Archive of SID

پیش‌بینی توپوگرافی بستر و میدان جریان در اطراف آبشکن در قوس ۹۰ درجه با بستر متحرک

حمید میرزایی[۱]، زهره حیدری[۲]، مجید فضلی[۳]

۱ و ۲- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی دانشگاه بوعلی سینا

۳- عضو هیئت علمی دانشگاه بوعلی سینا

H.mirzaei91@basu.ac.ir

چکیده

جریانات عرضی و جریانات ثانویه موجود در قوس‌ها باعث به وجود آمدن تنش‌های برشی در کانال می‌شود که این تنش‌های برشی سبب انتقال رسوب از نقطه‌ای به نقطه‌ای دیگر و فرسایش دیواره خارجی قوس می‌شود. آبشکن سازه-ای است که برای ساماندهی رودخانه‌ها و جلوگیری از فرسایش دیواره خارجی در قوس‌ها به‌کار می‌رود. تخمین واقع-گرایانه آبشستگی و همچنین میدان سرعت جریان حول آبشکن در رودخانه‌های آبرفتی، برای استفاده در طراحی‌های مطمئن و اقتصادی پی آنها از اهمیت بسیار بالایی برخوردار است. در این مقاله سعی شده با استفاده از نرم‌افزار FLOW3D پدیده آبشستگی شبیه‌سازی شود. به این منظور نتایج تغییرات توپوگرافی بستر در محدوده قوس کانال با استفاده از نرم‌افزار FLOW3D و با مدل آشفتگی k-ε بدست آمده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده‌است. سپس میدان جریان در مقاطع مختلف حول آبشکن یا نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده‌است.

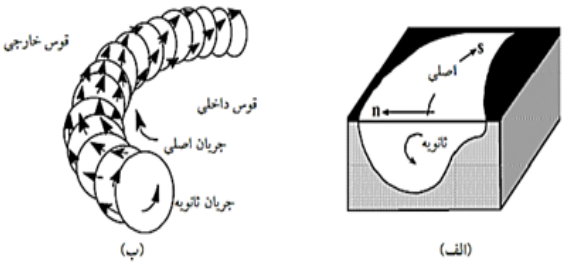
واژگان کلیدی: آبشکن ، آبشستگی، قوس، نرم افزار FLOW3D، مدل آشفتگی k-ε.

مقدمه

بیشتر رودخانه‌ها به‌صورت طبیعی تمایل دارند که از یک الگوی مارپیچ در دشتهای آبرفتی پیروی کنند. این جریان-های پر پیچ و خم به طور معمول دارای یک ناحیه کم عمق در قسمت داخلی قوس و ناحیه‌ای عمیق‌تر در ناحیه خارجی قوس هستند. این الگوی عرضی ایجاد شده اساس ایجاد فرآیند پیچیده فرسایش و رسوبگذاری بستر رودخانه‌ها می‌باشد و همین پدیده باعث ایجاد مشکلات عدیده‌ای در مدیریت جریان در رودخانه‌ها می‌باشد. در شکل ۱ طرحی از جریان ثانویه و جریان حلزونی نشان داده شده است:

www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۱- طرحی از جریان ثانویه و جریان حلزونی: (الف) جریان ثانویه، (ب) جریان حلزونی(فضلی و همکاران(۶))

یکی از روشهای متداول ساماندهی رودخانه و کنترل فرسایش کناری آن، استفاده از آبشکن‌ها است. ساخت آبشکن‌ها باعث می‌شود که الگوی جریان رودخانه در این مقطع تحت تاثیر قرار گیرد و موجب انحراف خطوط جریان از دیوارهای فرسایش‌پذیر به وسط رودخانه شود یا با کاهش سرعت، از شدت برخورد جریان با دیواره‌ها کاسته و قابلیت رسوبگذاری جریان را افزایش دهد. یکی از مسائل مهم و اساسی در طراحی آبشکن‌ها، پدیده آبشستگی موضعی در دماغه آنها است که به علت تنگ‌شدگی مقطع جریان و وجود جریان‌های گردابی قوی به‌وجود می‌آید. آبشستگی موضعی دماغه آبشکن-ها می‌تواند موجب تخریب و انهدام آنها به ویژه در مواقع سیلابی شده و طرح را با شکست روبه‌رو سازد. تخمین آبشستگی می‌تواند در برآورد عمقی که شالوده باید در آن بنا شود (تا از آثار فرسایش در امان بماند) نیز مفید باشد.

این موضوع از اوایل دهه ۱۹۳۰ میلادی مورد تحقیق پژوهشگران بسیاری قرار گرفته و روابط مختلفی برای آن ارائه شده که بیشتر آنها بر نتایج ازمایشگاهی استوار است. از میان محققانی که در این زمینه تحقیقاتی انجام داده‌اند، می-توان به احمد، گارده و همکاران، ریچاردسون، لیم و همکاران، کهنل و همکاران و گیل اشاره کرد (۱۹۹۵).

به خلاف تحقیقات آزمایشگاهی، تحقیقات عددی در این زمینه بسیار کم و محدود است. از میان کارهایی که به روش عددی انجام شده، می‌توان کارهای پنگ و همکاران (۱۹۹۹)، چن و ایکدا (۱۹۹۷)، دارتوس و اویلون (۱۹۹۷)، ایشی و همکاران (۱۹۸۳) را نام برد. این محققان بیشتر به شبیه‌سازی جریان حول آبشکن پرداخته‌اند و به جز پنگ، کمتر محققی به مساله آبشستگی حول آبشکن و بررسی میدان سرعت پرداخته است.

به‌علاوه بررسی‌های متعدد روابط تجربی موجود در زمینه برآورد حداکثر عمق آبشستگی نشان می‌دهد که بیشتر روابط ارائه شده، برای داده‌های آزمایشگاهی، خطای بسیار زیادی دارند. یکی دیگر از معایب روشهای تجربی ارائه شده، تناسب نداشتن شرایط آزمایشگاهی با مقیاس طبیعی مساله است، زیرا روابط ارائه شده همگی از داده‌های آزمایشگاهی استخراج شده و قطعا تبدیل این شرایط به شرایط موجود در طبیعت، خطاهایی را در تخمین حداکثر عمق آبشستگی و همچنین میدان سرعت به‌وجود خواهند آورد. این مشکل در روشهای عددی به چشم نمی‌خورد. با در نظر گرفتن مطالب بالا و با توجه به تعداد کم تحقیقات انجام شده با روش عددی در حالت سه‌بعدی، لزوم تحقیق عددی در حالت سه‌بعدی بر روی میدان سرعت و همچنین آبشستگی به چشم می‌خورد که در این مقاله با استفاده از نرم‌افزار FLOW3D به بررسی میدان سرعت در قوس ۹۰ درجه با در نظر گرفتن مدل آشفتگی k-ε پرداخته‌ایم.

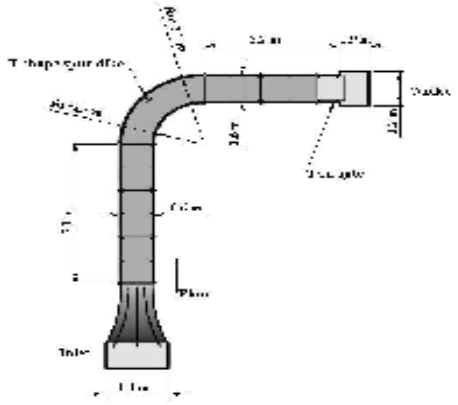
مواد و روش‌ها

تجهیزات آزمایشگاهی

www.SID.ir

Archive of SID

آزمایش‌ها در یک فلوم شیشه‌ای قوسی شکل با زاویه مرکزی ۹۰ درجه که آبشکن ساده در زاویه ۴۵ درجه قرار دارد در آزمایشگاه هیدرولیک دانشگاه تربیت مدرس که پلان آن در شکل ۲ نشان داده شده، انجام شده‌است:



شکل ۲- پلان مخزن و تبدیل ورودی، کانال مستقیم ورودی قبل از قوس، دریچه کنترل عمق جریان و مخزن خروجی

کانال مستقیم ورودی به یک کانال قوسی ۹۰ درجه با شعاع ۲/۴ متر متصل می‌گردد. این کانال قوسی شکل با یک فلوم مستقیم به دریچه کنترل عمق جریان و سپس مخزن خروجی متصل می‌شود. آبشکن از جنس پلاکسی گلاس و به ضخامت یک سانتیمتر و با طول ۹ سانتیمتر می‌باشد. برای اندازه‌گیری عمق جریان و نیز برداشت توپوگرافی بستر پس از تعادل از یک تراسنج دیجیتالی استفاده گردیده‌است. برای اندازه‌گیری سرعت جریان از دستگاه سرعت‌سنج دو بعدی مدل P-EMS و برای اندازه‌گیری دبی از یک روزنه کالیبره شده استفاده شده‌است. مصالح بستر از ماسه رودخانه‌ای با قطر متوسط معادل ۱/۲۸ میلیمتر و در لایه‌ای به ضخامت تقریبی ۳۰ سانتیمتر در سراسر کانال مورد نظر ریخته شده‌است.

معادلات حاکم

معادلات حاکم بر جریان سیال در حالت آشفته شامل معادلات بقاء جرم و مومنتوم می‌باشد. بافرض دائمی بودن جریان $(\frac{\partial}{\partial t}=0)$ و نیز صرف‌نظر کردن از نوسانات جرم مخصوص $(\dot{\rho}=0)$، این معادلات به‌صورت زیر بیان می‌شوند.

معادله پیوستگی

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_j\right)=0 \quad (۱)$$

و معادله اندازه حرکت

$$\frac{\partial}{\partial x_j}\left(\rho u_i u_j\right)=-\frac{\partial p}{\partial x_j}\delta_{ij}+\frac{\partial}{\partial x_j}\mu\left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j}+\frac{\partial u_j}{\partial x_i}\right)+\frac{\partial}{\partial x_j}\left(-\rho\vec{u}_i\vec{u}_j\right) \quad (۲)$$

در معادلات فوق u مؤلفه سرعت، ρ چگالی سیال و p فشار کل می‌باشد. هم‌چنین در معادله (۲) جملات $-\rho\vec{u}_i\vec{u}_j$ به‌عنوان تنش‌های رینولدز شناخته می‌شوند. با مشاهده روابط (۱) و (۲) مشاهده می‌گردد که این روابط از سه معادله اندازه حرکت و یک معادله پیوستگی تشکیل شده‌اند و ۱۰ مجهول وجود دارد (p, u, v, w و شش مؤلفه تنش رینولدز). در نتیجه میدان معادلات حاکم بر جریان بسته نبوده و لازم است تا تنش‌های رینولدز با روش ریاضی مدل‌سازی شوند. لذا برای بستن سیستم معادلات حاکم، از مدل‌های آشفتگی استفاده می‌شود.

نرم افزار FLOW3D

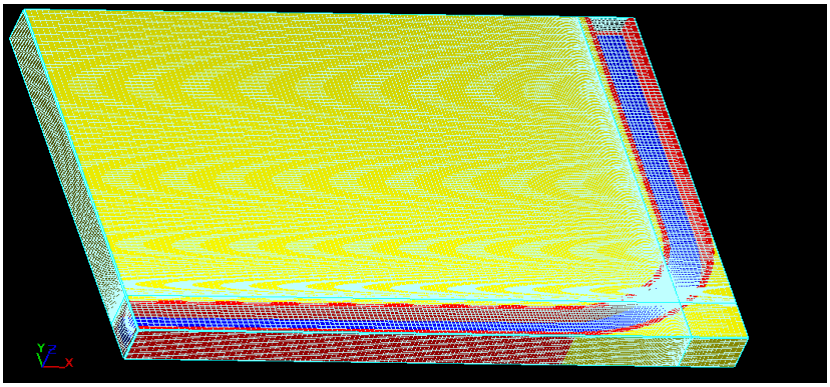
www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از نرم‌افزار تجاری FLOW3D از بسیاری جهات شبیه ساخت و انجام آزمایش فیزیکی است. اگر مدل ساخته شده آزمایشگاهی به صورت دقیق نتواند حالت واقعی را مدل کند، نتایج نیز نمی‌توانند منعکس کننده جریان واقعی باشند، در این صورت باید از نتایج ابتدایی نرم‌افزارهای قوی در زمینه مکانیک سیالات سود جست.تولید، توسعه و پشتیبانی نرم‌افزار تجاری FLOW3D توسط شرکت .Science Ine صورت گرفته‌است. یکی از قابلیت‌های عمده این برنامه برای آنالیزهای هیدرولیکی، توانایی مدل کردن جریانهای با سطح آزاد می‌باشد. حد فاصل بین گاز و مایع همان سطح آزاد است. در سطح آزاد سیال با تکنیک حجمی مدل می‌شود. از معادلات حاکم بر این مدل معادلات ناویر استوکس و معادلات بقای جرم را می‌توان نام برد. در نرم‌افزار FLOW3D پنج مدل آشفتگی ارائه شده‌است: طول اختلاط پرانتل، دو معادله k-ε و مدلهای RNG، Turbulent Energy و مدل LES (شبیه‌سازی گردابه‌های بزرگ). در این مقاله نتایج حاصل از مدل آشفتگی k-ε با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده‌است.

مش‌بندی و بررسی شبکه ایجاد شده

در روش CFD از شبکه‌های مختلفی برای تولید دامنه محاسباتی استفاده شده‌است. این شبکه‌ها شامل شبکه‌های با سازمان و یا بی‌سازمان، تطبیقی، شبکه‌های منطبق بر بدنه، چند بلوکی و ... می‌باشد. هر کدام از شبکه‌های یاد شده از نقاط ضعف و قوت مختلفی برخوردار است. همچنین ابعاد شبکه مش‌بندی باید به گونه‌ای انتخاب گردد تا هندسه سازه در محل‌هایی که برای ما اهمیت بیشتری دارند به خوبی و با دقت مناسبی مدل گردد. بنابراین در این مقاله سعی شده‌است که ابعاد مش‌ها در قوس کاهش یابد و ریزترین ابعاد مش در اطراف آبشکن قرار گیرد.



شکل ۴- نحوه مش‌بندی کانال

تعریف مسئله

در کانال مورد بررسی شرایط مرزی را مانند حالت آزمایشگاهی تعریف کرده‌ایم، به این صورت که دبی ورودی را برابر ۰/۰۲۵ متر مکعب بر ثانیه (۲۵ لیتر بر ثانیه)، عمق آب در طول کانال مقدار ثابت ۱۱ سانتیمتر، و مشخصات رسوب نیز همان‌گونه که در قسمت تجهیزات آزمایشگاهی گفته‌شد در نظر گرفته‌شد.

www.SID.ir

Archive of SID

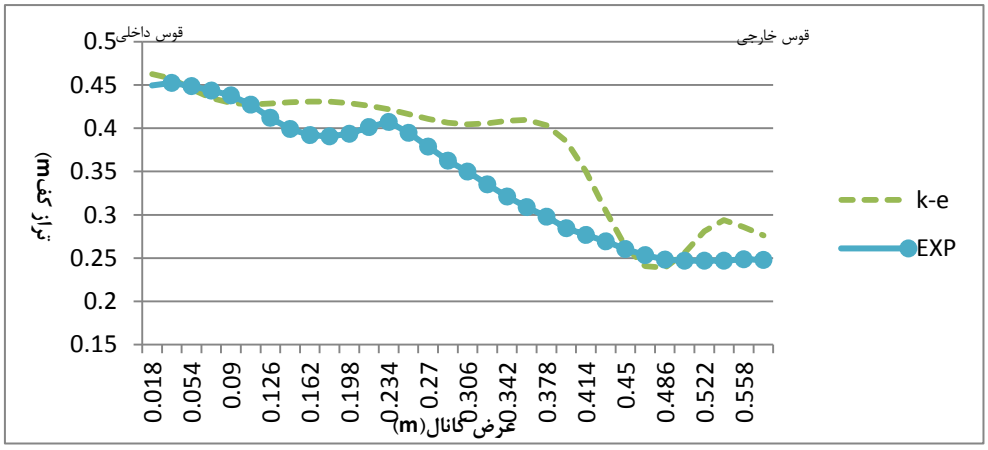
تحلیل نتایج

در این مقاله ابتدا به بررسی تغییرات توپوگرافی بستر با مدل آشفتگی k-ε پرداخته‌شده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌گردد. سپس الگوی جریان در مدل آشفتگی k-ε با نتایج آزمایشگاهی مقایسه می‌گردد.

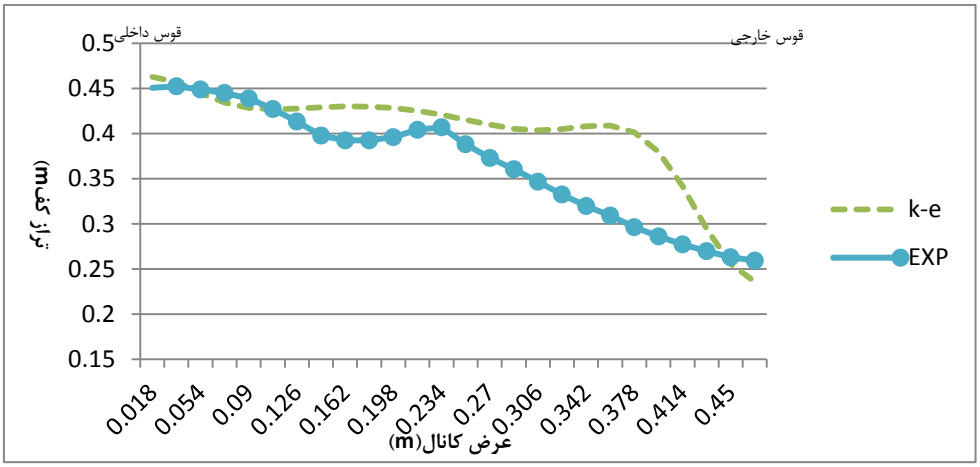
مقایسه نتایج مدل آشفتگی k-ε با نتایج آزمایشگاهی در بررسی تغییرات توپوگرافی بستر در مقاطع عرضی مختلف حول آبشکن

در مقاطع نزدیک آبشکن به علت تاثیرات قابل ملاحظه آبشکن بر روی الگوی جریان و به تبع آن بر روی توپوگرافی بستر بخش عمده‌ای از مقاطع عرضی تحت آبشستگی قرار گرفته‌اند و تنها در بخش کوچکی از جداره داخلی رسوبگذاری انجام می‌شود.

در این بخش به بررسی میزان تغییرات تراز بستر در مقاطع عرضی مختلف حول آبشکن، با مدل آشفتگی k-ε پرداخته شده و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه شده‌است. این مقاطع شامل مقاطع ۴۴/۷۵، ۴۵ و ۴۵/۲۵ درجه می‌باشد. شکل ۵ نشان‌دهنده تغییرات توپوگرافی بستر در مقاطع عرضی مذکور می‌باشد:



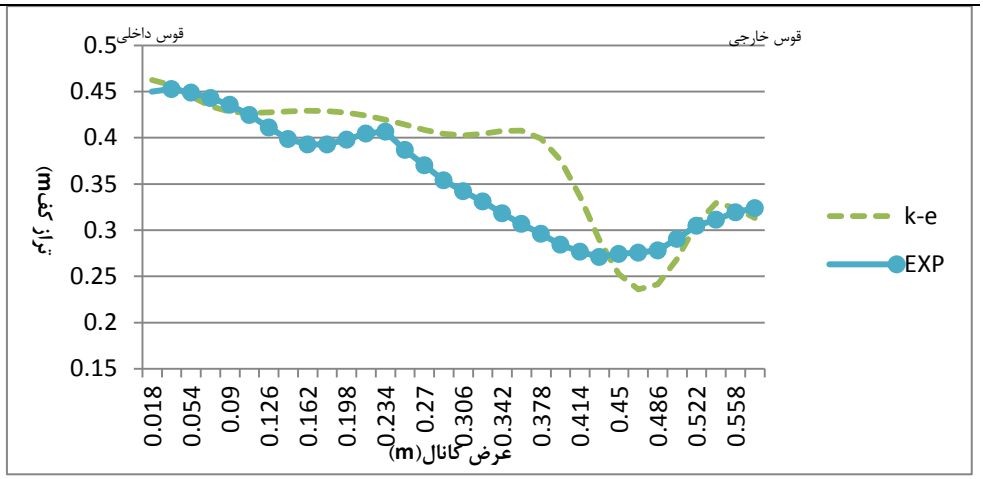
(الف)



(ب)

www.SID.ir

Archive of SID



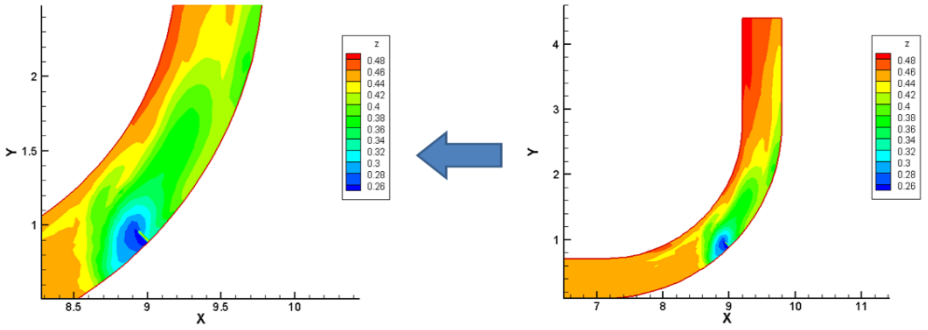
(پ)

شکل ۵- مقایسه تغییرات تراز بستر در مقطع عرضی: (الف) ۴۴/۷۵ درجه، (ب) ۴۵ درجه و (پ) ۴۵/۲۵ درجه با مدل آشفتگی k-ε و نتایج آزمایشگاهی

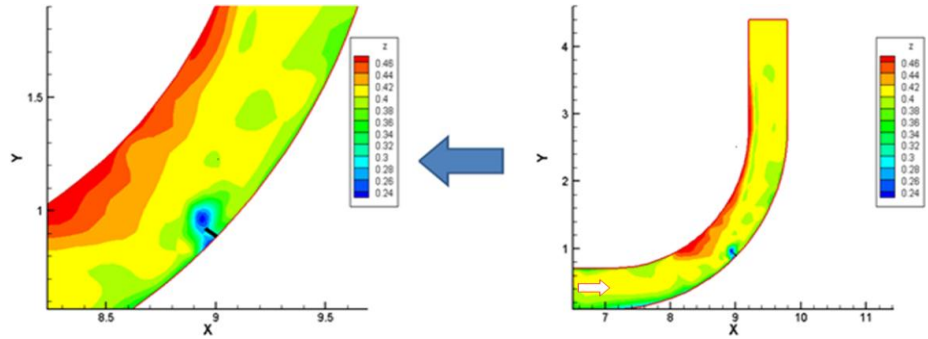
همان‌طور که مشاهده می‌شود، نتایج مناسبی در تغییرات تراز بستر مخصوصا در نقاط حداقل و حداکثر آبشستگی دیده می‌شود.

مقایسه مدل آشفتگی k-ε با نتایج آزمایشگاهی در بررسی تغییرات توپوگرافی بستر در پلان

در شکل ۶، تغییرات تراز بستر در قوس ۹۰ درجه ساده با موقعیت آبشکن در ۴۵ درجه ناشی از مدل آشفتگی k-ε و اندازه گیری های آزمایشگاهی برای مقایسه هر چه بهتر در پلان کانال مورد بررسی، آورده شده است. لازم به ذکر است که کف بستر در شبیه‌سازی انجام شده ۰/۴۵ متر می‌باشد. بنابراین اعداد کوچک‌تر از این مقدار آبشستگی، و اعداد بزرگتر از این مقدار رسوب‌گذاری را نشان می‌دهند. همچنین موقعیت آبشکن در x=۹m و در قوس خارجی می‌باشد.



(الف)



www.SID.ir

Archive of SID

(ب)

شکل ۶- تغییرات تراز بستر در قوس ۹۰ درجه ساده با آبشکن در موقعیت ۴۵ درجه: (الف) نتایج آزمایشگاهی، (ب) مدل LES

همانطور که در شکل شماره ۶ قابل مشاهده است، مدل k-ε با توجه به نتایج آزمایشگاهی در مدلسازی تغییرات بستر در پلان نیز توانسته نتایج قابل قبولی را ارائه دهد.

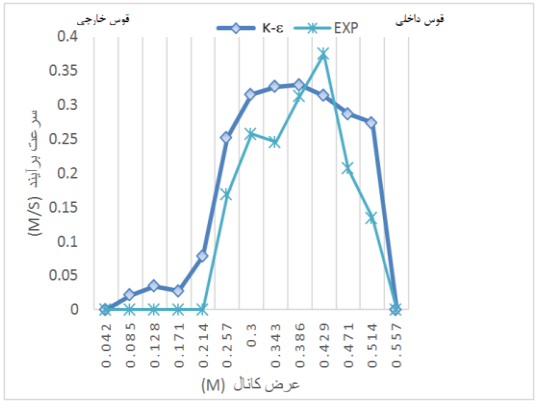
مقایسه مدل آشفتگی k-ε با نتایج آزمایشگاهی در بررسی برآیند سرعت‌ها در مقاطع عرضی مختلف حول آبشکن

قبل از هر چیز باید گفت منظور از برآیند سرعت (Velocity Magnitude) در هر نقطه، برآیند سه بردار سرعت u، v و w می‌باشد که با رابطه زیر بیان می‌گردد:

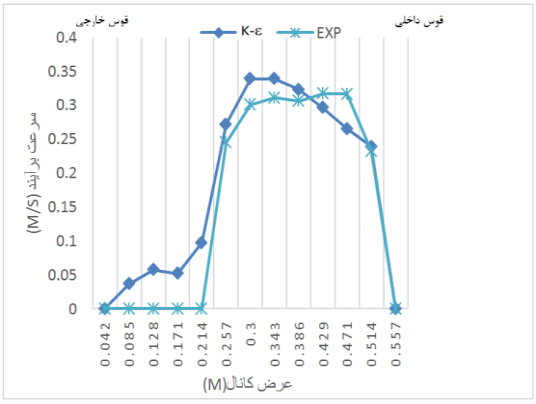
$$\text{برآیند سرعت} = (u^2 + v^2 + w^2)^{0.5} \quad (۳)$$

که در این رابطه u، v و w به ترتیب سرعت در راستای x، y و z می‌باشند.

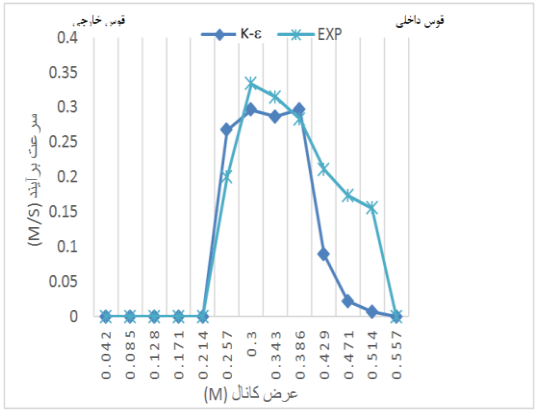
در شکل ۷، به مقایسه سرعت برآیند نتایج مدل k-ε و نتایج آزمایشگاهی در نزدیک‌ترین مقطع عرضی به آبشکن، یعنی در مقطع عرضی ۴۴/۹۵ درجه و در اعماق ۱۱، ۶، ۱، ۹- و ۱۷- سانتیمتری از بستر پرداخته شده‌است:



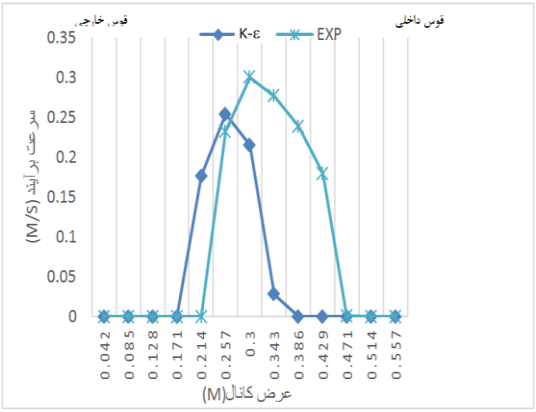
(الف)



(ب)



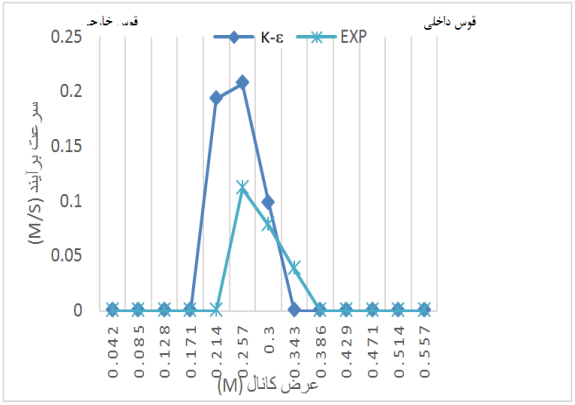
(پ)



(ت)

www.SID.ir

Archive of SID



(ث)

شکل ۷- بررسی برآیند سرعت‌ها در مقطع عرضی ۴۴/۹۵ درجه در عمق: (الف) ۱۱، (ب) ۶، (پ) ۱، (ت) ۹- و (ث) ۱۷- سانتیمتری از بستر

همان‌طور که از شکل ۷ مشخص است، در سه لایه بالای بستر نتایج عددی و آزمایشگاهی تطابق بسیار مناسبی چه از نظر کیفی و چه از نظر کمی باهم دارند و در زیر بستر، در اعماق ۹- و ۱۷- سانتیمتری نیز نتایج قابل قبول می‌باشد اما نتایج لایه‌های بالایی مناسب‌تر می‌باشد.

نتیجه‌گیری

همان طور که مشاهده شد نتایج مدل آشفتگی k-ε تطابق قابل قبولی با نتایج آزمایشگاهی داشت. در نهایت باید گفت که همان طور که در تعریف نرم‌افزار FLOW3D گفتیم، این نرم‌افزار، نرم‌افزاری قدرتمند برای شبیه‌سازی جریان می‌باشد و با استفاده از مدل‌های مختلف آشفتگی می‌توان به نتایج خوبی در مقایسه با نتایج آزمایشگاهی دست یافت و همان‌طور که ذکر شد این موضوع وابستگی زیادی به نحوه مش‌بندی دقیق و همچنین کالیبراسیون دقیق مدل دارد.

منابع

1. Przedwajski, B.; Blazejewski, P.; Pilaryzk, K. W.; “River Training Techniques: Fundamental, Design and Application”;Balkema, Rotterdam; 1995.
2. Peng, J.; Kawahara, Y.; Huang, G. W.; “Numerical Modeling of Local Scour Around Spur Dikes”; 28th IAHR Congress, Graz, Austria; 1999.
3. Chen, F. Y.; Ikeda, S.; “Horizental Separation in Shallow Open Channels with Spur Dikes”; J. of Hydroscience and Hydraulic Engineerimg; 1997.
4.Ouillon, S.; Dartus, D.; “Three Dimensional Computation of Flow Around Groynes”; J. Hydraulic Engineering, ASCE, 123; 1997; pp. 962-970.
5. Ishii, C.; Asada, H.; Kishi, T.; “Shape of Separation Region Formed Behind a Grion of Non-Overflow Type in Rivers”; XX IAHR Congress, Moscow, USSR; 1983.
۶. فضلی، مجید.، قدسیان، مسعود، صالحی نیشابوری، سیدعلی‌اکبر،۱۳۸۸، تغییرات توپوگرافی بستر در قوس ۹۰ درجه در شرایط مختلف جریان، مجله فنی و مهندسی مدرس، ۳۵، ۱۲۳-۱۴۴.

www.SID.ir

Archive of SID

۷. فیروز قاسم‌زاده، شبیه‌سازی مسائل هیدرولیکی در FLOW3D- چاپ دوم ۱۳۹۲

www.SID.ir