاصله از کف کانال می‌باشد. با توجه به این شکل مشاهده می‌شود که طول ناحیه جداشدگی جریان در نزدیکی کف در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 15 درجه از ورودی کانال کم‌ترین (2/51 برابر طول آبشکن) و در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 60 درجه از ورودی کانال بیش‌ترین (3/23 برابر طول آبشکن) مقدار را دارا می‌باشد. لازم به ذکر است که این اعداد نسبت به طول آبشکن بی‌بعد شده‌اند. دلیل کاهش ناحیه جداشدگی جریان در بالادست با تغییر موقعیت آبشکن به سمت پایین دست قوس این است که وقتی آبشکن در پایین دست قوس مستقر است، خطوط

شکل 9 تغییرات طول ناحیه اتصال مجدد جریان با تغییر موقعیت استقرار آبشکن را نشان می‌دهد. در این شکل، H: فاصله انتهایی ناحیه اتصال جریان تا آبشکن (طول ناحیه اتصال جریان) می‌باشد. تغییرات بدین صورت است که طول ناحیه اتصال جریان در نزدیکی کف در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 75 درجه از ورودی کانال کم‌ترین و 5/74 برابر طول آبشکن و در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 15 درجه از ورودی کانال بیش‌ترین و برابر 7/82 برابر طول آبشکن می‌باشد. همان‌طور که در شکل 9 مشخص است با فاصله گرفتن آبشکن از ورودی کانال به سمت خروجی کانال، مقدار طول ناحیه اتصال کاهش چشمگیر به خود دیده است. لازم به ذکر است که محور قائم نسبت به طول آبشکن بی‌بعد شده است. بررسی‌ها نشان می‌دهد که طول ناحیه اتصال جریان در نزدیکی سطح جریان در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 15 درجه از ورودی کانال بیش‌ترین و برابر با 7/43 برابر طول آبشکن و در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 75 درجه، کم‌ترین و برابر با 5/41 برابر طول آبشکن می‌باشد. در حالی که رادان و واقفی (1394) با بررسی اثر استغراق آبشکن‌های جاذب و دافع با نرم افزار SSIIM نتیجه گرفتند که تغییرات طول بی‌بعد ناحیه جدایی جریان برای کلیه حالات بین 0/068 تا 3/09 و برای ناحیه اتصال مجدد جریان بین 3/4 و 0/56 برابر طول بال آبشکن می‌باشد.

طول گردابه‌های پایین دست

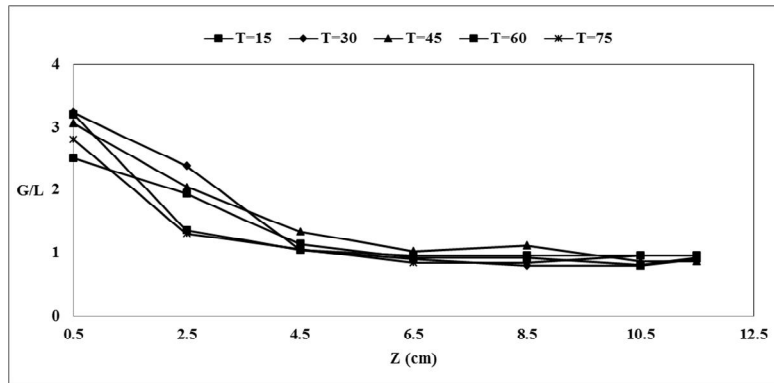
در شکل 10 تغییرات طول گردابه‌های تشکیل شده در پایین دست آبشکن با تغییرات موقعیت استقرار آبشکن ارایه شده است. در این شکل، M: طول گردابه، L: طول آبشکن و Z: فاصله از کف کانال می‌باشد. تغییرات بدین صورت است که طول گردابه در نزدیکی کف در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 75 درجه از ورودی کانال کم‌ترین (1/92 برابر طول آبشکن) و در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 15 درجه بیش‌ترین (4/67 برابر طول آبشکن) می‌باشد. همان‌طور که در شکل مشخص است، در لایه نزدیک به کف، هر چقدر محل استقرار آبشکن از ورودی کانال به سمت خروجی کانال پیشروی نماید، مقدار طول گردابه کاهش می‌یابد. بررسی‌ها نشان می‌دهد که طول گردابه در نزدیکی سطح آب در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 15 درجه از ورودی کانال بیش‌ترین و در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 30 درجه کم‌ترین می‌باشد به این دلیل که در موقعیت 30 درجه، تمایل خطوط جریان در لایه نزدیک به سطح آب برای تشکیل گردابه ثانویه سبب کاهش اندازه گردابه اولیه شده است (شکل 4-ب).

جریان ورودی از بالادست در طول قوس به صورت جریان‌های منحنی با شعاع انحنایی مانند شعاع انحنای قوس توسعه یافته است. این در صورتی است که وقتی آبشکن در بالادست قوس قرار می‌گیرد جریان ورودی از مسیر مستقیم فرصت توسعه کامل نداشته و در همان ابتدای قوس تحت تاثیر وجود آبشکن و با برخورد به جان آبشکن جریان‌های بازگشتی قوی‌تر ایجاد می‌کنند.

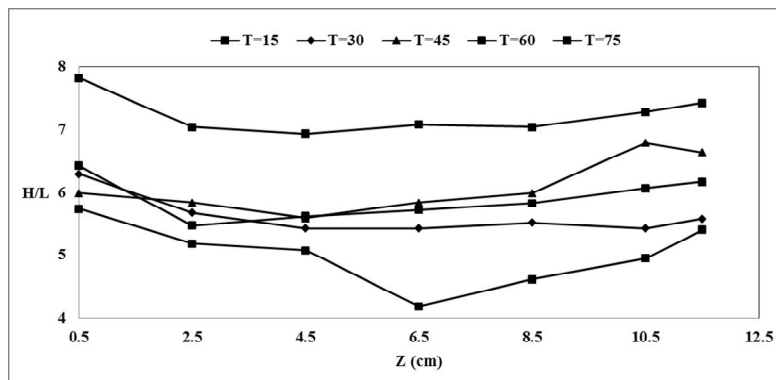


شکل 7- نمای شماتیک ناحیه جدایی و اتصال مجدد جریان و طول گردابه پایین دست

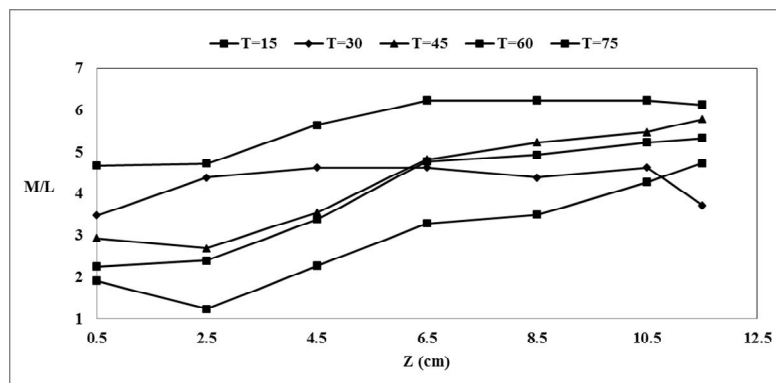
ضمن اینکه جابه‌جایی انتقالی جریان با ممنوع زیاد از قوس داخلی به طرف قوس خارجی بدلیل جریان حلزونی سبب انتقال سرعت حداکثر به قوس خارجی در بازه‌های انتهایی قوس می‌شود که این پدیده باعث جلوگیری از افزایش جریان‌های بازگشتی و در نتیجه ناحیه جداشدگی جریان پیرامون آبشکن مستقر در انتهای قوس می‌گردد. با فاصله گرفتن از کف کانال و نزدیک شدن به لایه سطح آب، جدایی جریان کم‌تر شده است. ضمن این‌که مقادیر آن برای حالت‌های مختلف موقعیت استقرار آبشکن بسیار به هم نزدیک می‌باشد. زیرا به دلیل وجود جریان‌های رو به پایین و گردابه‌های طولی در نزدیکی بالادست آبشکن، در این محل و نزدیکی بستر، جریان به سمت بالادست تمایل داشته و در مقایسه با ترازهای بالاتر، سرعت طولی در نزدیکی بستر کوچک‌تر است؛ بنابراین طول ناحیه جدایی جریان در نزدیکی بستر نسبت به سطح آب بزرگ‌تر است. (2016) واقفی و همکاران به مطالعه عددی اثر استغراق بر تغییرات الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل کوتاه در قوس 90 درجه پرداختند و ضمن تایید این موضوع، نتیجه گرفتند که با افزایش درصد استغراق، طول جدایی جریان حدود 1/5 برابر حالت غیرمستغرق می‌باشد (Vaghefi et al., 2016).



شکل 8- تغییرات طول ناحیه جدانشدگی جریان با تغییر موقعیت استقرار آبشکن در قوس



شکل 9- تغییرات طول ناحیه اتصال مجدد جریان با تغییر موقعیت استقرار آبشکن در قوس



شکل 10- تغییرات طول گردابه در پایین دست آبشکن با تغییر موقعیت استقرار آبشکن در قوس

استقرار آبشکن به جز موقعیت 75 درجه، در پایین دست آبشکن یک گردابه پادساعت گرد تشکیل شده است.

- با تغییر موقعیت آبشکن از ورودی کانال به سمت خروجی قوس، طول گردابه در پایین دست آبشکن کاهش می یابد که بیشینه طول گردابه در نزدیکی کف برای حالت استقرار آبشکن در موقعیت 15 درجه از ورودی کانال با 4/7 برابر طول آبشکن رخ داده و کمترین طول گردابه در نزدیکی کف برای حالت استقرار آبشکن در موقعیت

نتیجه گیری

- مقایسه داده های سه بعدی سرعت جریان در مدل های عددی و آزمایشگاهی بیانگر انطباق مناسب مولفه های سرعت جریان در هر دو مدل بوده که این موضوع بیانگر این است که مدل عددی FLOW-3D در شبیه سازی الگوی جریان در اطراف آبشکن موجود در قوس، توانمند عمل کرده است.

- در لایه های نزدیک به کف و سطح آب، برای تمامی زوایای

واقفی، م.، زره پوش، ه. و اکبری، م. 1393. مطالعه عددی تاثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان پیرامون آبشکن سرسپری مستغرق. مجله مهندسی آبیاری و آب ایران. 5: 18. 145-156.

واقفی، م.، قدسیان، م. و صالحی نیشابوری، س.ع.ا. 1387. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان کمی اطراف آبشکن T شکل در قوس 90 درجه با بستر صلب. نشریه مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه تبریز. 37: 3. 81-87.

Abhari, M.N., Ghodsian, M., Vaghefi, M. and Panahpur, N. 2010. Experimental and numerical simulation of flow in a 90 bend. Flow Measurement and Instrumentation. 21. 3: 292-298.

Acharya, A., Acharya, A and Duan, J.G. 2011. Three Dimensional simulation of flow field around series of spur dikes. International Refereed Journal of Engineering and Science. 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. 1953. Experiments on design and behavior of spur dikes. Proc. Of Cong. Of IAHR. 145-159.

Chen, Y and Ikeda, S. 1997. Horizontal separation flow in shallow open channel with spur dike. Journal of Science and Hydraulic Engineering. 15. 2: 13-20.

Duan, J.G., He, L., Fu, X and Wang, Q. 2009. Mean flow and turbulence around experimental spur dike. Advances in Water Resources. 32. 12: 1717-1725.

Flow Science, Inc. 2008. FLOW-3D User's Manual. Flow Science, Inc., 9.3 editions.

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 degree bend. Journal of Sediment Research. 24. 2: 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. 5: 301-309.

Rajaratnam, N and Nwachukwu, B. 1983. Erosion near groyne-like structures. Journal of Hydraulic Engineering. 21. 4: 277-287.

Tingsanchali, C and Maheswaran, M. 1990. 2-D depth-averaged flow computation near groyne. Journal of Hydraulic Engineering. 116. 1: 71-86.

Uijtewaal, W., Lehmann, D and Mazijk, A. 2001. Exchange processes between a river and its groyne fields Model Experiments. Journal of Hydraulic Engineering. 127. 11: 928-936.

Vaghefi, M., Ghodsian, M and Salehi Neyshaboori, S.A.A. 2009. Experimental study on the effect of a T-Shaped spur dike length on scour in

75 درجه از ورودی کانال با طول $1/92$ برابر طول آبشکن رخ داده است.

- تغییر موقعیت آبشکن از ورودی کانال به سمت خروجی قوس سبب کاهش ابعاد گردابه‌ها در بالادست و پایین دست و نزدیک آبشکن می‌شود.

- هر چه موقعیت آبشکن از ورودی کانال به سمت خروجی کانال امتداد یابد، طول ناحیه جدایی جریان در نزدیکی کف افزایش می‌یابد. بدین ترتیب که طول جدایی جریان در نزدیکی کف در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 15 درجه از ورودی کانال کم‌ترین و $2/51$ برابر طول آبشکن و در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 60 درجه از ورودی کانال بیش‌ترین و برابر $3/23$ برابر طول آبشکن می‌باشد.

- با تغییر موقعیت آبشکن به سمت انتهای کانال، طول ناحیه اتصال جریان کاهش می‌یابد. این طول در لایه نزدیک سطح جریان در حالت استقرار آبشکن در موقعیت 15 درجه بیش‌ترین و در موقعیت 75 درجه از ورودی کانال کم‌ترین می‌باشد.

- پیشنهاد می‌شود که در جهت تکمیل و بسط این تحقیق، مدل سازی‌های مشابهی با نرم‌افزار Flow-3D برای آبشکن‌های T شکل سری (دوتایی و سه تایی) و همچنین آبشکن‌هایی که از نظر هندسه متفاوتند (آبشکن‌های L شکل با بال به سمت بالادست و پایین دست) نیز انجام و با نتایج تحقیق حاضر مقایسه شود.

منابع

الیاسی، س.، اقبال زاده، ا.، جوان، م. و واقفی، م. 1394. اثر تنگ شدگی مقطع ناشی از آبشکن در قوس بر الگوی جریان با نرم افزار FLOW-D. مجله آبیاری و زهکشی ایران. 9: 6. 983-993.

رادان، پ. و واقفی، م. 1394. الگوی جریان در کانال قوسی با آبشکن سرسپری جاذب و دافع مستغرق با مدل SSIIM. مجله آبیاری و زهکشی ایران. 9: 5. 773-783.

قدسیان، م.، واقفی، م. و پناه پور، ن. 1387. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان دو بعدی اطراف آب شکن در قوس 90 درجه. مجله علوم کشاورزی و منابع طبیعی. 15: 4. 1-13.

محسنی مهر، و.ا.، واقفی، م. و هاشمی، س.ش. 1394. مطالعه عددی اثر موقعیت آبشکن T شکل بر قدرت جریان ثانویه با استفاده از نرم افزار SSIIM. نشریه علوم و مهندسی آبیاری. 38: 4. 165-175.

واقفی، م.، اکبری، م. و فیوض، س.ع. 1394. مقایسه آزمایشگاهی مولفه های سه بعدی سرعت جریان پیرامون آبشکن T شکل مستقر در قوس 90 درجه با بستر صلب با نتایج نرم افزار Flow-3D. مجله مهندسی منابع آب. 8: 25. 31-46.

- located in a 90 degree bend. *International Journal of Scientific Engineering and Technology*. 3. 5: 675-679.
- Vaghefi, M., Shakerdargah, M., Fiouz, A.R 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. *International Journal of Engineering Research*. 3. 5: 351-355.
- Vaghefi, M., Mohsenimehr, V.A and Akbari, M. 2014. Numerical investigation of wing to web length ratios parameter of T-shaped spur dike in a 90 degree bend on scour pattern. *Journal of River Engineering*. 2. 3: 24-32.
- Vaghefi, M., Alavinezhad, M and Akbari, M. 2016. The effect of submergence ratio on flow pattern around short T-head spur dike in a mild bend with rigid bed using numerical model. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. 0: 1-9.
- a 90 degree channel bend. *The Arabian Journal for Science and Engineering*. 34. 2B: 337-348.
- Vaghefi, M., Ghodsian, M. and Salehi Neyshaboori, S.A.A. 2012. Experimental study on scour around a T-Shaped spur dike in a channel bend. *Journal of Hydraulic Engineering*. 138. 5: 471-474.
- Vaghefi, M., Ghodsian, M and Adib, A. 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.
- Vaghefi, M., Safarpoor, Y and Hashemi, S.S. 2015. Effects of relative curvature on the scour pattern in a 90° bend with a T-shaped spur dike using a numerical method. *International Journal of River Basin Management*. 13. 4: 501-514.
- Vaghefi, M., Shakerdargah, M and Akbari, M. 2014. Numerical study on the effect of ratio among various amounts of submersion on three dimensional velocity components around T-shaped spur dike

The Effect of the Angle of T-shaped Spur Dike Position in the Bend on Flow Pattern Using Numerical Model (FLOW-3D)

M. Vaghefi^{1*}, A. Khooshabi², M. Akbari³, M. Ghodsian⁴

Received: Mar.08, 2016

Accepted: Oct.19, 2016

Abstract

In this research, flow pattern around T-shaped spur dike located in a 90 degree bend channel by using FLOW-3D software in the conditions of changing spur dike position along the bend (angles: 15, 30, 45, 60 and 75 degrees) with rigid bed was investigated. Accordingly, the numerical simulation results were first compared to experimental results under similar circumstances (45 angle position). The results of this comparison indicated that the numerical and experimental results enjoy rather appropriate correspondence. Therefore, after verification of numerical results, investigation of streamlines, length of flow separation and reattachment zones, and length of vortices under the influence of different positions of placing spur dike was conducted. The results obtained from numerical modeling indicated that at the layers near water surface and bed, for all angles of spur dike placement except position of 75 degrees, at downstream of spur dike a counterclockwise vortex has formed. Moreover, by changing the position of spur dike from the entrance of channel towards the exit of channel, at layer near bed, the maximum vortex length (as long as 4.7 times the spur dike length) for mode of spur dike placement in position of 15 degrees and the minimum vortex length (as long as 1.9 times the spur dike length) in position of 75 degrees have occurred.

Key Words: Flow Pattern, T-Shaped Spur Dike, Spur Dike Location, Spur Dike Position Angle, 90 Degree Bend

1- Associate Professor of Hydraulic Structures, Department of Technical and Engineering, Persian Gulf University, Bushehr

2- M.Sc. of Civil Engineering, District 10 of Iranian Gas Transmission Company, Bushehr

3- PhD Student of Hydraulic Structures, Department of Civil Engineering, Iran University of Science and Technology, Tehran

4- Professor of Hydraulic, Department of Civil and Environment Engineering, Tarbiat Modares University, Tehran

(*- Corresponding Author: Email: Vaghefi@pgu.ac.ir)