

هیدروژئومورفولوژی، شماره ۱۶، پاییز ۱۳۹۷، صص ۴۱-۲۳

وصول مقاله: ۱۳۹۵/۰۵/۰۶ تأیید نهایی مقاله: ۱۳۹۶/۰۲/۲۴

بررسی اثر الگوهای جریان سیلابی بر تغییرات رودخانه با استفاده از مدل CCHE2D

(مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی کر، حد فاصل بین پل عباس‌آباد و سد درودزن)

ابوذر نیکنام^{۱*}

احمد نوحه‌گر^۲

عاطفه جعفرپور^۳

محمدتقی آوند^۴

چکیده

در این تحقیق با استفاده از یک مدل عددی به بررسی سیلاب‌های رودخانه با دوره‌ی بازگشت مختلف ۱۰ و ۵۰ ساله پرداخته شده است. محدوده‌ی مورد مطالعه بازه‌ای از رودخانه‌ی کر می‌باشد. در این بررسی پس از نقشه‌برداری دقیق، نقشه‌ی توپوگرافی با مقیاس مناسب از محدوده‌ی مورد مطالعه به دست آمد و سپس هندسه مدل و شبکه‌ی 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 تغییرات عمق جریان در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف استخراج گردید. بررسی دبی‌هایی با دوره‌ی بازگشت مختلف نشان می‌دهد که، در محدوده‌های پیچان رودی بازه‌ی مورد مطالعه‌ی نیروی گریز از مرکز بر جریان اثر نموده و باعث ایجاد شیب عرضی در سطح آب می‌گردد که در نتیجه شیب عرضی سطح آب در قوس خارجی بالا رفته و در قوس داخلی کاهش می‌یابد، این پدیده باعث ایجاد گرادیان فشار جانبی در داخل مقطع خواهد

۱- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان، ایران (نویسنده‌ی مسئول).

E-mail: abuzarniknam@yahoo.com

۲- استاد دانشکده محیط زیست، دانشگاه تهران، ایران.

۳- دانش‌آموخته کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان، ایران.

۴- دانشجوی کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه هرمزگان، ایران.

شد، در نتیجه در اثر عدم تعادل موضعی بین نیروی گریز از مرکز و گرادیان فشار جانبی، جریان ثانویه در داخل مقطع عرضی شکل می‌گیرد. در هنگام بروز سیلاب در رودخانه، (دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله) سطح آب از مقطع اصلی رودخانه فراتر رفته و وارد دشت‌های سیلابی اطراف آن می‌شود. در این شرایط، به دلیل تفاوت بین زبری سیلاب‌دشت و کانال اصلی، سرعت جریان بر روی سیلاب‌دشت بسیار کمتر از سرعت در کانال اصلی بوده و لذا این اختلاف سرعت نیز باعث ایجاد لایه‌های برشی در محل اتصال جریان کانال اصلی و سیلاب‌دشت در ورودی بازه شده و آشفتگی‌های نسبتاً بزرگی را ایجاد می‌کند. با مقایسه‌ی سرعت جریان آب در مقاطع مختلف بازه‌ی مورد مطالعه مشاهده می‌شود که بیشترین سرعت آب مربوط به مقاطع پیچان رود اول است، که در دوره‌ی بازگشت ۱۰ ساله حدود $2/7 \text{ m/s}$ و در دوره‌ی بازگشت ۵۰ ساله به 3 m/s رسیده است.

کلمات کلیدی: جریان سیلابی، مدل CCHE2D، پیچان رود، سرعت جریان.

مقدمه

امروزه رودخانه‌ها به عنوان یکی از اصلی‌ترین منابع فراهم‌کننده‌ی آب و انرژی برای انسان، به دلیل تأثیر ویژه‌ای که در زندگی بشر و شکل‌گیری تمدن‌های مختلف داشته‌اند، همواره مورد توجه بوده و لذا بررسی رفتار آن‌ها از جایگاه ویژه‌ای برخوردار است. جریان سیلابی در رودخانه‌های طبیعی و خصوصاً رودخانه‌های مئاندری بسیار پیچیده است (ناجی ابهری، ۱۳۸۷: ۲). مطالعات زیادی توسط محققان مختلفی در داخل و خارج کشور بر روی رودخانه‌ها صورت گرفته و همگی آن‌ها به بررسی پارامترهای مختلف رودخانه پرداخته‌اند که شامل الگوی جریان و رسوب، هیدرولیک، مورفولوژی و... می‌باشد. در این تحقیق با کمک مدل دو بعدی CCHE2D که توسط مرکز بین‌المللی علوم هیدرولیک و مهندسی آب (NCCHE)، دانشکده‌ی فنی دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا توسعه‌یافته است، به مطالعه‌ی تغییرات سیلابی رودخانه، الگوی جریان و سرعت

جریان، که در بازه‌ای از رودخانه‌ی کر در نظر گرفته شده، پرداخته می‌شود و همچنین تعیین و محاسبه عمق سیلاب در نقاط مختلف برای دوره‌ی بازگشت‌های مختلف و برآورد خسارت‌های احتمالی یکی دیگر از اهداف این تحقیق می‌باشد. از جمله موارد کار شده مشابه می‌توان به موارد زیر اشاره کرد: (قلی‌زاده و همکاران، ۱۳۹۱: ۳۵-۱۶)، (واقفی و همکاران، ۱۳۹۴: ۱۵۶-۱۴۵)، (واقفی و همکاران، ۱۳۹۴: ۵۱-۳۷)، (نوحه گر و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۱-۱۵)، (خسروی و همکاران، ۱۳۹۴: ۳۰)، (بک و باسون، ۲۰۰۸: ۱۴)، (ژانگ و جیا^۱، ۲۰۰۹: ۹۳۳-۹۲۴)، (اندرز و همکاران، ۲۰۱۳: ۲۹۷-۲۸۲)، (یه و همکاران^۲، ۲۰۱۰: ۳۲۶-۳۱۲)، (مارتین و همکاران^۳، ۲۰۱۲: ۴۹۷-۴۸۹)، مغربی (۲۰۱۲)، (کمان‌بدست و همکاران، ۲۰۱۳: ۱۷۳-۱۵۷).

مواد و روش‌ها

محدوده‌ی مطالعه، بازه‌ای پیچان‌رود از رودخانه‌ی کر در حوضه‌ی آبخیز سددرودزن و استان فارس است. موقعیت این بازه بین مختصات جغرافیایی $18^{\circ}52'$ تا 25° و $18^{\circ}17'30''$ تا $30^{\circ}16'20''$ عرض شمالی قرار گرفته است. بازه‌ی حدود $4/5$ کیلومتر و تراز توپوگرافی ابتدا و انتهای بازه به ترتیب در حدود ۱۶۹۶ و ۱۶۹۱ متر از سطح دریا می‌باشد (شکل ۱).

تهیه‌ی نقشه‌ی توپوگرافی منطقه

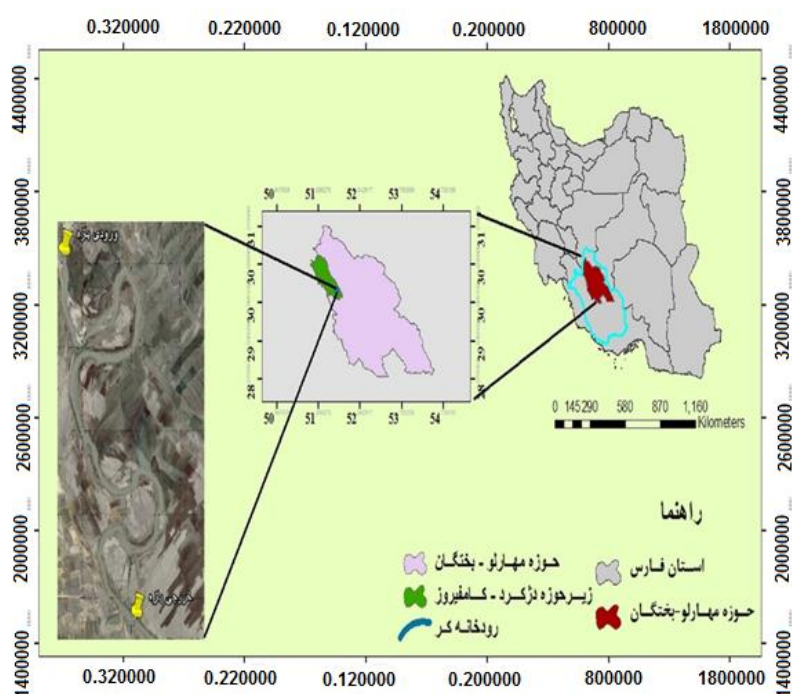
در اولین مرحله نقشه‌ی توپوگرافی بازه‌ی انتخابی از رودخانه‌ی کر که توسط مهندسان رودخانه، شرکت‌های مشاور انجام شده است، تهیه گردید. سپس با استفاده از نرم‌افزار GIS فایل ورودی نقشه برای نرم‌افزار CCHE2D آماده شد. در این بررسی با بهره‌گیری از نقشه‌های بزرگ مقیاس از پستی و بلندی محدوده‌ی مورد مطالعه، ابتدا هندسه مدل و شبکه‌ی محاسباتی با ابعاد مختلف، تهیه و سپس بر اساس مشخصات اندازه‌گیری شده

1- zang and jia

2- yeh et al.,

3- martin et al.,

جریان رودخانه، مدل هیدرودینامیک دو بعدی متوسط عمق، اجرا و نتایجی همچون توزیع عمق و سرعت جریان در خم رودخانه استخراج گردید. برای بررسی تأثیر جریان در بازه‌ی مورد نظر مقطعی برای نمونه‌برداری انتخاب شد که در جدول (۱) مشخصات جغرافیایی آن‌ها آورده شده است.

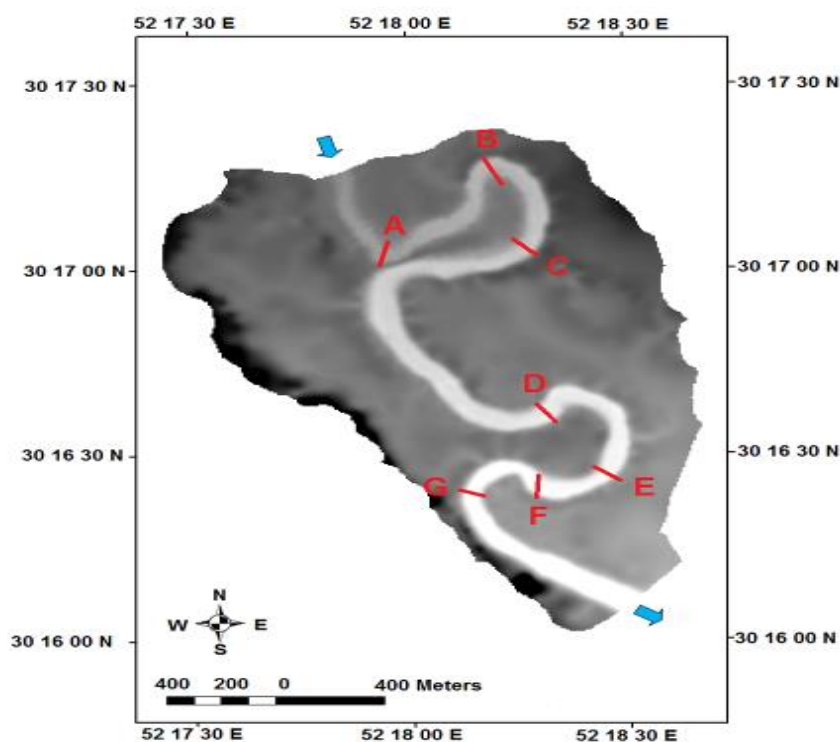


شکل (۱) بازه‌ی مورد مطالعه از رودخانه‌ی کر

مدل CCHE2D

مدل CCHE2D، یک مدل عددی برای شبیه‌سازی جریان غیردائم آشسته و انتقال رسوب در کانال‌های باز می‌باشد که در مرکز بین‌المللی علوم هیدرولیک و مهندسی محاسباتی، دانشکده‌ی فنی دانشگاه می‌سی‌سی‌پی آمریکا تهیه و توسعه یافته است. این

مدل جزء مدل‌های هیدرودینامیکی دو بعدی بوده که برای ساخت هندسه و شبکه‌بندی میدان مطالعاتی از یک نرم‌افزار مجزای پیش‌پردازنده (Pre-Processor) 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 (ژانگ و همکاران، ۲۰۰۹: ۹۶-۷۴).



شکل (۲) نمایی از مقاطع انتخاب شده بازه‌ی مورد مطالعه‌ی رودخانه‌ی کر

– معادلات حاکم بر جریان

مدل عددی CCHE2D، برای حل میدان جریان از معادلات رینولدز متوسط‌گیری شده

در عمق (Depth Average) استفاده می‌کند و برای شبیه‌سازی معادلات انتقال آشفستگی، از دو مدل صفر معادله‌ای به نام‌های توزیع سهموی و مدل طول اختلاط لزجت گردابه‌ای و نیز مدل دو معادله‌ای $k-\varepsilon$ استفاده می‌کند. گسسته‌سازی معادلات میدان جریان و انتقال رسوب با استفاده از روش مبتنی بر المان محدود (FEM) صورت می‌گیرد و حل معادلات جبری میدان جریان و انتقال رسوب به ترتیب با استفاده از روش‌های تصحیح سرعت و تکرار گوس-سایدل و حداکثر ضمنی یا SIP انجام می‌شود. معادلات پیوستگی و به صورت زیر تعریف می‌شود (جیا و ونگ، ۹۳۳-۹۲۴):

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

جدول (۱) مقاطع نمونه‌ی بازه‌ی مورد مطالعه‌ی رودخانه‌ی کر

مقطع اندازه‌گیری پارامتر جریان و رسوب	عرض جغرافیایی (Y)	طول جغرافیایی (X)
A	۳۰۱۷۰۲	۵۲۱۷۹۴۷
B	۳۰۱۷۲۶	۵۲۱۸۲۰۲
C	۳۰۱۷۰۴	۵۲۱۸۲۹۶
D	۳۰۱۶۵۳	۵۲۱۸۵۰۳
E	۳۰۱۶۳۷	۵۲۱۸۳۱۵
F	۳۰۱۶۴۲	۵۲۱۸۱۸۶
G	۳۰۱۶۴۲۲	۵۲۱۸۳۱۶

– مش‌بندی

مدل عددی CCHE2D با بکارگیری نرم‌افزار پیش‌پردازنده CCHE-MESH به ایجاد یک شبکه‌ی ساختاری^۱ دو بعدی برای میدان مورد نظر می‌پردازد. به همین منظور نقشه‌های توپوگرافی منطقه تهیه گردید و با استفاده از نرم‌افزار AutoCAD و نرم‌افزار Dxf2xyz

1- Structured Mesh

فایل *mesh_xyz که همان فایل ورودی نرم افزار CCHE2D تولید گردید و سپس نتایج حاصله به نرم افزار CCHE2D-MESH به منظور تعیین مرزهای بازه‌ی مطالعاتی و شبکه‌ی محاسباتی معرفی شد. پس از ورود داده‌های هندسی به محیط نرم افزار و تعیین مرزها، محدوده مورد نظر با استفاده از روش جبری و محاسباتی شبکه بندی شده است.

– مرزبندی میدان محاسباتی

پس از تولید شبکه‌ی محاسباتی، مدل برای تعیین شرط مرزی، شرایط اولیه و شبیه‌سازی جریان آب و رسوب به نرم افزار CCHE-GUI معرفی گردید. در این مرحله برای شبیه‌سازی جریان آب، در ورودی رودخانه‌ی مورد نظر از شرط مرزی دبی جریان استفاده گردید.

– شبیه‌سازی

پس از وارد نمودن شرایط مرزی، شرایط اولیه و کلیه‌ی پارامترهای مربوط به مدل‌سازی، مدل آماده اجرا است. پس از اجرای مدل شبیه‌سازی شده به راحتی می‌توان پارامترها و مقادیر مورد نیاز را استخراج نمود. این مدل خروجی‌های دو بعدی و بسیار گویایی از جمله توزیع عرضی و طولی پروفیل سرعت، توزیع تنش برشی، دبی، تغییرات سطح آب در رودخانه و همچنین نحوه‌ی تغییرات فرآیندهای رسوبی را در اختیار کاربران قرار می‌دهد، اما یکی از خروجی‌های ارزشمند این مدل به خصوص در بخش رسوبی که در مطالعات رودخانه‌ای بسیار سودمند است، تخمین متوسط میزان تغییرات عمقی فرسایش و یا رسوب‌گذاری، حجم رسوب‌گذاری و یا فرسایش‌پذیر و همچنین محدوده‌ی کلی مربوط به نواحیرسوب‌گذار و یا فرسایش‌پذیر در رودخانه است.

معادله‌ی ممنت‌م نیز به صورت زیر در دو بعد تعریف می‌شود:

$$\frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial x} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{xy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{bx}}{\rho h} + f_{Cor} v \quad (۲) \text{ رابطه‌ی}$$

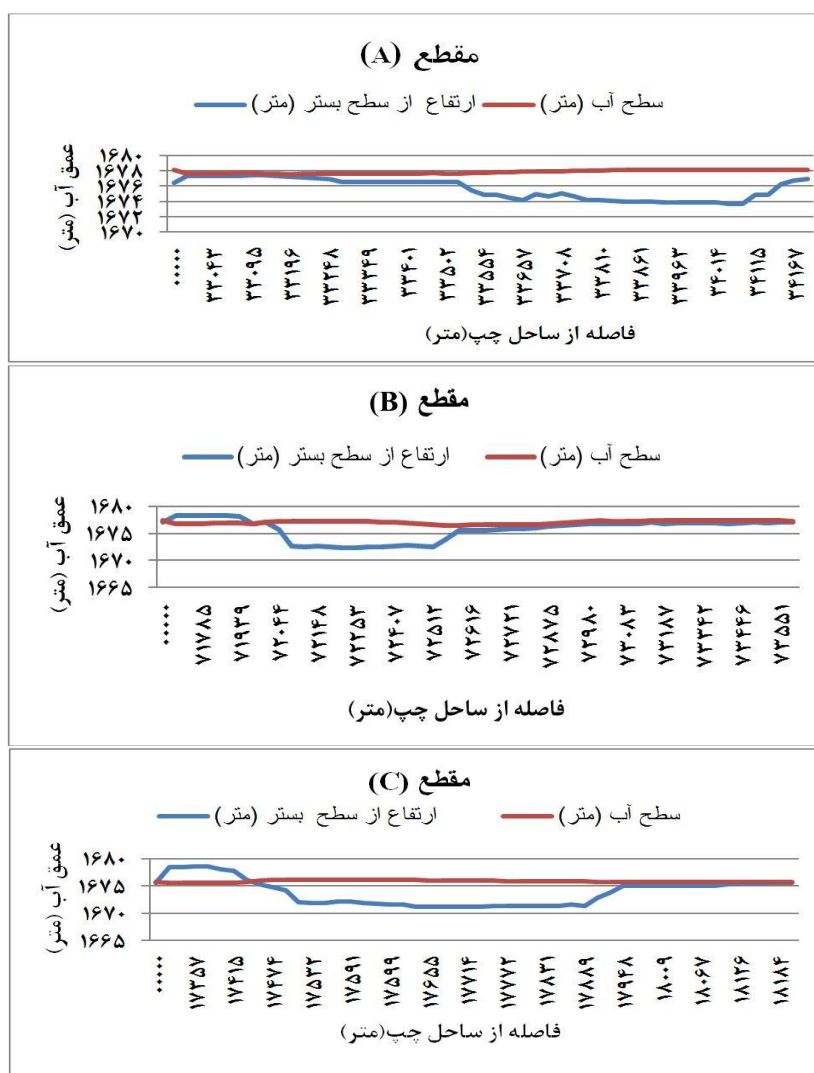
$$\frac{\partial v}{\partial t} + u \frac{\partial v}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = -g \frac{\partial Z}{\partial y} + \frac{1}{h} \left(\frac{\partial(h\tau_{yx})}{\partial x} + \frac{\partial(h\tau_{yy})}{\partial y} \right) - \frac{\tau_{by}}{\rho h} - f_{Cor} u \quad \text{رابطه‌ی (۳)}$$

در معادلات فوق u و v به ترتیب بیانگر مؤلفه‌های سرعت متوسط‌گیری شده در عمق در راستای x ، y ، z ، t زمان، g شتاب جاذبه، بیانگر تراز ارتفاعی سطح آب، ρ دانسیته آب (وزن مخصوص آب)، h عمق جریان و f_{Cor} ضریب مربوط به شتاب کوریولیس، τ_{yx} ، τ_{yy} ، τ_{xy} ، τ_{xx} تنش‌های رینولدز متوسط‌گیری شده در عمق و τ_{bx} و τ_{by} تنش‌های برشی بستر در راستای x و y می‌باشند.

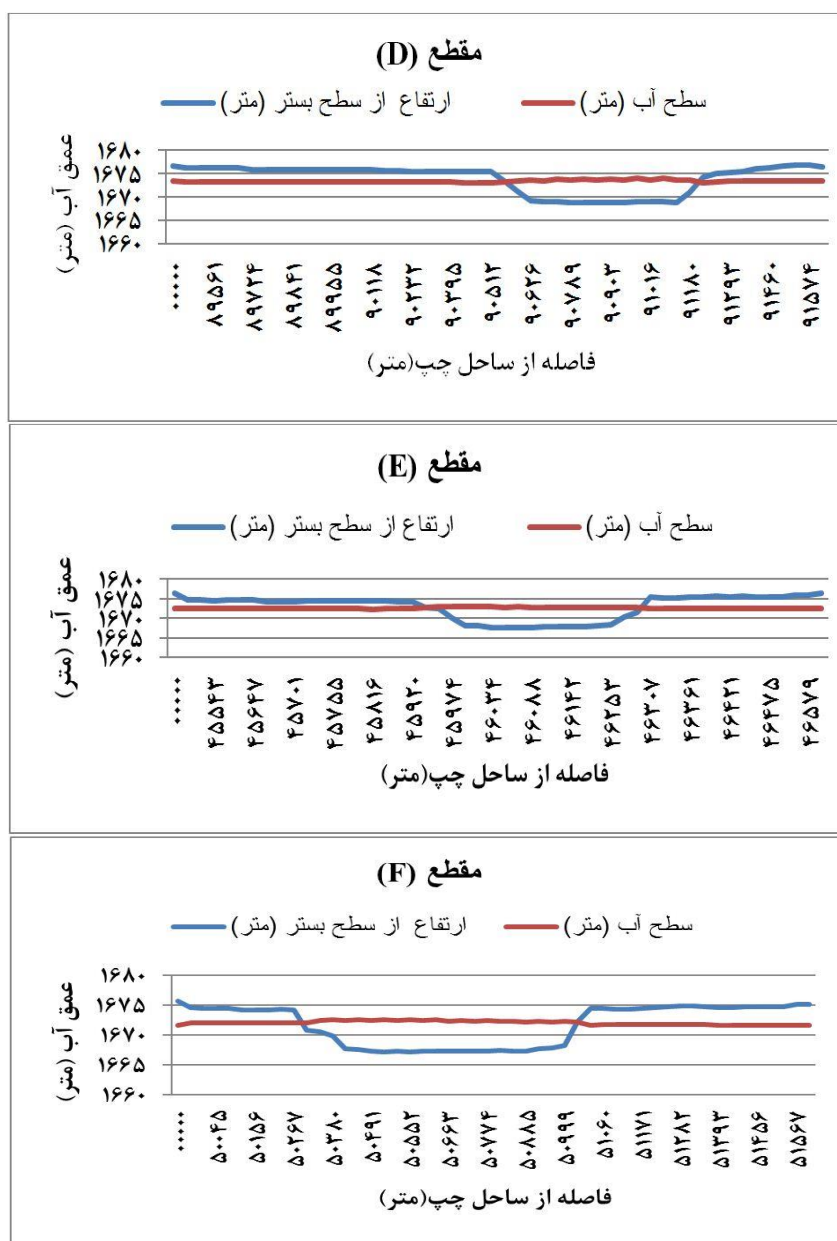
بحث و نتایج

شکل (۳)، نمودار تغییرات عمق آب با استفاده از دبی سیلابی با دوره‌ی بازگشت ۱۰ سال به میزان $713/76 \text{ m}^3/\text{s}$ است که محور x ، مقادیر فاصله از ساحل چپ و محور y ، مقادیر عمق آب می‌باشد.

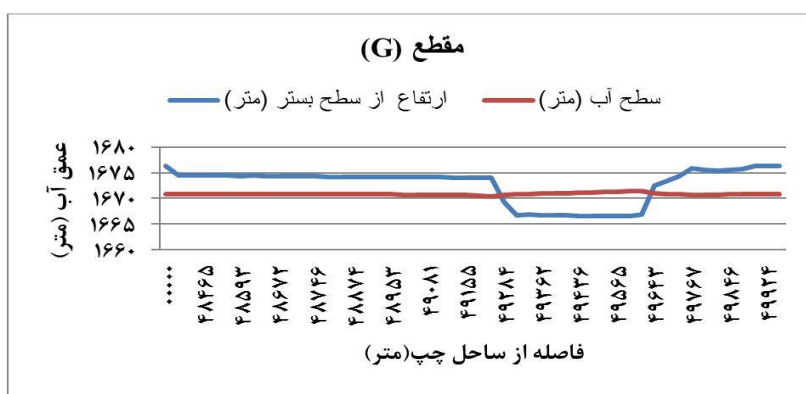
در این قسمت با استفاده از دبی‌های با دوره‌ی بازگشت ۱۰ و ۵۰ سال به مطالعه‌ی روند تغییرات بازه‌ی مورد مطالعه به ازای دبی‌های سیلابی پرداخته شد.



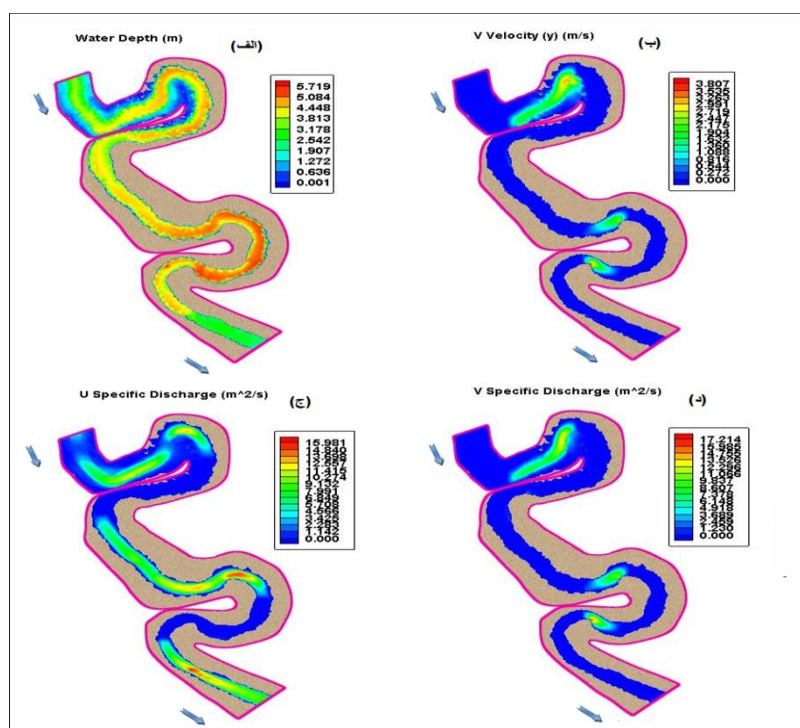
شکل (۳) نمودار مقادیر عمق آب، هفت مقطع (A, B, C, D, E, F, G) برای دبی با دوره‌ی بازگشت ۱۰ سال (در شکل فوق خط آبی نشان‌دهنده‌ی ارتفاع از سطح بستر و خط قرمز نشان‌دهنده‌ی سطح آب به متر می‌باشد)



ادامه‌ی شکل (۳)



ادامه ی شکل (۳)

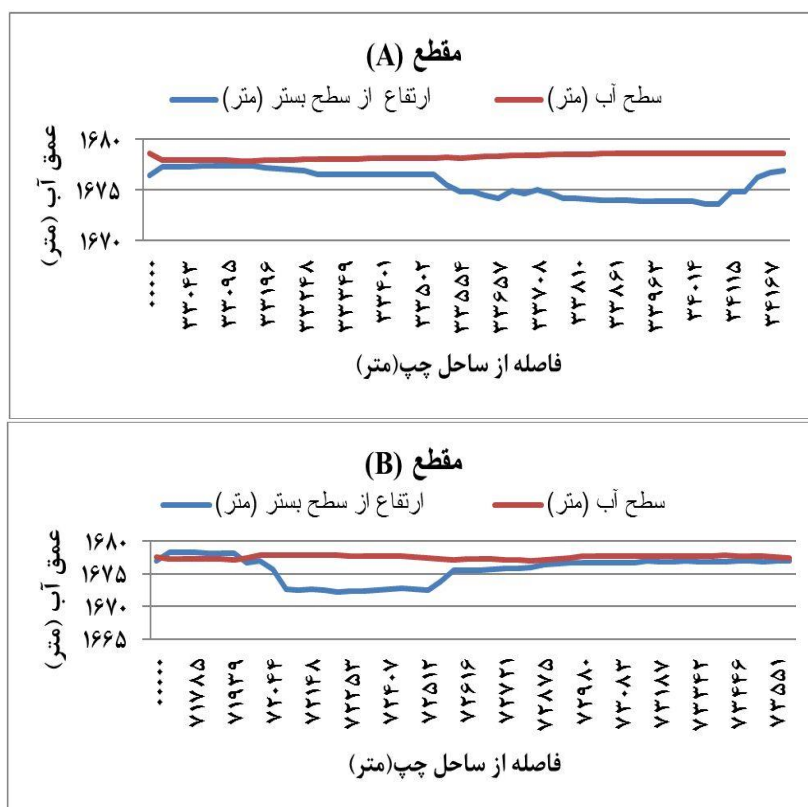


شماره ی (۴) پارامترهای عمق آب (الف)، سرعت در راستای عرضی (ب)، دبی ویژه در راستای

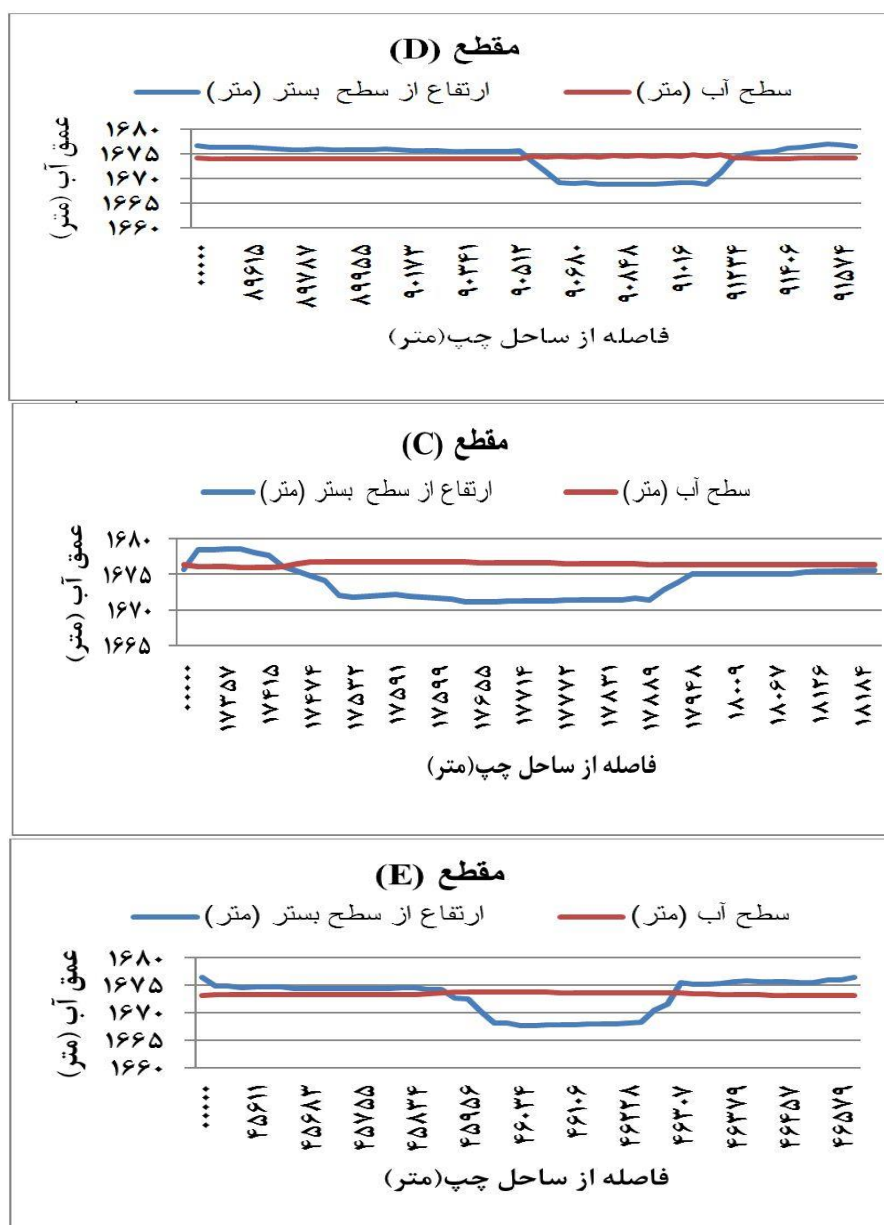
طولی (ج) و عرضی (د) رودخانه برای دبی با دوره ی بازگشت ۱۰

در شکل (۴) پارامترهای عمق آب (الف)، دبی ویژه در راستای طولی و عرضی (ب و ج) و سرعت در راستای عرضی (د) برای دبی با دوره‌ی بازگشت ۱۰ سال نشان داده شده است.

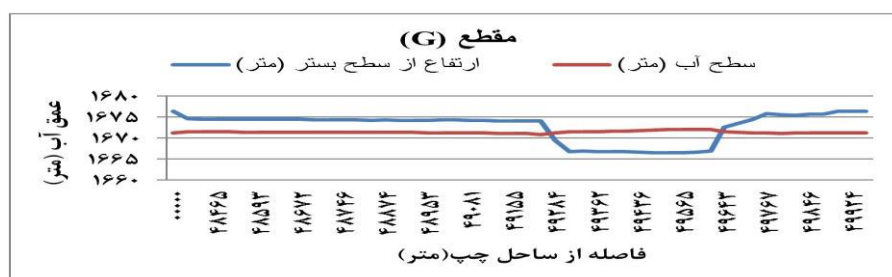
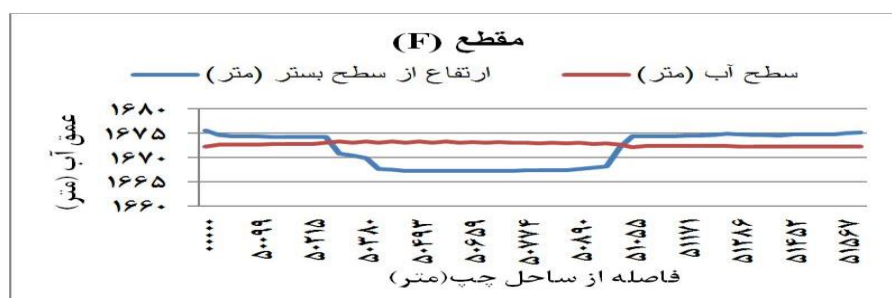
شکل (۵)، نمودار تغییرات عمق آب با استفاده از دبی سیلابی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال به میزان $1150/05 \text{ m}^3/\text{s}$ است که محور x ، مقادیر فاصله از ساحل چپ و محور y ، مقادیر عمق آب می‌باشد.



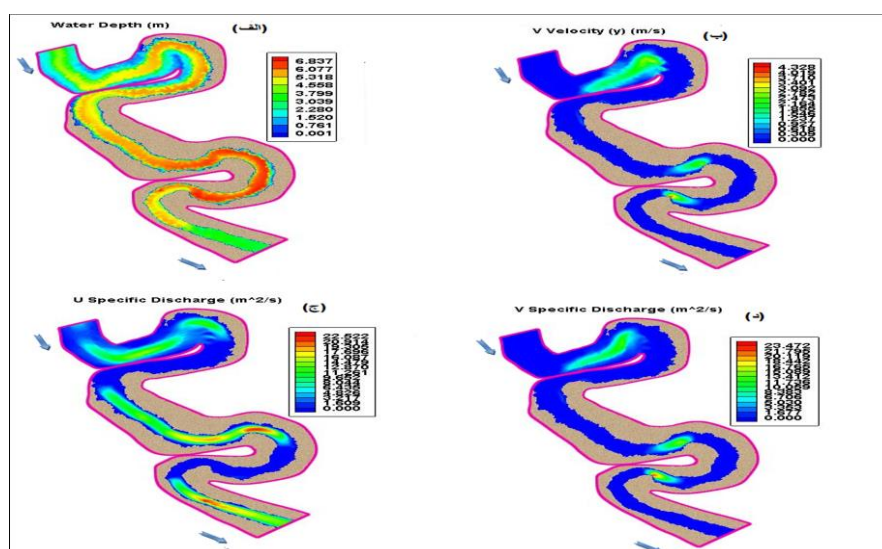
شکل (۵) نمودار مقادیر عمق آب، هفت مقطع (A, B, C, D, E, F, G) برای دبی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال (در شکل فوق خط آبی نشان‌دهنده‌ی ارتفاع از سطح بستر و خط قرمز نشان‌دهنده‌ی سطح آب به متر می‌باشد)



ادامه‌ی شکل (۵)



ادامه‌ی شکل (۵)



شکل (۶) پارامترهای عمق آب (الف)، سرعت در راستای عرضی (ب)، دبی ویژه در راستای طولی (ج) و عرضی (د) رودخانه برای دبی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال

نتیجه‌گیری

با توجه به نتایج حاصل از بررسی دبی‌های با دوره‌ی بازگشت مختلف مشاهده می‌شود، زمانی که رودخانه دارای جریان سیلابی می‌باشد در حاشیه‌ی رودخانه و در قسمت سیلاب‌دشت رودخانه که زمین‌های کشاورزی آن را فرا گرفته‌اند (محدوده‌ی ابتدای پیچان‌رود اول تا خروجی پیچ (مقطع C) را آب فرا می‌گیرد که این نشان از ارتفاع کم رودخانه نسبت به سیلاب‌دشت و هم‌چنین نیروی گریز مرکز در مقطع اول و در قسمت مقعر پیچان رود اول است می‌باشد که در مواقع سیلابی آب به سمت قوس خارجی کشیده شده و یک اختلاف فشار بین ورودی و خروجی مقطع اول به وجود می‌آید، در نتیجه تراز آب در قسمت مقعر پیچان‌رود بالا رفته و سیلاب‌دشت را آب فرا می‌گیرد و هرچه جریان سیلابی بیشتری از این قسمت عبور کند قسمت بیشتری از سیلاب‌دشت را آب فرا می‌گیرد، نتایج حاصل از مدل‌سازی نیز مؤید این حرف است. هم‌چنین می‌توان گفت که در هنگام بروز سیلاب در رودخانه، سطح آب از مقطع اصلی رودخانه فراتر رفته و وارد دشت‌های سیلابی اطراف آن می‌شود. در این شرایط، به دلیل تفاوت بین زبری سیلاب‌دشت و کانال اصلی، سرعت جریان بر روی سیلاب‌دشت بسیار کمتر از سرعت در کانال اصلی بوده و لذا این اختلاف سرعت نیز باعث ایجاد لایه‌های برشی در محل اتصال جریان کانال اصلی و سیلاب‌دشت در ورودی بازه شده و آشفتگی‌های نسبتاً بزرگی را ایجاد می‌کند. با توجه به بررسی‌های صورت گرفته بیشترین دبی رودخانه در مواقع سیلابی مربوط به ابتدای پیچان‌رود اول تا مقطع (B)، که با توجه به بازدیدهای میدانی یکی از قسمت‌های حساس رودخانه در بازه مورد مطالعه و هم‌چنین فاصله مستقیم بین دو پیچان‌رود و تا سر پیچان‌رود دوم می‌باشد. رودخانه در مقطع ابتدای پیچان‌رود اول تمایل به تبدیل شدن به حالت مستقیم را دارد چون که در این قسمت حاشیه سمت راست رودخانه دارای تنش برشی، دبی و سرعت بیشتری نسبت به حاشیه سمت چپ دارد و رودخانه حالتی شبیه به گردنبند گاو را در این قسمت تشکیل داده است که انتظار می‌رود به مرور زمان بستر خود را تغییر داده و به حالت مستقیم تبدیل شود. در

دبی با دوره‌ی بازگشت ۵۰ سال بیشترین تراز آب مربوط به پیچان‌رود دوم و مقاطع (D، E، F، G) می‌باشد. این بدین معنی است که رودخانه در پیچان‌رود دوم دارای عمق آب بیشتری نسبت به پیچان‌رود اول و مقاطع (A، B، C) می‌باشد. تغییرات رودخانه در پیچان‌رود اول به علت حساس‌تر بودن بازه بیشتر از پیچان‌رود دوم است و بستر رودخانه و سیلاب‌دشت هرساله تحت تأثیر جریان‌های سیلابی، تغییرات زیادی را متحمل می‌شود. با مقایسه سرعت جریان آب در مقاطع مختلف بازه‌ی مورد مطالعه مشاهده می‌شود که بیشترین سرعت آب مربوط به مقاطع پیچان‌رود اول و مقطع آخر پیچان‌رود دوم می‌باشد. همین سرعت زیاد جریان در پیچان‌رود اول باعث تغییرات زیاد به خصوص در ورودی پیچان‌رود شده است. بررسی دبی‌های با دوره‌ی بازگشت مختلف نشان داد که، 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 یه و همکاران و همچنین نتایج کمان به دست و همکاران در رابطه با تغییرات بیشتر سیلاب‌های بزرگ بر رودخانه هم‌خوانی دارد. در این شرایط، به دلیل تفاوت بین زبری سیلاب‌دشت و کانال اصلی، سرعت جریان بر روی سیلاب‌دشت بسیار کمتر از سرعت در کانال اصلی بوده و لذا این اختلاف سرعت نیز باعث ایجاد لایه‌های برشی در محل اتصال جریان کانال اصلی و سیلاب‌دشت در ورودی بازه شده و آشفتگی‌های نسبتاً بزرگی را ایجاد می‌کند، که با نتایج نثار در رودخانه‌ی نیل مبنی بر تأثیر ضریب زبری مطابقت دارد. زمانی که رودخانه دارای جریان سیلابی است در ورودی بازه، قسمت سیلاب‌دشت رودخانه که زمین‌های کشاورزی آن را فراگرفته‌اند (محدوده‌ی ابتدای پیچان‌رود اول تا خروجی پیچ) را آب فرا می‌گیرد که این نشان از ارتفاع کم رودخانه نسبت به سیلاب دشت می‌باشد. با بهره‌گیری از یک مدل دوبعدی عددی دینامیک سیالات محاسباتی (CFD)، به نام CCHE2D، اثر الگوهای جریان سیلابی بر تغییرات رودخانه در یک بازه‌ی طبیعی پیچان‌رودی بررسی گردید و نتایج حاصل از تحقیق، قابلیت مدل عددی بکار

رفته را در پیش‌بینی تغییرات رودخانه با استفاده از پارامترهای جریان تأیید نمود. بنابراین با بررسی‌های انجام شده می‌توان گفت، مدل عددی حاضر قادر به بررسی تغییرات رودخانه در کانال‌های پیچان‌رودی به نحوی مطلوب می‌باشد.

منابع

- قلی‌نژاد، جواد؛ ظهیری، علیرضا و امیراحمد دهقانی (۱۳۹۱)، شبیه‌سازی یک و شبه دوبعدی جریان‌های سیلابی در رودخانه‌ها (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی گرگان‌رود ایستگاه آق‌قلا، مجله‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، ۹، شماره‌ی ۴، صص ۳۵-۱۶.
- واقفی، محمد؛ زره‌پوش شیرازی، هادی و مریم اکبری (۱۳۹۳)، مطالعه‌ی عددی تاثیر شعاع انحنا بر الگوی جریان پیرامون آبشکن سرسپری مستغرق، مجله‌ی آبیاری و آب، شماره‌ی ۵، صص ۱۴۵-۱۵۶.
- واقفی، محمد و پرویز رادان (۱۳۹۴)، مطالعه عددی آبشستگی و الگوی جریان در نهر قوسی ۹۰ درجه با وجود آبشکن T شکل با تغییر در شعاع انحنای قوس، مجله‌ی مهندسی منابع آب، شماره‌ی ۷، صص ۵۱-۳۷.
- ناجی ابهری، محمد (۱۳۸۷)، شبیه‌سازی عددی الگوی جریان در قوس ۹۰ درجه با استفاده از نرم افزار SSIIM، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، ص ۲.
- نوحه‌گر، احمد؛ محسنی‌زاده، حسین و ام‌البنین بذرافشان (۱۳۹۴)، شبیه‌سازی الگوی جریان رودخانه‌های مخروط افکنه‌ای با استفاده از مدل CCHE2D مطالعه موردی: رودخانه‌ی رودان، مجله‌ی پژوهش‌های فرسایش محیطی، شماره‌ی ۲، صص ۳۱-۱۵.
- Andrzej, S., W. Maciej, S. Mateusz and K. Krzysztof. (2013), **Cross-Section Changes in the Lower Part of a Mountain River After the Flood in Spring 2010, as Presented by Means of CCHE2D Program**, Journal of Experimental Methods in Hydraulic Research, Vol. 1, PP.287-297.
- Beck, JS & GR. Basson. (2008), **Klein River Estuary (South Africa): 2D numerical modelling of estuary breaching**, Department of Civil Engineering, Water SA, Vol. 34, No.1, P.14.
- Jia, Y. & S.S.Y. Wang. (1999), **Numerical model for channel and morphological change studies**, ASCE, Journal of Hydraulic Engineering, Vol. 125, No. 9, PP.924-933.
- Kamanbedast, A.A., R. Nasrollahpour & M. Mashal. (2013), **Estimation of Sediment Transport in Rivers Using CCHE2D Model (Case Study:**

- Karkheh River**), Indian Journal of Science and Technology, Vol. 6, PP.157-173.
- Martin-Vide, J.P., M. Roca & C.A. Alvarado. (2012), **Bend scour protection using riprap**, Water Management, Vol. 163, No. 2, PP.489-497.
- Nassar, M.A. (2011), **Multi-parametric sensitivity analysis of CCHE2D for channel flow simulations in Nile River**, Journal of Hydro-environment Research, Vol. 5, No. 3, PP.187-195.