

بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری رودخانه شیرین دره با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS

صمد امامقلی زاده^۱ سولماز شیردل^۲ محمدعلی گنجویان^۳ محمد محمدیون^۳ منوچهر فتحی مقدم^۴

۱- عضو هیات علمی دانشگاه صنعتی شاهرود و استاد مدعو دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود S_gholizadeh517@yahoo.com

۲- دانشجوی کارشناسی ارشد زمین شناسی رسوب دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

۳- عضو هیات علمی دانشگاه آزاد اسلامی واحد شاهرود

۴- عضو هیات علمی دانشگاه شهید چمران اهواز

تاریخ پذیرش: ۸۹/۴/۵

تاریخ دریافت: ۸۹/۱/۲۷

چکیده

رودخانه شیرین دره واقع در استان خراسان شمالی، نقش مهمی در تامین آب منطقه دارد. با توجه به اهمیت رودخانه مذکور، در تحقیق حاضر سعی شد با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS به بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری رودخانه شیرین دره پرداخته شود. بدین منظور برای شبیه سازی هیدولیک جریان رودخانه از آمار سیلاب ۳۸ ساله اندازه گیری شده در ایستگاه هیدرومتری قتلش واقع بر روی رودخانه شیرین دره استفاده گردید. سپس مدل HEC-RAS برای دبی ۲۵ ساله (۲۸۴/۸ مترمکعب در ثانیه) اجرا گردید. بعد از کالیبره کردن مدل، نتایج حاصل از آن برای اجرای هیدرولیک رسوب رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. برای مدلسازی رسوب رودخانه ۱۹ نمونه رسوب در طول رودخانه (به طول ۳۹ کیلومتر) جمع آوری گردید. با شبیه سازی هیدولیک جریان و رسوب، ظرفیت انتقال رسوب رودخانه در مقاطع مختلف رودخانه محاسبه گردید. مقایسه بین نتایج بدست آمده و داده های اندازه گیری شده نشان می دهد، معادله لارسن با داشتن خطای کمتری برآورد قابل قبول تری نسبت به سایر معادله ها داشته است. بر این اساس پیشنهاد می شود جهت شناخت پتانسیل میزان انتقال رسوب از این مدل در مناطق مختلف رودخانه استفاده شود. همچنین برای بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری رودخانه از معیار شیلدز و هالستروم استفاده شد. نتایج تحقیق نشان می دهد، وضعیت هیدرولیکی جریان در طول رودخانه به گونه ای است که تمامی مقاطع رودخانه در وضعیت فرسایش می باشد.

کلمات کلیدی: فرسایش، رسوبگذاری، رودخانه شیرین دره، انتقال رسوب، مدل ریاضی

مقدمه

عوامل تاثیر گذار در پدیده فرسایش و رسوبگذاری متنوع می باشند که از آن جمله می توان به وقوع سیلاب ها و تکرار آنها، تغییر رژیم هیدرولیکی، تغییر رژیم رسوبی، تغییر کاربری اراضی، تغییر در ویژگی های حوضه

رودخانه ها تحت تاثیر فرسایش و رسوبگذاری^۱ دستخوش تغییرات گوناگونی می شوند که از آن جمله می توان به تغییر راستا، جا به جایی های عرضی و طولی، وقوع میان برها، تغییر نوع رودخانه، تغییر تراز بستر، تغییر دانه بندی و دگرگونی ویژگی های هندسی مسیر اشاره نمود.

1- Erosion and Sedimentation

کانفیگ و همکاران^۲ [۷] اشاره نمود. آنها از مدل HEC-RAS برای مدلسازی آبستگي و تجمع رسوب در رودخانه سرو کرانده^۳ مورد استفاده قرار دادند. همچنین، راتهرن و ول^۴ [۱۳] با استفاده از مدل مذکور پیش‌بینی دینامیک رسوبات ریزدانه را در طول رودخانه‌های کوهستانی مورد بررسی قرار دادند گیبسون و همکاران^۵ [۱۰] قابلیت مدل HEC-RAS را برای محاسبات انتقال رسوب رودخانه مورد بررسی قرار دادند. همچنین در زمینه بررسی هیدرولیک جریان در رودخانه‌ها نیز مطالعات مختلفی با استفاده از مدل مذکور انجام گرفته است که برای مثال می‌توان به مطالعات پاپنبرگر و همکاران^۶ [۱۲]، کوک و مروده^۷ [۸] اشاره نمود. محققین مختلفی در داخل کشور نیز از این مدل برای بررسی انتقال رسوب در رودخانه‌ها و مخازن سدها مورد استفاده قرار دادند که برای مثال می‌توان به تحقیقات سلاجقه و همکاران [۲]، خسروپور و همکاران [۵]، رحیمی دهقانی و همکاران [۶]، شاهی‌نژاد و همکاران [۳]، بهرنگی و همکاران [۱] اشاره نمود.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

استان خراسان شمالی در شمال شرق کشور

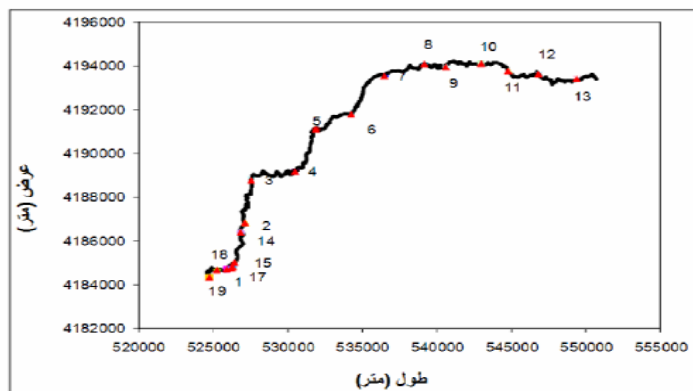
آبریز، دخل و تصرف در حریم طبیعی رودخانه و ساخت سازه‌های کنترل برای بهره برداری از منابع رودخانه‌ای را نام برد. متخصصین رودخانه از دیر باز سعی داشتند با استفاده از روش‌های مختلفی به بررسی فعل و انفعالات فرسایش و رسوبگذاری بپردازند. مطالعات در زمینه فرسایش و رسوب در رودخانه‌ها به طور معمول دارای پیچیدگی‌های فراوانی است و استفاده عملی از نتایج مطالعات مستلزم دقت و توجه زیادی می‌باشد. از این رو لازم است قبل از اقدام به طراحی و اجرای پروژه‌های مهندسی از چگونگی عملکرد آنها اطمینان حاصل شود. با توجه به پیچیدگی‌های پدیده‌های هیدرولیکی و رسوبی در و رودخانه‌ها، امکان حل معادلات به روش تحلیلی ممکن نیست و معمولاً از روش‌های عددی استفاده می‌شود. امروزه با پیشرفت زیاد علم کامپیوتر توسعه هر چه بیشتر روش‌های عددی، مدل‌های ریاضی در مطالعات مهندسی رودخانه کاربرد زیادی یافته‌اند. مدل‌های ریاضی ابزار مفیدی برای حل مسائل مرتبط با فرسایش و رسوب در رودخانه‌ها می‌باشند. چانگ^۱ [۹] در این زمینه اظهار می‌دارد از آنجاییکه مدل‌های ریاضی در مقایسه با مدل فیزیکی با محدودیت مقیاس مواجه نمی‌باشد و ابعاد واقعی پدیده‌ها را مدل می‌کند، از این رو ابزار مناسبی می‌باشند. تا به حال برای مطالعات فرسایش و رسوب، مدل‌های ریاضی متعددی توسعه یافته است که می‌توان به مدل‌های ریاضی HEC-6، HEC-RAS، SSIIM، MIKK11، GSTAR و غیره اشاره نمود. تا به حال از مدل HEC-RAS به منظورهای مختلفی مانند مدلسازی هیدرولیک و رسوب رودخانه‌ها و مخازن سدها مورد استفاده قرار گرفته است که برای مثال می‌توان به مطالعات

- 1- Chang
- 2- Confield, et al.
- 3- Cerro Grande
- 4- Rathburn and Whol
- 5- Gibson, et al.
- 6- Papperloerger, et al .
- 7- Cook and Merwade

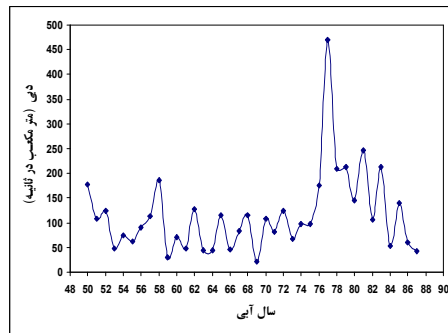
گیفان پایین، ایوب پیامبر، امیرآباد و قاضی در انتهای مسیر به روستای قتلش وارد می‌شوند. لازم به توضیح است، جهت جریان تا محل روستای گیفان پایین، شرقی- غربی و از آن پس شمال شرقی- جنوب غربی می‌شود. رودخانه شیرین دره پس از عبور از چندین روستا و اخذ شاخه‌های کوچک و بزرگ دیگر در نهایت به رودخانه اترک تخلیه می‌گردد.

از آنجاییکه برای شبیه سازی هیدرولیک جریان نیاز به جمع آوری داده‌های رسوب می‌باشد، لذا در طول رودخانه نمونه های رسوب بستر جمع آوری گردید. شکل ۱ پلان رودخانه شیرین دره، محل اخذ نمونه های رسوب و همچنین محل ایستگاه هیدرومتری قتلش را نشان می‌دهد بررسی دانه بندی نمونه های رسوب بستر رودخانه با روش الک کردن نشان می‌دهد، که تقریباً رسوبات دارای دانه بندی شبیه به هم می‌باشند. شکل ۲ نمونه ای از منحنی دانه بندی نمونه رسوب بستر رودخانه (نمونه شماره ۶ در شکل ۱) را نشان می‌دهد.

واقع شده است. این منطقه محل تلاقی ۴ حوضه آبریز اصلی اترک، قره قوم، خزر و کویر مرکزی می‌باشد. گستره مورد مطالعه در این تحقیق در شهرستان بجنورد در محدوده جغرافیایی "۴۵' ۱۶" تا "۳۹' ۳۴' ۵۷" طول شرقی و "۴۸' ۳۷" تا "۴۲' ۵۳' ۳۷" عرض شمالی حوضه آبریز رودخانه شیرین دره واقع شده است و نام آن از روستای شیرین دره که در مسیر همین رودخانه و نزدیک به سد ساخته شده، گرفته شده است. این رودخانه از نوع دائمی بوده و جریان آب پایه آن از محل چشمه های متعددی که در دامنه های پایین دست کوه باش تپه در محل روستای ارناره واقع هستند، تامین می‌شود. رودخانه شیرین دره از اتصال انشعابات کوه های دالانچه، کنجوخور، میسگر، بزین، میسو، قلعه جوق، گل داغ، نظرگاه، کلاته چنار تغذیه می‌گردد. مسیر مورد بررسی حدود ۳۹ کیلومتر می‌باشد که از ۲ کیلومتری بالادست روستای قلعه محمدی آغاز گردیده و در طول مسیر با گذشتن از روستاهای گیفان بالا،



شکل (۱): پلان رودخانه شیرین دره، ایستگاه هیدرومتری قتلش و محل اخذ نمونه های رسوب



شکل (۳): سیلاب اندازه گیری شده در ایستگاه هیدرومتری قتلیش

سال‌ها است که در سراسر دنیا این نرم افزار در زمینه مهندسی مورد استفاده قرار می‌گیرد. در سال ۲۰۰۶ قابلیت شبیه‌سازی رسوبگذاری و انتقال رسوب به آن اضافه شده است. بخش تحلیل رسوب نرم افزار HEC-RAS در اصل بخش ارتقا یافته مدل HEC-6

منطقه مورد مطالعه و با توجه به بافت خاک، پوشش گیاهی، شیب و نیز موقعیت ایستگاه هیدرومتری قتلیش بر روی رودخانه شیرین دره و طول دوره آماری بلند مدت آن، نتایج روش دیکن بر اساس سیلاب‌های ثبت شده همین ایستگاه نسبت به سایر روش‌های ارائه شده با

جدول (۱): برآورد نهایی سیلاب با دوره برگشت‌های مختلف با استفاده از آمار دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری قتلیش

۲۰۰	۱۰۰	۵۰	۲۵	۱۰	۵	۲	دوره بازگشت (سال)
							روش
۴۰۷/۷	۳۶۷/۳	۳۲۶/۳	۲۸۴/۴	۲۲۶/۹	۱۸۰/۶	۱۱۰/۴	فولر
۳۹۹/۹	۳۶۰/۳	۳۲۰	۲۷۹	۲۲۲/۶	۱۷۷/۱	۱۰۸/۳	کریگر
۴۰۸/۳	۳۶۷/۸	۳۲۶/۸	۲۸۴/۸	۲۷۷/۳	۱۸۰/۹	۱۱۰/۵	دیکن
۳۴۶/۸	۳۲۴/۳	۲۸۰/۴	۲۳۶/۴	۱۸۷/۵	۱۵۴/۶	۹۶/۸	استدلالی

می‌باشد، که بیش از ۳۰ سال از این مدل برای تحلیل رسوب رودخانه‌ها و مخازن سدها مورد استفاده مهندسين قرار گرفته است. مهمترین قابلیت‌های بخش آنالیز رسوب نرم افزار HEC-RAS عبارتند از مدل‌سازی بلند مدت رسوبگذاری در مخزن، تخمین حداکثر میزان آبستگي در هنگام سیلاب‌های بزرگ، ارزیابی

واقعیت سیلابی منطقه تطابق بیشتری دارد و لذا مقادیر حاصل از این روش به عنوان برآورد نهایی سیلاب در حوضه‌های مورد مطالعه انتخاب می‌گردد [۴].

۲- نرم افزار HEC-RAS

نرم افزار HEC-RAS توسط اداره مهندسی ارتش آمریکا ایجاد و توسعه پیدا کرده است و

مقاطع رودخانه می‌باشد. معادله حاکم بر جریان غیر دائم یک بعدی عبارتند از معادله پیوستگی:

$$\frac{\partial A}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial X} = q \quad (3)$$

معادله اندازه حرکت:

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial(\beta Q^2 / A)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ/Q}{C^2 AR} = 0 \quad (4)$$

در معادله فوق Q دبی، A مساحت مقطع جریان، q دبی جانبی، h عمق جریان، C ضریب مقاومت شزی، R شعاع هیدرولیکی، g ثابت گرانشی، β ضریب اندازه حرکت می‌باشد. بخش انتقال رسوب این مدل برای شبیه سازی یک بعدی ته‌نشین شدن رسوب و یا فرسایش و آب شستگی بستر در سال ۲۰۰۶ توسعه داده شده است. این بخش با استفاده از شش تابع مختلف برای انتقال رسوب که خلاصه مشخصه‌های آنها در جدول ۲ آمده است، به بررسی نحوه انتقال رسوبات در رودخانه‌ها می‌پردازد. در جدول ۲، d قطر رسوب، GS چگالی نسبی رسوب، D عمق جریان، V سرعت جریان آب، S شیب رودخانه، W عرض رودخانه یا کانال، T درجه حرارت آب می‌باشد. با توجه به طول رودخانه شیرین دره که در حدود ۳۹ کیلومتر می‌باشد، در مدل HEC-RAS برای ایجاد هندسه مدل ۱۱۵۸ مقطع عرضی که توسط آب منطقه‌ای خراسان شمالی تهیه شده

رسوبگذاری در کانال‌ها می‌باشد. همچنین این مدل این قابلیت را دارد که با استفاده از چهار روش روبی^۱، توفالتی^۲، فان راین^۳ و روش پیش فرض برنامه HEC-RAS، سرعت سقوط را محاسبه می‌کند، و بر اساس شش رابطه انتقال رسوب، میزان جابجایی رسوب را تخمین می‌زند (راهنمای نرم افزار HEC-RAS) [۱۴].

۳- معادلات حاکم در مدل

نرم افزار HEC-RAS به طور هم‌زمان و به صورت یک بعدی قابلیت تحلیل و آنالیز جریانهای ثابت، متغیر تدریجی و انتقال رسوب را بصورت عددی دارد. در مدل HEC-RAS، جهت محاسبه پروفیل سطح آب، شبیه سازی بر اساس روش گام به گام استاندارد می‌باشد که در این روش بسته به نوع جریان، محاسبات از یکی از دو انتهای بازه در جریان فوق بحرانی از بالادست و در جریان زیربحرانی از پائین دست شروع می‌شود و اساس روش بر مبنای رابطه انرژی است:

$$WS_2 + \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} = WS_1 + \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} + h_e \quad (1)$$

$$h_e = L \bar{S}_f + c \frac{\alpha_2 v_2^2}{2g} - \frac{\alpha_1 v_1^2}{2g} \quad (2)$$

در روابط بالا WS_1 و WS_2 به ترتیب تراز سطح آب در مقطع اول و دوم (متر)، V_1 و V_2 سرعت متوسط جریان در مقطع اول و دوم (متر بر ثانیه)، α_1 و α_2 به ترتیب ضریب تصحیح انرژی در مقطع ۱ و ۲، h_e اتلاف انرژی بین دو مقطع برحسب (متر)، L ، فاصله دو مقطع در امتداد بستر جریان (متر)، S_f متوسط شیب خط انرژی بین دو مقطع (متر بر متر) و C ضریب انبساط و انقباض

1- Rubey

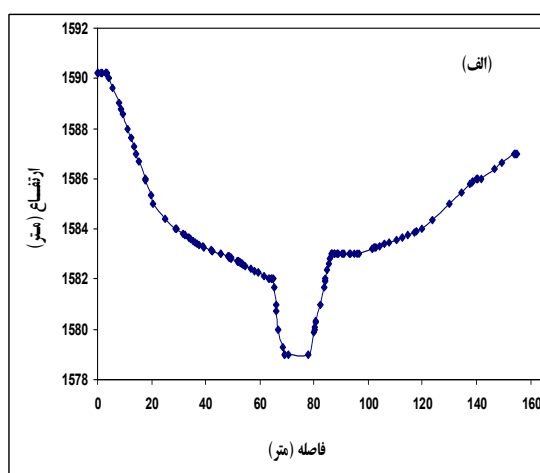
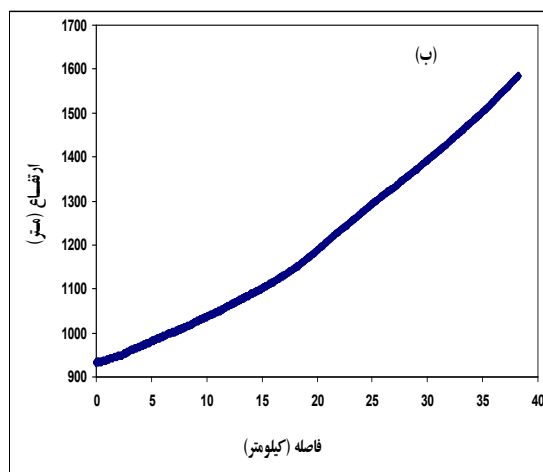
2- Toffaleti

3- Van Rijn

4- HEC-RAS Manual

جدول (۲): مشخصات توابع به کار رفته در نسخه ۴ نرم افزار HEC-RA

معادله انتقال رسوب	سال	نحوه استخراج	دانه بندی	توضیحات	شرایط استفاده از رابطه
ایکز- وایت	۱۹۷۳	ازمایشگاهی	ماسه- شن	انتقال بار معلق (ریزدانه) تابعی از نوسانات آشفتگی جریان آب می باشد. انتقال بار بستر (درشت دانه) تابعی از تنش برشی اعمال شده بر روی رسوبات می باشد.	$0.04 < d < 7 \text{ mm}$, $1.0 < G_s < 2.7$ $0.07 < V < 7.1 \text{ fps}$, $0.01 < D < 1.4 \text{ ft}$ $0.00006 < S < 0.0037$, $0.23 < W < 4 \text{ ft}$ $46 < T < 89 \text{ deg rees F}$
انگلند-جانسن	۱۹۶۷	ازمایشگاهی	ماسه	برای رودخانه های ماسه ای که دارای بار معلق قابل توجه دارند کاربرد دارد	$0.19 < d_m < 0.93 \text{ mm}$, $0.65 < V < 6.34$ $0.19 < D < 1.33 \text{ fps}$, $0.000055 < S < 0.019 \text{ ft}$ $45 < T < 93 \text{ degrees F}$
لارسن (کوپلند)	۱۹۸۹	ازمایشگاهی صحرایی	سیلت-شن	برای رودخانه های که دارای بار شنی دارند کاربرد دارد	$0.011 < d_m < 29 \text{ mm}$, $0.7 < V < 9.4 \text{ fps}$ $0.03 < D < 3.6 \text{ ft}$, $0.00025 < S < 0.025$ $0.25 < W < 6.6 \text{ ft}$, $46 < T < 83 \text{ degrees F}$
میر-بیتر و مولر	۱۹۴۸	ازمایشگاهی	ماسه-شن	برای رودخانه های که دارای رسوبات درشت دانه دارند کاربرد دارد.	$0.4 < d < 29 \text{ mm}$, $1.25 < s < 4.0$ $1.2 < V < 9.4 \text{ fps}$, $0.03 < D < 3.9 \text{ ft}$ $0.0004 < S < 0.02$, $0.5 < W < 6.6 \text{ ft}$
توفالتی	۱۹۶۸	ازمایشگاهی صحرایی	ماسه	برآورد دبی رسوب بر اساس محاسبه ستونهای عمودی غلظت (تقسیم بندی آن به ۴ ناحیه) صورت می گیرد.	$0.062 < d < 4 \text{ mm}$, $0.095 < d_m < 0.76 \text{ mm}$ $0.7 < V < 7.8 \text{ fps}$, $0.07 < R < 56.7 \text{ ft}$ $0.000002 < S < 0.0011$, $63 < W < 3640 \text{ ft}$ $32 < T < 94 \text{ degrees F}$
یانگ	۱۹۷۳-۱۹۸۴	ازمایشگاهی صحرایی	ماسه-شن	برآورد دبی رسوب بر اساس قدرت جریان استوار است.	$0.15 < d < 1.7 \text{ mm}$, $0.8 < V < 6.4 \text{ fps}$ $0.04 < D < 50 \text{ ft}$, $0.000043 < S < 0.028$ $0.44 < W < 1750$, $32 < T < 94 \text{ degrees F}$



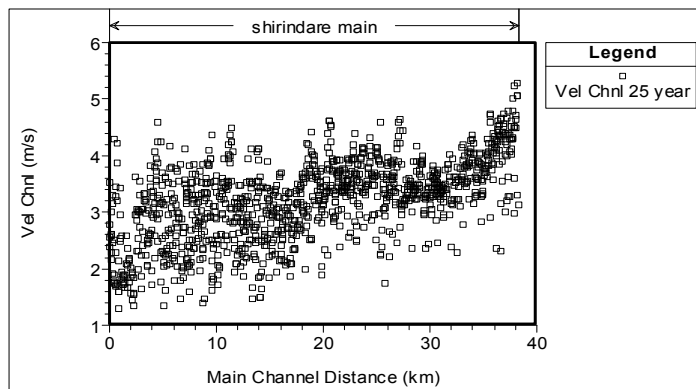
شکل (۴) الف و ب: نمونه ای از مقطع عرضی رودخانه شیرین دره (کیلومتر ۳۸،۵) و پروفیل طولی آن

پایین دست از رابط دبی اشل ایستگاه هیدرومتری قتلیش استفاده گردید.

نتایج و بحث

از آنجاییکه هدف از انجام تحقیق حاضر بررسی وضعیت رسوبگذاری و فرسایش رودخانه شیرین دره در محدوده مطالعاتی مورد نظر می باشد، لذا ابتدا هیدرولیک جریان رودخانه شیرین دره مورد بررسی قرار گرفت. شکل های ۵، ۶ و ۷ به ترتیب سرعت جریان، عدد فرود جریان و تنش برشی را در مقاطع مختلف رودخانه نشان می دهد. جدول ۳ مقادیر حداقل و حداکثر پارامترهای سرعت جریان، عدد فرود جریان و تنش برشی را در طول رودخانه شیرین دره، وقتی مدل با دبی ۲۸۴/۸ متر مکعب در ثانیه اجرا گردید، نشان می دهد.

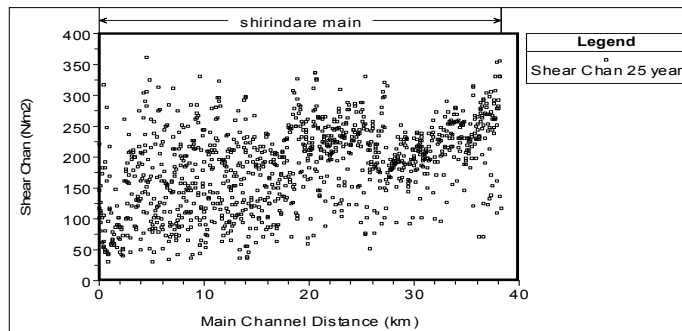
بود، به مدل معرفی گردید. بطور متوسط فاصله مقاطع ۳۴ متر می باشد. شکل ۴-الف نمونه ای از مقطع عرضی رودخانه را در کیلومتر ۳۸،۵ و شکل ۴ ب پروفیل طولی رودخانه را بعد از معرفی مقاطع عرضی به مدل نشان می دهد. با توجه به تحلیل آماری بر روی داده های دبی رودخانه شیرین دره مقدار دبی ۲۵ ساله برابر با ۲۸۴/۸ بدست آمد که از آن برای معرفی به مدل استفاده گردید. دلیل استفاده از این دبی برای اجرای مدل آن بود که معمولا از دبی ۲۵ ساله برای بررسی شرایط مورفولوژیکی رودخانه و همچنین برای تعیین حریم بستر رودخانه استفاده می گردد. برای اجرای مدل نیاز به معرفی شرایط مرزی در بالادست و پایین دست بود که بدین منظور برای شرایط مرزی بالادست از عمق نرمال و برای شرایط مرزی



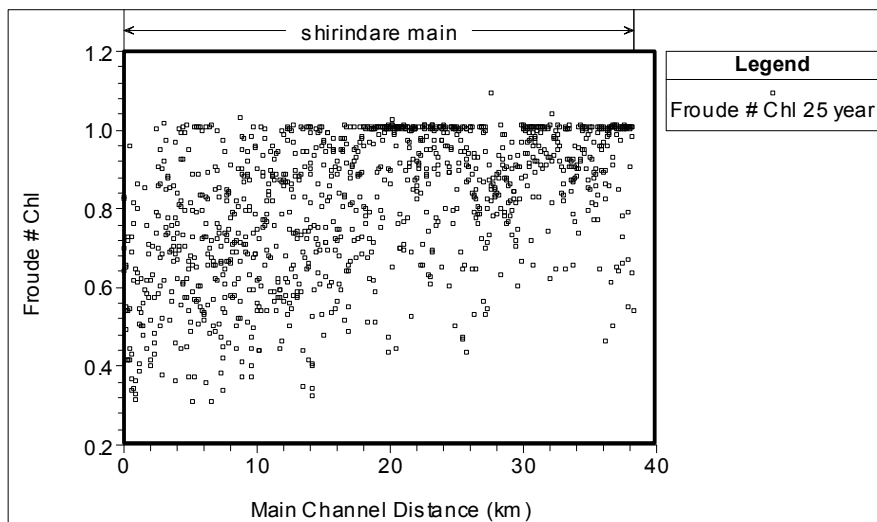
شکل (۵): تغییرات سرعت جریان در طول رودخانه شیرین دره

خوبی بیانگر این موضوع می باشد. همچنین، مقدار حداقل و حداکثر تنش برشی به ترتیب ۳۰/۱۲ و ۳۶۱/۹۴ نیوتن بر مترمربع می باشد.

همانطوریکه اعداد جدول ۳ نشان می دهد، حداقل و حداکثر سرعت جریان بین ۱/۲۹ تا ۵/۲۹ متر بر ثانیه بوده و تقریباً در بیشتر مقاطع رودخانه جریان از نوع زیر بحرانی می باشد، که شکل ۷ به



شکل (۶): تغییرات سرعت برشی جریان در طول رودخانه شیرین دره



شکل (۷): تغییرات عدد فرود جریان در طول رودخانه شیرین دره

جدول (۳): مقادیر حداقل و حداکثر پارامترهای سرعت جریان، عدد فرود جریان و تنش برشی در

مقاطع مختلف رودخانه

پارامتر واحد	مساحت جریان (m^2)	عرض سطح آب (m)	سرعت (m/s)	شیب انرژی (m/m)	تنش برشی (N/m^2)	عدد فرود
مقدار می نیمم	۵۴/۱۳	۱۹/۷۳	۱/۲۹	۰/۰۰۱۶۳	۳۰/۱۲	۰/۳۱
مقدار ماکزیمم	۲۲۳/۰۷	۲۳۶/۰۹	۵/۲۹	۰/۰۲۳۳۶۴	۳۶۱/۹۴	۱/۰۹

۱- بررسی وضعیت انتقال رسوب رودخانه

شیرین دره

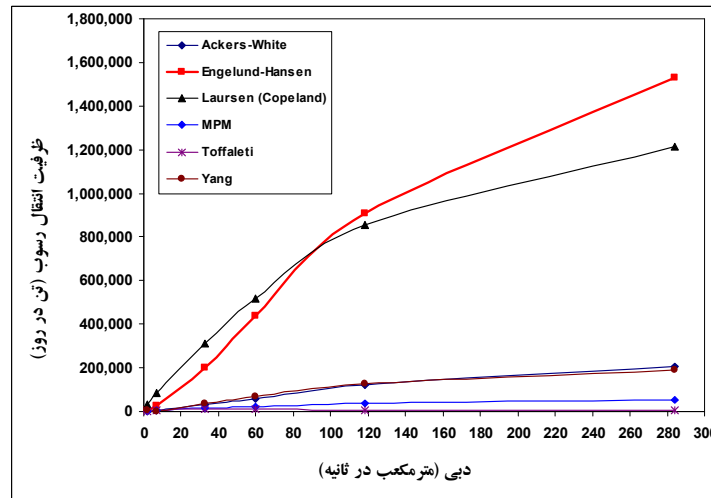
یکی از قابلیت های مدل HEC-RAS بررسی

قابلیت انتقال رسوب رودخانه می باشد. برای بازه

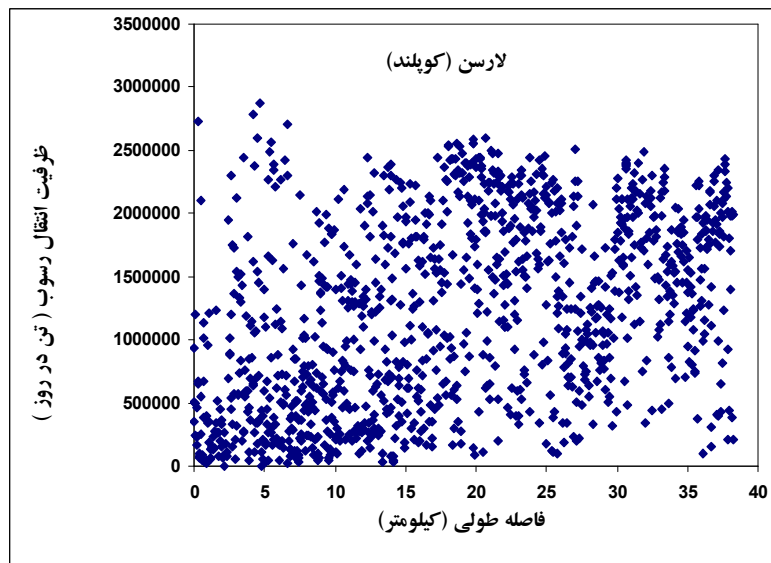
مورد مطالعه، مدل HEC-RAS با شش تابع

انتقال رسوب (ایکروز- وایت، انگلند-هانسن،

لارسن (کوپلند)، میر-پیتر و مولر، توفالتی و



شکل (۸): ظرفیت انتقال رسوب محاسبه شده در مقطع پایین دست رودخانه شیرین دره (ایستگاه هیدرومتری قتلیش) با استفاده از شش تابع انتقال رسوب



شکل (۹): ظرفیت انتقال رسوب در طول رودخانه شیرین دره با استفاده از تابع انتقال رسوب لارسن

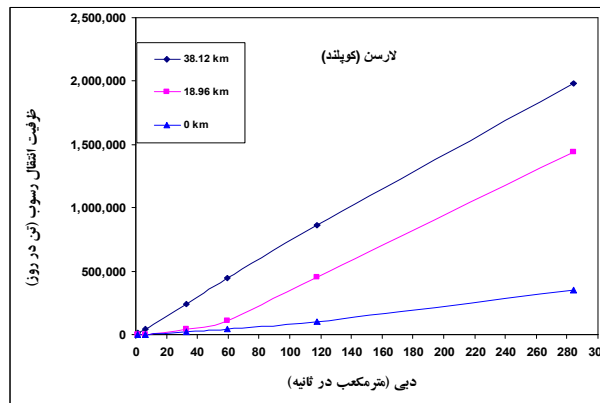
ظرفیت انتقال رسوب در طول رودخانه شیرین دره با استفاده از رابطه انتقال رسوب لارسن در شکل ۹ نشان داده شده است. مقدار ماکزیمم ظرفیت انتقال رسوب این رودخانه 2,619,000 تن در روز می باشد.

همچنین، در شکل ۱۰ بر اساس رابطه لارسن (کوپلند)، ظرفیت انتقال رسوب در مقاطع ابتدایی، میانی و انتهایی رودخانه شیرین

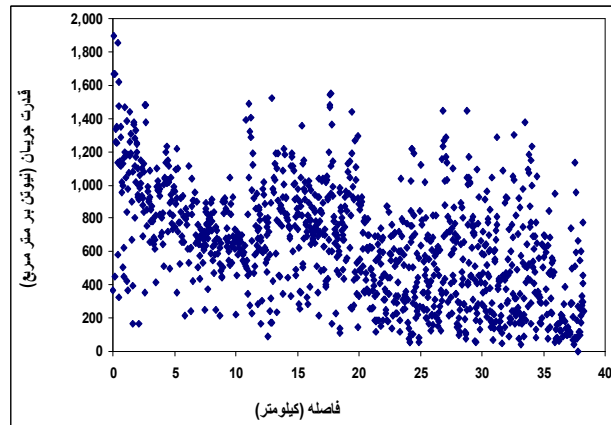
یانتگ) برای رودخانه شیرین دره اجرا گردید. نتایج حاصل از حل روابط فوق نشان می دهد که ظرفیت حمل رسوب در بازه مورد بررسی براساس توابع مختلف در نظر گرفته شده متغیر می باشد. برای مثال در شکل ۸، ظرفیت انتقال رسوب در مقطع پایین دست رودخانه شیرین دره (ایستگاه هیدرومتری قتلیش) با استفاده از شش رابطه انتقال رسوب نشان داده شده است. همچنین

بررسی پروفیل طولی بستر رودخانه نشان می‌دهد، مقدار شیب رودخانه در بازه ابتدایی رودخانه برابر با $2/68$ درصد می‌باشد، در حالیکه در بازه میانی و انتهایی رودخانه مقدار شیب رودخانه به مقدار $1/76$ و $0/98$ درصد کاهش می‌یابد. بررسی مقدار تنش برشی در بازه‌های مذکور نشان می‌دهد که مقدار تنش برشی به ترتیب $28/67$ ، $22/70$ و $19/82$ نیوتن بر متر مربع می‌باشد. همچنین متناسب با آن مقدار متوسط قدرت جریان نیز کاهش می‌یابد (شکل ۱۱). بطوریکه محاسبات نشان می‌دهد مقدار متوسط قدرت جریان در بازه ابتدایی، میانی و انتهایی به ترتیب برابر با 813 ، 658 و 469 نیوتن بر متر مربع می‌باشد.

دره نشان داده شده است. بطوریکه محاسبات حاصل از اجرای مدل با دبی 25 ساله و با استفاده از رابطه لارسن (کوپلند) نشان می‌دهد، ظرفیت حمل رودخانه از بالادست به سمت پایین دست کاهش می‌یابد. برای انجام مقایسه، سرعت برشی و قدرت جریان در قسمت‌های مختلف رودخانه، رودخانه شیرین‌دره به سه بازه تقسیم بندی شد. بازه اولی (از ابتدای رودخانه تا کیلومتر $12/75$)، بازه میانی (از کیلومتر $12/75$ تا کیلومتر $25/51$) و بازه انتهایی (از کیلومتر $25/51$ تا کیلومتر $38/3$). علت کاهش ظرفیت حمل رودخانه از بالادست به سمت پایین دست، مرتبط با کاهش شیب بستر رودخانه و در نتیجه کاهش قدرت جریان برای فرسایش رسوبات بستر رودخانه می‌باشد.



شکل (۱۰): ظرفیت انتقال رسوب محاسبه شده در مقاطع بالا دست، میانی و پایین دست رودخانه شیرین دره با استفاده از تابع انتقال رسوب لارسن



شکل (۱۱): قدرت جریان محاسبه شده در طول رودخانه شیرین دره

اندازه‌گیری رسوب مربوط به دبی‌های پایین (کمتر از ۸ مترمکعب در ثانیه) می‌باشد و برای دبی‌های بالا، اندازه‌گیری کمی صورت گرفته است. بطوریکه در این ایستگاه حداکثر اندازه‌گیری رسوب مربوط به دبی ۵۹/۸ مترمکعب در ثانیه می‌باشد. با توجه به این موضوع برای مقایسه نتایج مدل و اندازه‌گیری، مدل HEC-RAS با ۶ دبی برابر با مقادیر ۵۹/۸۰، ۱/۵۷، ۴/۰۵، ۶/۵۷، ۱۱/۱۰، ۳۲/۶۰ و ۵۹/۸۰ مترمکعب در ثانیه اجرا گردید. شکل ۱۲ رابطه بین دبی و ظرفیت انتقال رسوب در ایستگاه هیدرومتری قتلیش را بر اساس شش معادله انتقال رسوب و اندازه‌گیری شده نشان می‌دهد. همچنین بین نتایج حاصل از اجرای مدل و اندازه‌گیری شده، مقایسه کمی صورت گرفته است که نتایج آن در جدول ۴ آمده است.

۲- مقایسه نتایج حاصل از دبی رسوب محاسبه شده بوسیله مدل و اندازه‌گیری شده

به منظور بررسی دقت مدل در برآورد انتقال رسوب در رودخانه شیرین دره از آمار اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری قتلیش بر روی رودخانه شیرین دره استفاده شد. رابطه بین دبی و دبی رسوب ایستگاه هیدرومتری قتلیش بصورت روابط ۵ و ۶ نشان داده شده است.

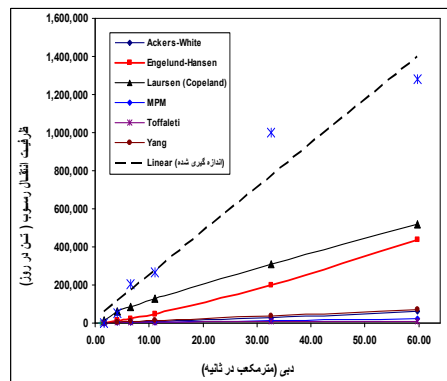
برای دبی کمتر از ۸ متر مکعب در ثانیه:

$$Q_s = 123.1 Q_w^{2.6022} \quad R^2 = 0.82 \quad (5)$$

برای دبی بیشتر از ۸ متر مکعب در ثانیه:

$$Q_s = 956.79 Q_w^{2.2512} \quad R^2 = 0.86 \quad (6)$$

بررسی آمار اندازه‌گیری شده در ایستگاه هیدرومتری مذکور نشان می‌دهد بیشتر



شکل (۱۲): رابطه بین دبی و ظرفیت انتقال رسوب در ایستگاه هیدرومتری قتلیش

جدول (۴): مقایسه بین دبی رسوب اندازه گیری شده و محاسبه شده با استفاده از رابطه لارسن

(کوپلند)

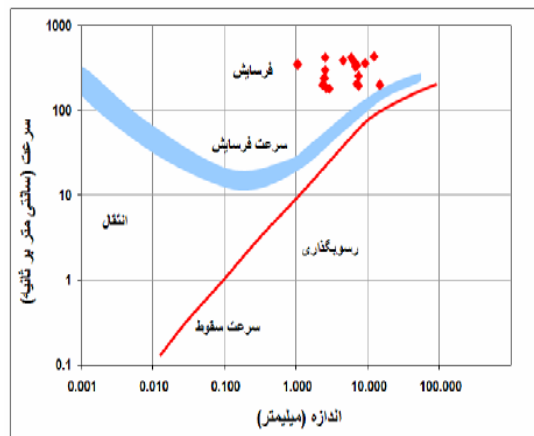
درصد خطا	دبی رسوب محاسبه شده (تن در روز)	دبی رسوب اندازه گیری شده (تن در روز)	دبی (متر مکعب در ثانیه)
97.6	4,210	2,130	1.57
26.6	63,500	50155	4.05
58.6	84,160	203092	6.57
51.8	127,800	265013	11.10
68.9	311,600	1,002,200	32.60
59.6	517,100	1,279,708	59.80
60.5	متوسط خطا		

ریزدانه بالا باشد، حالت تعادل ذکر شده به هم می خورد و یکی از دلایلی که بار رسوبی محاسبه شده توسط این توابع با آنچه که به واقع در رودخانه مشاهده می شود، متفاوت است، عدم توجه به ذرات ریز معلق است.

۳- بررسی وضعیت فرسایش، رسوبگذاری و تعادل رودخانه شیرین دره

برای بررسی وضعیت فرسایش، رسوبگذاری و تعادل یک رودخانه معیارهای متعددی ارائه شده است که برای مثال می توان به معیار شیلدز، گسler و هالستروم اشاره نمود. در این تحقیق ابتدا از معیار هالستروم استفاده شده است که در آن سرعت جریان در برابر اندازه

مقایسه دبی رسوب اندازه گیری شده و محاسبه شده با استفاده از رابطه لارسن (کوپلند) در جدول ۴ نشان می دهد که بین دو مقدار دبی رسوب اندازه گیری شده و محاسبه شده بوسیله مدل، اختلاف وجود دارد و متوسط درصد اختلاف به ۶۰/۵ درصد می رسد. البته وجود این اختلاف می تواند دلایل مختلفی داشته باشد که برای مثال می توان به خطای اندازه گیری، خطای محاسباتی و دلایل دیگر اشاره نمود. همچنین یانگ^۱ [۱۵] در این زمینه اظهار می دارد کلیه توابع انتقال رسوب و معادلات ارائه شده، صرفاً به منظور تخمین نرخ انتقال رسوب و تعیین غلظت مواد رسوبی در یک حالت موازنه (تعادل) و بدون در نظر گرفتن هیچگونه ته نشینی یا فرسایش، ارائه شده اند. لذا در صورتیکه بار شسته یا غلظت ذرات



شکل (۱۴): بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری رودخانه شیرین دره با استفاده از معیار هالستروم

نتیجه‌گیری و پیشنهادات

در این پژوهش که بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری رودخانه شیرین دره با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS صورت گرفت، با استفاده از نتایج واقعی و مشاهده شده در رودخانه مذکور، به بررسی میزان دقت و کارایی مدل عددی HEC-RAS پرداخته شد و نتایج زیر بدست آمد:

- بررسی شش تابع انتقال رسوب ایکرز-وایت، انگلند-هانسن، لارسن (کوپلند)، میر-پیتر و مولر، توفالتی و یانگ در رودخانه نشان می‌دهد که ظرفیت حمل رسوب در بازه مورد بررسی براساس توابع مختلف در نظر گرفته شده متغیر می‌باشد.

- بررسی ظرفیت انتقال رسوب رودخانه در بازه ابتدایی، میانی، و انتهایی نشان می‌دهد، ظرفیت حمل رودخانه از بالادست به سمت پایین دست کاهش می‌یابد. بطوریکه مقایسه انجام شده نشان می‌دهد بطور متوسط ظرفیت حمل رسوب در بازه میانی و انتهایی نسبت به

ذرات ترسیم می‌شود. در این منحنی سه ناحیه فرسایش، رسوبگذاری و تعادل از یکدیگر متمایز شده‌اند. برای تحقیق حاضر از ۱۹ نمونه رسوب اخذ شده در طول رودخانه شیرین دره استفاده گردید (شکل ۱) موقعیت نمونه‌های اخذ شده را نشان می‌دهد.

از آنجاییکه برای استفاده از منحنی هالستروم نیاز به برآورد سرعت متوسط جریان در مقاطع مورد نظر بود، لذا مدل HEC-RAS با استفاده از دبی ۲۵ ساله اجرا گردید. شکل ۱۳ نقاط ترسیم شده را بروی منحنی هالستروم نشان می‌دهد. ترسیم ۱۹ نقطه بر روی منحنی هالستروم نشان می‌دهد، در تمام مقاطع وضعیت جریان به گونه‌ای است که رودخانه در وضعیت فرسایش قرار دارد. همچنین بررسی با معیار شیلدز نشان می‌دهد در تمام مقاطع (به جز مقطع کیلومتر ۱۲/۲۸۰) مقدار عدد رینولدز برشی بزرگتر از ۴۰۰ بوده و مقدار Θ بزرگتر از ۰/۰۵۶ می‌باشد، به عبارت بهتر بر اساس معیار شیلدز نیز تمام مقاطع در حالت فرسایش می‌باشد.

تبادل رودخانه شیرین دره با معیارهای هالستروم و شیلدز نشان می‌دهد، برای دبی ۲۵ ساله در تمام مقاطع وضعیت جریان به گونه‌ای است که رودخانه در وضعیت فرسایش قرار دارد.

- در انتقال رسوب رودخانه‌ها سیلاب‌ها با حجم زیاد، نقش به‌سزایی دارند، لذا با توجه به اهمیت رودخانه شیرین دره و وجود سد شیرین دره بر روی این رودخانه پیشنهاد می‌شود تا مسئولین به ثبت چنین پدیده‌هایی حساس باشند، و داده‌های رسوب به اندازه کافی در شرایط سیلابی برداشت گردد.

- با توجه به این که در پایین دست بازه مورد مطالعه سد شیرین دره قرار دارد، و با توجه به اینکه تابع لارسن (کوپلند) نسبت به سایر توابع انتقال رسوب برآورد بهتری داشته است، بر این اساس پیشنهاد می‌شود جهت شناخت پتانسیل میزان انتقال رسوب از این مدل در مناطق مختلف رودخانه و همچنین برای برآورد میزان رسوبات ورودی مخزن از این رابطه استفاده شود.

بازه ابتدایی به ترتیب ۱۹/۱ و ۵۲/۳ درصد کاهش می‌یابد. علت اصلی این کاهش مرتبط با کاهش شیب رودخانه می‌باشد. بررسی پروفیل طولی بستر رودخانه نشان می‌دهد مقادیر شیب رودخانه در سه بازه فوق به ترتیب برابر با ۲/۶۸، ۱/۷۶ و ۰/۹۸ درصد می‌باشد.

- مقایسه دبی رسوب اندازه‌گیری شده و محاسبه شده با استفاده از شش تابع انتقال رسوب نشان می‌دهد، رابطه لارسن (کوپلند) نسبت به سایر توابع انتقال رسوب برآورد بهتری دارد. متوسط خطای برآورد ۶۰/۵ درصد می‌باشد. دلیل اصلی وجود این اختلاف به توابع انتقال رسوب و معادلات ارائه شده بر می‌گردد چراکه آنها صرفاً به منظور تخمین نرخ انتقال رسوب و تعیین غلظت مواد رسوبی در یک حالت موازنه (تبادل) و بدون در نظر گرفتن هیچگونه ته‌نشینی یا فرسایش، ارائه شده‌اند.
- بررسی وضعیت فرسایش، رسوبگذاری و

منابع

- ۱- بهرنگی، ف.، بنی‌هاشمی، م.، پوربوجاریان، ع.، و امینی، م.م. ۱۳۸۸. مقایسه نتایج مدل عددی-HEC RAS با مقادیر واقعی در رسوبگذاری مخزن سد لتیان. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- ۲- سلاجقه، ع.، رحمانی، ا.، فتح‌آبادی، ا. ۱۳۸۹. بررسی توان انتقال رسوب در رودخانه کرج. ششمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری و چهارمین همایش ملی فرسایش و رسوب، دانشگاه تربیت مدرس، ۸ و ۹ اردیبهشت ماه ۱۳۸۹.
- ۳- شاهی‌نژاد، ب.، رستمی، س.، و محمودی کردستانی، س. ۱۳۸۵. بررسی هیدرولیکی جریان در رودخانه کارون محدوده شهری اهواز جزیره موزه آب. هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، اهواز، دانشگاه شهید چمران.

- ۴- گزارش شرکت مهندسی مشاور کاوش پی. ۱۳۸۸. مطالعات تعیین حریم و بستر رودخانه شیرین دره. گزارش هیدرولیک. وزارت نیرو. شرکت آب منطقه‌ای خراسان شمالی.
- ۵- خسروپور، ح.، بنی‌هاشمی، م. صفی یاری، ا. ۱۳۸۷. مقایسه نتایج پیشروی دلتای رسوب در مخزن سد در مدل آزمایشگاهی با مدل عددی مشابه با استفاده از نرم افزار HEC-RAS. دومین کنفرانس ملی سد و نیروگاه‌های برقی، اردیبهشت ماه ۱۳۸۷.
- ۶- رحیمی‌دهاقانی، ن.، فضل اولی، ر.، نبویانپور، م.، و ضیاء تباراحمدی، م. ۱۳۸۸. مقایسه نتایج مدل های HEC-RAS و MIKE11 در شبیه سازی پروفیل سطح آب در رودخانه‌ها (مطالعه موردی: رودخانه لردگان). هشتمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز، شیراز، ایران.
- 7- Canfield, H. E., Wilson, C. J., Lane, L.J., Crowell, K.J., Thomas, W.A. 2005. Modeling scour and deposition in ephemeral channels after wildfire. *Journal of Catena*, 61(2-3): 273–291.
 - 8- Cook, A., and Merwade, V. 2009. Effect of topographic data, geometric configuration and modeling approach on flood inundation mapping. *Journal of Hydrology*, 377(1-2): 131–142
 - 9- Chang, H.H. 1988. *Fluvial processes in river engineering*. Jhon Wiley & sons New York, 432 p.
 - 10- Gibson, S., Brunner, G., Piper, S., and Jensen, M. 2006. Sediment transport computations with HEC-RAS. *Proceedings of the Eighth Federal Interagency Sedimentation Conference (8thFISC)*, April 2-6, 2006, Reno, NV, USA.
 - 11- Horritt, M.S., and Bates, P.D. 2002. Evaluation of 1D and 2D numerical models for predicting river flood inundation. *Journal of Hydrology*, 268(1-4): 87–99.
 - 12- Pappenbergera, F., Bevena, K., Horrittb, M., Blazkova, S. 2005. Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RAS using inundation and downstream level observations. *Journal of Hydrology*, 302 (1-4): 46–69.
 - 13- Rathburn, S. and Wohl, E. 2003. Predicting fine sediment dynamics along a pool-riffle mountain channel. *Journal of Geomorphology*, 55(1-4):111– 124.
 - 14- USACE, 2010. HEC-RAS River Analysis System, Reference Manual for Version 3.1.3 Report CPD-68, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
 - 15- Yang, C.T. 1996. *Sediment Transport, Theory and Practice*, Ottawa University, Mc-Grow Hill, 412p.