

# شبیهسازی الگوی جریان در یک بازه پیچانرود طبیعی با استفاده از مدل هیدرودینامیکی CCHE2D (مطالعه موردی: پیچانرودهای بالادست سد درودزن)

ابوذرنیکنام'، غلامرضا خسروی'، احمد نوحه گر" و ارشک حلیساز<sup>ع</sup>

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان، (نویسنده مسوول: abuzarniknam@yahoo.com) ۲- دانشجوی دکتری علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان ۳- استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران ۴- استادیار گروه علوم و مهندسی آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان تاریخ دریافت: ۹۵/۴/۱۸ تاریخ پذیرش:۹۶/۲۱۳

#### چکیدہ

بررسی الگوی جریان در رودخانه به خصوص بازههای مکانی فرسایش پذیر از اهمیت زیادی برخوردار است. با توجه به روند پیچیده فرسایش و رسوب گذاری در پیچانرودها و اهمیت سرعت جریان آب و نیروهای تنش برشی بر فرسایش کنارههای رودخانه از مدل عددی دو بعدی تحت عنوان CCHE2D برای شبیه سازی الگوی جریان آب در بازهای از پیچان رود طبیعی رودخانه کر در حد فاصل پل عباس آباد و سد درودزن استان فارس استفاده شد. در این بررسی با بهره گیری از نقشههای توپوگرافی بزرگ مقیاس محدوده مورد مطالعه، ابتدا هندسه مدل و شبکه محاسباتی با ابعاد مختلف تهید و در نهایت بر اساس مشخصات اندازه گیری شده جریان، مدل هیدرودینامیک دو بعدی متوسط عمق، اجرا و نتایجی همچون تغییرات عمق و سرعت جریان استخراج گردید. از دو معیار آماری RMSE و RMSE برای مقایسه داده های حاصل از شبیه سازی مدل عددی و دادههای مشاهده ای، استفاده شد، که خطای مدل برای پارامترهای سرعت و عمق با شاخص RMSE به ترتیب ۲۰/۱۰، ۱۰ و با شاخص مشاهده ای، استفاده شد، که خطای مدل برای پارامترهای سرعت و عمق با شاخص RMSE به ترتیب ۲۰/۱۰، ۱۰ و با شاخص مشاهده ای، استفاده شد، که خطای مدل برای پارامترهای سرعت و عمق با شاخص RMSE به ترتیب ۲۰/۱۰، ۱۰ و با شاخص MAPE به تریب ۱۵/۱ و ۲۰/۱ درصد برآورد گردید. نتایج نشان داد که این مدل در پیش بینی مقادیر سرعت و عمق جریان به خصوص در قوس های قلمرو مورد مطالعه از دقت مناسبی برخوردار بوده و دادههای شبیه سازی شده به داده های اندازه گیری

واژههای کلیدی: پیچانرود، سرعتجریان، شبیهسازی، عمق جریان، مدل عددی CCHE2D

#### مقدمه

امروزه رودخانهها به عنوان يكي از اصلى ترين منابع فراهم کننده أب و انرژی برای انسان، به منزله شاهر گ جوامع بشری قلمداد می شوند و علیرغم خسارات بی شماری که از دیرباز به انسانها وارد نمودهاند، به دلیل تاثیر ویـژهای کـه در زندگی بشر و شکل گیری تمدنهای مختلف داشتهاند، همواره مورد توجه بودهاند لذا بررسی رفتار آنها از جایگاه ویژهای برخوردار است(۱۰). در قوس رودخانهها معمولاً يافتن محل مناسب أبگیرها، تثبیت کنارهها یا بستر فرسایشی، انحراف جریان وکشتیرانی از جهات مختلف مورد بررسی است و این مسائل به ضعف و قوت جریان های ثانویه، خیزاب، توزیع سرعت، توپوگرافی بستر و مشخصات هندسی پیچان رود بستگی دارد (۹). اندرکنش نیروهای هیدرودینامیکی جریان در پیچان رودها می تواند منجر به گسترش جریان به سیلاب دشتها و فرسایش پذیری کنارههای رودخانه گردد. از این رو تحلیل هیدرودینامیکی جریان در پیچانرودها، در طراحی و اجرای طرحهای مهندسی رودخانه و سیلاب، مؤثر بوده و باید به دقت مورد بررسی قرار گیرد (۷). بدین منظور، استفاده از مدل های عددی بهدلیل سهولت اجرا، انعط اف ذیری بالا در تغییر پارامترهای جریان و هزینههای کمتر نسبت به مدلهای فیزیکی، جایگاه ویژهای دارند. در زمینه تحلیل فرآیندهایی چون هیدرودینامیک جریان و انتقال رسوب در رودخانه،

مطالعات متعددی انجام شده است. برخی از ایـن مطالعـات در مورد مدل.های عددی به شرح زیر میباشند:

خسروی (۸)، از مدل عددی دوبعدیCCHE2D برای شبیهسازی الگوی جریان و رسوب در بازهای از پیچان رود طبيعي، حدفاصل سد استقلال تا پل شهرستان ميناب-استان هرمزگان، پرداخت و به این نتیجه رسید که مدل از قابلیت خوبی جهت پیشبینی مشخصات جریان و رسوب در رودخانههای پیچانرودی برخوردار است. فتحی و همکاران (۳)، برای شبیهسازی عددی فرسایش کناری در رودخانههای طبيعي از مدل عددي دوبعدي CCHE2D در رودخانهي فارسان که دارای بار رسوبی و تغییرات زیاد می باشد استفاده كردند. نتايج بهدست أمده از مدل و دادهها قابليت مدل CCHE2D برای شبیهسازی فرسایش کناری در این رودخانه را نشان داد. فتحی و همکاران در مطالعهای دیگر (۴)، به شبیهسازی الگوی جریان رودخانه فارسان با استفاده از مدل CCHE2D پرداختند. نتایج حاکی از قابلیت بالای مدل جهت پیشبینی مشخصات جریان در رودخانههای پیچانرودی است. ابراهیمی و همکاران (۲)، به مدلسازی ریاضی اثر حذف پیچانرودها در تغییر میزان فرسایش در پیچانرود گنجیه رودخانه کارون پرداختند. نتایج نشان داد که در ۱۶ کیلومتر ابتدایی پیچانرود، در طول زمان تخلیه رسوب کمی وجود دارد. با حذف پیچانرود در پایین دست، تخلیه رسوب باعث از بین بردن پیچ و خم رودخانه و ازبین بردن تعادل در

<sup>1-</sup> Center Computational Hydro science and Engineering Two-dimensional

مقایسه با شرایط قبل از حذف پیچانرود می شود. پس از حذف پیچان رود در ۱۶ تا ۱۸ کیلومتر ابتدایی همچنین ۳۵ تا ۴۰ کیلومتر انتهایی به وزن رسوبات و تراکم انها در طول زمان افزوده شده و رسوبات انباشته می شوند. نیکنام و همکاران (۱۲)، به بررسی اثر دبیهای سیلابی مختلف بر تغییرات رودخانه کر در محدوده بین پل عباسآباد و سد درودزن پرداختند. نتایج نشان داد که در هنگام بروز سیلاب در رودخانه، سطح أب از مقطع اصلى رودخانه فراتر رفته و وارد دشتهای سیلابی اطراف آن می شود. در این شرایط، به دلیل تفاوت بین زبری سیلابدشت و رودخانه اصلی، سرعت جریان بر روی سیلابدشت بسیار کمتر از سرعت در رودخانه اصلی بوده و لذا این اختلاف سرعت نیز باعث ایجاد لایههای برشی در محل اتصال جریان رودخانه اصلی و سیلابدشت در ورودی بازه شده و آشفتگیهای نسبتاً بزرگی را ایجاد میکند. تاجبخش و موسوی جهرمی (۱۴)، با استفاده از مدل CCHE2D به پیشبینی و پایش فرایندهای حاکم بر جریان در یک پیچان رود طبیعی پرداختند. نتایج نشان داد که به دلیل جریان حلزونی عمق بستر در محل قوس خارجی افزایش بیشتری دارد. خسروی و همکاران (۷)، در تحقیقی به ارزیابی قابلیت مدل عددی CCHE2D در شبیه سازی هیدرودینامیک جریان و رسوب در پیچانرود پاییندست سد میناب پرداختند. نتایج بیانگر دقت مناسب و خطای ناچیز مدل در پیشبینی پارامترهای جریان و رسوب میباشد. نوحه گر و همکاران (۱۳)، به شبیهسازی دوبعدی الگوی جریان رودخانهی مخروط افکنهای رودان با استفاده از مدل CCHE2D پرداختند. نتایج مدلسازی نشان داد که جریان حول جزایر رسوبی تابعی از شرایط هیدرولیکی جریان بوده و این جزایر در دبیهای مختلف، اثرگذاری متفاوتی بر روی الگوی جریان در ناحیه مورد بررسی دارند. خطای مدل برای پارامتر عمق، با شاخص RMSE برابر ۰/۰۸۵۱ و با شاخص MAPE برابر ۵/۰۲ درصد برآورد گردید. مدل مذکور در پیشبینی مقادیر عمق جریان، کمترین خطا را داشته، لذا نتایج تحقیق، توانمندی بالای مدل در پیشبینی دقیق پارامتر عمق جریان را تایید می کند. حسن و همکاران (۵)، با استفاده از مدل CCHE2D در بازهای از رودخانه مودا، شبیهسازی الگوی جریان و رسوب را مورد بررسی قرار دادند و اظهار داشتند که می توان به خوبی از نرمافزار CCHE2D برای تحلیل رفتار جریان، هم در رودخانه و هم در سیلابدشتها استفاده کرد. زرکفلی (۱۸)، با بررسی مدل ریاضی دو بعدی CCHE2D و مدل یک بعدی HEC-RAS در رودخانه مردکا، به این نتیجه رسید که اگرچه مدلهای یکبعدی به صورت گسترده استفاده میشود ولی توانایی تحلیل برخی از مشخصههای هیدرولیکی جریان مانند الگوی جریان و رسوب در پیچانرودها و محدوده سازهها در

رودخانه را ندارند. جیا و ونگ (۶)، مدل هیدرودینامیک دوبعدی CCHE2D را برای مطالعه تغییرات جریان در رودخانههای روباز توسعه دادند. نتایج تحقیقات ایشان حاکی از آن است که این مدل را میتوان برای مطالعه جریانهای پايدار، ناپايدار و أشفته و همچنين فرأيندهاي حمل رسوب و تغییرات مورفولوژیکی رودخانههای آبرفتی به کار برد. وو و وانگ (۱۶)، در مطالعات خود به شبیهسازی جریان و انتقال رسوب در پایین دست رودخانه زرد در کشور چین پرداختند. آنها با استفاده از مدلهای عددی دوبعدی، مدلهای آشفتگی دو معادلهای –k را با مدلهای صفرمعادلهای مقایسه نمودند. نتایج نشان داد که تمام مدل های أشفتگی نتایجی واقعی در مورد جریانهای ساده ارائه میکنند، اما در خصوص جریان های پیچیده، سه مدل أشفتگی –k (استاندارد، غیرتعادلی و RNG) نتایجی واقعی تر را نسبت به مدل های صفرمعادلهای نشان میدهند. نسار (۱۱)، مدل CCHE2D 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 می شود. نگاهی به مطالعات صورتگرفته، نشان میدهد که هر چند استفاده از مدل های سهبعدی ممکن است نتایج دقیق تری نسبت به مدلهای دوبعدی داشته باشد، ولی استفاده از أنها نیاز به اندازه گیری های میدانی دقیق تر و استفاده از وسایلی است که اغلب پرهزینه بوده و نصب و راهاندازی انها در شرایط طبیعی فوق العاده مشکل است. از این رو استفاده از مدلی دوبعدی با توانایی بالا میتواند سودمند باشد. لذا با توجه به اهمیت بررسی الگوی جریان در رودخانههای پیچانرودی، در این تحقیق با کمک مدل دوبعدی CCHE2D، الگوی جریان در قوس رودخانه، تغییرات سرعت و عمق جریان در مقاطع مختلف یک بازه پیچان رودی به طول ۴/۵ کیلومتر در بالادست سد درودزن مورد بررسی و شبیهسازی قرار گرفت.

## مواد و روشها موقعیت منطقه موردمطالعه

محدوده مورد مطالعه، بازهای از رودخانه کر از محل پل عباس آباد تا سد درودزن شهرستان کامفیروز، استان فارس است. موقعیت این بازه بین مختصات جغرافیایی ۱۸ ۱۸ ۵۲ ۵۲ تا ۲۱۸ ۲۱ ۵۲ طول شرقی و ۱۸ ۱۷ ۲۰۳ تا ۲۰۴ ۶۲ ۳۰ عرض شمالی قرار گرفته است. طول بازه حدود ۴/۵ کیلومتر و با توجه به تراز توپوگرافی ابتدا و انتهای بازه به ترتیب در حدود ۱۶۹۶ و ۱۶۹۱ متر بالاتر از سطح دریا، می باشد( شکل ۱).



شکل ۱ – موقعیت منطقه مورد مطالعه در استان فارس Figure 1. Location of the study area in Fars province

### روش تحقیق مشخصات مدل عددی CCHE2D

مدل CCHE2D یک مدل عددی برای شبیهسازی جریان ماندگار، غیر ماندگار آشفته و انتقال رسوب در رودخانههای باز است که در مرکز بینالمللی علوم هیدرولیک و مهندسی آب (NCCHE)، دانشکده فنی دانشگاه میسیسی پی آمریکا تهیه و توسعه یافته است. این مدل جزء مدلهای هیدرودینامیکی دوبعدی بوده، که برای ساخت هندسه میدان و شبکهبندی قلمرو مطالعاتی از یک نرمافزار مجزای پیش پردازنده 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

و ب) معادله حركت

$$\frac{\delta u}{\delta t} + u \frac{\delta u}{\delta x} + u \frac{\delta u}{\delta y} = -g \frac{\delta z}{\delta x} + \frac{1}{h} \left[ \frac{\delta(h\tau_{xx})}{\delta x} + \frac{\delta(h\tau_{xy})}{\delta y} \right] - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{corv}$$
(7)

$$\frac{\delta v}{\delta} + u \frac{\delta v}{\delta x} + v \frac{\delta v}{\delta y} = -g \frac{\delta z}{\delta y} + \frac{1}{h} \left[ \frac{\delta(h\tau_{xy})}{\delta x} + \frac{\delta(h\tau_{yy})}{\delta y} \right] - \frac{\tau_{by}}{\rho h} + f_{cor^{u}}$$
(7)

که در این معادلات  $^{u}$  و  $^{v}$  به ترتیب بیانگر مولفههای سرعت متوسطگیری شده در عمق در راستای  $^{x}$  و  $^{y}$  (بر حسب متر بر ثانیه)،  $^{t}$  زمان (ثانیه)، g شتاب جاذبه(برحسب

مدل عددی CCHE2D، برای حل میدان جریان از معادلات رینولدز متوسطگیری شده در عمق (Depth - Average) استفاده می کند و برای شبیهسازی معادلات انتقال آشفتگی، از دو مدل صفر معادلهای به نامهای توزیع سهموی و مدل طول اختلاط لزجت گردابهای و نیز مدل دو معادلهای مدل  $k-\epsilon$  استفاده می کند. گسستهسازی معادلات میدان جریان و انتقال رسوب با استفاده از روش اجزای محدود صورت می گیرد و حل معادلات جبری میدان جریان و انتقال رسوب به ترتیب با استفاده از روش های: تصحیح سرعت و تکرار گوس – سایدل و حداکثر ضمنی یا SIP انجام می شود (۱۷، ۱۶). در ذیل معادلات پیوستگی (رابطه ۱) و حرکت (رابطه ۲ و ۳) آمده است.

$$\frac{\delta z}{\delta t} + \frac{\delta(hu)}{\delta x} + \frac{\delta(hv)}{\delta y} = 0$$
 (۱) رابطه (۱)

متر بر مجذور ثانیه)، Z بیانگر تراز ارتفاعی سطح آب (متر)،

جریانهای ثانویه و نیروهای گریز از مرکز را در سر پیچها بر

بر روی قوسهای متوالی رودخانه بود تا بتوان تاثیر

فرسایش کنارهها و کف بستر رودخانه بررسی کرد. برای اندازه گیری سرعت جریان آب از سرعت سنج (مولینه)، استفاده شد (جدول ۱). نظر به اینکه مقدار سرعت در نقاط مختلف عرض رودخانه و همچنین در اعماق آب متغیر است، سرعت متوسط در طول هر مقطع و حداقل در ده نقطه (مقطع با عرض ۵۰ متر) و حداکثر شانزده نقطه (مقطع با عرض ۸۰ متر) با فواصل مساوی از عمق آب، اندازه گیری شد. بدین نحو که ابتدا مقطع عرضی را به اندازههای مساوی تقسیم کرده و تعدادی محور عمودی بدست آمد؛ در هر یک از محورهای عمودی سرعت آب با روش انتگراسیون عمقی اندازه گیری شد. شایان ذکر است در روش انتگراسیون عمقی مولینه با

سرعت یکنواخت و در نقاط تعیین شده در آب پایین برده می شود سپس به تدریج بالا آورده می شود. سرعت متوسط در هر محور بدست آمد و در نهایت سرعت میانگین مقطع عرضی محاسبه گردید (۱). سرعت جریان آب در دو طرف اعماق مختلف رودخانه متفاوت است که بیشترین سرعت در سطح آب و کمترین آن در عمق نزدیک به کف رودخانه است. لذا برای محاسبه سرعت، سرعت متوسط را اندازه گیری می کنند. شکل (۲) نمایی از این هفت مقطع را در طول بازه مکانی مورد مطالعه نشان می دهد.

جدول ۱- مشخصات سرعت سنج (مولينه)

Table 1. Specifications speedometer (current meter)				
ضریب b	ضریبa	فرمول	نوع مولينه	
0.0089	0.251	V= 0.251 N + 0.0089	آلماني	



شكل ۲– مقاطع اندازه گيرى پارامترهاى جريان بازه مورد مطالعه رودخانه كر Figure 2. The parameters measured during the period studied sections of the river Kor

مىدھد.

جدول ۲، مقادیر پارامترهای سرعت، عمق و دبی جریان اندازهگیری شده در مقاطع مختلف بازه مورد مطالعه را نشان

	حداکثر سرعت متوسط عمقی (m/s)	سرعت متوسط (m/s)	عمق جريان (m)	دبی جریان (m³/s)
مقطع A	١/٤٧	•/YY	+/٩۶	۶.
مقطع B	١/٣٢	٠/٧٣	١	۵٩/١٣
مقطع C	١/٣	•/Y)	• /YA	۵۸/۸۵
مقطعD	N	۰/۳۸	١/٣٧	۵۷/۴۸
مقطع E	•/እ۴	•/٣•	۲/۱۱	۵۶/۲۰
مقطعF	•/۶۵	•/٢٢	۲/۳۵	۵۶/۵۰
مقطع G	•/۶•	•/٢•	۲/۹۲	۵۶/۳۵
مقطع ورودى	١/۵	•/٨•	١	۶۰/۵
مقطع خروجي	-/۵٨	٠/١٩	۲	۵۶
,				

جدول ۲– مقادیر پارامترهای سرعت، عمق و دبی جریان اندازه گیری شده در مقاطع مختلف بازه مورد مطالعه Table 2. Parameters values speed, depth and flow rates measured at different times during the study

> اختلاف دبی ۴/۵ متر مکعب بر ثانیه، مقطع ورودی و مقطع خروجی مربوط به تلفات جریان (کانال فرعی جهت آبیاری زمین های کشاورزی) هستند. مقطع ورودی و خروجی اشاره شده در جدول فوق به ترتیب مقاطع ابتدا و انتهای بازه مورد مطالعه است

### تولید شبکه محاسباتی در مدل عددی CCHE2D

در مدل CCHE2D برای ساخت هندسه میدان و شبکهبندی قلمرو مطالعاتی از یک نرمافزار مجزای پیش پردازنده تحت عنوان CCHE-MESH، استفاده میشود.

همان طور که در شکل (۳) مشاهده می شود به علت اینکه شکل بازه مطالعاتی تک شاخه ای و بدون انشعاب است، حالت تک بلوکی یا تک شاخه ای برای نرم افزار تولید شبکه محاسباتی انتخاب گردید، در این شکل محور افقی طول و محور عمودی عرض جغرافیایی بازه مورد مطالعه می باشد و راهنمای نقشه تراز توپوگرافی بازه مکانی مورد مطالعه رودخانه کر را نشان می دهد.



شکل ۳– شبکه محاسباتی (Mesh)، ساخته شده بازه مورد مطالعه رودخانه کر(محور افقی طول جغرافیایی و محور عمودی عرض جغرافیایی بر مبنای UTM می باشد)

Figure 3. Computing Grid (Mesh), made the study period Kor River (The horizontal axis is longitudinal and the vertical axis is latitude based on the UTM)

### شبيهسازى الگوى جريان

برای انجام شبیهسازی الگوی جریان رودخانه کر با استفاده از نرم افزار CCHE-GUI، ابتدا شرایط اولیه جریان شامل: تراز آب در بالادست و پاییندست و ضریب زبری تنظیم می شود؛ در مرحله بعدی، عامل های جریان آب مانند،

گام زمانی، انتخاب مدل آشفتگی، محاسبه جریان ناپایدار و انتخاب فرمول محاسبه زبری، تنظیم می شود؛ در مرحله آخر نیز شرایط مرزی ورودی و خروجی رودخانه، تنظیم می گردد، پس از اتمام تنظیمات مدل، مرحلهی اجرا (Run) مدل CCHE2D است.

## واسنجي مدل عددي CCHE2D

با انجام چندین بار مدلسازی و بررسی تاثیر پارامترهای مختلف بر نتایج مدل، مرحله بعدی واسنجی مدل عددی CCHE2D است تا از طرفی درصد خطای مدل در پیش بینی پارامترها مشخص و از طرف دیگر شرایط استاندارد در خصوص تنظیمات مدل و اندازه گیری پارامترها به وجود آید.

#### نتايج و بحث

در بازه مورد مطالعه رودخانه کر، فرضیه تغییر ضریب زبری بر الگوی جریان با استفاده از مقدار تخمینی (مشاهدات

صحرایی) در دامنه ۰/۰۴۰ تا ۰/۰۸۰ و تغییر آن و مقدار به دست آمده از روابط (معادلات) در دامنه ۰/۰۳۰ تا ۰/۰۷۰ مقایسه گردید. در جدول (۳) و (۴)، مقادیر اندازه گیری شده و شبیه سازی شده، سرعت جریان (V) و عمق جریان (P)، در حالت تغییر ضریب زبری مقایسه شده است. در شکل (۴) برای تغییرات عمق جریان در حالت تغییر ضریب زبری برای نمونه سه مقطع (A، B و C) مورد مقايسه قرار گرفته است. و همچنین در شکل (۵) تغییرات سرعت جریان (۷) و شکل (۶) تغییرات عمق جریان در حالت تغییر ضریب زبری مقایسه شده است.

جدول ۳– مقایسه پارامتر متوسط سرعت جریان (V) در حالت تغییر ضریب زبری Table 3. Comparison of average parameter flow velocity (V) in the roughness coefficient

		پارامتر سرعت جریان (۷) محاسباتی مدل شبکه محاسباتی با ابعاد ۶۰۰×۵۰			
مقاطع اندازہگیری شدہ	پارامتر متوسط سرعت جریان (V) اندازه گیری شده(m/s)				
		زبری (۰/۰۴ – ۰/۰۴)	زبری (۰/۰۲ - ۰/۰۳)		
مقطع A	•/YY	٠/٧٣	٠/ <b>٢</b> ٩		
مقطع B	۰/۷۳	•/۶٨	٠/٧۵		
مقطع C	•/Y)	•/88	•/Y)		
مقطع D	۰/۳۸	٠/۴٠	۰/۳۵		
مقطع E	•/٣•	- /٣٢	•/YX		
مقطع F	•/٢٢	•/٢۴	٠/٢٣		
مقطع G	•/٢•	•/77	•/٢١		

جدول ۴- مقایسه پارامتر میانگین عمق جریان (P) در حالت تغییر ضریب زبری

Table 4. Comparison of	f mean flow depth (P)	) in the rough	nness coefficient				
					(		

1 1-		پارامتر عمق جریان (D) محاسباتی مدل			
مقاطع اندازهگیری شده	پارامتر عمق جریان (P) اندازه گیری شده (m)	با ابعاد ۶۰۰×۵۰×	شبکه محاسباتی		
		زبری (۰/۰۸– ۰/۰۴)	زبری (۰/۰۲ - ۰/۰۳)		
مقطع A	•/٩۶	٠/٩٣	•/٩٨		
مقطع B	١/٠٠	١/١٩	١/١٠		
مقطع C	•/YA	1/1	•/٨•		
مقطع D	١/٣٧	١/٣٩	١/٣٨		
مقطع E	۲/۱۱	۲/۴	۲/۰۰		
مقطع F	۲/۳۵	۲/۷	۲/۴۰		
مقطع G	۲/۹۲	٣/۴	۲/۰۰		

همان گونه که از جداول (۳)، (۴) و شکل (۴) مشاهده می شود، استفاده از ضریب زبری محاسباتی بدست آمده از روابط و معادلات در دامنه ۰/۰۷۰ - ۰/۰۳۰، نتایج دقیق تری را به دست می دهد.

# ارزیابی کارایی مدل

رابطه (۷)

در ادامه تحقیق، نتایج به دست آمده از مدل(شبیه سازی شده)، با دادههای اندازه گیری شده در حالت میان گیری شده از

$$\sqrt{n}$$

 $RMSE = \sqrt{\left|\frac{1}{2}\sum_{i=1}^{n}(Q_{0}-Q_{e})^{2}\right|}$ 

دادهها مقایسه می گردد تا به دقت مدل در شبیهسازی سرعت،

عمق و شیب انرژی پی برده شود. جهت بررسی دقیق مدل از

دو روش آماری برای ارزیابی دقت مدل استفاده شد که عبارتند از جذر میانگین مربع خطا و میانگین درصد خطای

مطلق که روابط آنها به شرح ذیل است:

$$MAPE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \left| \frac{y_{t-\hat{y}}}{y_t} \right| * 100$$

که در این معادله،  $\mathbf{y}_t$  ، مقدار مشاهداتی یا اندازهگیری شده و  $\hat{\mathbf{y}}$  ، مقدار محاسباتی از مدل است. در جدول (۵) نتایج دو روش RMSE و MAPE برای نشان دادن میزان دقت مدل

در برآورد پارامترهای سرعت جریان آب، تراز (عمق) آب و شیب انرژی آورده شده است.

جدول ۵- نتایج مقایسه سرعت جریان، عمق آب و شیب انرژی مشاهداتی و برآوردی بر اساس دو معیار R.M.S.E و R.M.S.E Table 5. Comparison of velocity, water depth and energy slope observed and estimated based on two criteria R.M.S.E and M.A.P.E

نوع روش	پارامتر سرعت جریان آب	پارامتر عمق آب	پارامتر شیب انرژی
RMSE	•/•TV	٠/١٣	•/••••۴
MAPE	%./۵١	1180	7.7.77

در زیر به بررسی بعضی از متغیرهای خروجی از مدل از جمله قلمرو جریان پرداخته شده است. عمق جریان، سرعت جریان و فرسایش و رسوب گذاری در



شکل ۴– نمودار تغییرات عمق جریان برای مقاطع مختلف بازه مورد مطالعه و برای ضرایب زبری الف) محاسباتی و ب) مشاهداتی Figure 4. The current depth charts for different sections of the study period and for roughness coefficients a) computational and B) observation

رسوب گذاری در قلمرو جریان پرداخته شده است.

در زیر به بررسی بعضی از متغیرهای خروجی از مدل از جمله عمق جریان، سرعت جریان و فرسایش و



شکل ۵- تصویر توزیع متغیر عمق جریان در بازه مورد مطالعه رودخانه کر Figure 5. Picture of depth variable distribution

# پارامتر عمق آب

اصولاً در محل ایجاد قوس در رودخانهها، مقدار ماکزیمم تراز أب، متمایل به دیواره خارجی (مقعر) تشکیل می شود (۱۵). نتایج حاصل از مدل و مشاهدات در طبیعت نیز تأییدی بر مطالب فوق مىباشد؛ زيرا در محل وقوع قوس (هفت مقطع بازه مطالعاتی)، ماکزیمم عمق آب پیش بینی شده توسط مدل و مشاهدات در طبیعت، در ساحل مقعر ایجاد شده است. به این ترتیب توانمندی مدل در شبیهسازی الگوی جریان آب را نشان میدهد. با توجه به شکلهای (۴) و (۵)، تراز سطح آب در قوسهای خارجی بازه مورد مطالعه بالاتر از قوس داخلی میباشد که عامل تشکیلدهنده آن را میتوان نیروی گریز از مرکز معرفی کرد که باعث حداکثر تغییرات جریان (افزایش سرعت)، در قوس خارجی می شود. در محدودههای پیچان رودی بازه مورد مطالعه نیروی گریز از مرکز بر جریان اثر نموده و باعث ایجاد شیب عرضی در سطح آب می گردد که درنتيجه شيب عرضي سطح أب در قوس خارجي بالا رفته و در قوس داخلی کاهش می یابد، این پدیده باعث ایجاد

گرادیان فشار جانبی در داخل مقطع خواهد شد، درنتیجه در اثر عدم تعادل موضعی بین نیروی گریز از مرکز و گرادیان فشار جانبی، جریان ثانویه در داخل مقطع عرضی شکل میگیرد. این روند از ورودی قوس اول تا خروجی قوس ادامه دارد.

بررسی پارامتر عمق آب رودخانه نشان میدهد، وقتی رودخانه دارای جریان عادی باشد (دبی پایه) سیلابدشت تحت تأثیر جریان رودخانه نمیباشد، در هنگام بروز سیلاب در رودخانه، سطح آب از مقطع اصلی رودخانه فراتر رفته و وارد دشتهای سیلابی اطراف آن میشود که با نتایج نیکنام و همکاران(۱۲) همخوانی دارد. در این شرایط، به دلیل تفاوت بین زبری سیلابدشت و رودخانه اصلی، سرعت جریان بر روی سیلابدشت بسیار کمتر از سرعت در رودخانه اصلی روی سیلابدشت بسیار کمتر از سرعت در رودخانه اصلی روی سیلابدشت و رودخانه اصلی و سیلابدشت در در محل اتصال جریان رودخانه اصلی و سیلابدشت در ورودی بازه شده و آشفتگیهای نسبتاً بزرگی را ایجاد میکند، که با نتایج نسار (۱۱) در رودخانه نیل، مبنی بر تأثیر ضریب زبری مطابقت دارد.



شكل۶– نمودار تغييرات سرعت براى مقاطع (A) B و C) بازه مورد مطالعه و براى ضرايب زبرى محاسباتى و مشاهداتى Figure 6. Chart speed changes to sections (A, B and C) study area for roughness coefficients computational and observational

**پارامتر سرعت جریان آب** تغییرات مقادیر و بردارهای سرعت در طول رودخانه نشان میدهد که در بازه مستقیم بعد از قوس اول، ماکزیمم مقدار سرعت آب در وسط رودخانه اتفاق میافتد. انحنای بالای قوس باعث میشود که تغییراتی مانند جریان ثانویه، گریز از مرکز و سرعت جریان در قوس شدت بگیرند. با ورود جریان به قوس اول، موقعیت حداکثر سرعت در مقاطع عرضی به سمت جداره داخلی کشیده میشود. علت این رفتار از آنجا ناشی میشود که با ورود جریان به قوس در اثر نیروی گریز از مرکز، در جداره خارجی سطح آب افزایش یافته و روند این افزایش نیز در طول رودخانه صعودی است؛ همین فرآیند به

شکل معکوسی برای جداره داخلی رودخانه نیز رخ می دهد؛ لذا در نزدیکی جداره داخلی، گرادیان طولی فشار منفی بوده و باعث افزایش سرعت ذرات سیال در این ناحیه می شود؛ در نزدیکی جداره خارجی نیز به همین ترتیب، سرعت ذرات سیال در طول رودخانه کاهش می یابد؛ لذا در مقاطع ورودی، حداکثر سرعت به سمت جداره داخلی کشیده می شود که با نتایج تاج بخش و موسوی جهرمی (۱۴) مطابقت دارد. با قدرت یافتن جریان ثانویه و شکل گیری جریان حلزونی در مقطع بعد از ورودی قوس، حداکثر سرعت از جداره داخلی فاصله گرفته و به سمت میانه رودخانه متمایل می شود. با پیشروی جریان در

رودخانههای، این روند ادامه داشته، تا جایی که جریان ثانویه بتواند بر گرادیان طولی فشار غلبه کند؛ همان طور که در شکل (۷) دیده میشود. حداکثر سرعت جریان در کل قلمرو جریان نیز در قوس خارجی ناحیه است؛ علت این امر، محدود بودن این ناحیه از رودخانه توسط دیوارهها و عدم پخش سیلاب در نواحی سیلابدشت میباشد. در هنگام خروج جریان از قوس اول، تغییرات گرادیان طولی فشار برعکس آن چیزی است که در ورودی رخ میدهد. در جداره خارجی، گرادیان طولی منفی است لذا سرعت سیال افزایش و در جداره داخلی گرادیان

طولی مثبت و لذا سرعت سیال کاهش مییابد. نتایج حاصل با تحقیقات خسروی (۸) بر روی رودخانه میناب مطابقت کامل دارد. مدل مذکور در پیش بینی مقادیر سرعت جریان، کمترین خطای ممکن را داشته و نتایج حاصل از مدل اختلاف ناچیزی با مقادیر اندازه گیری شده دارد. لذا نتایج پژوهش، توانمندی بالای مدل در پیش بینی دقیق عامل سرعت جریان را تایید نمود که با نتایج سایر محققین از جمله نوحه گر و همکاران (۱۳) مطابقت دارد.





شکل ۷– تصویر توزیع متغیر سرعت در بازه مورد مطالعه Figure 7. Speed variable distribution in the range of study

با بهره گیری از یک مدل دوبعدی به نام CCHE2D، الگوی جریان آب برتغییرات رودخانه در یک بازه ی طبیعی پیچان رود شبیه سازی گردید و نتایج حاصل از تحقیق، قابلیت مدل عددی به کار رفته را در شبیه سازی الگوی جریان با استفاده از پارامترهای جریان تأیید نمود، که با نتایج فتحی و هنربخش (۳) بر روی رودخانه خشکه رود فارسان و خسروی (۲، ۸) بر روی رودخانه میناب مطابقت دارد. بنابراین با بررسی های انجام شده می توان گفت، مدل عددی حاضر قادر به شبیه سازی الگوی جریان رودخانه در رودخانه های پیچان رودی به نحوی مطلوب می باشد.

در این پژوهش با توجه به محدودیتها و تجهیزات موجود، مدلی از بازهی پیچانرود انتخابی، ساخته و الگوی جریان برای بازه مربوطه شبیهسازی گردید. در این روند حتما نقصهایی وجود داشته و حال که به انتهای کار رسیدیم، دریافتیم که از روشهای اصلاحی و جایگزین در بخشهای مختلف اعم از: اندازه گیری، اجرای مدل و غیره میتوان استفاده کرد. با توجه به مطالب و نتایج حاصل از این تحقیق، جهت ادامه کار در خصوص این موضوع، پیشنهادات زیر ارایه می گردند:

۱- پیش از شروع به کار با هر مدل عددی رودخانه، جهت
 تولید شبکه محاسباتی با نرم افزار تولیدکننده شبکه، از رقومی

بودن نقشه بازه رودخانه در هر سه بعد (X ، Y و Z) مطمئن شوید.

۲- برای ارزیابی دقیق تر مدل عددی، باید اندازه گیری مقادیر دبی و سرعت در تعداد مقاطع بیشتر و با شدتهای مختلف، به خصوص دبی های سیلابی انجام شود.

۳- توصیه می شود، مدلی از رودخانه ایجاد شود تا همه عوامل تاثیر گذار بر الگوی جریان، اعم از خصوصیات هندسی رودخانه، سازهها و پلها را بررسی کنیم.

۴- توصیه می شود، از دستگاههای دقیق تری برای اندازه گیری سرعت جریان آب استفاده گردد، به طوری که بسته به نیاز مدل عددی، بتواند سرعت جریان دوبعدی و سهبعدی را برداشت کند.

۵- و در پایان با عنایت به نتایج به دست آمده از مدل عددی CCHE2D، پیشنهاد می شود، الگوی توسعه و تحول پیچان رود در رودخانه کر دقیق تر مورد بررسی قرار گیرد.

**تشکر و قدردانی** در پایان، از شرکت آب منطقهای استان فارس که در این تحقیق ما را همراهی کردند، تشکر میگردد.

- منابع
- 1. Alizadeh, A. 2006. Principles of Applied Hydrology, 19 th edition, Ferdowsi University of Mashhad (In Persian).
- Èbrahimi, É. and M. Shafahi Bajestani. 2014. Mathematical Modeling of the Effect of Meanders 2. Removal on Changes in Erosion Rate, Case Study: in Karun River's Gangieh Meander, European
- Online Journal of Natural and Social Sciences, 4: 366-377. Fathi, M., A. Honarbakhsh and M. Rostami. 2012. Simulate the flow pattern of the river meandering Using CCHE2D, Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 19: 59-66 (In 3. Persian).
- 4. Fathi, M., A. Honarbakhsh, M. Rostami and D. Davoodian Dehkordi. 2012. simulate the flow pattern with a two-dimensional numerical models in a range of natural meanders, Case Study: Khoshkerood River Farsan, Chaharmahal and Bakhtiari, Journal of Science and Technology of Agriculture and
- 5.
- Natural Resources, Soil and Water Sciences, 62: 95-108 (In Persian). Hasan, Z., A. Ghani and N. Zakaria. 2007. Application of 2-D Modeling for Muda River Using CCHE2D, 2<sup>nd</sup> International Conference on managing River Basins. Jia Y. and S.Wang. 2008. CCHE2D: A Two Dimensional Hydrodynamic and Sediment Transport Model for Unsteady Open Channel Flows Over Loose Bed. Technical Report CCHE TR-2, NCCHE, University of Missiscienpi. 6. University of Mississippi. Khosravi, Gh., M.A. Rudd and M. Najafi. 2015. Estimation of a numerical model to simulate the
- 7. hydrodynamic and sediment, Case Study: Meander Dam downstream Minab, Iranian Journal of Watershed Management Science and Engineering, 30: 67-72 (In Persian). Khosravi, G. 2012. The numerical simulation of flow and sediment model CCHE2D (Case Study:
- 8 meander downstream Minab). Master's thesis, University of Hormozgan, Bandarabbas, Iran (Ín Persian).
- Maghrebi, M. 2007. Survey of secondary flows in open channel by laboratory Model, Hydraulic Conference, and Iranian Hydraulic Association. K.N.Toosi University of Technology (In Persian).
  Naji Abhari, M. 2008. Numerical Simulation of flow by SSIIM. Fourth National Congress on River 9
- Engineering, Tehran University (In Persian). 11. Nassar, M. A. 2011. Multi-parametric sensitivity analysis of CCHE2D for channel flow simulations in
- Nile River. Journal of Hydro-environment Research, 3: 187-195.
- 12. Niknam, A., Gh. Khosravi and M. Kazemi. 2014. The effect of torrential flow of the river changes by using CCHE2D, Case Study: Kor River, located between the bridge and the dam Abbas Abad, The first regional conference on the sea, the development of water resources and coastal areas of the Persian Gulf, Bandar Abbas, Iran (In Persian).
- Nohegar, A., H. Mohsenzadeh and O. Bazrafshan. 2015. The two-dimensional simulation of the flow pattern of the river alluvial fans using the model CCHE2D, Case Study: Rivers River, Environmental Erosion Research Journal, 18: 15-31(In Persian).
- Tajbakhsh, M. and S.H., Mousavi Jahromy. 2015. Modeling the effect of spur dike to control erosion of the beach with two dimensional models CCHE2D, Case Study: Karun River in Ahvaz between hydrometric stations and Farsyab, Iran Water Research Journal, 9(2): 79-89(In Persian).
- Telvari, E.R. 2004. Fundamentals of River Training and Engineering. Education Organization Soil Conservation and Watershed Management Research Institute (In Persian).
  Wu, W. and S. Wang. 2009. Mathematical models for liquid-solid two-phase flow and Sediment,
- Wu, W. and S. Wang, 2009. Mathematical models for inque end of a problem of problem of

### Simulation of Flow Pattern in a Natural Meander Range using CCHE2D Hydrodynamic Model (Case Study: Meanders in Upstream of Droodzan Dam)

### Abouzar Niknam<sup>1</sup>, Gholam Reza Khosravi<sup>2</sup>, Ahmad Nohegar<sup>3</sup> and Arashk Holisaz<sup>4</sup>

 Graduate M.Sc. Student of Watershed Management and Engineering, University of Hormozgan (Corresponding Author abuzarniknam@yahoo.com)
 Ph.D. Student of Watershed Management and Engineering, Faculty of Agriculture and Natural Resources, University of Gorgan
 Professor, Faculty of Environment, Tehran University
 Assistant Professor Department of Watershed Management and Engineering, University of Hormozgan Received: July 8, 2016

#### Abstract

Investigation of flow pattern in river especially intervals location erodibleit is of utmost importance. Due to the complex process of erosion and sedimentation in meanders and the importance of the flow velocity and shear stress forces on the river bank erosion, two-dimensional numerical model as CCHE2D to simulation of flow pattern of water in the range of natural meanders River Kor between Bridge Abbas abad and Droodzan Dam, Fars province was used. In this study, using large-scale topographic maps of Study area, the first model geometry and computational grid with various aspects of the preparation and finally, based flow measurement specifications, two-dimensional hydrodynamic model average depth, run and results such as changes in the depth and velocity were calculated. From two statistical criteria RMSE and MAPE to compare data from numerical model simulations and observational data were used, the error model to velocity and depth, RMSE index, respectively, 0.027, 0.13 and MAPE index, 0.51 and 0.65 percent were estimated. The results showed that, the model to predict speed and flow depth particularly in the arc of territory had studied appropriate accuracy and simulated data with measured data have many similarities.

Keywords: Flow depth, Flow velocity, Meander, Simulation, The numerical model CCHE2D