

بررسی تاثیر سازه کنترل رسوب آستانه بر میزان رسوب ورودی به کانال آبیگر جانبی با زوایای مختلف آبیگری

آیدا مکوندی^{1*}، عبدالرسول تلوری² و محمود مشعل³

(1) کارشناس ارشد دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، گروه عمران، دزفول، ایران.

(2) دانشیار دانشگاه آزاد اسلامی واحد اهواز، گروه عمران، اهواز، ایران.

(3) استادیار دانشگاه تهران، گروه مهندسی آبیاری و زهکشی پردیس ابوریحان، پاکدشت، ایران.

* نویسنده مسئول مکاتبات: aidamakvandi@gmail.com

تاریخ پذیرش: 91/3/26

تاریخ دریافت: 91/1/9

چکیده

استفاده از آبیگرهای جانبی یکی از روش‌های معمول در آبیگری از رودخانه‌ها می‌باشد. در نواحی خشک و نیمه خشک که جریان سیلاب حاوی رسوبات زیادی می‌باشد، بخشی از رسوبات همراه جریان وارد کانال آبیگر شده و در قسمت‌های مختلف کانال از جمله ورودی کانال آبیگر ترسیب می‌کند. رسوب گذاری در این ناحیه ظرفیت انتقال کانال جانبی را کاهش می‌دهد و سبب انسداد دهانه آبیگر می‌گردد. روش‌های مختلفی برای کاهش رسوب ورودی به دهانه آبیگر وجود دارد که یکی از آنها توجه به زاویه کانال آبیگر با جهت جریان در کانال اصلی است و دیگری استفاده از سازه‌های کنترل رسوب مانند آستانه. در این تحقیق با استفاده از نرم افزار CCHE2D به شبیه سازی یک مطالعه آزمایشگاهی که قبلاً انجام شده است و مقایسه نتایج شبیه سازی با نتایج آزمایشگاهی موجود به عنوان نمونه، جهت بررسی کنترل رسوب در یک فلوم به طول تقریبی 17 متر و عرض 1/5 متر و عمق 0/7 متر پرداخته شده است. آبیگری به عرض ورودی 0/6 متر و با زاویه‌های 90، 75، 60 و 45 درجه نسبت به جهت جریان، متصل به فلوم می‌باشد. در ضمن مصالح بستر نیز ماسه با قطر متوسط یک میلی متر می‌باشد که به ضخامت 20 سانتی متر در بستر فلوم ریخته شده است. یک بار مدل را به صورت ساده و بار دیگر همراه با وجود آستانه ای به ارتفاع 3/5 سانتی متر و ضخامت 1 سانتی متر در ابتدای آبیگر جانبی شبیه سازی شده است. محدوده آزمایش‌ها به نحوی بوده که فقط حرکت بار بستر وجود داشته است. نتایج آزمایشات در فلوم آزمایشگاهی نشان داده بود که وجود آستانه سبب کاهش رسوب ورودی به کانال آبیگر در حدود 30 درصد شده است و اجرای مدل مورد استفاده نیز در شرایط یکسان این درصد کاهش را در حدود 26 درصد برآورد نموده است که گویای قابلیت مدل CCHE2D در پیش بینی این موضوع می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: کنترل رسوب، بار بستر، آستانه، زاویه آبیگری، CCHE2D.

مقدمه

مهار و بهره‌گیری از سیلاب رودخانه‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله کارهایی است که در سال‌های اخیر در ایران مورد اهتمام قرار گرفته است. یکی از روش‌های بهره‌برداری از آب این رودخانه‌ها، انحراف بخشی از سیلاب توسط یک دهانه آبیگر و انتقال آب توسط یک کانال به محل مورد نظر می‌باشد. از مشخصه‌های اصلی سیلاب در مناطق خشک و نیمه خشک وجود بار رسوبی زیاد خصوصاً بار بستر است، که معمولاً بخشی از آن وارد آبیگر شده و در دهانه آبیگر یا قسمت‌های ابتدایی کانال رسوب گذاری کرده و سبب انسداد دهانه آبیگر و یا کاهش ظرفیت انتقال کانال می‌گردد. به طور کلی موضوع انتقال رسوب و برآورد میزان آن در آبراهه‌های آبرفتی مدت‌ها است که مورد مطالعه قرار گرفته و تاکنون روش‌های مختلفی برای برآورد میزان انتقال رسوب به کار رفته است. غالباً نتایج حاصل از این روش‌ها تفاوت فاحشی با یکدیگر و با مشاهدات صحرایی دارند. در عمل باید برای حل این مسئله از فرمول‌های انتقال رسوبی استفاده نمود که اساس استخراج آن‌ها با شرایط جریان و رسوب مسئله در دست بررسی هماهنگی داشته باشد.

در دهانه آبیگر، به علت تغییراتی که در توزیع سرعت در محدوده آبیگری رخ می‌دهد، معمولاً عمل رسوب گذاری در دهانه آبیگر صورت می‌گیرد که باعث کاهش راندمان آبیگری، افزایش هزینه‌های اجرایی برای عملیات رسوب زدایی و در نهایت تغییر مسیر و خط القعر رودخانه به سمت ساحل دیگر (ساحل مقابل آبیگر) می‌شود. در رودخانه‌های عریض معمولاً بعد از هر دوره ی سیلابی خط القعر به علت تجمع رسوبات در دهانه ی آبیگر به ساحل مقابل آن کشیده شده و در نهایت به علت انباشته شدن رسوبات در جلوی دهانه ی آبیگر و تغییر مسیر خط القعر، عمل آبیگری از رودخانه کاهش می‌یابد. تحقیقات مختلفی در زمینه شناخت و تعیین ابعاد ناحیه گردابی در ورودی کانال آبیگر انجام شده است.

یکی از روش‌های کاهش رسوب ورودی به آبیگر استفاده از آستانه می‌باشد. در این روش بستر کانال آبیگر نسبت به کانال اصلی اختلاف ارتفاع دارد که مانع از ورود رسوبات بار بستر به کانال آبیگر می‌شود. ارتفاع آستانه متأثر از ضخامت لایه فعال بستر و یا توپوگرافی رسوبات در کف بوده که خود تابع شرایط هیدرولیکی رودخانه و آبیگر است و به طور کلی به گونه ای در نظر گرفته می‌شود که از ضخامت لایه بار بستر بیشتر باشد و مانع از ورود بخش عمده رسوبات لایه بار بستر به کانال آبیگر شود. اگر چه به لحاظ ماهیت سه بعدی جریان در دهانه‌ی آبیگر و جریان‌های گردابی به وجود آمده از ورود رسوبات بار بستر به طور کامل جلوگیری نمی‌شود و بخشی از رسوبات وارد آبیگر می‌شود. یکی از معایب این روش عدم امکان آبیگری در جریان‌های کم آبی می‌باشد. استفاده از آستانه بیشتر در آبیگری از بندهای انحرافی معمول می‌باشد. به طور کلی آستانه تا وقتی می‌تواند میزان انحراف رسوب را کاهش دهد که جلوی آن از رسوبات پر نشده باشد، زیرا در غیر این صورت نیمرخ بستر خود را با ارتفاع آستانه تطبیق داده و تاثیر آن از بین خواهد رفت. کاربرد آستانه در کنترل رسوب ورودی به آبیگر را بررسی نموده و نشان داد که عرض ناحیه گردابی در ورودی کانال آبیگر در حالت وجود آستانه کاهش می‌یابد. (عباسی، 1382). حسین نژاد و همکاران (1391) نیز در مطالعه ای تأثیر استفاده از آستانه در کاهش آبشستگی اطراف پایه پل استوانه ای در رسوبات چسبنده را مورد بررسی قرار دادند. نتایج نشان داد که کمترین فاصله بین پایه و آستانه بیشترین کاهش را در عمق و حجم آبشستگی داشته است.

رستمی و همکاران (1391) در مطالعه ای به بررسی کارایی مدل CCHE2D به عنوان یک مدل متوسط گیری شده در عمق برای شبیه سازی الگوی جریان، فرسایش و رسوبگذاری در محل تلاقی شاخه های فرعی با رودخانه اصلی پرداختند. در این تحقیق از نتایج مدل آزمایشگاهی جهت کالیبراسیون و همچنین ارزیابی دقت مدل CCHE2D استفاده گردیده است. مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی نشان داد که مدل مذکور با خطایی در حدود 7 و 17 درصد به ترتیب قادر به پیش بینی حداکثر ارتفاع و عرض پهنه رسوب گذاری در محل تلاقی می باشد. رخشا و همکاران (1391) در تحقیقی با استفاده از مدل دو بعدی CCHE2D به مدل سازی روند رسوب گذاری در پشت سد تنظیمی دز پرداخته اند و نتیجه گرفتند که مدل مربوطه نتایج قابل قبولی را ارائه نموده است. رحمتیان طوسی و همکاران در سال 1391 تحقیقی را با هدف بررسی مکانیزم انتقال رسوب در رودخانه فصلی ناشی از سیلاب ناگهانی بصورت مدل سازی یک کانال آزمایشگاهی با استفاده از مدل CCHE2D انجام دادند. نتایج خروجی از مدل و کار آزمایشگاهی نشان داد که هر دو به طور کیفی به درستی الگوی جریان در ناحیه ی مورد بررسی را شبیه سازی نمودند. اما تفاوت هایی در نتایج حاصل از مدل وجود داشته که ناشی از نحوه ی حل معادلات و توانایی های متفاوت در این نرم افزار بوده است. ابراهیمی کماجانی و همکاران (1391) در تحقیقی با استفاده از نرم افزار CCHE2D مدل عددی الگوی جریان را در اطراف یک آبشکن تهیه و با قرار دادن آبشکن در 5 موقعیت با زوایای 60.45، 30.75 و 90 درجه نسبت به جهت جریان در قوس 180 درجه در شرایط آب زلال، به بررسی تأثیر این مدل ها بر تغییرات سرعت جریان و تنش برشی در اطراف آبشکن پرداختند. آنها در این تحقیق نشان دادند که محدوده سرعت های ماکزیمم و تنش برشی در زویه 75 درجه بیشترین مقدار و کمترین مقدار آن در زویه 30 درجه رخ خواهد داد و در زوایای مختلف با افزایش دبی، میزان سرعت در اطراف آبشکن نیز افزایش می یابد. تاجیک جلایری (1391) در مقاله ای به بررسی مقایسه نرم افزارهای FLUENT، CCHE2D، SSIIM، HEC-RAS 4 و FLOW-3D برای شبیه سازی عددی رسوبگذاری پرداخت. بر طبق این بررسی از توانایی های ویژه نرم افزار CCHE2D می توان به توانایی در نظر گرفتن مدل های آشفتگی متنوع و توانایی شبیه سازی انتقال رسوب و فرسایش کرانه ای اشاره نمود. در پایان ذکر شده که بطور کلی هر نرم افزار دارای ویژگی ها و معایبی هستند که بسته به نیاز طرح می توان از آنها استفاده کرد.

Wittaker و همکاران (1984) با ساخت مدل فیزیکی آبگیر کاندر در کشور سوئیس با مقیاس 1:40 روش های مختلف جداسازی رسوب در داخل رودخانه و در داخل کانال آبگیر را بررسی کرده است. در این مطالعات توصیه هایی برای طراحی آبگیر ارائه شده به نحوی که رسوبات کمتری وارد آبگیر شوند که عبارت از ساخت آبگیر با زویه 30 تا 45 درجه، ساخت آستانه در ورودی دهانه آبگیر، انتخاب سرعت داخل آبگیر بین 0/8 تا 1 متر بر ثانیه و ساخت یک آبشکن در ضلع مقابل آبگیر در مسیرهای مستقیم به منظور ایجاد انحنا در خطوط جریان می باشد (Scheuerlein, 1984) مطالب کلی در خصوص کنترل رسوب در آبگیر و جداسازی بار بستر ارائه کرده است. روش های کنترل رسوب بار بستر در سه دسته ی کلی تقسیم بندی شده اند. گروه اول شامل ایجاد یک آستانه در جلوی دهانه آبگیر به منظور جلوگیری از ورود جریان پر رسوب لایه پایینی به کانال آبگیر می باشد. گروه دوم شامل ساخت یک صفحه افقی در جلو دهانه آبگیر می باشد، به طوریکه لایه پر رسوب پایینی را از لایه کم رسوب بالایی جدا کند. لایه پایینی به پائین دست رودخانه منتقل می شود و لایه کم رسوب بالایی وارد کانال آبگیر می شود. در گروه سوم یک شیار در ابتدای کانال آبگیر تعبیه می شود که رسوبات بستر وارد آن شده و

توسط جریان چرخشی ایجاد شده در داخل آن به رودخانه منتقل می‌شود. Wang و همکاران (1993) مدل هیدرولیکی سازه‌های انحراف آب را به منظور کنترل رسوب ورودی به کانال آبگیر در دو حالت وجود و عدم وجود دریچه‌های کنترل جریان ساخته و مورد آزمایش قرار داده‌اند. کانال آبگیر عمود بر کانال اصلی بوده و هدف اصلی از مطالعه کنترل بار رسوبی معلق ورودی به کانال آبگیر است. برای جلوگیری از وجود رسوبات بستر به داخل آبگیر، بهترین راه استفاده از آستانه به ارتفاع 30 سانتی متر بالاتر از کف رودخانه بوده است.

Zorkheflee و همکاران (2010)، مطالعه‌ای را با استفاده از مدل دو بعدی CCHE2D جهت پیش بینی رفتار رسوب گذاری در دهانه‌ی آبگیر انجام دادند. نتایج نشان داد که معادلات انگلوند وهانسن برای ارائه نتایج انتقال رسوب در بازه مورد مطالعه، مناسب تر بوده است. همچنین مدل ریاضی CCHE2D نتایج مناسبی را برای ارزیابی سرعت پخش و تغییرات بستر و ساحل ارائه داد. این مطالعه نشان داد که سرعت‌ها و موقعیت‌های فرسایش و ته نشینی با مقادیر مشاهده شده و اندازه گیری شده در واقعیت تطابق خوبی دارند. Ribeiro (2011) در مطالعه آزمایشگاهی به بررسی تغییرات مورفولوژی بستر کانال اصلی در نتیجه تلاقی یک آبراهه فرعی با زاویه 90 درجه پرداخت. در این تحقیق با افزایش دبی در کانال فرعی با سه سری نسبت دبی مختلف و تزریق دبی رسوبی از دهانه شاخه فرعی به بررسی تغییرات مورفولوژیکی بستر در دهانه کانال اصلی و کانال فرعی پرداخت و سپس با بازشدگی در دهانه ورودی شاخه فرعی در سه مرحله با همان نسبت‌های دبی به مقایسه میزان فرسایش و رسوب پرداخته و نتایج حاصل را مقایسه نموده است. Baig و Qamar (2012)، نیز در تحقیقی مدل عددی CCHE2D را برای شبیه سازی محدوده جریان در مخزن تاربلا در رودخانه ایندوس پاکستان به کار بردند. نتایج نشان داد که ارتفاع‌های بستر پیش بینی شده مطابقت خوبی با اندازه‌های واقعی دارند و نشان دادند که مدل CCHE2D می‌تواند با رضایت بخشی زیادی برای شبیه سازی جریان ناپایدار در رودخانه‌های طبیعی با هندسه پیچیده، خم‌های تند و جریان‌های گسترده مورد استفاده قرار گیرد.

اغلب این بررسی‌ها در شرایط آزمایشگاهی و با صرف هزینه صورت گرفته است ولی در بسیاری از موارد بدلیل عدم وجود امکانات آزمایشگاهی نیاز به استفاده از مدل‌های ریاضی و نرم افزارهای مربوطه می‌باشد که در تحقیق حاضر با توجه به در اختیار قرار گرفتن نتایج یک بررسی آزمایشگاهی، کاربرد نرم افزار CCHE2D در برآورد میزان تأثیر آستانه در کاهش بار رسوب ورودی به آبگیر مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

معرفی نرم افزار

CCHE2D یک مدل دو بعدی برای شبیه سازی جریان غیردائم در حالت آشفته همراه با انتقال رسوب است. نسخه اولیه این نرم افزار در سال 1997 توسط مرکز ملی مطالعات هیدرولیکی در دانشگاه می سی سی پی منتشر شده است. هدف اصلی از ارائه این مدل، کاربرد در زمینه‌های مربوط به مدل سازی رسوب گذاری، فرسایش و مهاجرت رودخانه‌ها است. از این مدل همچنین می‌توان برای ارزیابی احداث سازه‌های هیدرولیکی همچون کنترل کننده‌های شیب در رودخانه، آبشکن و گوره بر روی مورفولوژی رودخانه استفاده نمود. این مدل به زبان فرترن 90 نوشته شده است و برای انفصال ترم معادلات دیفرانسیل از روش المان محدود و برای حل میدان سرعت و فشار از

شبکه‌های جابجا شده و برای حل جابجایی از روش آپویند استفاده می‌کند. نرم افزار CCHE2D از دو نرم افزار جداگانه CCHE-Mesh generation و CCHE-GUI تشکیل شده است. نرم افزار CCHE-Mesh generation قابلیت ایجاد شبکه بندی در ساختارهای پیچیده را به وسیله ی ابزارهای خود مهیا نموده است. نرم افزار CCHE-GUI هسته ی گرافیکی نرم افزار CCHE2D است، که وظیفه آمایش شرایط اولیه، آمایش پارامترهای مدل، اجرای شبیه سازی عددی و نمایش گرافیکی نتایج خروجی را دارا است (مغربی، 1391).

بر اساس مکانیسم انتقال رسوب، بار کل مجموع بار بستر و بار معلق است و بر اساس منشأ مواد رسوب بار کل مجموع بار مواد بستر (شامل بار بستر و بار معلق) و بار شسته می‌باشد. می‌توان بار بستر و بار معلق را بطور جداگانه برای یک جریان معلوم تحت شرایط مرزی معینی با یکی از روش‌های متداول برآورد کرد و سپس از جمع آن‌ها دبی بار کل را بدست آورد. علاوه بر این روش، معادلات تجربی متعددی برای برآورد دبی بار کل توسط پژوهشگران مختلف وضع شده اند. بسیاری از این معادلات برای برآورد بار کل مواد بستر (مجموع بار بستر و بار معلق بدون در نظر گرفتن بار شسته) معرفی گردیده اند. این معادلات نرخ انتقال بار کل رسوب را مستقیماً با متغیرهای هیدرولیکی بدون در نظر گرفتن اختلاف بین بار بستر و بار معلق ارتباط می‌دهند (محمودیان شوشتری، 1388). روش‌های ایکرز- وایت، فرمول وو و همکاران، فرمول اصلاح شده انگلوند وهانسن و فرمول SEDTRA از متداول ترین روش‌های برآورد بار کل رسوب هستند، که در مدل CCHE2D مورد استفاده قرار می‌گیرند. معادلات دو بعدی حاکم بر نرم افزار CCHE2D شامل معادلات پیوستگی و مومنوم به صورت زیر می‌باشند (فرجی، 1391):

$$\frac{\partial Z}{\partial t} + \frac{\partial(hu)}{\partial x} + \frac{\partial(hv)}{\partial y} = 0 \quad (1)$$

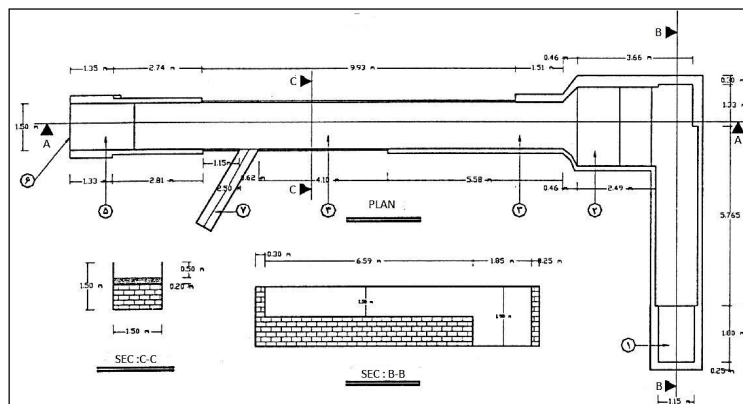
$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{cor}v \quad (2)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left[\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right] - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + f_{cor}u \quad (3)$$

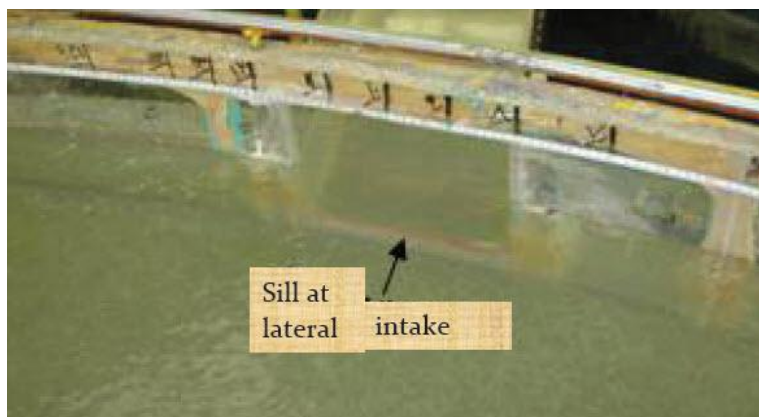
جایی که u و v مولفه‌های سرعت عمق تجمعی به ترتیب در جهت x و y هستند، g شتاب ثقل، Z تراز سطح آب، ρ دانسیته آب، h عمق آب، f_{cor} پارامتر اثر پیچشی، τ_{xx} ، τ_{xy} ، τ_{yz} و τ_{yy} تنش‌های رینولدز عمق تجمعی و τ_{bx} و τ_{by} تنش‌های برشی در سطح بستر هستند. معادلات آشفتگی جریان نیز در این مدل 4 معادله هستند و مهمترین آن‌ها مدل لزجت ادی و مدل دو بعدی K-E می‌باشند که در این تحقیق از مدل لزجت ادی استفاده شده است.

مدل سازی

مدل فیزیکی مورد استفاده در بررسی آزمایشگاهی تأثیر آستانه در کاهش رسوب ورودی به کانال آبگیر شامل یک فلوم آزمایشگاهی به طول تقریبی 17 متر و عرض 1/5 متر و عمق 0/7 متر می‌باشد شکل 1. آبگیری توسط کانال جانبی به عرض 0/6 متر و طول 2/5 متر و با زاویه‌های 60، 75، 90 و 45 درجه نسبت به جهت جریان در کانال اصلی انجام شده است. شیب بستر کانال اصلی 0/0015 بوده است. در سری اول آزمایشات مدل به صورت ساده و بدون به کار بردن سازه کنترل رسوب در نظر گرفته شده است. در سری دوم از آزمایشات از آستانه با ارتفاع 3/5 سانتی متر و ضخامت 1 سانتی متر در ورودی آبگیر جانبی استفاده شده است شکل 2. مصالح بستر نیز ماسه با قطر متوسط یک میلی متر می‌باشد که به ضخامت 20 سانتی متر در بستر فلوم ریخته شده است. در آزمایشات قطر رسوبات به گونه ای تعیین شده که حرکت رسوبات فقط به صورت بار بستر وجود داشته باشد و رسوبات در آستانه تعلیق قرار نگیرند و در همین راستا قطر متوسط رسوبات مصالح بستر با استفاده از رابطه شیلدز برابر یک میلی‌متر محاسبه و کنترل‌های لازم برای حرکت رسوبات به صورت بار بستر در محدوده دبی‌های انتخابی انجام گردیده و همچنین تعدادی آزمایش مقدماتی انجام و حرکت رسوبات و عدم تعلیق آنها در فلوم آزمایشگاهی مورد تأیید قرار گرفته است.



شکل 1: پلان و مقاطع فلوم



شکل 2: جانمایی آستانه در ابتدای کانال آبگیر در آزمایشات

در ابتدا هندسه مدل در قسمت CCHE-Mesh generation نرم افزار CCHE2D ترسیم گردید و مش بندی مناسب نیز انتخاب شد (در ابتدا مش جبری به عنوان شبکه بندی اولیه تولید می گردد و به هیچ وجه کیفیت لازم را برای فرآیند شبیه سازی نخواهد داشت. در گام بعد باید کیفیت مش جبری با روش های عددی بهبود یابد. پس از آزمون و خطا از میان روش های موجود روش RL Orthogonal Mesh with smoothness controls به دلیل بهبود چشمگیر کیفیت مش مناسب تشخیص داده شد. برای نمونه در مدل ساده با آبگیر 90 درجه، برای کانال اصلی از شبکه بندی 15×85 و برای آبگیر از شبکه بندی 15×25 استفاده شد. شبکه میدان بگونه ای تنظیم شده که خطوط شبکه متعامد باشند). سپس شرایط اولیه همچون تراز بستر، سطح آب، زبری بستر و ... در مدل مش بندی شده اعمال گردید. در گام بعد زبری بستر برای کل مدل 0/025 در نظر گرفته شد (حساسیت سنجی مدل های ریاضی معمولاً از دو جنبه بررسی می شود. یکی حساسیت سنجی نسبت به زبری بستر و دیگری نسبت به پارامترهای عددی مورد استفاده در مدل. در انجام این تحقیق هدف بر این بوده که، حساسیت مدل CCHE2D نسبت به زبری بستر و طول انطباق بار بستر مورد ارزیابی قرار گیرد. در ابتدا زبری بستر بر اساس قطر متوسط مصالح بستر محاسبه و سپس از انجام حساسیت سنجی فوق چنین نتیجه گردید که میزان حساسیت مدل نسبت به طول انطباق بار بستر برای زبری 0/025 کمتر از مقادیر زبری دیگر است). پس از این مرحله مدل مش بندی و آماده معرفی به CCHE – GUI گردید و سپس پارامترهای جریان و رسوب تعیین گردید. زمان آزمایش 8 ساعت همراه با گام زمانی یک ثانیه به عنوان مناسب ترین زمان جهت همگرایی مدل در نظر گرفته شد (جهت تعیین مدت زمان آزمایش یک سری آزمایشات کنترلی با مدت زمان های 5 تا 12 ساعت انجام و با توجه به تغییرات توپوگرافی و نرخ رسوب ورودی به آبگیر زمان 8 ساعت به عنوان زمان مناسب جهت انجام آزمایشات در نظر گرفته شده است). برای شبیه سازی حالات انتقال آشفته گی جریان از مدل صفر معادله ای توزیع سهموی استفاده شد. پارامترهای رسوب شامل قطر دانه ها (0/00062، 0/001 و 0/00127 متر)، معادله انتقال رسوب (برای بار بستر)، زبری بستر، تعداد لایه های خاک و طول انطباق بار بستر (با انجام محاسبات 14 در نظر گرفته شد) می باشد. در این نرم افزار به طور پیش فرض 3 لایه خاک و همچنین ضخامت 0/05 متر برای لایه اول بصورت پیش فرض در نظر گرفته شده است. معمولاً در برنامه مدل های ریاضی تعداد زیادی از روابط تجربی جهت برآورد میزان رسوب کل وجود دارد که کاربر می تواند یکی از آنها را انتخاب کند. در این تحقیق پس از بررسی 4 معادله انتقال رسوب بار بستر در این نرم افزار با توجه به مقادیر رسوب بدست آمده از حساسیت سنجی مدل ها با معادلات متفاوت، از مناسب ترین رابطه انتقال رسوب برای فلولم و دانه بندی مورد نظر این تحقیق، که فرمول اصلاح شده Ackers و White می باشد، استفاده شده است. Ackers و White براساس مفهوم قدرت رود، مزایای تحلیل ابعادی و جمع آوری داده های تجربی حاصل از انجام آزمایش بر روی فلولم های آزمایشگاهی با عمق جریان کم تر از 0/4 متر و عدد فرود کوچک تر از 0/8، یکی از رایج ترین روابط انتقال بار کل را ارائه دادند و در نهایت معادله Ackers و White برای برآورد بار کل رسوب بر حسب $m^3/s/m$ به صورت زیر می باشد.

$$\frac{q}{y_0} = G_g (SG) d_{50} \left(\frac{V}{V_*}\right)^n \quad (4)$$

که در آن V سرعت متوسط، V^* سرعت برشی، d_{50} متوسط قطر ذرات، q دبی جریان در عرض واحد و q_r دبی بار کل رسوب در عرض واحد می‌باشند (محمودیان شوشتری، 1388).

برای بار بستر، طول انطباق بار بستر به ابعاد جا بجایی رسوب، شکل بستر و هندسه کانال بستگی دارد. وو و همکاران (2004) پیشنهاد کردند که برای L_s مقدار طول غالب بستر با توجه به فرم بستر در نظر گرفته شود. این پیشنهاد در یک سری از کاربردهای عملی نتایج بسیار امید بخشی را ارائه می‌دهد. فرمول محاسبه طول انطباق بار بستر به شرح زیر است (Uzair et al., 2012)

$$L_s = 3d_{50}D_*^{0.6}T^{0.9} \quad (5)$$

که در آن L_s : طول انطباق بار بستر، d_{50} : قطر متوسط مصالح بستر و T : تنش برشی اضافی بدون بعد می‌باشند و D_* نیز با فرمول زیر محاسبه می‌شود:

$$D_* = d_{50} \left[\frac{(S-1)g}{v^2} \right]^{1/3} \quad (6)$$

که در آن S : نسبت دانسیته رسوب به آب و v : لزجت سینماتیکی سیار می‌باشند.

$$D_* = 0.001 \left[\frac{(2.61 - 1)9.81}{(10^{-6})^2} \right]^{1/3} \quad (7)$$

بنابراین طول انطباق به صورت زیر محاسبه می‌شود:

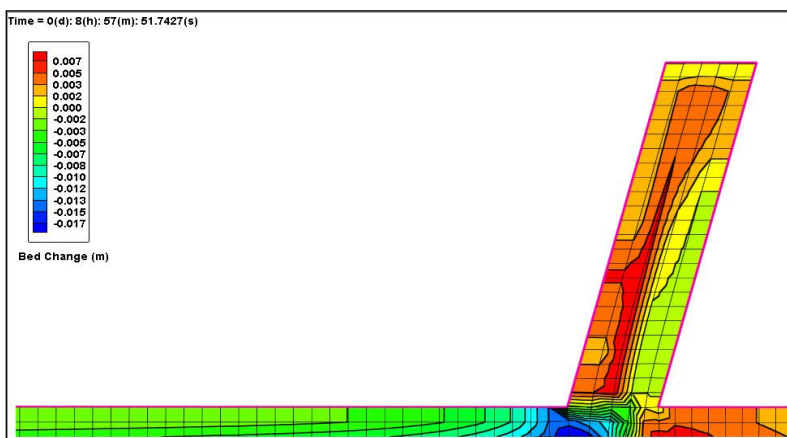
$$L_s = 3 * 1 * (25.3)^{0.6} * (0.66)^{0.9} = 14.4 \quad (8)$$

گام بعد نیز معرفی فایل شرایط مرزی رسوب شامل دبی رسوب بار بستر و درصد قطر مصالح موجود به مدل می‌باشد. در این مرحله پارامترهای جریان و رسوب تعیین شده اند. در مرحله بعد باید شرایط مرزی ورودی و خروجی‌ها را با تعیین دبی و فایل شرایط مرزی رسوب برای ورودی و ارتفاع سطح آب برای خروجی‌ها تعیین کرد. در این تحقیق برای هر حالت، مدل‌ها با دبی‌ها و نسبت‌های آبیگری متفاوت اجرا شده است. پس از آن یک سری متغیرها شامل فرسایش پذیری بستر، حداکثر ضخامت فرسایش و ته نشینی، ضخامت لایه‌ها و نوع لایه‌ها را معرفی می‌کنیم. در قسمت فرسایش پذیری کانال اصلی فرسایش پذیر و آبیگر فرسایش ناپذیر و حداکثر ضخامت فرسایش 0/2- متر (چون در کف بستر 20 سانتی متر مصالح داریم) و حداکثر ضخامت ته نشینی طبق پیشنهاد نرم افزار 90+ متر در نظر گرفته شده است. در این مرحله مدل ذخیره شده و آماده اجرا می‌باشد.

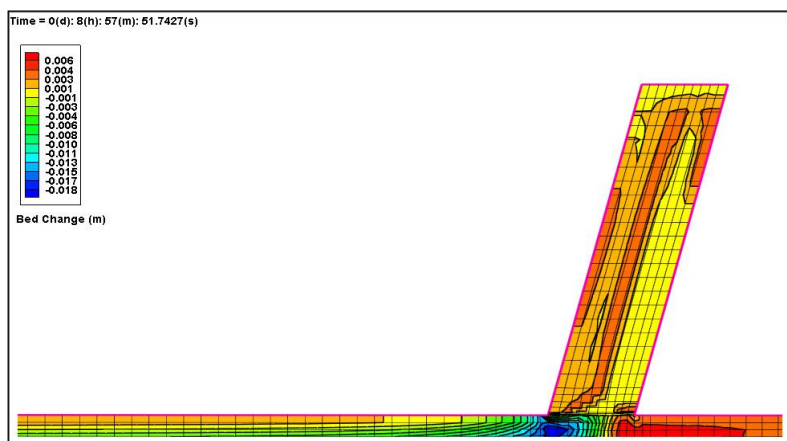
نتایج

ساخت آستانه در جلوی دهانه آبیگر به منزله بالاتر بودن تراز بستر ورودی کانال آبیگر از تراز بستر کانال اصلی می‌باشد. در نتیجه بخشی از رسوبات لایه نزدیک بستر وارد کانال آبیگر نشده و از جلوی دهانه آبیگر به پائین دست منتقل می‌شود. از آن جا که آستانه به عنوان یک مانع در نزدیک بستر در ورودی آبیگر عمل می‌کند، بر شرایط جریان در جلوی دهانه آبیگر و در داخل کانال آبیگر تأثیر می‌گذارد که

در نتیجه در میزان رسوب ورودی به آبگیر تغییر حاصل می‌گردد. جهت بررسی تاثیر آستانه بر میزان رسوب ورودی به کانال آبگیر مدل‌ها در دو حالت وجود و عدم وجود آستانه با زاویه آبگیری 75 درجه نسبت به جهت جریان در کانال اصلی و با نسبت آبگیری مشابه حدود 0/133 اجرا شدند. اشکال 3 و 4 مربوط به حالت وجود و عدم وجود آستانه می‌باشد.



شکل 3: الگوی رسوب گذاری در داخل کانال آبگیر در حالت عدم وجود آستانه



شکل 4: الگوی رسوب گذاری در داخل کانال آبگیر در حالت وجود آستانه

با مقایسه شکل‌های بالا واضح است که در شرایط یکسان ارتفاع تپه رسوبگذاری در حالت وجود آستانه کمتر می‌باشد، بنابراین میزان رسوب ورودی به کانال آبگیر در حالتی که در آن از آستانه استفاده شده از حالت ساده کمتر می‌باشد و این گویای تاثیر آستانه در کاهش رسوب ورودی به کانال آبگیر می‌باشد. همچنین مشاهده می‌شود که عرض ناحیه رسوب گذاری در شکل 4 کاهش یافته است و رسوب ورودی به آبگیر همانطور که انتظار می‌رود، در حالت وجود آستانه به میزان اندکی در قسمت میانی کانال آبگیر و در حالت عدم وجود آستانه بیشتر در مجاورت ضلع بالادست کانال آبگیر انباشته شده است.

نتایج آزمایشات و شبیه‌سازی‌ها بصورت جداول شماره 1 تا 4 و نمودارهای شماره 1 تا 4 و برای هر دو حالت وجود و عدم وجود آستانه ارائه شده است. در جداول مقادیر رسوب ورودی به کانال آبگیر برای نسبت‌های مختلف آبگیری و به تفضیل ذکر شده است. جهت مقایسه بهتر، نمودارها نیز برای 4 زاویه مختلف آبگیری 90، 75، 60 و 45 درجه به گونه‌ای ترسیم شده که محور عمودی آن‌ها نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر (Q_{sr}) و محور افقی آن‌ها نسبت آبگیری (Q_i) می‌باشد.

جدول ۱: نتایج مدل با زاویه آبگیری 90 درجه

CCHE2D		آزمایشات							زاویه آبگیر	مدل ساده
نسبت رسوب ورودی به آبگیر	دبی رسوب کانال اصلی (gr/s)	دبی رسوب ورودی به آبگیر (gr/s)	نسبت رسوب ورودی به آبگیر	دبی رسوب کانال اصلی (gr/s)	دبی رسوب ورودی به آبگیر (gr/s)	نسبت آبگیری (Qr)	عمق جریان در بالادست آبگیر (m)	دبی کانال اصلی (L/s)		
0/172	1/225	0/211	0/399	2/26	0/902	0/214	0/075	39/8	90	
0/106	1/585	0/168	0/097	1/873	0/182	0/125	0/085	40		
0/168	1/71	0/288	0/335	1/033	0/346	0/205	0/145	78		
0/043	1/71	0/073	0/039	1/793	0/069	0/08	0/145	78		
0/051	7/633	0/391	0/106	4/842	0/515	0/096	0/12	78		
0/114	4/942	0/562	0/117	6/603	0/773	0/129	0/15	92/8		
0/204	2/346	0/479	0/413	1/499	0/62	0/226	0/16	94/5		
0/095	4/747	0/453	0/17	5/761	0/979	0/145	0/135	89/8		
0/084	4/633	0/391	0/126	3/464	0/438	0/14	0/12	78		
0/035	2/892	0/101	0/044	1/641	0/073	0/08	0/14	78		
0/088	1/736	0/152	0/083	3/408	0/284	0/129	0/15	92/8	90	
0/162	2/486	0/403	0/222	1/969	0/438	0/188	0/16	89/8		
0/155	1/132	0/176	0/328	1/033	0/339	0/205	0/145	78		
0/069	2/545	0/176	0/07	2/082	0/146	0/083	0/145	78		
0/056	6/281	0/349	0/07	5/297	0/369	0/111	0/135	98/8		
0/059	4/975	0/295	0/041	4/452	0/18	0/096	0/12	78		
0/073	4/975	0/361	0/098	3/652	0/357	0/14	0/12	78		
										مدل با آستانه

جدول 2: نتایج مدل با زاویه آبیگری 75 درجه

CCHE2D		آزمایشات					نسبت آبیگری (Qr)	عمق جریان در بالادست آبیگر (m)	دبی کانال اصلی (L/s)	زاویه آبیگر	
نسبت رسوب ورودی به آبیگر	دبی رسوب کانال اصلی (gr/s)	دبی رسوب ورودی به آبیگر (gr/s)	نسبت رسوب ورودی به آبیگر	دبی رسوب کانال اصلی (gr/s)	دبی رسوب ورودی به آبیگر (gr/s)						
0/252	6/533	1/649	0/521	7/169	3/737	0/205	0/155	103/3			
0/199	3/545	0/706	0/474	3/81	1/804	0/178	0/13	82			
0/072	6/795	0/491	0/172	6/443	1/108	0/083	0/13	86			
0/177	5/719	1/012	0/35	5/887	2/062	0/129	0/12	80/4	75	مدل ساده	
0/161	5/279	0/852	0/32	4/834	1/546	0/133	0/14	91			
0/107	9/364	1/005	0/303	9/361	2/835	0/124	0/13	91/4			
0/062	7/154	0/447	0/151	8/512	1/288	0/078	0/13	90/9			
0/149	5/372	0/801	0/185	5/151	0/935	0/129	0/12	80/4			
0/259	1/982	0/514	0/283	3/964	1/123	0/167	0/13	80/9			
0/184	1/401	0/258	0/251	3/383	0/851	0/141	0/097	60/4			
0/076	7/531	0/573	0/147	5/278	0/773	0/125	0/155	106/5			
0/112	4/892	0/549	0/213	5/486	1/17	0/138	0/14	92/2	75	مدل با آستانه	
0/082	7/908	0/652	0/24	5/996	1/436	0/122	0/13	91/2			
0/068	7/072	0/483	0/058	7/075	0/412	0/075	0/13	89/9			
0/051	3/173	0/161	0/128	2/414	0/309	0/112	0/15	89/6			

جدول 3: نتایج مدل با زاویه آبگیری 60 درجه

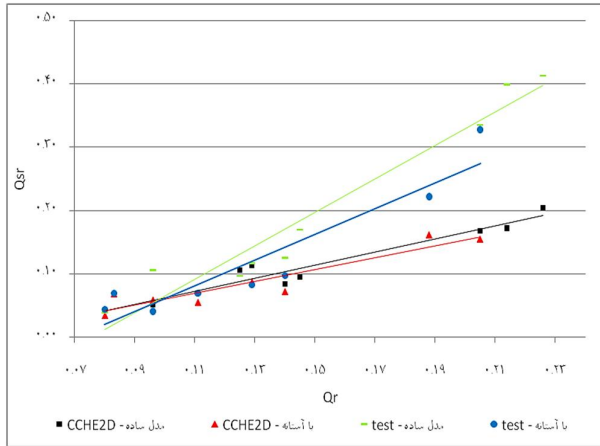
CCHE2D		آزمایشات						دبی کانال اصلی (L/s)	زاویه آبگیر	مدل ساده
نسبت رسوب ورودی به آبگیر	دبی رسوب کانال اصلی (gr/s)	دبی رسوب ورودی به آبگیر (gr/s)	نسبت رسوب ورودی به آبگیر	دبی رسوب کانال اصلی (gr/s)	دبی رسوب ورودی به آبگیر (gr/s)	نسبت آبگیری (Qr)	عمق جریان در بالادست آبگیر (m)			
0/088	6/673	0/59	0/153	5/912	0/902	0/084	0/135	98/8		
0/256	2/465	0/63	0/424	4/133	1/752	0/129	0/15	92/8		
0/227	3/53	0/802	0/288	4/695	1/35	0/136	0/145	91/2	60	
0/167	1/387	0/231	0/13	3/829	0/498	0/089	0/09	54/9	مدل ساده	
0/265	6/84	0/812	0/251	8/225	2/062	0/154	0/11	74/5		
0/361	1/198	0/432	0/529	3/071	1/624	0/198	0/165	99/1		
0/298	2/028	0/604	0/374	2/413	0/902	0/181	0/15	87/1		
0/252	2/829	0/713	0/478	1/619	0/773	0/204	0/165	98/15		
0/185	4/438	0/821	0/355	6/9	2/448	0/136	0/145	91/2		
0/161	8/164	0/312	0/144	10/77	1/546	0/098	0/135	90/6	60	
0/071	7/624	0/542	0/116	6/687	0/773	0/089	0/135	89/8	مدل با آستانه	
0/057	3/051	0/145	0/063	2/327	0/146	0/085	0/09	53		
0/147	3/046	1/92	0/224	9/194	2/056	0/151	0/11	80		

جدول 4: نتایج مدل با زاویه آبیگری 45 درجه

CCHE2D		آزمایشات							زاویه آبیگری	مدل ساده
نسبت رسوب ورودی به آبیگری	دبی رسوب کانال اصلی (gr/s)	دبی رسوب ورودی به آبیگری (gr/s)	نسبت رسوب ورودی به آبیگری	دبی رسوب کانال اصلی (gr/s)	دبی رسوب ورودی به آبیگری (gr/s)	نسبت آبیگری (Qr)	عمق جریان در بالادست آبیگری (m)	دبی کانال اصلی (L/s)		
0/212	6/21	1/318	0/346	6/694	2/318	0/129	0/12	80/4	45	
0/296	0/787	0/233	0/237	1/385	0/328	0/128	0/15	89/5		
0/185	0/925	0/171	0/216	1/432	0/309	0/125	0/097	57/4		
0/329	5/202	1/71	0/277	5/578	1/545	0/133	0/14	90/9		
0/123	11/469	1/405	0/291	8/146	2/37	0/119	0/13	94/7		
0/130	10/915	1/42	0/181	8/556	1/545	0/092	0/13	93/8		
0/135	6/824	0/923	0/167	6/785	1/133	0/08	0/13	87/05		
0/234	5/684	1/33	0/222	4/639	1/03	0/104	0/16	104/8		
0/407	3/787	1/54	0/483	4/422	2/138	0/181	0/13	82/38		
0/098	5/266	0/514	0/085	6/04	0/515	0/07	0/13	86/17		
0/184	5/667	1/04	0/206	5/746	1/185	0/129	0/12	80/4		
0/351	2/91	1/02	0/377	3/753	1/417	0/181	0/13	82/38		
0/093	1/421	0/132	0/12	0/758	0/091	0/125	0/097	57/4		
0/103	4/7	0/483	0/095	4/608	0/438	0/104	0/16	104/8		
0/256	4/258	1/089	0/267	4/152	1/108	0/133	0/14	90/9		
0/127	7/533	0/958	0/227	7/935	1/803	0/119	0/13	94/7		
0/093	9/828	0/914	0/134	7/308	0/979	0/092	0/13	93/8		
0/169	1/62	0/274	0/142	1/922	0/273	0/128	0/15	89/5		

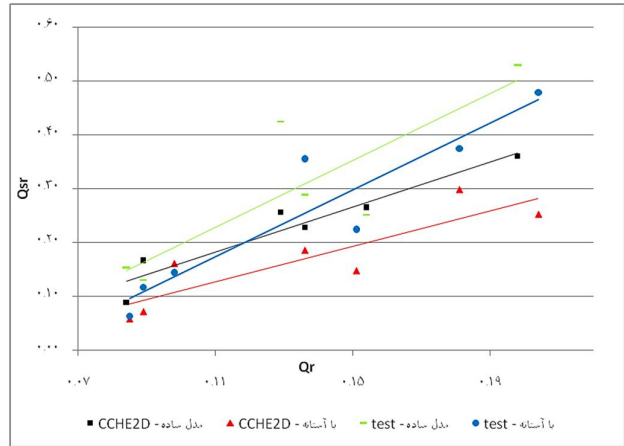
مدل
با آستانه

اگر به مقادیر دبی‌های رسوب حمل شده در کانال اصلی و ورودی به آبیگر در جداول توجه شود واضح است که مقادیر دبی‌های به دست آمده از مدل‌ها در اکثر موارد مقداری کمتر از نتایج آزمایشات می‌باشند. دلیل این امر را می‌توان در این موضوع دانست که در آزمایشات طی مدت زمانی که آب وارد فلوم شده تا زمانی که سطح آب به تراز دلخواه و ثابتی برسد، ممکن است مقداری رسوب در کانال اصلی حمل شده و یا همراه جریان وارد آبیگر شده باشد، اما در مدل‌ها تراز اولیه آب به طور ثابت در زمان شروع معرفی می‌شود. همچنین خطاهای اندازه گیری موجود در آزمایشات، خطاهای مربوط به مدلسازی و مش بندی نیز می‌توانند در این موضوع موثر باشد.



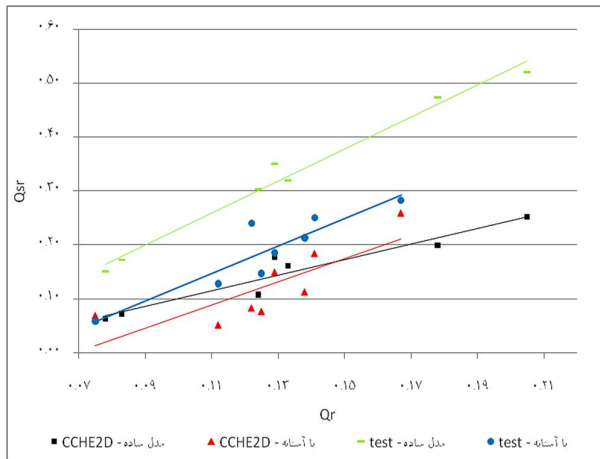
شکل 1: نسبت رسوب ورودی به آبیگر در دو حالت وجود و

عدم وجود آستانه با آبیگر 90 درجه در آزمایشات و CICHE2D



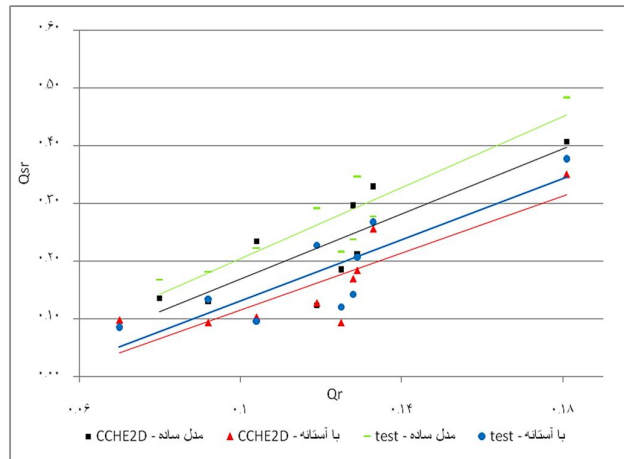
شکل 3: نسبت رسوب ورودی به آبیگر در دو حالت وجود و

عدم وجود آستانه با آبیگر 60 درجه در آزمایشات و CICHE2D



شکل 2: نسبت رسوب ورودی به آبیگر در دو حالت وجود و

عدم آستانه با آبیگر 75 درجه در آزمایشات و CICHE2D



شکل 4: نسبت رسوب ورودی به آبیگر در دو حالت وجود و

عدم آستانه با آبیگر 45 درجه در آزمایشات و CICHE2D

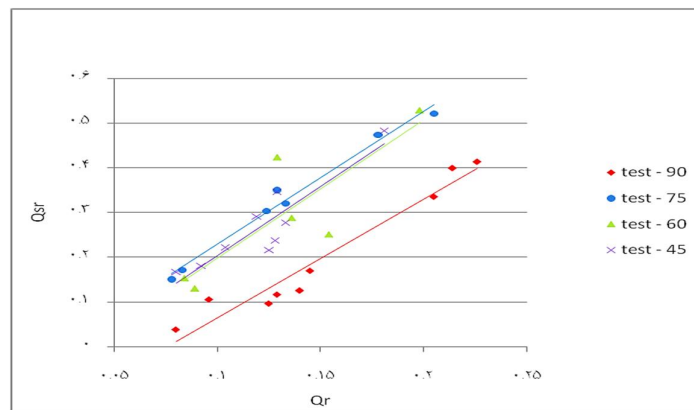
همانطور که از اشکال 1 تا 4 مشاهده می‌شود، تقریباً در کلیه آن‌ها نمودار مربوط به میزان رسوب ورودی به کانال آبیگر در حالت وجود آستانه پایین تر از نمودار مربوط به میزان رسوب ورودی در حالت عدم وجود آستانه می‌باشد. بنابراین میزان رسوب ورودی به آبیگر در حالت وجود آستانه کمتر بوده و این بیانگر تاثیر بسزای آستانه در کاهش رسوب ورودی به آبیگر می‌باشد. همچنین با توجه به تشابه نمودارهای حاصل از نتایج مدل فیزیکی و نرم افزار مورد استفاده (نمودارها در محدوده بسیار نزدیکی به یکدیگر قرار دارند) می‌توان گفت مدل به خوبی این موضوع را پیش بینی کرده است.

با توجه به میزان مقادیر رسوب ورودی به کانال آبیگر در دو حالت وجود و عدم وجود آستانه که در جداول 1 تا 4 ارائه شد، به طور کلی در مورد تاثیر آستانه در میزان رسوب ورودی به کانال آبیگر می‌توان گفت در شرایط یکسان، رسوب ورودی به کانال آبیگر در حالت وجود آستانه از حالت ساده کمتر بوده و به طور میانگین در مدل 90 درجه 16 درصد، در مدل 75 درجه 25 درصد، در مدل 60 درجه 38 درصد و در مدل 45 درجه 28 درصد کاهش یافته است. در جدول 5 درصد کاهش رسوب ورودی به آبیگر را برای 4 زاویه آبیگری در نسبت‌های آبیگری مشابه مشاهده می‌کنید.

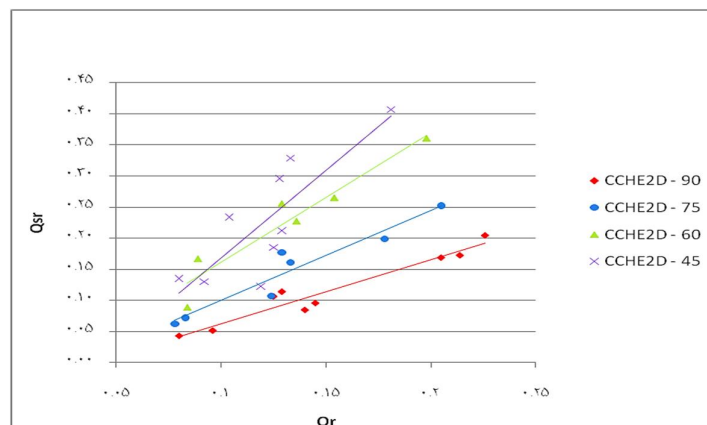
جدول 5: در صد کاهش رسوب ورودی به آبیگر برای مدل‌ها با آبیگرهای 90، 75، 60 و 45 درجه

زاویه آبیگر	نسبت آبیگری (Or)	در صد کاهش رسوب ورودی به آبیگر
90	0/205	0/07
90	0/08	0/22
90	0/129	0/22
90	0/14	0/13
75	0/129	0/158
75	0/133	0/304
75	0/124	0/28
60	0/084	0/35
60	0/136	0/185
60	0/089	0/57
60	0/154	0/44
45	0/129	0/13
45	0/128	0/42
45	0/125	0/49
45	0/133	0/21
45	0/119	0/03
45	0/092	0/28
45	0/104	0/55
45	0/181	0/13

بنابراین به طور میانگین آستانه تقریباً 26 درصد رسوب ورودی به کانال آبگیر را کاهش داده است. در آزمایشات این مقدار 30 درصد بوده است و این گویای قابلیت مدل CCHE2D در پیش بینی این موضوع می‌باشد. با توجه به اینکه ارتفاع آستانه از ارتفاع لایه بار بستر بیشتر بوده، انتظار می‌رود رسوبی وارد آبگیر نشود، با این حال رسوبات بار بستر وارد کانال آبگیر شده که عوامل مختلفی سبب آن شده است. عبور تلماسه‌ها از مقابل آستانه، ایجاد جریان گردابی در محدوده آبگیر، باقی ماندن رسوبات در جلوی آستانه و بالآمدگی کف و در نتیجه لغزیدن رسوبات به داخل آبگیر از جمله این عوامل می‌باشند. جهت بررسی تأثیر زاویه آبگیری بر میزان رسوب ورودی به کانال آبگیر نیز در ادامه اشکال شماره 5 و 6 با استفاده از نتایج آزمایشات و شبیه سازی‌ها برای 4 زاویه آبگیری متفاوت ترسیم شده است.



شکل 5: اثر زاویه آبگیری بر میزان رسوب ورودی به کانال آبگیر برای مدل ساده در آزمایشات



شکل 6: اثر زاویه آبگیری بر میزان رسوب ورودی به کانال آبگیر برای مدل ساده در CCHE2D

با توجه به نمودارهای بالا مشاهده می‌شود که بیشترین رسوب ورودی به کانال آبگیر مربوط به زاویه آبگیری 45 درجه و کمترین آن‌ها مربوط به زاویه آبگیری 90 درجه می‌باشد. در حالت وجود آستانه هم نتایج به همین شکل حاصل شده است. بنابراین به طور کلی می‌توان نتیجه گرفت که با کاهش زاویه آبگیری با جهت جریان، در هر دو حالت وجود و عدم وجود آستانه، میزان رسوب ورودی به کانال آبگیر افزایش پیدا کرده است.

نتیجه گیری

در مورد تأثیر آستانه در میزان رسوب ورودی به کانال آبگیر می‌توان گفت در شرایط یکسان، رسوب ورودی به کانال آبگیر در حالت وجود آستانه از حالت ساده کمتر بوده و به طور میانگین آستانه تقریباً 26 درصد رسوب ورودی به کانال آبگیر را کاهش داده است. در آزمایشات این مقدار 30 درصد بوده است و این گویای قابلیت مدل CCHE2D در پیش بینی این موضوع می‌باشد. همچنین طبق نتایج حاصل از شبیه سازی مدل‌ها بیشترین رسوب ورودی به کانال آبگیر مربوط به زاویه آبگیری 45 درجه و کمترین آن‌ها مربوط به زاویه آبگیری 90 درجه می‌باشد و به طور کلی با کاهش زاویه آبگیری با جهت جریان، میزان رسوب ورودی به کانال آبگیر افزایش یافته است. از جمع بندی نتایج بدست آمده چنین استنباط می‌شود که مدل CCHE2D در قسمت تحلیل جریان از قابلیت بسیار خوبی برخوردار است و در قسمت برآورد میزان رسوب نیز، مدل به پارامترهای زیادی مانند زبری بستر، دبی ورودی، مقاطع عرضی، معادله انتقال رسوب، زمان سازگاری جریان با رسوب و مخصوصاً طول همگرایی بار بستر و چندین پارامتر دیگر حساس می‌باشد. به طور کلی برای رسیدن به نتایج در محدوده قابل قبول برای رسوب، بسیار مهم است که به کلیه پارامترهای ورودی به مدل و شرایط مرزی توجه کامل شود، به طوریکه حتی تغییرات جزئی در بعضی پارامترها می‌تواند به طور کامل مدل را از محدوده منطقی خارج سازد. در پایان نیز پیشنهاد می‌شود از مدل‌های ریاضی موجود به ویژه مدل CCHE2D به عنوان مکملی جهت پیش بینی نتایج آزمایشات فیزیکی با هزینه کمتر و دقت قابل قبول و جلوگیری از تکرار مدل‌های فیزیکی با تغییرات متفاوت در زمینه جریان و کنترل رسوب استفاده نمود. همچنین پیچیدگی مساله‌ها و ساده انگاری مدل‌ها نباید باعث گردد که از توانایی‌های مدل‌های ریاضی غافل شویم زیرا مدل‌های ریاضی می‌توانند در شرایط عملی وضعیت رسوب گذاری آبی را پیش بینی و کاربر را از مشکلاتی که ممکن است در آینده اتفاق افتد، حتی با تقریب، آگاه سازند.

سپاسگزاری

در پایان نگارندگان این مقاله بر خود لازم می‌دانند از جناب آقای دکتر علی اکبر عباسی که داده‌های آزمایشگاهی خود را در اختیار اینجانب قرار دادند، تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

- ابراهیمی کماجانی، ع.، کمان بدست، ا.ع. و مسجدی، ع. (1391). شبیه سازی عددی هیدرولیک جریان اطراف آبشکن در قوس 180 درجه با استفاده از مدل CCHE2D، همایش ملی بهره برداری بهینه از منابع آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب. ص. 78-92.
- تاجیک جلایری، ف. (1391). بررسی و مقایسه نرم افزارهای HEC-RAS 4 و FLOW-3D ، FLUENT، CCHE2D ، SSIIM در مدلسازی عددی رسوبگذاری. همایش ملی بهره برداری بهینه از منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب. ص. 56-58.
- حسین نژاد، م.، احمدی، م.م. و رحیم پور، م. (1391). کاربرد آستانه برای کنترل آبستتگی اطراف پایه‌های پل استوانه ای در رسوبات چسبنده. نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز. ص. 26-29.
- رحمتیان طوسی، ب.، اسماعیلی، ک. و ابراهیمی، ح. (1391). شبیه سازی حرکت رسوب در کانال آزمایشگاهی با استفاده از مدل CCHE2D و مقایسه آن با نتایج مدل آزمایشگاهی، همایش ملی بهره برداری بهینه از منابع آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب. ص. 12-15.
- رخشا، م.، افروس، ع. و روحانی، ع. (1391). شبیه سازی عددی رسوب گذاری پشت سد تنظیمی دز با استفاده از نرم افزار CCHE2D دوبعدی، همایش ملی بهره برداری بهینه از منابع آب. دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب. ص. 14-18.
- رستمی، م.، حبیبی، س. و فرهنگ، ع. (1391). بررسی عددی الگوی جریان آب و رسوب در محل تلاقی رودخانه‌ها با استفاده از مدل CCHE2D. نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز. ص. 12-15.
- عباسی، ع. (1382). مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب در آبیگرهای جانبی در مسیرهای مستقیم. پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس. ص. 26-36.
- محمودیان شوشتری، م. (1388). اصول جریان در مجاری باز (جلد دوم). انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ دوم. ص. 25-28.
- مغربی، م. (1391). مقایسه مدل‌های CCHE2D و MIKE21 FM در شبیه سازی الگوی جریان در قوس رودخانه (مطالعه موردی رودخانه کارون). اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق آبی، تهران. ص. 10-14.
- NCCHE Publication. (2006).** CCHE-GUI Graphical Users Interface for NCCHE Model User's Manual, School Of Engineering, The University of Mississippi, Version 3/0.
- Ribeiro, M. (2011).** Influence of tributary widening on confluence morphodynamics, Laboratory of Hydraulic Constructions, Lausanne, Switzerland.
- Scheuerlein, H. J. (1984).** A new Design of Sediment Control Facilities for Diversion Headwork in mountain streams. Channel and Channel Control Structure Proc., springer Pub., Berlin / West, Edited by Smith, K.V.H, PP. 2/43 – 2/52.

Uzair ,Q. M. and Faisal, Ba. (2012). Calibration of CCHE2D for Sediment Simulation of Tarbela Reservoir. Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol I, London, U.K.

Wang, X., Zhang, R. and Zhang, X. (1993). Test Study of Water Diversion From River Channel Without Intake Gate. 20th Congress of IAHR, Tokyo, Japan, 1993 Vol. III, PP. 736-742.

Wittaker, J.G. (1984). A Solution for Sediment Control at Intakes. Channel and Channel Control Proc, Springer Pub., Berlin/West, Edited by Smith, K. V. H., PP. 2/29-2/41.

Zorkeflee, A., Noorfareziana, N. and Mohd., F. (2010). Sediment Pattern Analysis at Ijok Intake Using CCHE2D. World Engineering Congress, Conference on Natural Resources and Green Technology.