استفاده از مدل‌های عددی در مطالعه بار رسوبی آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم

آیدا مکوندی[۱]، عبدالرسول تلوری[۲]،محمود مشعل[۳]

۱- گروه مهندسی آب، واحد شوشتر، دانشگاه آزاد اسلامی، شوشتر، ایران
۲- گروه مهندسی عمران، واحد اهواز، دانشگاه آزاد اسلامی، اهواز، ایران
۳- گروه مهندسی آبیاری و زهکشی ، پردیس ابوریحان، دانشگاه تهران، پاکدشت، ایران

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۸/۳۰ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۳/۱۱/۲۰

چکیده

در این تحقیق با استفاده از نرم افزار CCHE2D به شبیه‌سازی یک مطالعه آزمایشگاهی و مقایسه نتایج شبیه‌سازی با نتایج آزمایشگاهی موجود به عنوان نمونه، جهت بررسی کنترل رسوب در یک فلوم به طول تقریبی ۱۷ متر و عرض ۱/۵ متر و عمق ۰/۷ متر پرداخته شده است. آبگیری به عرض ورودی ۰/٦ متر و با زاویه های ۹۰، ۷۵، ٦۰ و ٤۵ درجه نسبت به جهت جریان، متصل به فلوم می باشد. مصالح بستر نیز ماسه با قطر متوسط یک میلی‌متر بود که به ضخامت ۲۰ سانتی متر در بستر فلوم ریخته شد. محدوده آزمایش ها به نحوی بود که فقط حرکت بار بستر وجود داشت. مقایسه نتایج حاصل از شبیه سازی مدل با نتایج آزمایش‌ها نشان داد مدل مورد استفاده توانسته است تغییرات توپوگرافی را در کانال اصلی و در کانال آبگیر بخوبی شبیه‌سازی کند. این بررسی نشان داد که در نتایج شبیه‌سازی ها با افزایش نسبت آبگیری، نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر افزایش و با افزایش عدد فرود جریان در کانال اصلی نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر کاهش یافته است. در بررسی آزمایش‌ها نیز نتایج مشابهی حاصل شده، با این تفاوت که مدل CCHE2D روند قاطع تری را از رابطه بین این پارامترها نشان داده است. به طور کلی رسیدن به نتایج در محدوده قابل قبول برای رسوب، مستلزم توجه کامل به کلیه پارامترهای ورودی به مدل و شرایط مرزی است. بر پایه نتایج، مدل های ریاضی موجود به ویژه مدل CCHE2D می تواند به عنوان مکملی برای پیش بینی نتایج آزمایشگاهی در زمینه کنترل رسوب استفاده شود.

کلمات کلیدی: ***بار بستر، زاویه آبگیری، عدد فرود، کنترل رسوب، CCHE2D.***

مقدمه

مهار و بهره گیری از سیلاب رودخانه‌ها در مناطق خشک و نیمه خشک از جمله کارهایی است که در سال‌های اخیر در ایران مورد توجه قرار گرفته است. یکی از روش‌های بهره برداری از آب این رودخانه‌ها، انحراف بخشی از سیلاب توسط یک دهانه آبگیر و انتقال آب توسط یک کانال به محل مورد نظر می باشد. از مشخصه‌های اصلی سیلاب در مناطق خشک و نیمه خشک وجود بار رسوبی زیاد خصوصاً بار بستر است، که معمولاً بخشی از آن وارد آبگیر شده و در دهانه آبگیر یا قسمت‌های ابتدایی کانال رسوب گذاری کرده و سبب انسداد دهانه آبگیر و یا کاهش ظرفیت انتقال کانال می گردد. به طور کلی موضوع انتقال رسوب و برآورد میزان آن در آبراهه های آبرفتی مدت ها است که مورد مطالعه متخصصین و مورفولوژیست های رودخانه بوده 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 آبگیر، به علت تغییراتی که در توزیع سرعت در محدوده آبگیری رخ می دهد، معمولاً عمل رسوب گذاری در دهانه آبگیر صورت می گیرد که باعث کاهش راندمان آبگیری، افزایش هزینه‌های اجرایی برای عملیات رسوب‌زدایی و در نهایت تغییر مسیر و خط القعر رودخانه به سمت ساحل مقابل آبگیر می‌شود. به طور کلی پیچیدگی و سه بعدی بودن جریان در محدوده دهانه آبگیر، پیچیدگی پدیده حمل رسوب، تاثیر کاهش رسوبات ورودی به آبگیر و کاهش ظرفیت حمل رسوب در کانال اصلی بر مورفولوژی بستر، منجر به تحقیقات زیادی شده است[۸].

عباسی و همکاران (۱۳۸۲) نیز در مطالعه‌ای به بررسی آزمایشگاهی کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم پرداختند. نتایج نشان داد که نسبت آبگیری و عدد فرود جریان از پارامترهای تأثیر گذار در رسوب ورودی به کانال آبگیر می‌باشد. جباری صاحباری و برقعی (۱۳۸۷)، تأثیر متغیرهای مختلف از قبیل نسبت دبی کانال فرعی به اصلی، نسبت سرعت جریان به سرعت آستانه حرکت و نسبت عرض کانال فرعی به اصلی بر آستانه حرکت و شکل و عمق چاله های فرسایشی را به صورت آزمایشگاهی در یک اتصال۵۰ درجه مورد بررسی قرار دادند. سالم نیا و شفاعی بجستان (۱۳۹۰)، به بررسی تأثیر نسبت دبی آبگیری بر کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی کانال ذوزنقه ای با استفاده از صفحات مستغرق پرداختند و دریافتند که با افزایش نسبت آبگیری از ۷/۵ درصد به ۱۶ درصد، میزان رسوب ورودی به آبگیر در هر دو حالت به طور متوسط ۲۳ درصد افزایش می‌یابد. مغربی (۱۳۹۰)، در مطالعه‌ای به کمک نرم افزار CCHE2D به شبیه سازی عددی اثر زاویه آبگیری بر الگوی جریان در قوس ۱۸۰ درجه و بررسی اثر زاویه آبگیری روی الگوی جریان در زاویه های آبگیری ۳۰، ۶۰ و ۹۰ درجه در قوس تند پرداخته است. نتایج نشان داد که زاویه آبگیری در قوس روی مشخصات جریان در قوس اثر فراوانی را دارد و در بین زوایای معرفی شده در قوس، آبگیری در زاویه ۹۰ درجه دارای مشخصات هیدرولیکی مناسب‌تری است. رستمی و همکاران (۱۳۹۱) در مطالعه ای به بررسی کارایی مدل CCHE2D به عنوان یک مدل متوسط گیری شده در عمق برای شبیه‌سازی الگوی جریان، فرسایش و رسوبگذاری در محل تلاقی شاخه‌های فرعی با رودخانه اصلی پرداختند. در این تحقیق از نتایج مدل آزمایشگاهی جهت کالیبراسیون و هم‌چنین ارزیابی دقت مدل CCHE2D استفاده گردیده‌است. مقایسه نتایج عددی و آزمایشگاهی نشان داد که مدل مذکور با خطایی در حدود ۷ و ۱۷ درصد به ترتیب قادر به پیش بینی حداکثر ارتفاع و عرض پهنه رسوب‌گذاری در محل تلاقی می‌باشد. رخشا و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی با استفاده از مدل دو بعدی CCHE2D به مدل سازی روند رسوب گذاری در پشت سد تنظیمی دز پرداختند و نتایج نشان داد که مدل مربوطه نتایج قابل قبولی را ارائه نموده است. رحمتیان طوسی و همکاران (۱۳۹۱) 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 شبیه‌سازی نمودند. اما تفاوت هایی در نتایج حاصل از مدل وجود داشته که ناشی از نحوه‌ی حل معادلات و توانایی های متفاوت در این نرم افزار بوده است. ابراهیمی کماجانی و همکاران (۱۳۹۱) در تحقیقی با استفاده از نرم افزار CCHE2D مدل عددی الگوی جریان را در اطراف یک آبشکن تهیه و با قرار دادن

آبشکن در ۵ موقعیت با زوایای ۳۰،۴۵،۶۰،۷۵ و ۹۰ درجه نسبت به جهت جریان در قوس ۱۸۰ درجه در شرایط آب زلال، به بررسی تاثیر این مدل ها بر تغییرات سرعت جریان و تنش برشی در اطراف آبشکن پرداختند. نتایج این تحقیق نشان داد که محدوده سرعت های ماکزیمم و تنش برشی در زوایه ۷۵ درجه بیشترین مقدار و کمترین مقدار آن در زوایه ۳۰ درجه رخ خواهد داد و در زوایای مختلف با افزایش دبی ، میزان سرعت در اطراف آبشکن نیز افزایش می یابد. تاجیک جلایری (۱۳۹۱) در مطالعه‌ای به بررسی عملکرد نرم افزارهای SSIIM، CCHE2D ،FLUENT ، FLOW-3D و HEC-RAS4 در شبیه سازی عددی رسوبگذاری در کانال‌ها پرداخت. بر طبق نتایج این بررسی، از توانایی‌های ویژه نرم‌افزار CCHE2D می‌توان به توانایی در نظر گرفتن مدل‌های آشفتگی متنوع و توانایی شبیه سازی انتقال رسوب و فرسایش کرانه‌ای اشاره نمود.

بارکدول و اتما (۱۹۹۹)، در مطالعات خود روی آبگیر جانبی که در مسیر مستقیم و با زاویه آبگیری ۹۰ درجه انجام گردید، نشان دادند که نسبت دبی انحرافی بیشترین تأثیر را روی نسبت رسوب انحرافی دارد. زورکفلی و همکاران (۲۰۱۰)، مطالعه‌ای را با استفاده از مدل دو بعدی CCHE2D جهت پیش بینی رفتار رسوب گذاری در دهانه ی آبگیر انجام دادند. نتایج نشان داد که معادلات انگلوند و هانسن برای ارائه نتایج انتقال رسوب در بازه مورد مطالعه، مناسب تر بوده است. هم‌چنین مدل ریاضی نتایج مناسبی را برای ارزیابی سرعت پخش و تغییرات بستر و ساحل ارائه داد. این مطالعه نشان داد که سرعت‌ها و موقعیت‌های فرسایش و ته‌نشینی با مقادیر مشاهده شده و اندازه‌گیری شده در واقعیت تطابق خوبی دارند. قمر و بیگ (۲۰۱۲)، 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 پیش‌بینی شده مطابقت خوبی با اندازه‌های واقعی دارند و نشان دادند که مدل می‌تواند با رضایت بخشی زیادی برای شبیه‌سازی جریان ناپایدار در رودخانه‌های طبیعی با هندسه پیچیده، خم‌های تند و جریان‌های گسترده مورد استفاده قرار گیرد.

نتایج مطالعات محققان در خصوص استفاده از مدل فیزیکی روی روش‌های کاهش رسوب ورودی به آبگیرها منجر به توصیه‌های طراحی در خصوص روش‌های کنترل رسوب در آبگیرها نظیر ساخت تونل‌های رسوب بر، ساخت آستانه در جلوی آبگیر، ایجاد جزایر مصنوعی در جلوی آبگیر و ساخت آب‌شکن در ضلع مقابل آبگیر شده است. برخی دیگر از محققین نیز با گردآوری نتایج کارهای دیگران و بررسی و تحلیل آن‌ها، روش‌های کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی را معرفی کردند.

اغلب این بررسی‌ها در شرایط آزمایشگاهی و با صرف هزینه زیاد صورت گرفته است، ولی در بسیاری از موارد می‌توان از مدل‌های ریاضی موجود به ویژه مدل CCHE2D به عنوان مکملی جهت پیش بینی نتایج آزمایش‌های فیزیکی با هزینه کمتر و دقت قابل قبول و خصوصاً برای جلوگیری از تکرار مدل های فیزیکی با تغییرات متفاوت در زمینه جریان و کنترل رسوب استفاده نمود، که در تحقیق حاضر با توجه به در اختیار قرار گرفتن نتایج یک بررسی آزمایشگاهی، کاربرد نرم افزار CCHE2D در برآورد میزان رسوب ورودی به کانال آبگیر مورد بررسی قرار گرفته است.

مواد و روش ها

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 ۱۹۹۷ توسط

مرکز ملی مطالعات هیدرولیکی در دانشگاه می‌سی‌سی‌پی منتشر شده‌است. هدف اصلی از ارائه این مدل، کاربرد در زمینه‌های مربوط به مدل‌سازی رسوب‌گذاری، فرسایش و مهاجرت رودخانه‌ها است. از این مدل هم‌چنین می‌توان برای ارزیابی احداث سازه-های هیدرولیکی هم‌چون کنترل‌کننده‌های شیب در رودخانه، آب‌شکن و گوره روی مورفولوژی رودخانه استفاده نمود. این مدل به زبان Fortran 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 می کند. نرم افزار CCHE2D از دو نرم افزار جداگانه CCHE-Mesh generation و CCHE-GUI تشکیل شده است. نرم افزار-CCHE Mesh generation قابلیت ایجاد شبکه‌بندی در ساختارهای پیچیده را به وسیله ابزارهای خود مهیا نموده است. نرم افزار CCHE-GUI هسته گرافیکی نرم‌افزار CCHE2D است، که وظیفه آمایش شرایط اولیه، آمایش پارامترهای مدل، اجرای شبیه‌سازی عددی و نمایش گرافیکی نتایج خروجی را دارا است [۱۴].

بر اساس ساز و کار 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. می توان 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 می دهند [۹]. روش های ایکرز–وایت، فرمول وو و همکاران، فرمول اصلاح شده انگلوند و هانسن و فرمول SEDTRA از متداول‌ترین روش‌های برآورد بار کل رسوب هستند، که در مدل CCHE2D مورد استفاده قرار می‌گیرند. معادلات دو بعدی حاکم بر فرایند انتقال رسوب در نرم افزار CCHE2D به شرح زیر می باشند :

$$\frac{\partial Z}{\partial t}+\frac{\partial (hu)}{\partial x}+\frac{\partial (hv)}{\partial y}=0 \qquad (۱)$$

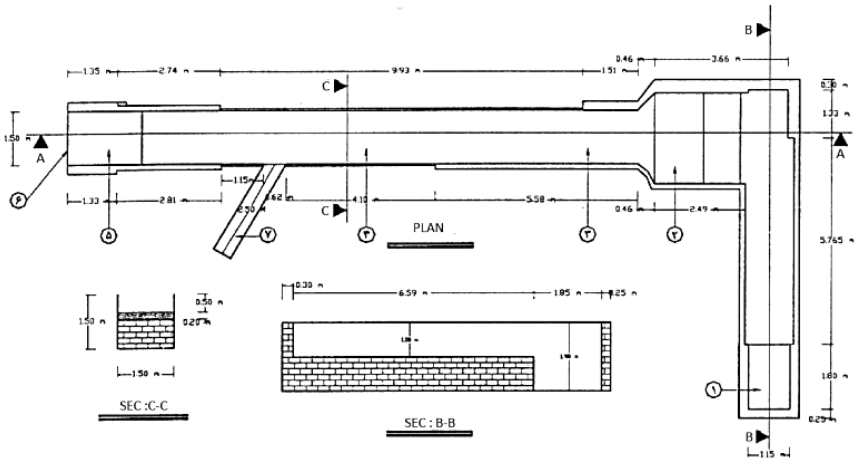
$$\frac{\partial u}{\partial t}+u\frac{\partial u}{\partial x}+v\frac{\partial u}{\partial y}=-g\frac{\partial Z}{\partial x}+\frac{1}{h}\left[\frac{\partial (h\tau_{xx})}{\partial x}+\frac{\partial (h\tau_{xy})}{\partial y}\right]-\frac{\tau_{bx}}{\rho h}+f_{cor}v \qquad (۲)$$

$$\frac{\partial v}{\partial t}+u\frac{\partial v}{\partial x}+v\frac{\partial v}{\partial y}=-g\frac{\partial Z}{\partial y}+\frac{1}{h}\left[\frac{\partial (h\tau_{yx})}{\partial x}+\frac{\partial (h\tau_{yy})}{\partial y}\right]-\frac{\tau_{by}}{\rho h}+f_{cor}u \qquad (۳)$$

در این معادلات 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 ۴ معادله هستند و مهم‌ترین آن‌ها مدل صفر معادله‌ای توزیع سهموی و مدل دو بعدی k-ε می باشند که در این تحقیق از مدل صفر معادله‌ای توزیع سهموی استفاده شده است [۱۲].

مدل سازی

همان‌گونه که اشاره شد برای ارزیابی و صحت سنجی مدل ریاضی از نتایج یک تحقیق مدل فیزیکی استفاده شده است. در این تحقیق، فلوم آزمایشگاهی (مرکز تحقیقات حفاظت خاک و آبخیزداری وزارت جهاد کشاورزی) به طول تقریبی ۱۷ متر، عرض ۱/۵ متر و عمق ۰/۷ متر بود (شکل۱). آبگیری توسط کانال جانبی به عرض ۰/۶ متر و طول ۲/۵ متر و با زاویه‌های ۹۰، ۷۵، ۶۰ و ۴۵ درجه نسبت به جهت جریان در کانال اصلی انجام شده است. شیب بستر کانال اصلی ۰/۰۰۱۵ بوده است. مصالح بستر نیز ماسه با قطر متوسط یک میلی‌متر می باشد که به ضخامت ۲۰ سانتی‌متر در بستر فلوم ریخته شده است. در آزمایش‌ها قطر رسوبات به گونه‌ای 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 دبی-های انتخابی انجام گردیده و هم‌چنین تعدادی آزمایش مقدماتی انجام و حرکت رسوبات و عدم تعلیق آن‌ها در فلوم آزمایشگاهی مورد تأئید قرار گرفته است.



شکل ۱. پلان و مقاطع فلوم

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 می‌گردد و به هیچ وجه کیفیت لازم را برای فرآیند شبیه سازی نخواهد داشت. در گام بعد باید کیفیت مش جبری با روش‌های 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 با آبگیر ۹۰ درجه، برای کانال اصلی از شبکه بندی ۱۵*۸۵ و برای آبگیر از شبکه بندی ۱۵*۲۵ استفاده شد. شبکه میدان به‌گونه‌ای تنظیم شده که خطوط شبکه عمود بر هم باشند). سپس شرایط اولیه هم‌چون تراز بستر، سطح آب و زبری بستر در مدل مش‌بندی شده اعمال گردید.

در گام بعد زبری بستر برای کل مدل ۰/۰۲۵ در نظر گرفته شد (حساسیت سنجی مدل‌های ریاضی رسوب 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 نتیجه‌گیری شد که میزان خطای مدل نسبت به طول انطباق بار بستر برای زبری ۰/۰۲۵ 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 ۸ 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 آزمایش‌های کنترلی با مدت زمان‌های ۵ تا ۱۲ ساعت انجام و با توجه به تغییرات توپوگرافی و نرخ رسوب ورودی به آبگیر زمان ۸ ساعت به عنوان زمان مناسب جهت انجام آزمایش‌ها در نظر گرفته شد). برای شبیه‌سازی حالات انتقال آشفتگی جریان از مدل صفر معادله‌ای توزیع سهموی[1] استفاده شد. پارامترهای رسوب شامل قطر دانه‌ها (۰/۰۰۰۶۲، ۰/۰۰۱ و ۰/۰۰۱۲۷ متر)، معادله انتقال رسوب (برای بار بستر)، زبری بستر، تعداد لایه‌های خاک و طول همگرایی بار بستر (با انجام محاسبات ۱۴ در نظر گرفته شد) می باشد. در این نرم افزار به طور پیش فرض ۳ لایه خاک و هم‌چنین ضخامت ۰/۰۵ متر برای لایه اول بصورت پیش فرض در نظر گرفته شده است.

معمولاً در برنامه مدل‌های 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 ۴ معادله انتقال بار بستر در این نرم افزار با توجه به مقادیر رسوب بدست آمده از حساسیت سنجی مدل با معادله‌های متفاوت، از مناسب‌ترین رابطه انتقال بار بستر برای فلوم 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 روی فلوم های آزمایشگاهی با عمق جریان کم تر از ۰/۴ متر و عدد فرود کوچک تر از ۰/۸ ، 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:

$$q_r = \frac{q}{y_0} G_g(SG) d_{50} (\frac{V}{V_*})^n \qquad (۴)$$

که در آن V سرعت متوسط، V* سرعت برشی، d50 متوسط قطر ذرات، q دبی جریان در عرض واحد و qr دبی بار کل رسوب در عرض واحد می‌باشند [۹].

برای بار بستر، طول همگرایی به ابعاد جابجایی رسوب، شکل بستر و هندسه کانال بستگی دارد. وو و همکاران (۲۰۰۴) پیشنهاد کردند که برای Ls 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 می دهد. فرمول محاسبه طول انطباق بار بستر به شرح زیر است [۱۴]:

$$L_s = 3 d_{50} D_*^{0.6} T^{0.9} \qquad (۵)$$

که در آن Ls طول همگرایی بار بستر به متر، d50 قطر متوسط مصالح بستر به میلی متر و T تنش برشی اضافی بدون بعد می باشند و D* نیز قطر بدون بعد ذره رسوب بوده و با فرمول زیر محاسبه می شود :

$$D_* = d_{50} \left[\frac{(S-1)g}{v^2} \right]^{1/3} \qquad (۶)$$

که در آن S نسبت دانسیته رسوب به آب و v لزجت سینماتیکی بر حسب m^2/S و d50 قطر متوسط مصالح بستر برحسب متر می باشند.

$$D_* = 0.001 \left[\frac{(2.61-1)9.81}{(10^{-6})^2} \right]^{1/3} = 25.3 \qquad (۷)$$

1- Parabolic eddy viscosity

بنابراین طول همگرایی به صورت زیر محاسبه می‌شود :

$$L_s = 3*1*(25.3)^{0.6}*(0.66)^{0.9} = 14.4 \qquad (۸)$$

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 شده‌اند و 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، مدل با دبی‌ها و نسبت‌های آبگیری متفاوت اجرا شد. پس از آن یک-سری متغیرها شامل فرسایش‌پذیری بستر، حداکثر ضخامت فرسایش و ته‌نشینی، ضخامت لایه‌ها و نوع لایه‌ها معرفی شده و در قسمت فرسایش‌پذیری بستر کانال اصلی فرسایش‌پذیر و آبگیر فرسایش ناپذیر و حداکثر ضخامت فرسایش ۰/۲- متر (چون در کف بستر ۲۰ سانتی متر مصالح وجود دارد) و حداکثر ضخامت ته نشینی، طبق پیشنهاد نرم افزار ۹۰+ متر در نظر گرفته شد.

نتایج و بحث

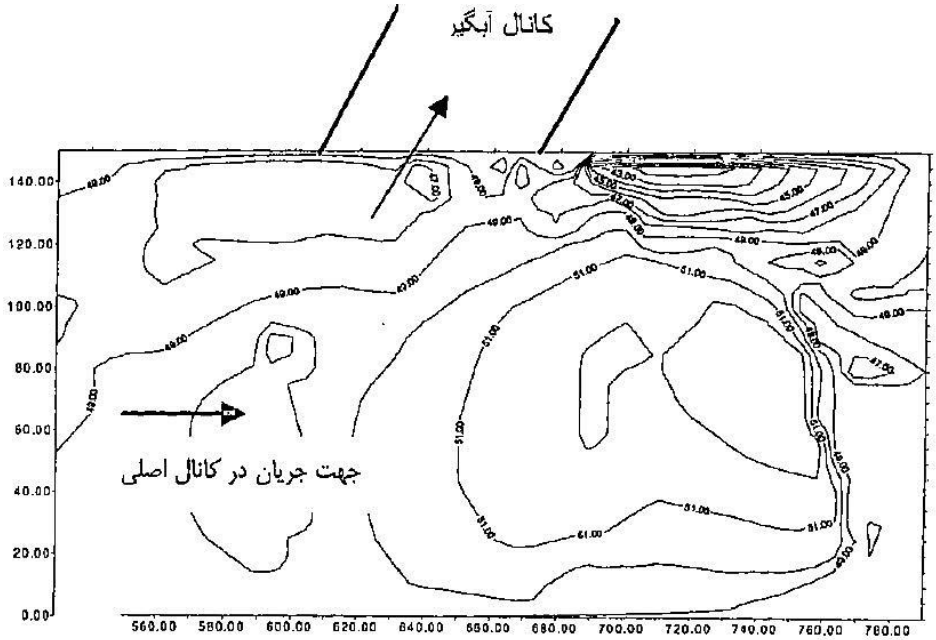
تغییرات توپوگرافی در دهانه و داخل کانال آبگیر

بخشی از رسوبات حمل شده در کانال اصلی همراه جریان وارد کانال آبگیر می‌شود. نحوه و میزان ورود رسوبات به داخل کانال آبگیر، محل ورود رسوبات به کانال آبگیر و تغییرات توپوگرافی در داخل کانال آبگیر در هر شرایطی متفاوت است.

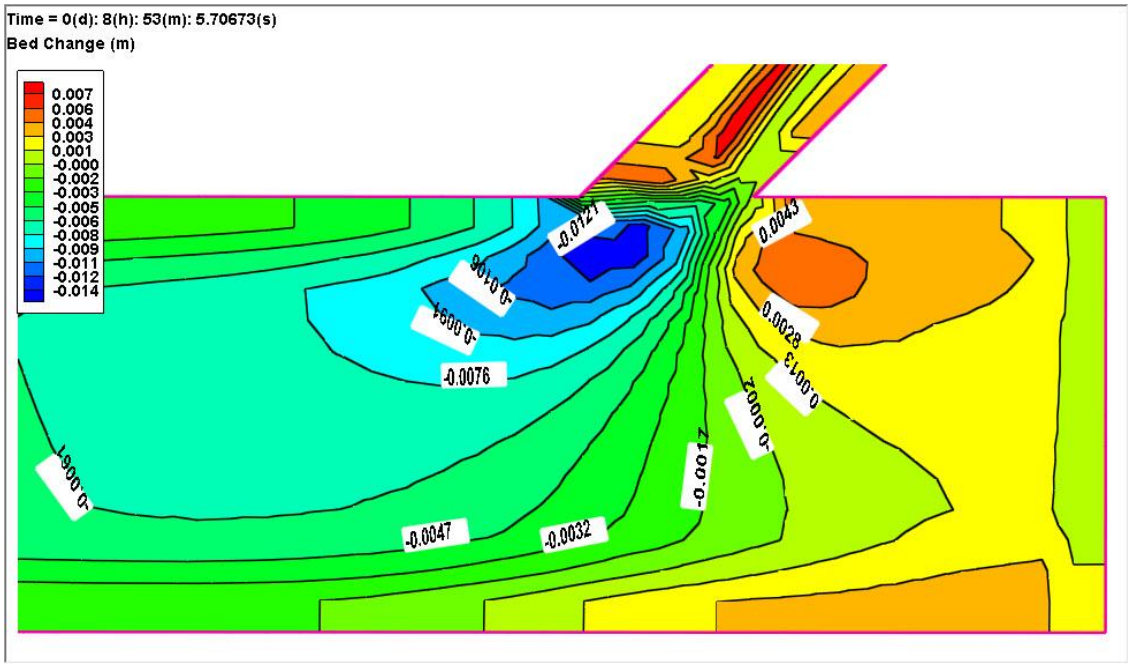
نمونه‌هایی از تغییرات توپوگرافی محدوده ورودی کانال آبگیر حاصل از آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌ها در شکل‌های ۲ و ۳ برای زاویه آبگیری ۴۵ درجه و نسبت آبگیری ۰/۱۸ و دبی ۸۲/۴ لیتر بر ثانیه در کانال اصلی و عمق جریان ۰/۱۳ متر آمده است (توجه شود که در آزمایش‌ها رقوم تراز اولیه بستر در جلوی دهانه آبگیر برابر ۴۸/۸ می‌باشد)

همان‌طور که از شکل ۳ واضح است، حداکثر فرسایش ایجاد شده در جلوی دهانه آبگیر بیشتر به سمت راست متمایل می‌باشد.(بیشترین ارتفاع رسوبگذاری با توجه به توپوگرافی، در قسمت چپ دهانه و کمترین در قسمت راست دهانه قرار دارند). هم‌چنین اگر به دهانه آبگیر توجه شود، مشاهده می-شود که در سمت راست ورودی دهانه آبگیر در کانال اصلی، کمی فرسایش صورت گرفته است. با مقایسه شکل۲ که حاصل از شبیه‌سازی می باشد با شکل ۳ حاصل از آزمایش‌ها نیز مشاهده می شود که مدل تغییرات توپوگرافی را به شکل نسبتاً خوبی پیش بینی کرده اند.

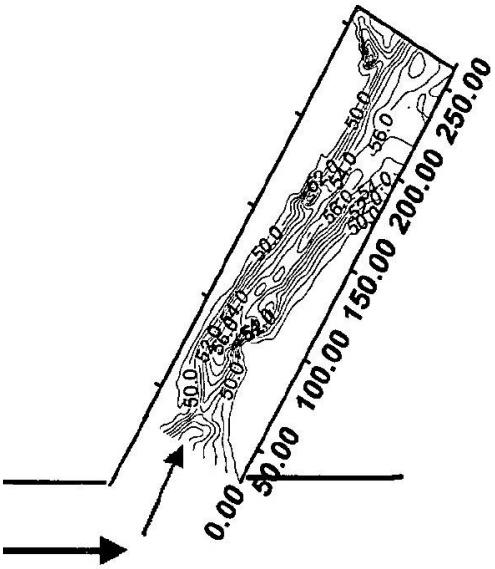
نمونه‌ای از تغییرات توپوگرافی در داخل کانال آبگیر حاصل از آزمایش‌ها و شبیه‌سازی‌ها در شکل‌های ۴ و ۵ برای زاویه آبگیری ۶۰ درجه و نسبت آبگیری ۰/۱۳۶ و دبی ۹۱/۲ لیتر بر ثانیه در کانال اصلی و عمق جریان ۱۴/۵ سانتی‌متر مشاهده می‌شود.



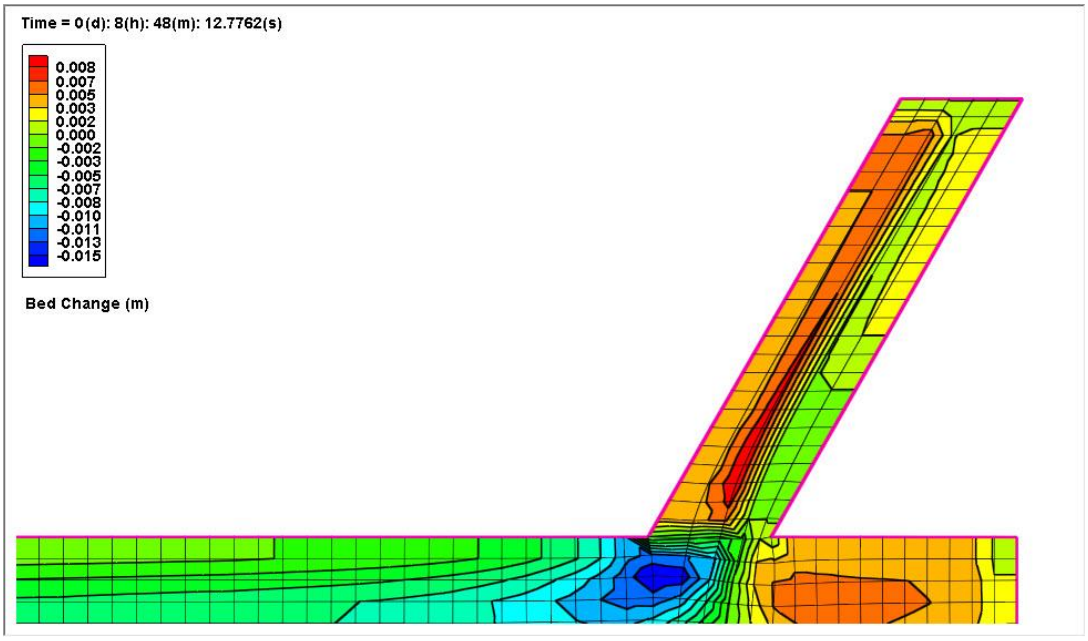
شکل ۲. تغییرات توپوگرافی دهانه آبگیر در زاویه آبگیری ٤٥ درجه در آزمایش‌ها



شکل ۳. تغییرات توپوگرافی دهانه آبگیر در زاویه آبگیری ٤٥ درجه در CCHE2D



شکل ٤ . تغییرات توپوگرافی در داخل کانال آبگیر در زاویه آبگیری ٦٠ درجه



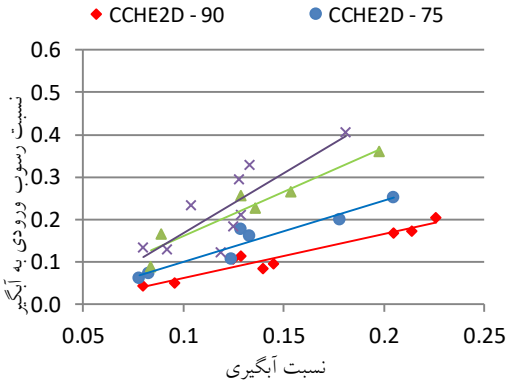
شکل ٥ . تغییرات توپوگرافی در داخل کانال آبگیر در زاویه آبگیری ٦٠ درجه

با مشاهده شکل ۵ مشاهده می‌شود که رسوب ورودی به آبگیر، بیشتر در مجاورت ضلع بالادست کانال آبگیر قرار دارد. به طور کلی اگر به توپوگرافی دهانه کانال آبگیر حاصل از نتایج آزمایش‌ها در شکل ۴ و مقایسه آن با شکل ۵ حاصل از نتایج شبیه‌سازی ها توجه شود، تطابق بسیار خوبی در نواحی رسوبگذاری و فرسایش بین این نتایج نیز مشاهده می شود.

رابطه نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر با نسبت آبگیری کانال آبگیر

به نظر می‌رسد که باید نسبت آبگیری با نسبت رسوب ورودی به آبگیر رابطه تقریباً مستقیمی داشته باشد و با افزایش نسبت آبگیری، رسوب ورودی به کانال آبگیر نیز روندی افزایشی داشته باشد. منظور از نسبت آبگیری نسبت دبی ورودی به کانال آبگیر به

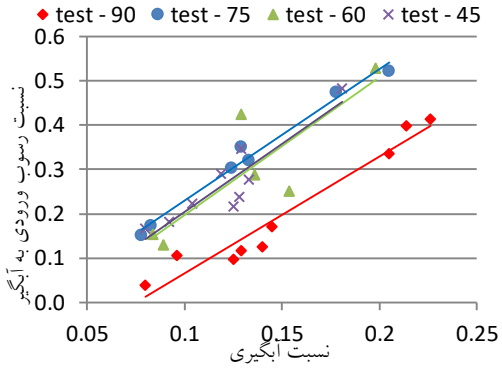
دبی کانال اصلی می‌باشد. در شکل های ۶ و ۷ نسبت های رسوب ورودی به کانال آبگیر برای مدل‌ها با ۴ زاویه آبگیری و نسبت‌های آبگیری متفاوت ترسیم شده



شکل ٦. اثر زاویه آبگیری بر نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر در CCHE2D

همان‌طور که به طور کلی از شکل های ۶ و ۷ مشاهده می شود، با افزایش نسبت آبگیری، نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر افزایش یافته است. دلیل این امر این است که افزایش نسبت آبگیری سبب می شود که بخش بیشتری از جریان عبوری از کانال اصلی وارد کانال آبگیر شود و سرعت در دهانه آبگیر افزایش یابد، در نتیجه رسوبات بیشتری وارد کانال آبگیر می شود. هم‌چنین مشاهده می‌شود که بیشترین رسوب ورودی به کانال آبگیر مربوط به زاویه آبگیری ۴۵ درجه و کمترین آن ها مربوط به زاویه آبگیری ۹۰

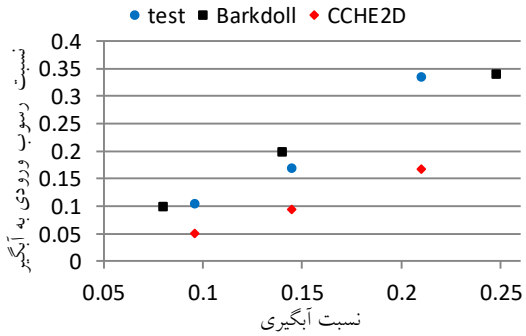
است. در این شکل‌ها محور افقی نسبت آبگیری (Qr) و محور عمودی نسبت رسوب ورودی به آبگیر (Qsr) می باشد.



شکل ۷ . اثر زاویه آبگیری بر نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر در آزمایشها

درجه می باشد. بنابراین به طور کلی می توان نتیجه گرفت که با کاهش زاویه آبگیری با جهت جریان، میزان رسوب ورودی به کانال آبگیر افزایش پیدا کرده است.

نتایج آزمایش‌ها بارکدول و همکاران (۱۹۹۹) در خصوص رابطه بین نسبت آبگیری با نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر در زاویه آبگیری ۹۰ درجه به همراه نتایج تحقیق حاضر و آزمایش‌ها متناظر مربوط به شرایط نسبتاً مشابه، به‌صورت شکل ۸ ارائه شده است.

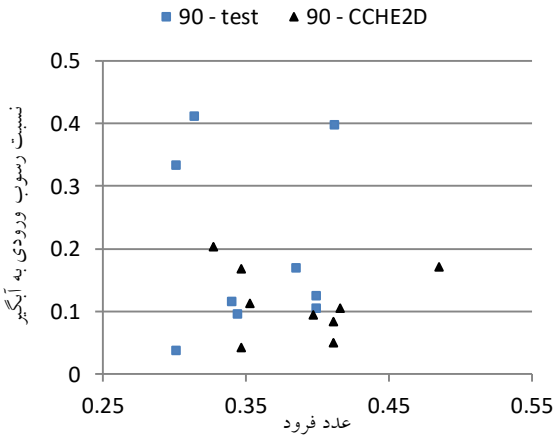


شکل ۸ . تغییرات Q_{sr} در مقابل Q_r در تحقیق حاضر، آزمایش‌ها و تحقیقات بارکدول و همکاران (۱۹۹۹)

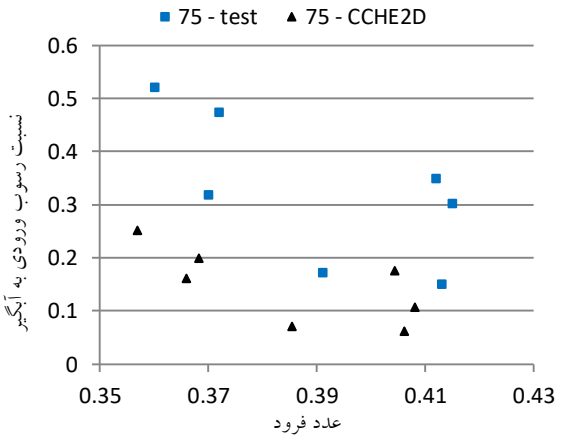
همان‌طور که در شکل ۸ مشاهده می شود، روند نتایج هر ۳ تحقیق از هماهنگی خوبی برخوردار بوده و گویای رابطه ذکر شده در خصوص نسبت آبگیری و نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر می‌باشند.

رابطه نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر با عدد فرود جریان در کانال اصلی

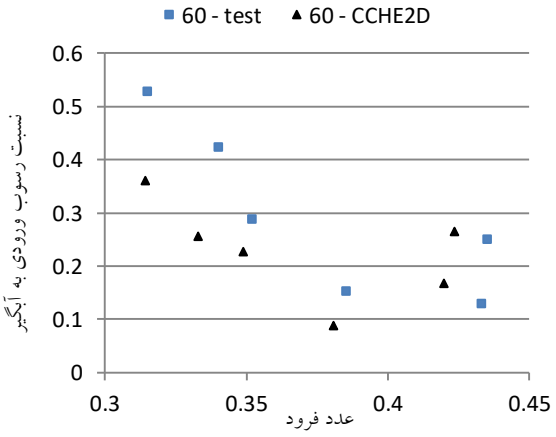
جهت بررسی رابطه عدد فرود جریان با مقدار رسوب ورودی به کانال آبگیر، نتایج چند مدل با زوایای آبگیری متفاوت و نسبت‌های آبگیری مختلف بررسی گردید. منظور از نسبت رسوب ورودی به آبگیر در واقع نسبت دبی رسوب ورودی به کانال آبگیر به دبی رسوب حمل شده در کانال اصلی می باشد. در شکل های ۹ تا ۱۲ برای مدل در زوایای آبگیری ۹۰ تا ۴۵ درجه، رابطه عدد فرود با مقدار رسوب ورودی به آبگیر جانبی قابل مشاهده می‌باشد.



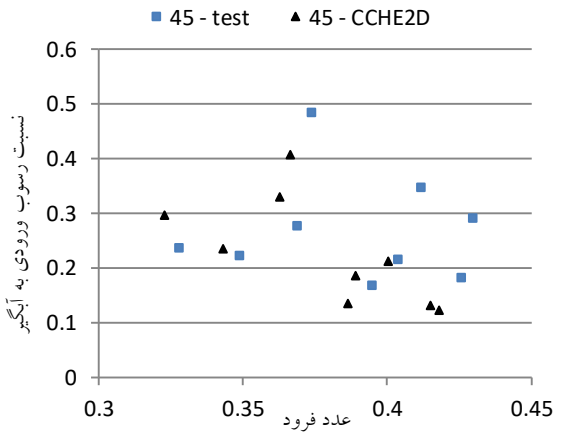
شکل ۹. رابطه عدد فرود با نسبت رسوب ورودی به آبگیر برای مدل با زاویه آبگیری ۹۰ درجه



شکل ۱۰. رابطه عدد فرود با نسبت رسوب ورودی به آبگیر برای مدل با زاویه آبگیری ۷۵ درجه



شکل ۱۱. رابطه عدد فرود با نسبت رسوب ورودی به آبگیر برای مدل با زاویه آبگیری ۶۰ درجه



شکل ۱۲. رابطه عدد فرود با نسبت رسوب ورودی به آبگیر برای مدل با زاویه آبگیری ۴۵ درجه

روند کلی نتایج شبیه‌سازی در شکل های ۹ تا ۱۲ نشان می دهد که تقریباً در تمامی موارد با افزایش عدد فرود جریان، نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر کاهش یافته است. همان‌طور که در شکل‌ها مشاهده می‌کنید، نتایج آزمایش‌ها در فلوم آزمایشگاهی نیز تقریبا به همین صورت بوده است. می‌توان گفت با افزایش عدد فرود جریان در کانال اصلی، در واقع سرعت جریان در کانال افزایش یافته و در نتیجه رسوبات به جای کانال آبگیر بیشتر به پایین دست کانال اصلی منتقل می شوند.

اگر به مقادیر دب‌های رسوب حمل شده در کانال اصلی و ورودی به آبگیر در شکل‌های ۹ تا ۱۲توجه شود واضح است که مقادیر دبی‌های به دست آمده از مدل در اکثر موارد مقداری کمتر از نتایج آزمایش‌ها می باشند. دلیل این امر را می توان در این موضوع دانست که در آزمایش‌ها 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 آبگیر شده باشد، اما در مدل تزار اولیه آب به طور ثابت در زمان شروع معرفی می‌شود. هم‌چنین خطاهای اندازه‌گیری موجود در آزمایش‌ها، خطاهای مربوط به مدلسازی و مش‌بندی نیز می توانند در این موضوع موثر باشد.

نتیجه گیری

۱. بر اساس نتایج بدست آمده، تغییرات توپوگرافی مدل چه در کانال اصلی و چه در آبگیر منطقی بوده و با وضعیت توپوگرافی بدست آمده در پایان آزمایش‌ها در مدل فیزیکی تطابق خوبی دارد.
۲. طبق نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل با افزایش نسبت آبگیری، نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر نیز افزایش یافته است، که با نتایج حاصل از آزمایش‌ها مطابقت دارد.
۳. در مورد رابطه عدد فرود در کانال اصلی با نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر نیز نتیجه گرفته شد که با افزایش عدد فرود جریان، نسبت رسوب ورودی به کانال آبگیر کاهش یافته است. در بررسی آزمایش‌ها نیز نتایج مشابهی حاصل شده، با این تفاوت که مدل CCHE2D روند قاطع‌تری را از رابطه بین این پارامترها نشان داده است.

از نتایج بدست آمده چنین استنباط می شود 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 جریان و چندین پارامتر دیگر که در قسمت مدل‌سازی به آن‌ها اشاره شد، حساس می‌باشد. به‌طور 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 پیشنهاد می شود از مدل های ریاضی موجود به ویژه مدل CCHE2D به عنوان مکملی جهت پیش بینی نتایج آزمایش‌ها 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 و پیچیدگی مساله‌ها و ساده‌انگاری مدل‌ها نباید باعث گردد که از توانایی‌های مدل‌های ریاضی غافل شویم زیرا مدل‌های ریاضی می توانند در شرایط عملی وضعیت رسوب‌گذاری آینده را پیش‌بینی 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 بدلیل در اختیار قرار دادن داده های آزمایشگاهی خود، تشکر و قدردانی نمایند.

منابع

۱- ابراهیمی کماجانی، ع.، کمان بدست، ا.ع. و مسجدی، ع. (۱۳۹۱)، شبیه سازی عددی هیدرولیک جریان اطراف آبشکن در قوس ۱۸۰ درجه با استفاده از مدل CCHE2D، همایش ملی بهره برداری بهینه از منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب.

۲- تاجیک جلایری، ف. (۱۳۹۱)، بررسی و مقایسه نرم افزارهای SSIIM، CCHE2D، FLUENT ، FLOW-3D و HEC-RAS 4 در مدلسازی عددی رسوب‌گذاری، همایش ملی بهره برداری بهینه از منابع آب، دانشگاه آزاد اسلامی واحد دزفول، دانشکده کشاورزی، گروه مهندسی آب.

۳- جباری صاحباری ا. و برقعی م (۱۳۸۷) بررسی آزمایشگاهی الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در محل اتصال کانال ها. چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران. ایران.

۴- رحمتیان طوسی، ب.، اسماعیلی، ک. و ابراهیمی، ح. (۱۳۹۱)، شبیه‌سازی حرکت رسوب در کانال آزمایشگاهی با استفاده از مدلCCHE2D 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.

۵- رخشا، م.، افروس، ع. و روحانی، ع. (۱۳۹۱)، شبیه سازی عددی رسوب‌گذاری 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.

۶- رستمی، م.، حبیبی، س. و فرهمند، ع. (۱۳۹۱)، بررسی عددی الگوی جریان آب و رسوب در محل تلاقی رودخانه ها با استفاده از مدل CCHE2D، نهمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.

۷- سالم نیا ع. و شفاعی بجستان م (۱۳۹۰) بررسی تاثیر نسبت دبی آبگیری بر کنترل رسوب ورودی به آبگیر جانبی کانال ذوزنقه‌ای با استفاده از صفحات مستغرق. اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برق آبی. تهران. ایران.

۸- عباسی، ع. (۱۳۸۲)، مطالعه آزمایشگاهی کنترل رسوب در آبگیرهای جانبی در مسیرهای مستقیم، پایان نامه دکتری، دانشگاه تربیت مدرس.

۹- محمودیان شوشتری، م. (۱۳۸۸)، اصول جریان در مجاری باز (جلد دوم)، انتشارات دانشگاه شهید چمران اهواز، چاپ دوم.

۱۰-مغربی م (۱۳۹۰) شبیه سازی عددی اثر زوایه آبگیری بر الگوی جریان در قوس ۱۸۰ درجه به کمک نرم افزار CCHE2D. اولین کنفرانس بین المللی و سومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه های برق آبی. تهران. ایران.

11-Barkdoll B.D, and K. Ettema. and A.J. Odgaard. 1999. Sediment Control at Lateral Diversion: Limits and Enhancements to Vanes Use. Journal of Hyd. Eng. ASCE. 125 (8): 862-870.

12-NCCHE Publication. (2006). CCHE-GUI Graphical Users Interface for NCCHE Model User's Manual, School Of Engineering, The University of Mississippi, Version 3.0.

13- Uzair Qamar, M. and Faisal Baig. 2012. Calibration of CCHE2D for Sediment Simulation of Tarbela Reservoir. Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol I. London. U.K.

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

15- Wu, S. K., Sue, J. W. and Che, Y.H., 1994, An Improved Design of Excluding Sediment Into River Intake Structures, 9th Congress of APD-IAHR, Singapore, Vol. 2, PP. 208-214.

16- Zorkeflee, A. and N. Noor fareziana. and F. Mohd. 2010. Sediment Pattern Analysis at Ijok Intake Using CCHE2D, World Engineering Congress. Conference on Natural Resources and Green Technology.