

« اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساملی »

دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، گروه

مهندسی آب

۱۷ الی ۱۸ آذر ۱۳۸۹

## شبیه سازی حفاظت سواحل با آبشکن T شکل با کمک مدل عددی Delft-3D

سید علی سادات موسوی<sup>۱</sup>، محمدرضا پیرستانی<sup>۲</sup>، سید علی اکبر صالحی نیشابوری<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد سازه های هیدرولیکی دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۲- استادیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران جنوب

۳- استاد گروه هیدرولیک مهندسی عمران، دانشگاه تربیت مدرس

[E-Mail: ali\\_sadat209@yahoo.com](mailto:ali_sadat209@yahoo.com)

### چکیده

آبشکن T شکل با توجه به وضعیت دماغه، در تثبیت سواحل رودخانه و دریا نتایج مناسبی را ارائه کرده است. در طراحی این سازه ها، مهمترین مسئله پایداری سازه به علت آبشستگی در دماغه بوده که تحلیل نتایج سرعت در کف و دیواره مجاور آبشکن از اهمیت بالایی برخوردار می باشد. به منظور حفاظت از سواحل خارجی در برابر فرسایش در کانال های قوسی شکل، مطالعه الگوی جریان و مقدار تنش برشی در مجاورت دیواره بدون و با حضور آبشکن مورد توجه است. در این مقاله با استفاده از مدل DELFT3D-FLOW وضعیت آبشکن T شکل در موقعیت 45 درجه موجود در دیواره خارجی قوس 90 شبیه سازی شده است. مقایسه الگوی جریان نشان می دهد که سرعت ها به تدریج قبل از آبشکن در مجاورت دیواره کاهش یافته و این کاهش تا انتهای خم ادامه داشته که نتایج مطلوبی را به همراه خواهد داشت.

**کلمات کلیدی:** آبشکن T شکل، DELFT3D-FLOW، حفاظت سواحل، الگوی جریان

### مقدمه

حفاظت از سواحل رودخانه ها و دریاها با انواع سازه های هیدرولیکی به مانند آبشکن T شکل در عمر مفید سازه که معمولاً در این گونه موارد 25 سال منظور شده که یکی از بهترین ایده ها می باشد. آبشکن ها سازه های متقاطع حفاظتی در مقابل جریان در رودخانه ها می باشند. هر الگوی جریان در مسیرهای مستقیم از شکل لگاریتمی مناسبی تبعیت می کند. در مسیرهای قوسی شکل به دلیل وجود نیروی جانب مرکز و تغییرات تراز سطح آب، موجب ایجاد جریان ثانویه در مقطع عرضی و جریان حلزونی در فضای سه بعدی می شود. این جریان اثر زیادی بر روی تغییر الگوی پروفیل سرعت در جهت عرضی خواهد داشت [1]. این جریان ثانویه موجب انحراف جریان به سمت قوس خارجی در سطح سیال و بلعکس در مجاورت کف به سمت قوس داخلی خواهد شد. اگر نسبت شعاع انحناء قوس به پهنای مقطع خم رودخانه بیشتر از 4 باشد جریان ثانویه در طول قوس به طور کامل ایجاد شده که به آن جریان ثانویه توسعه یافته گفته می شود. در این موارد بیشترین فرسایش را در جداره خارجی

که همان ساحل مورد نظر ما می باشد خواهیم داشت . اگر بتوان با ایجاد آبشکن T شکل در ساحل خارجی از روند رو به رشد قدرت جریان ثانویه در قوس جلوگیری نمود، می توان تا حدود قابل توجهی از ساحل حفاظت نمود . بنابراین شناسائی موقعیت مناسب نصب آبشکن از جمله مطالب مورد اهمیت در حفاظت سواحل می باشد.

در زمینه مطالعات جریان در قوس افراد زیادی مطالعاتی را انجام داده اند که از پیشگامان مطالعه بر روی قدرت جریان ثانویه در مسیرهای قوسی، شکری را می توان نام برد، ایشان با استفاده از مدل فیزیکی یک فلوم با زاویه مرکزی 45 تا 180 را به منظور بدست آوردن الگوی جریان در جداره خارجی مورد بررسی قرار داد و به منظور تعیین قدرت جریان ثانویه رابطه ای را بیان نموده است [12]. زنگ و همکارانش الگوی جریان در مجاورت آبشکن تیغه ای با بستر تغییر شکل یافته را به دو صورت آزمایشگاهی و عددی مورد بررسی قرار داده اند. در مدل ایشان سعی در اصلاح مدل K-ε برای بهبود الگوی جریان در مجاورت موانع هیدرولیکی شده است. مدل آزمایشگاهی ایشان فلوم مستقیمی به طول 8 متر و پهنای 40 سانتی متر با عمق 40 سانتی متر می باشد. همچنین ایشان بیان نموده اند که پیش آمدگی آبشکن ها تغییرات مهمی را در الگوی جریان و شکل بستر خواهد داشت [11].

## معادلات حاکم بر جریان

1- تنش برشی بستر: تنش برشی در حالت سه بعدی،  $\bar{\tau}_{b3D}$ ، به صورت رابطه (1) بدست می آید.

$$\bar{\tau}_{b3D} = \frac{\rho_0 g \bar{u}_b |\bar{u}_b|}{C_{3D}^2} \quad (1)$$

در معادله (1)،  $\bar{u}_b$  بر حسب (m/s) اندازه سرعت افقی در لایه اول بالای بستر و  $C_{3D}$  بر حسب  $m^{1/2}/s$  ضریب زبری شزی در حالت سه بعدی خواهد بود. البته رابطه ساده تری هم برای تعیین ضریب زبری در حالت دو بعدی می باشد و با در نظر گرفتن مقداری خطا برای حدس اولیه می توان از آن استفاده نمود [8].

2- ضریب زبری: در مدل Delft 3D –Flow ضرایب زبری Chezy, Manning و طول زبری nikuradse به عنوان پارامتر های زبری به طور مستقیم مورد استفاده قرار می گیرند. پارامتر های  $Z_0$  هم در این برنامه گنجانده شده و فقط در حالت سه بعدی فعال می باشد و با توجه به سه پارامتر زبری دیگر بدست می آیند. پارامتر شزی در حالت سه بعدی به صورت رابطه (2) بیان می شود [7]:

$$C_{3D} = \frac{\sqrt{g}}{K} \times \ln \left( 1 + \frac{\Delta Z b}{2Z_0} \right) \quad (2)$$

که  $Z_0$  طول زبری بستر و  $Z_b$  ضخامت لایه بستر که هر دو بر حسب (m) و K ثابت ون کارمن می باشد.

3- تنش برشی در مرزهای بسته: تنش برشی مماسی،  $\tau_{\xi\eta}$ ، در دیواره های دو طرف طبق رابطه (3) محاسبه می شود:

$$\tau_{\xi\eta} = \tau_{\eta\xi} = \rho u_*^2 \quad (3)$$

که در رابطه (3)،  $u_*$ ، سرعت برشی بر حسب (m/s) و توسط قانون لگاریتمی دیوار تعیین می شود.

4- مدل های بسته اغتشاشی: Delft 3D – Flow شامل چهار مدل معمول در محاسبه اغتشاش می باشد که عبارتند از: Algebraic, K-L, K-ε, Contant. در بین این چهار معادله کلی برای محاسبه اغتشاشات معمولاً مدل K-ε به علت مرتبه دوم بودن ( که شامل انرژی اغتشاش، K و اتلاف انرژی، ε ) نتایج بهتری را به نمایش می گذارند. یکی از این مدل ها به همراه معادله انتقال حل خواهد شد و در رابطه (4) به آن اشاره شده است [8].

$$\frac{\partial k}{\partial t} + \frac{u}{\sqrt{G\xi\xi}} \times \frac{\partial k}{\partial \xi} + \frac{v}{\sqrt{G\eta\eta}} \times \frac{\partial k}{\partial \eta} + \frac{\omega}{d+\zeta} \times \frac{\partial k}{\partial \sigma} = \quad (4)$$

$$\frac{1}{(d+\zeta)^2} + \frac{\partial}{\partial \sigma} \times \left[ \left( u_{mol} + \frac{v_{3D}}{\sigma k} \right) \times \frac{\partial k}{\partial \sigma} \right] + P_k + P_{kw} + B_k - \varepsilon$$

در رابطه (4)  $P_K$  ترم انرژی جنبشی اغتشاشی بر حسب  $(m^2/s^3)$ ،  $P_{KW}$  ترم انرژی جنبشی اغتشاشی به علت حضور موج در مدل،  $B_K$  ترم شار شناوری بر حسب  $(m^2/s^3)$  برای انرژی جنبشی اغتشاشی،  $\varepsilon$  اتلاف انرژی جنبشی بر حسب  $(m^2/s^3)$ ،  $uv$  ویسکوزیته گردابی عمودی می باشد [8]. سه پارامتر:  $B_K$ ،  $P_{KW}$  و  $P_K$  از طریق رابطه مستقل بدست می آیند که در ادامه به بحث راجع به این پارامترها خواهیم پرداخت.

$$B_k = \frac{v_{3D}}{\rho_0} \times \frac{g}{H} \times \frac{\partial P}{\partial \sigma} \quad (5)$$

که در رابطه (5)،  $v_{3D}$  ویسکوزیته گردابی به علت اغتشاش سه بعدی بر حسب  $(m^2/s)$ ،  $\rho_0$  دانسیته آب،  $\sigma$  مقیاس مختصات عمودی و بدون بعد می باشد. در ادامه طبق رابطه (6) ضریب ویسکوزیته گردابی افقی را بیان نموده ایم.

$$v_H = v_{2D} + v_V = v_{2D} + v_{3D} + v_H^{back} \quad (6)$$

که در این رابطه (6)،  $v_{2D}$  ضریب ویسکوزیته گردابی دو بعدی برای اغتشاش افقی بر حسب  $(m^2/s)$  می باشد،  $v_{3D}$  ویسکوزیته گردابی به علت اغتشاش سه بعدی می باشد و در نهایت  $v_H^{back}$  ویسکوزیته گردابی افقی که توسط کاربر به عنوان حدس اولیه در اجرای برنامه تعیین می شود و برنامه به این مقدار بسیار حساس بوده و در صورت تعریف غیر واقعی آن، مدل حتما واگرا خواهد شد.  $v_V$  ضریب ویسکوزیته گردابی عمودی که به صورت رابطه (7) تعریف می شود:

$$v_V = v_{mol} + \max(v_V^{back}, v_{3D}) \quad (7)$$

در این رابطه (7)  $v_{mol}$  ضریب ویسکوزیته جنبشی (مولکولی) بر حسب  $(m^2/s)$  و  $v_V^{back}$  ویسکوزیته عمودی زمینه برای تعیین معادله ممنتوم افقی در ورودی می باشد و در محاسبه  $v_V$  از ماکزیمم یکی از مقادیر  $(v_V^{back}, v_{3D})$  استفاده می شود.

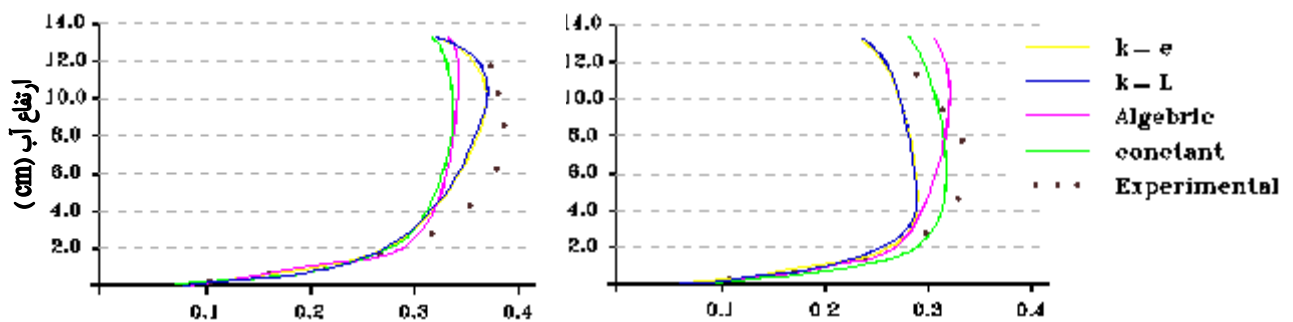
## اجرای مدل و صحت سنجی

برای اجرای شبیه سازی و صحت سنجی از نتایج آزمایشگاهی فرقانی و همکاران موجود در آزمایشگاه تربیت مدرس نیاز استفاده شد. این بررسی ها برای حالت زیر انجام گرفت [3]:

1) صحت سنجی مدل عددی با نتایج آزمایشگاهی، در این حالت تمام پارامترهای قابل تنظیم و اثر گذار بر روی نتایج الگوی جریان مورد صحت سنجی قرار گرفتند و با سعی و خطا بهترین مقادیر زبری کف، عمق جریان ورودی، ویسکوزیته گردابی در حالت های عمودی و افقی، اندازه شبکه بندی، تعداد لایه های عمودی به منظور تشابه پروفیل سرعت با نتایج آزمایشگاهی، گام زمانی برای همگرایی نتایج آزمایشگاهی به گونه ای انتخاب شدند که بهترین هماهنگی را با نتایج آزمایشگاهی داشته باشد. تعدادی از این صحت سنجی ها در شکل (1) ملاحظه می گردد.

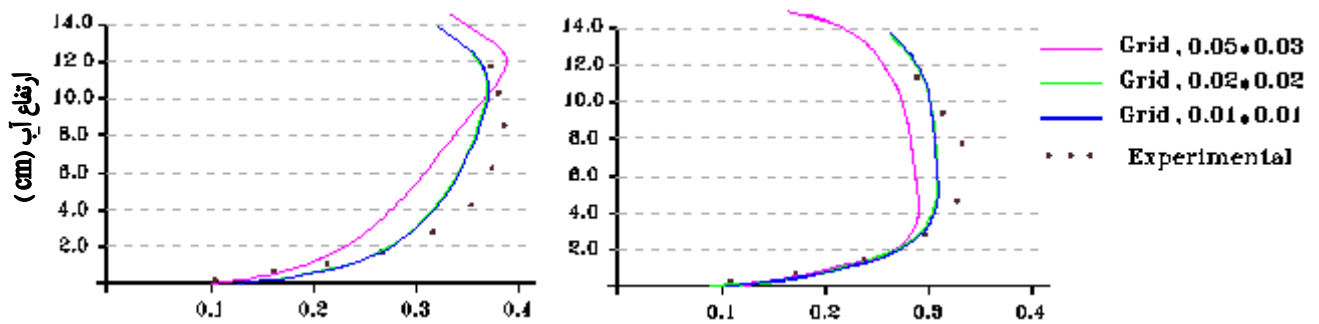
2) نتایج جریان در قوس  $(R/B=4)$  بدون حضور آبشکن: در این حالت نتایج مربوط به قوس توسعه یافته که توسط برنامه Delft 3D-Flow شبیه سازی شده با داده های خام استخراج شده توسط نرم افزارهای Tecplot، Matlab و Quickplot مقایسه و ترسیم شد که در بخش نتایج ارائه شده است.

3) نتایج جریان در قوس توسعه یافته با حضور آبشکن: در این قسمت با هدف حفاظت از ساحل خارجی و اصلاح الگوی جریان موجود در قوس، آبشکن T شکل را در جداره خارجی و در موقعیت 45 درجه از ابتدای قوس قرار داده شد و نتایج را با قوس بدون حضور آبشکن مقایسه و تغییرات را بررسی شده است.



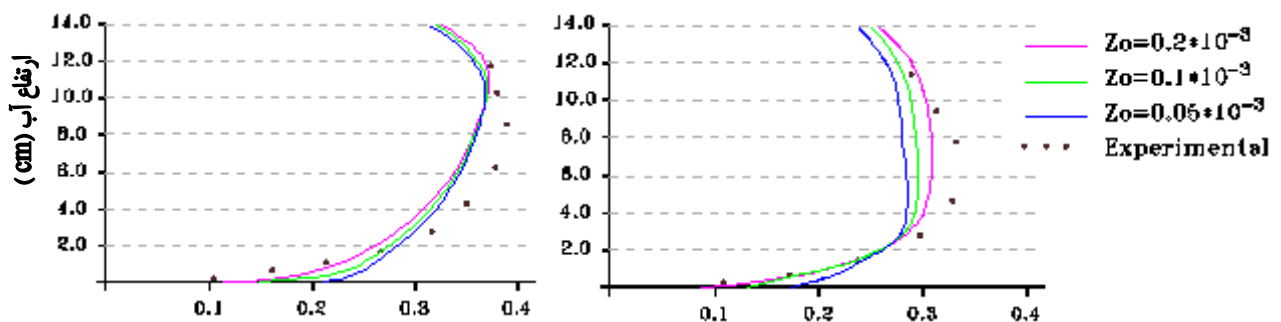
(ب)

(الف)



(د)

(ج)



(ی)

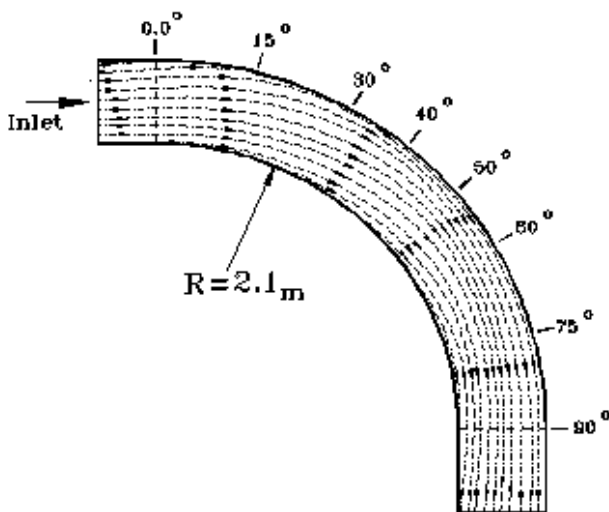
(ه)

شکل 1- الف - پروفیل سرعت (m/s) در مجاورت جداره خارجی در شروع قوس با تغییرات مدل اغتشاش. ب- پروفیل سرعت (m/s) در مجاورت جداره داخلی در شروع قوس با تغییرات مدل اغتشاش. ج- پروفیل سرعت (m/s) در مجاورت جداره خارجی در شروع قوس با تغییرات شبکه بندی. د- پروفیل سرعت (m/s) در مجاورت جداره داخلی در شروع قوس با تغییرات شبکه بندی. ه- پروفیل سرعت (m/s) در مجاورت جداره خارجی در شروع قوس با تغییرات زبری کف. ی- پروفیل سرعت (m/s) در مجاورت جداره داخلی در شروع قوس با تغییرات زبری کف.

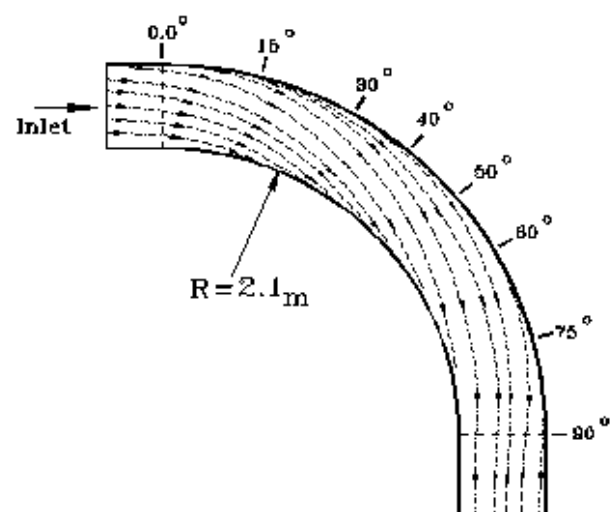
## تجزیه و تحلیلی نتایج

نتایج حاصل از شبیه‌سازی‌ها در چند بخش مختلف ارائه گردیده است:

1- بررسی و مقایسه الگوی جریان در سطح و کف کانال قوسی توسعه یافته بدون حضور آبشکن: یکی از مهمترین دلایل تغییر الگوی جریان در قوس نسبت به مسیر مستقیم، تاثیر جریان حلزونی بر روی پروفیل سرعت می‌باشد که این تغییرات از نظر هیدرودینامیکی قابل توجه است. در ابتدای قوس به علت نیروی جانب مرکز، سطح آب در قوس خارجی بالا رفته بنابراین شیب سطح آب به طرف قوس داخلی خواهد بود. این امر موجب افزایش سرعت طولی در جداره داخلی و کاهش سرعت در جداره خارجی برای براساس معادله برنولی می‌باشد. این مکانیزم موجب پیدایش جریان ثانویه در قوس شده که جهت جریان عرضی در مقطع کانال در کف از قوس خارجی به داخلی و در سطح آب از قوس داخلی به خارجی می‌باشد. ترکیب این جریان چرخشی با جریان طولی در قوس باعث انحراف خطوط جریان در کف از سمت جداره خارجی به سمت جداره داخلی شده که اگر بستر تغییر شکل پذیر باشد، تغییرات الگوی جریان موجب فرسایش بستر و دیواره در جداره خارجی و تجمع رسوبات در بستر و جداره داخلی پس از طی مسافتی جلوتر رخ خواهد داد. در شکل (2) تغییرات خطوط جریان بدست آمده توسط Delft-3D صحت سنجی با نتایج آزمایشگاهی مورد صحت سنجی قرار گرفته است [2]. این خطوط جریان با ترکیب سرعت طولی و عرضی  $\sqrt{u^2 + v^2}$  بدست آمده است.



نتایج شبیه سازی Delft-3D (د)

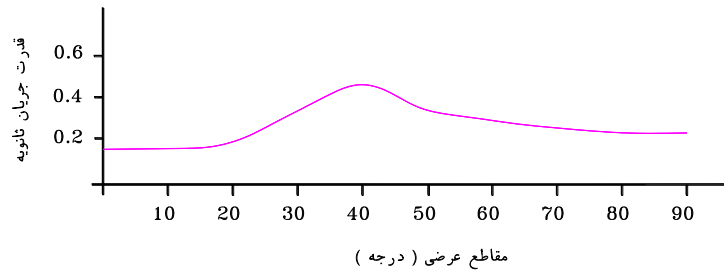
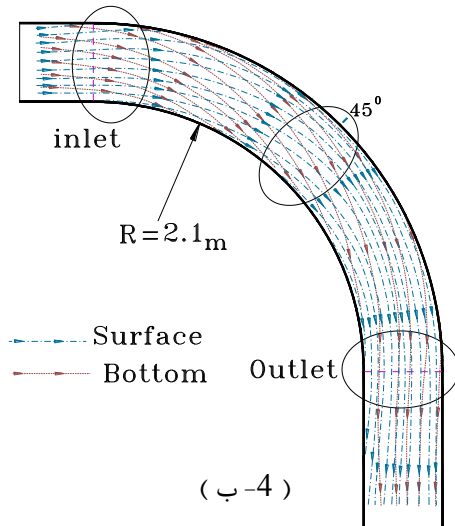


نتایج شبیه سازی Delft-3D (ج)

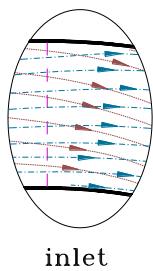
شکل 2- الف- و ب- نتایج آزمایشگاهی خطوط جریان به ترتیب در کف و سطح آب، ج- و د- نتایج شبیه سازی خطوط جریان توسط Delft-3D به ترتیب در کف و سطح آب

با انطباق خطوط جریان در سطح آب و کف کانال شکل (3-ب) بدست آمده که برای نمایش بهتر سه مقطع از این شکل را با بزرگ نمایی در شکل‌های (3-ج) تا (3-ه) نشان داده شده است. طبق نظریه (Kassen, Chaudhary 2002) در مورد قدرت جریان ثانویه می‌توان گفت که در اواسط قوس اختلاف زاویه بین دو خطوط جریان از شروع و انتهای بیشتر بوده که نشان دهنده افزایش شدت قدرت جریان ثانویه در این ناحیه است. بنابراین در نواحی که قدرت جریان ثانویه به مقدار ماکزیمم خود می‌رسد، جریان ثانویه به لایه های پایین انتقال خواهد یافت و با کاهش قدرت جریان ثانویه به سطح نزدیکتر خواهد شد. در

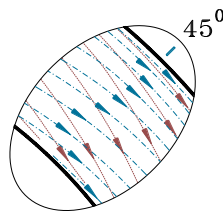
شکل (3-الف) دیاگرام تغییرات قدرت جریان ثانویه با توجه به رابطه ( Shukry 1960 ) ارائه شده که نشان می دهد در ناحیه مذکور (در ناحیه با زاویه 40 درجه) قدرت به اوج خود می رسد .



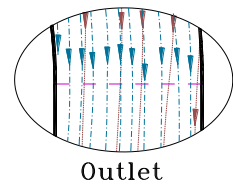
(4-الف)



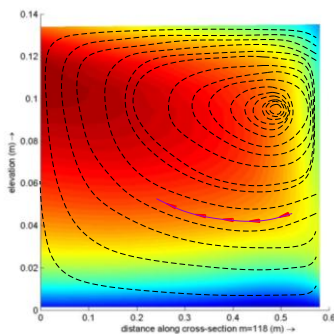
(4-ه)



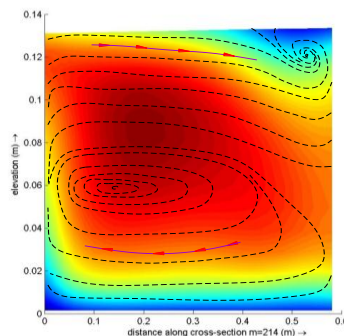
(4-د)



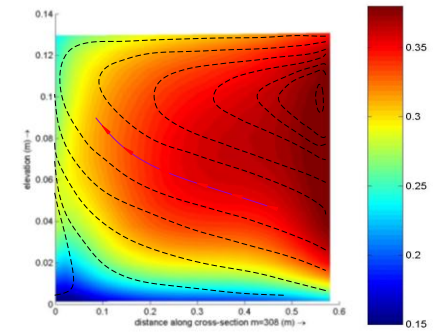
(4-ج)



(4-پ)



(4-ی)

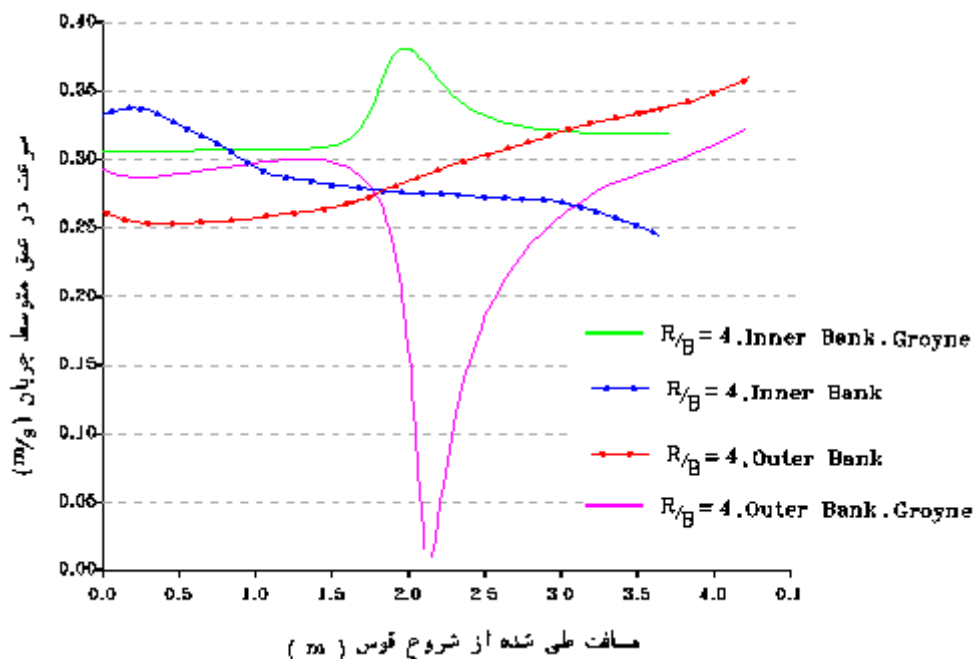


(4-و)

شکل 3- بررسی قدرت جریان ثانویه ، خطوط جریان و هسته جریان ثانویه در قوس توسعه یافته بدون حضور آبشکن. الف- بررسی قدرت جریان ثانویه در طول قوس، ب- انطباق خطوط جریان در سطح و کف به منظور بررسی قدرت جریان ثانویه، ج- تا ه- بزرگ نمایی خطوط جریان در سطح و کف به ترتیب در شروع، 45 درجه و انتهای قوس، و- تا پ- بررسی همزمان اندازه سرعت جریان با هسته جریان ثانویه در شروع، 45 درجه و انتهای قوس.

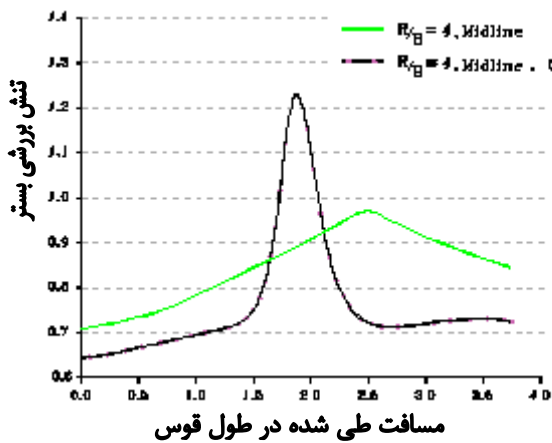
2- مقایسه الگوی جریان در سطح و کف کانال قوسی توسعه یافته با حضور آبشکن T:

در این بخش از نتایج به منظور کاهش میزان فرسایش در جداره خارجی و تثبیت نسبت  $R/B$  قوس در دراز مدت، از آبشکن T شکل استفاده شد. برای صحت سنجی از نتایج مشاهدات آزمایشگاهی موسوی و همکاران (1388) استفاده شد. با ترسیم الگوی جریان در لایه مجاور کف و سطح آب، سازگاری مناسبی بین مدل آزمایشگاهی و شبیه سازی عددی دیده می شود. با داشتن تغییرات الگوی جریان و بزرگی جریان در قوس مطابق شکل (4)، سرعت در عمق متوسط جریان در قوس توسعه یافته بدون و با حضور آبشکن می توان مورد بررسی قرار داد. در این شکل به وضوح دیده می شود که از حدود زاویه 25 درجه در قوس داخلی سرعت در عمق متوسط جریان با نصب آبشکن به میزان متوسط 6/5٪ سرعت متوسط کل افزایش خواهد داشت. دلیل این امر انحراف سرعت جریان توسط آبشکن T از قوس خارجی به سمت قوس داخلی بوده که در قوس خارجی سرعتها از حدود زاویه 40 درجه به مقدار قابل توجهی کاهش می یابد. اگر هدف حفاظت از قوس خارجی (مانند ساحل دریا و رودخانه ها) باشد، آبشکن T شکل سازه ای مناسب خواهد بود..

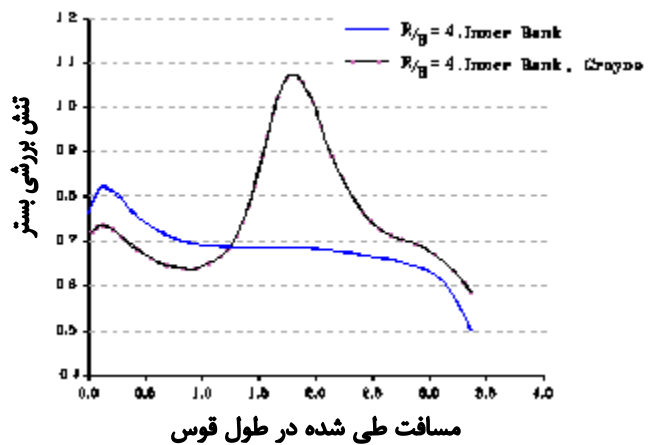


شکل 4- سرعت در عمق متوسط جریان را در قوس توسعه یافته بدون و با حضور آبشکن

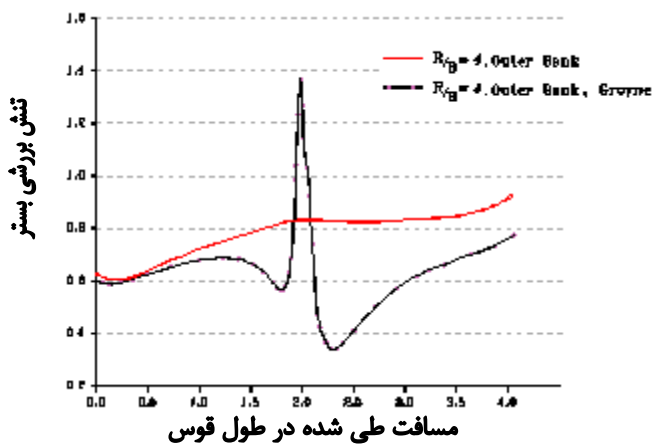
حال به منظور بررسی و مطالعه بیشتر چهار ناحیه به موازات خط طولی جریان برای رسم تنش برشی و مقایسه آنها در حالت نصب آبشکن و بدون حضور آبشکن می توان در نظر گرفت (شکل 5). مطابق شکل (5-الف) در مجاورت جداره داخلی تقریباً به فاصله 4 سانتی متر از آن، در بدترین حالت بعد از نصب آبشکن، افزایش تنش برشی به میزان 0/4 را خواهیم داشت. این مسئله به دلیل انحراف جریان از سمت آبشکن به جداره داخلی در پایین دست آبشکن می باشد. در حالت (5-ب) قسمت میانی قوس، تنش ها به خوبی کاهش یافته و فقط در یک طول جزئی و آن هم به دو علت تنگ شدگی مقطع به علت حضور آبشکن و انحراف جریان از سمت آبشکن به جداره داخلی، تنش برشی به طور موضعی افزایش می یابد. شکل (5-ج) مربوط به ناحیه جلوی بال آبشکن بوده که فقط در محدوده ختم شده به نوک بال آبشکن T شکل افزایش تنش در یک ناحیه کوچک ایجاد شده که در تمام نواحی دیگر کاهش مناسبی در میزان تنش برشی بستر مشاهده می شود. در نهایت مطابق شکل (5-د)، ناحیه مربوط به پشت بال آبشکن T و مجاور دیواره خارجی تنش ها به خوبی در تمام مقطع کاهش یافته و تاثیر مثبتی برای حضور آبشکن را نشان می دهند



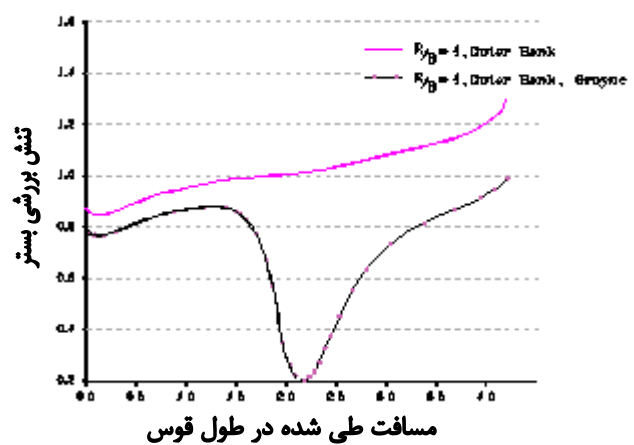
(ب)



(الف)



(د)



(ج)

شکل 5- الف) تنش برشی ( $N/m^2$ ) در مجاورت جداره داخلی تقریباً به فاصله 4 سانتی متر از آن، ب- تنش برشی ( $N/m^2$ ) در میانه کانال ج- تنش برشی ( $N/m^2$ ) در جلوی بال آبشکن، د- تنش برشی ( $N/m^2$ ) در پشت بال آبشکن تقریباً به فاصله 4 سانتی متر از جداره خارجی

## نتیجه گیری

با انجام تجزیه و تحلیل های انجام شده نتایج زیر بدست می آید:

1- در قوس بدون حضور آبشکن خطوط جریان در کف از قوس خارجی به سمت قوس داخلی و در سطح برعکس بوده که بعد از نصب آبشکن به علت وجود اغتشاشات تولید شده در جریان، جریان ثانویه به طور کامل تشکیل نشده به طوری که امتداد جریان در کف و سطح نسبت اختلاف کمتری خواهند داشت.

2- قدرت جریان ثانویه در نواحی که به مقدار حداکثر خود می رسند، هسته مرکزی جریان ثانویه به لایه های پایینی و با کاهش قدرت جریان ثانویه، هسته جریان ثانویه به لایه های بالائی انتقال یافته که بر روی فرسایش در نواحی مختلف قوس اثر می گذارد.

3- تنش برشی بستر با نصب آبشکن T شکل در مجاورت جداره خارجی به طور کامل کاهش یافته ولی به علت حضور انحراف جریان و تنگ شدگی موضعی مقطع با نصب آبشکن، موجب افزایش تنش برشی در فاصله بین بال آبشکن و جداره داخلی همراه خواهد بود.



4- نقش اصلی آبشکن T شکل ایجاد یک مانع برای به اوج رسیدن قدرت جریان ثانویه می باشد و به همین دلیل موجب کاهش فرسایش شده و لازم به ذکر است که در قوس های دارای R/B کوچکتر از 4 هم فرسایش کمتری نسبت به قوس های توسعه یافته ایجاد خواهد شد.

## مراجع

- 1- قدسیان، م. وافقی، م. پناه پور، ن. 1387. بررسی آزمایشگاهی الگوی جریان در قوس 90 درجه. چهارمین کنگره ملی عمران، دانشگاه تهران.
- 2- فضلی، م. 1387. مطالعه آزمایشگاهی آبشستگی در اطراف آبشکن کوتاه در قوس. رساله دکترای تخصصی رشته مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس، ص 56 - 77.
- 3- فرقانی، ج. 1386. بررسی الگوی جریان حول آبشکن(ها) در قوس 90 درجه در بستر تغییر شکل یافته. پایان نامه در کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس. ص 69 - 79.
- 4- موسوی، ع. 1388. بررسی الگوی جریان پیرامون آبشکن T شکل منفرد و مستقر در قوس 90 درجه. پایان نامه در کارشناسی ارشد مهندسی آب، دانشکده مهندسی آب دانشگاه تربیت مدرس. ص 60 - 80.
- 5-Leopold, L. B. and M. Gordon Wolman, 1960, River Meanders, Bulletin of the Geological Society of America, 71 ,pp.769-79.
- 6-Rozovskii, I. L. 1957, Flow of water in bend of open channel Academy of Sciences of Ukrainian SSR, Institute of Hydrology and Hydraulic Engineering.
- 7- Barrett, L. S. 2008. Numerical modeling of flow in a channel. A Master of Science Thesis Delft University.
- 8-Manual of the “Delft 3D – flow “ from the Delft University. V 3.28.04
- 9- Manual of the “Delft 3D – Quick plot “ from the Delft University. V 5.00
- 10- Bahremi, E. Ghaneerizad , m. Akhtari, a .S, 2009. Experimental study on flow structure in strongly curved open channel 90 degree bends .International Symposium on Water Management and Hydraulic Engineering.
- 11- Zhangh, H. Nakagawa, H. Kawaike, K. Baba, Y .2009, International Journal of Sediment Research, Experiment and simulation of turbulent flow in local scour around a spur dyke.
- 12-Shukry, A.1950.Flow Around Bends in an Open Flume. Transactions, ASCE.