نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

سال نهم- شماره ۳۰- پاییز ۱۳۹۴ Vol. 9, No. 30, Fall 2015

ارزیابی قابلیت یک مدل عددی در شبیه‌سازی هیدرودینامیک جریان و رسوب (مطالعه موردی: پیچانرود پایین‌دست سد میناب)

غلامرضا خسروی[1*]، محمود اعظمی راد[2] و مهدی نجفی[3]

تاریخ دریافت: ۹۲/۰۷/۰۸ تاریخ پذیرش: ۹۴/۰۳/۱۱

چکیده

تحقیق حاضر سعی دارد قابلیت یک مدل هیدرودینامیک در پایش و پیش‌بینی فرآیندهای حاکم بر جریان و رسوب در رودخانه را ارزیابی نماید. با توجه به اهمیت سرعت جریان آب و نیروهای تنش برشی بر فرسایش کناره‌های رودخانه، از یک مدل عددی دو بعدی تحت عنوان CCHE۲D برای شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب در بازه‌ای از پیچان‌رود طبیعی (حد فاصل سد استقلال تا پل شهرستان میناب- استان هرمزگان) استفاده شد. با این هدف، اقدام به شبیه‌سازی الگوی جریان آب و رسوب در یک کانال مئاندری با رژیم جریان پایدار گردید تا بتوان تغییرات الگوی جریان و رسوب و همچنین تغییرات ریخت‌شناسی را مورد ارزیابی قرار داد. در این بررسی پس از نقشه‌برداری دقیق، نقشه توپوگرافی با مقیاس مناسب از محدوده مورد مطالعه بدست آمد و سپس هندسه مدل و شبکه محاسباتی با ابعاد مختلف تهیه و در نهایت بر اساس مشخصات اندازه‌گیری شده جریان و رسوب رودخانه، مدل هیدرودینامیک دو بعدی متوسط عمق، اجرا و نتایجی همچون تغییرات عمق، سرعت جریان، بار معلق و تغییرات بستر در رودخانه استخراج گردید. در پایان، از دو معیار آماری R.M.S.E و M.A.P.E، برای ارزیابی کارایی مدل استفاده شد. نتایج بیانگر دقت مناسب و خطای ناچیز مدل در پیش‌بینی پارامترهای جریان و رسوب می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی، تنش برشی، مدل عددی CCHE۲D، پیچان‌رود، ضریب زبری.

۱. نویسنده مسئول دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری ، دانشگاه منابع طبیعی گرگان، پست الکترونیک: gholamreza.khosravi@yahoo.com-
۲. دانشجوی دکتری علوم مهندسی آب پردیس دانشگاه فردوسی مشهد
۳ - فوق لیسانس تاسیسات آبیاری دانشگاه شهید باهنر کرمان

مقدمه

اندرکنش نیروهای هیدرودینامیکی جریان در پیچان‌رودها می‌تواند منجر به گسترش جریان به سیلابدشت‌ها و فرسایش‌پذیری کناره‌های رودخانه گردد. از این رو تحلیل هیدرودینامیکی جریان و رسوب در پیچان‌رودها، در طراحی و اجرای طرح‌های مهندسی رودخانه و سیلاب، مؤثر بوده و باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد [٤]. بدین منظور، استفاده از مدل‌های عددی بدلیل سهولت اجرا، انعطاف‌پذیری بالا در تغییر پارامترهای جریان و هزینه‌های کمتر نسبت به مدل‌های فیزیکی، جایگاه ویژه‌ای دارند.

جیا و ونگ مدل دوبعدی هیدرودینامیک به نام CCHE۲D، برای مطالعه تغییرات جریان در کانال‌های روباز توسعه دادند. نتایج محاسبات نشان می‌دهد که این مدل را می‌توان برای مطالعه جریان‌های پایدار، ناپایدار و آشفته و همچنین فرایندهای حمل رسوب و تغییرات مورفولوژیکی کانال‌های آبرفتی بکار برد [٦]. نصار مدل CCHE۲D را برای بازه‌ای از رودخانه نیل اجرا کرده و با استفاده از آنالیز حساسیت چند پارامتره نشان داد که جریان در رودخانه نیل بیشتر توسط ضریب زبری بستر کنترل می‌شود [۳].

در این تحقیق با کمک مدل دو بعدی CCHE۲D، الگوی جریان و رسوب، تغییرات بستر، هیدرولیک جریان در قوس رودخانه، تغییرات سرعت در پلان و مقاطع عرضی، در بازه پیچان‌رود پایین دست سد میناب مورد بررسی و شبیه‌سازی قرار می‌گیرد.

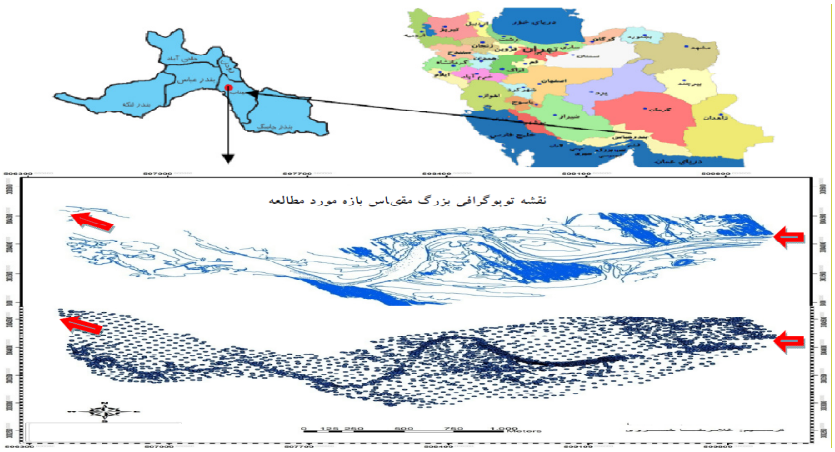
مواد و روش‌ها

موقعیت منطقه مورد مطالعه

همانطور که در شکل شماره (۱) مشاهده می‌شود محدوده مورد مطالعه، بازه‌ای از رودخانه میناب از محل سد استقلال تا پل شهرستان میناب، استان هرمزگان است. موقعیت این بازه بین مختصات جغرافیایی ″۰۸ ′۰٦ °۵۷ تا ″۳۲ ′۰٤ °۵۷ طول شرقی و ″۳۳ ′۰۹ °۲۷ تا ″۱۸ ′۰۹ °۲۷ عرض شمالی قرار گرفته است. این بازه از شرق به سد استقلال و از غرب به پل شهرستان میناب محدود می‌شود. طول بازه حدود ٤/۵ کیلومتر و با توجه به تراز توپوگرافی ابتدا و انتهای بازه به ترتیب در حدود ٤۰/۵ و ۳۲ متر بالاتر از سطح دریا، می‌باشد.

مدل CCHE۲D

CCHE۲D یک مدل عددی برای شبیه‌سازی جریان ماندگار،



شکل ۱- نمایی از موقعیت بازه مورد مطالعه رودخانه میناب

Figure 1. View of the location of Minab River

جدول ۱- مقادیر پارامترهای سرعت، عمق و دبی جریان اندازه گیری شده در مقاطع مختلف بازه مورد مطالعه

Table 1. Parameter values velosity, depth and flow rate measured at different sections

مقاطع	sections	حداکثر سرعت متوسط عمقی Velocity max (m/s)	سرعت متوسط velocity (m/s)	عمق جریان (depth) (m)	دبی جریان flow (m^3/s)
مقطع A	A	1.78	1.08	1.52	154
مقطع B	B	1.84	1.25	1.94	151
مقطع C	C	1.66	1.06	1.5	142
مقطع ورودی	In	-	-	1.77	-
مقطع خروجی	out	-	-	1.41	-

جدول ۲- مقادیر خصوصیات رسوبات کناره‌های بازه مورد مطالعه

Table 2. values of Features deposits banks

زاویه اصطکاک (درجه) angle Friction (degrees)	وزن مخصوص weight Specific (m^3 / kg)	چسبندگی رسوب Adhesive deposition (kg/cm^2)	ضریب اطمینان Confidence (بدون بعد) (No dimension)	(m) D_{50}
17	2.57	22.25	1	0.01

غیر ماندگار آشفته و انتقال رسوب در کانال‌های باز است که در مرکز بین‌المللی علوم هیدرولیک و مهندسی آب (NCCHE)، دانشکده فنی دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا تهیه و توسعه یافته است. این مدل جزء مدل‌های هیدرودینامیکی دو بعدی بوده، که برای ساخت هندسه میدان و شبکه‌بندی قلمرو مطالعاتی از یک نرم‌افزار مجزای تحت عنوان CCHE-MESH برخوردار است و حل میدان جریان و انتقال رسوب و همچنین مشاهده نتایج در محیط گرافیکی نرم‌افزار، با عنوان CCHE-GUI انجام می‌شود.

اندازه‌گیری داده‌های میدانی و آزمایشگاهی

۱- نقشه برداری و اندازه‌گیری پارامترهای جریان

در گام نخست این پژوهش، به نقشه‌برداری بازه انتخابی از رودخانه میناب پرداخته شد. در سه مقطع از مقاطع نقشه‌برداری شده به اندازه‌گیری پارامترهای جریان پرداخته شد و بیشترین تاکید بر روی قوس‌ها متوالی رودخانه بود تا بتوان تاثیر جریان‌های ثانویه و نیروهای گریز از مرکز را در سر پیچ‌های مئاندر بر فرسایش کناره‌ها و کف بستر رودخانه بررسی کرد.

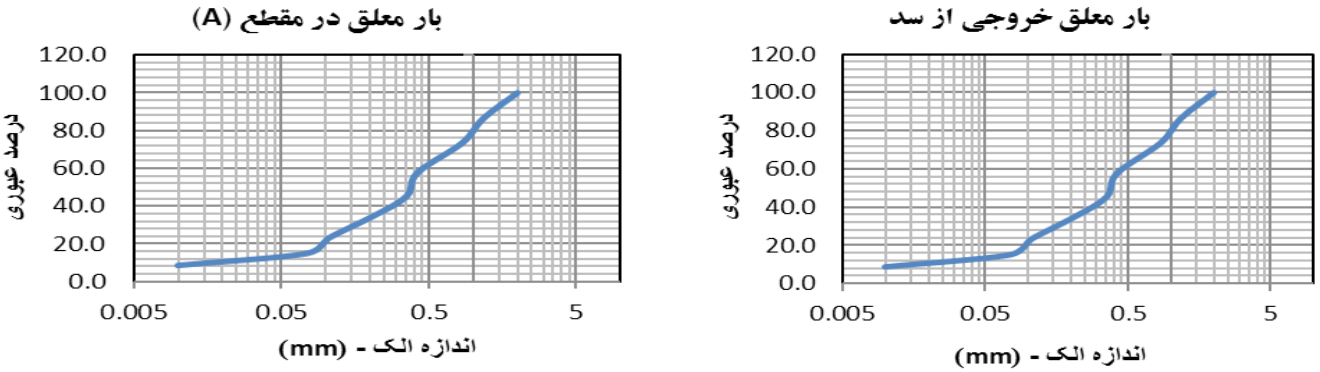
همان طور که در جدول شماره (۱) مشاهده می‌شود برای جریان خروجی با دبی ثابت از دریچه‌های سد میناب، پارامترهایی از قبیل سرعت، دبی و عمق جریان در مقاطع مذکور و ابتدا و انتهای بازه مورد مطالعه رودخانه میناب اندازه‌گیری شده است.

۲- مطالعات رسوبات بستر رودخانه به چندین بخش تقسیم شد. برداشت نمونه‌ها از بستر رودخانه، بر اساس مقاطع عرضی از پایین دست (پل میناب) به سمت بالا دست (سد استقلال) با نامهای (P,A, B, C,...) انجام شده است یعنی در امتداد یک مقطع عرضی، نقاطی در ساحل چپ، ساحل راست و بخش میانی رودخانه انتخاب گردید. این نقطه در مرکز دایره‌ای به شعاع ۵۰ سانتی متر قرار داشته و رسوب داخل دایره، تا عمق ۳۰ تا ۴۰ سانتی متر برداشت گردید. این

جدول ۳- اطلاعات وزن مخصوص نمونه‌های برداشت شده

Table3 .Information specific weight of selective samples

نام پروفیل	P -1	P -2	A-1	B-1	C-1	C-2	D-1	E-1	E-2
وزن مخصوص Specific weight (kg / m^3)	2.59	2.65	2.53	2.5	2.52	2.62	2.66	2.53	2.3



شکل ۲- منحنی دانه‌بندی رسوبات بار معلق برای اولین مقطع ورودی بازه و مقطع اندازه‌گیری (A)

Figure 2. Size curve of suspended load and section (A) measurement

نمونه‌ها در آزمایشگاه به منظور دانه بندی، چگالی، زاویه اصطکاک، چسبندگی، D_{50} و ضریب اطمینان مورد آزمایش قرار گرفتند.

۳- وزن مخصوص حقیقی: همانطور که در جدول شماره (۳) نشان داده شده است در این تحقیق در آزمایشگاه خاکشناسی، وزن مخصوص حقیقی رسوبات به روش پیکنومتری تعیین گردید [۲].

٤- اندازه گیری بار معلق

با توجه به اینکه جریان ورودی بازه مورد مطالعه، جریان خروجی از دریچه‌های سد میناب (با دبی ثابت) است و بر اساس اندازه‌گیری‌های انجام شده، این جریان حاوی رسوبات ریزدانه به صورت بار معلق است و شرایط مرزی ورودی فاقد بار بستر می‌باشد. بنابراین برای تعریف شرایط مرزی رسوب تنها بار معلق اعمال می‌شود. بدین منظور در اولین مقطع ورودی جریان و مقطع اندازه‌گیری (A) با روش نمونه‌گیری غیر نقطه‌ای، اندازه گیری شد [۲]. در شکل شماره (٤)، منحنی دانه‌بندی رسوبات بار معلق برای اولین مقطع ورودی بازه و مقطع اندازه‌گیری (A)، نشان داده شده‌است.

٥- تولید شبکه محاسباتی در مدل عددی CCHE۲D: در مدل CCHE۲D برای ساخت هندسه میدان و شبکه بندی قلمرو مطالعاتی از یک نرم‌افزار مجزای پیش پردازنده تحت عنوان CCHE-MESH، استفاده می‌شود.

٦- شبیه‌سازی الگوی جریان و رسوب

مراحل شبیه سازی الگوی جریان و رسوب توسط نرم‌افزار CCHE-GUI به شرح زیر است:

ورود و فراخوانی فایل Geo؛ تنظیم شرایط اولیه جریان (عمق آب بالادست و پایین دست)؛ تنظیم شرایط اولیه رسوب از جمله زبری بستر، فرسایش‌پذیری بستر اولیه، حداکثر ضخامت رسوب‌گذاری، حداکثر عمق فرسایش و تعیین ضخامت سه لایه سطحی بستر در نقاط مختلف؛ تنظیم پارامترهای جریان آب شامل: گام زمانی (۲٤ ساعت)، انتخاب مدل آشفتگی، انتخاب فرمول محاسبه؛ تنظیم پارامترهای رسوب از جمله: کلاس‌بندی رسوبات، پارامتر انتقال رسوب، پارامتر اثر انحنا و وزن مخصوص رسوبات، انتخاب فرمول محاسبه زبری (فرمول مانینگ)، خصوصیات فرسایش کناره‌ها، فایل شرایط مرزی رسوب (فایل دانه‌بندی و وزن بار معلق بر حسب دبی جریان) و در نهایت اجرای شبیه‌سازی. در نرم‌افزار CCHE۲D، به منظور برآورد انتقال رسوب از چهار معادله SEDTRA، ایکر وایت اصلاح شده، انگلاند و هانسن اصلاح شده و فرمول وو و همکاران استفاده می‌گردد و معادله‌ای که انطباق بهتری با واقعیت داشته باشد انتخاب می‌گردد. [٥]. با توجه به غالب بودن بار معلق در بازه مورد مطالعه، چهار معادله حمل رسوب برای شبیه‌سازی بار معلق مورد مقایسه قرار گرفتند و در نهایت مشاهده شد، معادله انتقال رسوب (Wu et al. formula)، برآورد نزدیکتری با مقادیر اندازه‌گیری شده دارد.

۷- واسنجی مدل عددی CCHE۲D

با انجام چندین بار مدل‌سازی و بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر نتایج مدل، مرحله بعدی واسنجی مدل عددی CCHE۲D است تا از طرفی درصد خطای مدل در پیش‌بینی پارامترها مشخص و از طرف

دیگر شرایطی استاندارد در خصوص تنظیمات مدل و اندازه‌گیری پارامترها به وجود آید. بدین منظور در بازه مورد مطالعه رودخانه میناب، فرضیه تغییر ضریب زبری (حساس‌ترین پارامتر) بر الگوی جریان با استفاده از مقدار (مشاهدات صحرایی) در دامنه ۰/۰۳٤ تا ۰/۰٦۳ و تغییر آن و مقدار به دست آمده از روابط (معادلات) در دامنه ۰/۰۳۳ تا ۰/۰۵ مقایسه گردید.

همان‌گونه که از جداول و شکل فوق مشاهده می‌شود، استفاده از ضریب زبری محاسباتی بدست آمده از روابط و معادلات در دامنه ۰/۰۵۲- ۰/۰۳۳، نتایج دقیق‌تری را به دست می‌دهد.

۸- ارزیابی کارایی مدل

در ادامه تحقیق، نتایج به دست آمده از مدل را با داده‌های اندازه‌گیری شده در طبیعت مقایسه می‌گردد تا به دقت مدل در شبیه‌سازی سرعت، عمق و شیب انرژی پی ببریم. جهت بررسی دقیق مدل از دو روش آماری برای ارزیابی دقت مدل استفاده کردیم که عبارتند از جذر میانگین مربع خطا و میانگین درصد خطای مطلق و روابط آنها به شرح ذیل است:

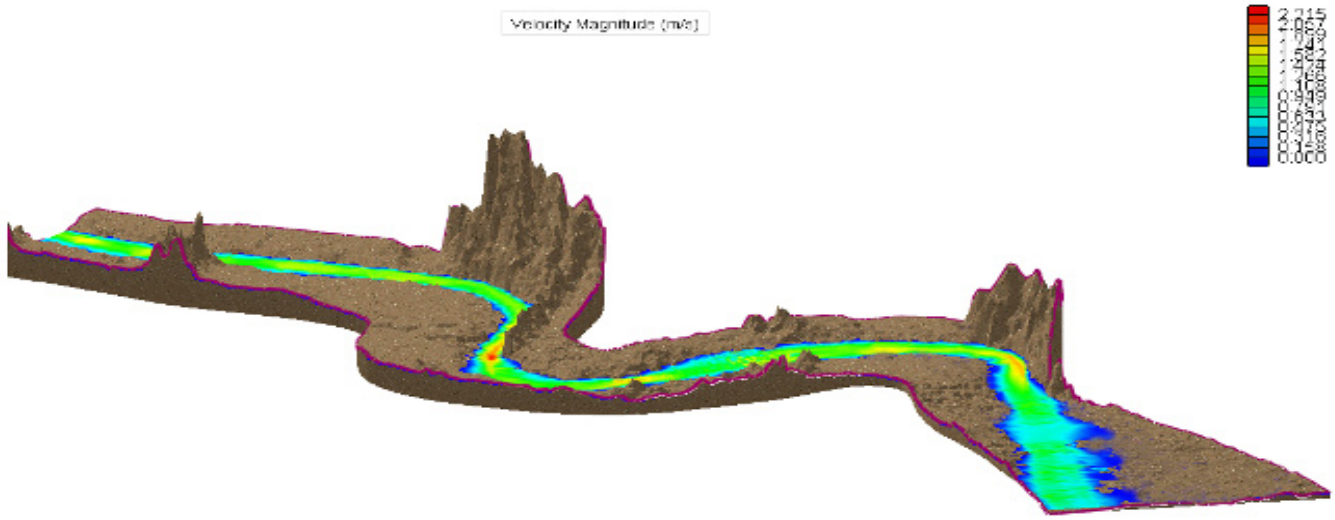
$$R.M.S.E = \sqrt{\left|\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(Q_o - Q_e)^2\right|} \qquad (٤)$$

$$M.A.P.E = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left|\frac{y_t - \hat{y}}{y_t}\right| * 100 \qquad (٥)$$

نتایج و بحث

۱- پارامتر سرعت جریان آب

با ورود جریان به قوس اول، موقعیت حداکثر سرعت در مقاطع عرضی به سمت جداره داخلی کشیده می‌شود. با قدرت یافتن جریان ثانویه و شکل‌گیری جریان حلزونی در مقطع بعد از ورودی قوس، حداکثر سرعت از جداره داخلی فاصله گرفته و به سمت میانه کانال متمایل می‌شود. با پیشروی جریان درکانال، این روند ادامه داشته، تا جائیکه جریان ثانویه بتواند بر گرادیان طولی فشار غلبه کند؛ این پدیده در نیمه دوم قوس اول رخ می‌دهد. در این مقاطع، جریان ثانویه با غلبه بر گرادیان طولی فشار، حداکثرسرعت در مقاطع را به سمت جداره خارجی کانال منتقل می‌کند. حداکثر سرعت جریان در کل قلمرو جریان نیز در این ناحیه است؛ علت این امر، محدود بودن این ناحیه از رودخانه توسط دیواره‌ها و عدم پخش سیلاب در



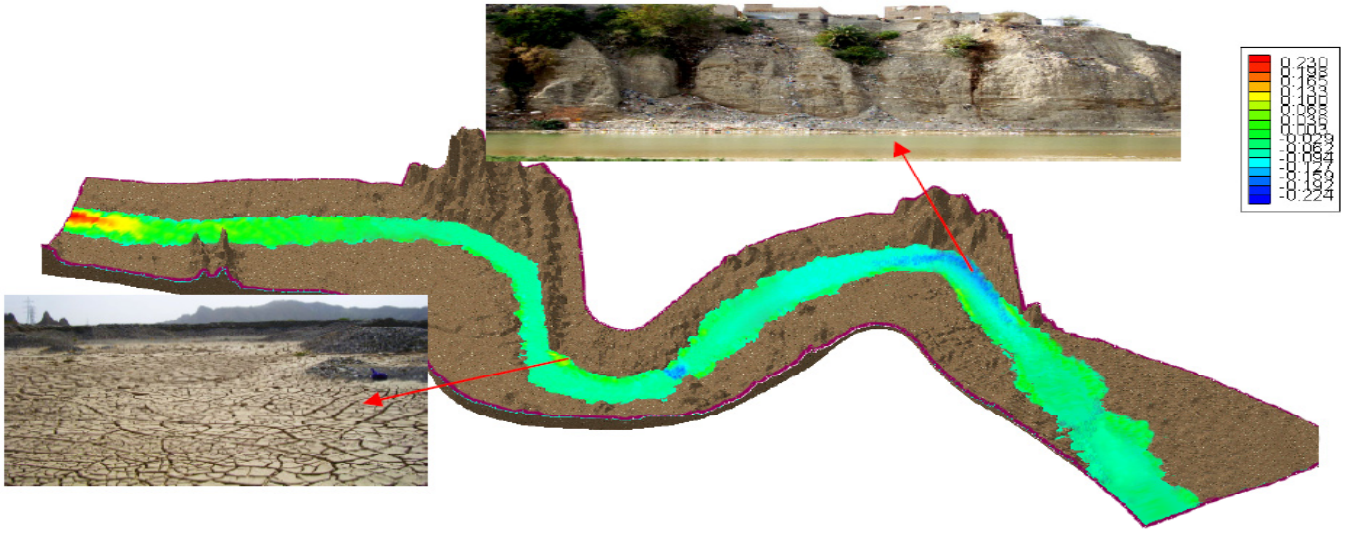
شکل ۳- تصویر توزیع متغیر سرعت در بازه مورد مطالعه

Figure 3. Distribution of variable speed

جدول٤- مقایسه پارامتر متوسط سرعت و عمق جریان در حالت تغییر ضریب زبری

Table 4.Compare the mean change in the velosity and depth of the roughness coefficient

مقاطع اندازه‌گیری شده sections	پارامتر متوسط سرعت جریان (V) اندازه‌گیری شده (s/m)Velocity Measured	پارامتر عمق جریان (P) اندازه‌گیری شده (m) (depth) Measured	پارامتر سرعت جریان (V) محاسباتی مدل Computational models(s/m)velocity		پارامتر عمق جریان (P) محاسباتی مدل Computational models (m) (depth)	
			شبکه محاسباتی با ابعاد ۵۰×۵۰۰ (mesh)			
			زبری (۰,۰۶۳- ۰,۰۳۴) Roughness	زبری (۰,۰۶۳- ۰,۰۳۳) Roughness	زبری(۰,۰۶۳- ۰,۰۳۴) Roughness	زبری(۰,۰۳۳- ۰,۰۵۲) Roughness
مقطعA	1.08	1.52	0.95	0.98	1.75	1.68
مقطع B	1.25	1.94	1.15	1.19	2.23	2.11
مقطع C	1.06	1.5	1.08	1.12	1.57	1.46



شکل ٤- تصاویرتغییرات بستر، فرسایش و رسوب‌گذاری بازه مورد مطالعه رودخانه میناب

Figure 3. Changes in bed, erosion and sedimentation

نواحی سیلاب دشت است. با ورود جریان به قوس دوم، به علت افزایش عرض بازه و انحنای قوس، عمق جریان کاهش پیداکرده و تغییرات مقدار سرعت بین قوس داخلی و خارجی نسبت به قوس اول کمتر می‌شود. در انتهای قوس مزبور عرض مقطع جریان کاهش یافته و سبب افزایش سرعت و عمق جریان شده است

پارامترهای فرسایش و رسوبگذاری

همان‌طور که در شکل شماره (٤) مشاهده می‌شود در ابتدای بازه مورد مطالعه به علت وجود بستر مقاوم به فرسایش، جریان خروجی از سد، در بدنه رودخانه کنش محسوسی ایجاد می‌کند. در فاصله نزدیک قوس اول و محدوده قوس مزبور، ساحل محدب، به سمت پایین دست، فرسایش‌پذیر بوده، اما ساحل مقابل و بستر، مقاوم به فرسایش می‌باشند. این عوامل و جریان فاقد بار بستر در این محدوده سبب کاهش رسوب‌گذاری در قوس داخلی می‌گردد. در قوس دوم، ساحل سمت راست به سمت پایین دست دارای بستر سنگی با شیب کم بوده و عمل فرسایش و کنش در ساحل مقعر محدود صورت می‌گیرد و تنها در بستر اصلی در اثر جریان ثانویه و حلزونی در این محدوده، رسوبات بستر به ساحل محدب و پایین دست انتقال می‌یابند.

نتیجه‌گیری

در این پژوهش با بهره‌گیری از یک مدل دو بعدی عددی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، به نام CCHE٢D، الگوی جریان آب و رسوب در یک بازه پیچان رود طبیعی شبیه‌سازی گردید و نتایج حاصل، قابلیت مدل عددی بکار رفته را در پیش‌بینی پارامترهای جریان و رسوب تایید نمود. بنابراین بر اساس بررسی‌های انجام شده می‌توان پذیرفت، مدل عددی حاضر به نحو مطلوبی قادر به بررسی الگوی جریان آب و رسوب در کانال‌های پیچان رودی طبیعی می‌باشد. همچنین در این تحقیق برای شبیه‌سازی حالات انتقال آشفتگی، از دو مدل لزجت گردابه‌ای و مدل k-ε استفاده گردید و معلوم شد که به طور متوسط مدل آشفتگی لزجت گردابه‌ای برای برآورد توزیع سرعت و تغییرات عمق جریان در کل قلمرو جریان مناسب است اما در محدوده دیواره رودخانه بخصوص قسمت مقعر قوس رودخانه دقت کمتری دارد. لذا با توجه به خروجی مدل به نظر می‌رسد برای برآورد تغییرات عمق و توزیع سرعت جریان در چنین محدوده‌هایی، مدل آشفتگی k-ε دقیق‌تر است.

منابع:

1. Alizadeh, A. 2006. Principles of Applied Hydrology, 19 th edition, Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian)

2. Jafari Haghighi, M. 2003. Methods of soil sampling and physical and chemical analysis with emphasis on theory and application principles. Nedaye zohi publication, 236pp.

3. Nassar, M. A. 2011. Multi-parametric sensitivity analysis of CCHE2D for channel flow simulations in Nile River. Journal of Hydro-environment Research, 5 (3): 187-195.

4. Telvari, E. R. 2004. Fundamentals of River Training and Engineering, Education Organization Soil Conservation and Watershed Management Research Institute.

5. Zhang, Y. 2009. CCHE-GUI – Graphical Users Interface for NCCHE Model User's Manual – Version 3.0, Technical Report No. NCCHE-TR-2009-01,

Mississippi University, MS 38677

6. Zhang, Y. and Jia, Y.F. 2009. CCHE-MESH: 2D Structured Mesh Generator User's Manual -Version 3.x, Technical Report No. NCCHE-TR-2009-01, Mississippi University, MS 38677.

نشریه علمی- پژوهشی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering

Vol. 9, No. 30, Fall 2015
سال نهم- شماره ۳۰- پاییز ۱۳۹۴

Abstract (Technical Note)

Assessment of a Numerical Model Capability in Simulating Flow and Sediment Hydrodynamics

Gh. Khosravi[1], M. Azamirad[2] and M. najafi[3]

Received: 2013/09/30 Accept: 2015/06/01

This study tries to assess the capabilities of a numerical model in monitoring and predicting the governing processes of the river channel flow and sediment transport. With regard to the significant role of the flow velocity and shear stress forces on river bank erosion, two-dimensional numerical modeling was performed using CCHE2D to simulate flow and sediment transport patterns of a meandering river reach located in the downstream of the Minab dam (Hormozgan province, Iran). Various algorithms and parameters were employed for simulation of two-dimensional (2D) flow and sediment transport to gain an insight into the modeling capabilities of CCHE2D. First, the geometry model and after that a numerical mesh system were calculated by taking advantage of topographic surveys. Second, the required parameters for running CCHE2D were collected through field works. Finally, the model outputs including flow depth and velocity, shear stress, Froude number, specific discharge and changes in suspended load and bed load sediment were obtained for the considered river reach. Furthermore, two statistical criteria (RMSE and MAPE) were used to evaluate the performance of the model. The values of RMSE for the flow depth, flow velocity and the energy slope were 0.075, 0.116 and 0.0008, respectively. The results indicated that the simulated values are in good agreement with the field measurements.

Keywords: Simulation, Shear Stress, CCHE2D Model, Meander, Roughness Coefficient.

1. PhD Student, Faculty of Agriculture & Natural Resources, Gorgan University, Gorgan, Iran -gholamreza.khosravi@yahoo.com
2. PhD Student, Faculty of Water Engineering Sciences, ferdowsi university fo mahshad,
3. Msc, Faculty of Irrigation installation Sciences, bahonar university fo kerman,