نشریه علمی- پژوهشی

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

سال دهم- شماره ۳۴-پاییز ۱۳۹۵ Vol. 10, No. 34, Fall 2016

بررسی شرایط فرسایش و رسوب رودخانه کرخه در پایین دست سد مخزنی

فرهنگ آذرنگ[۱]، عبدالرسول تلوری[۲]، حسین صدقی[۳]، محمود شفاعی بجستان[٤]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۳/۱۱/۲۵ تاریخ پذیرش: ۱۳۹٤/۱۰/۱۵

چکیده:

رودخانه کرخه، سومین رود بزرگ ایران، به دلیل دارا بودن شرایط زیست محیطی و استراتژیکی به سبب اجرای پروژه‌های بزرگ آبی، کشاورزی و تأمین آب شهرها و واحدهای صنعتی از اهمیت فراوانی برخوردار است. از آنجا که تغییرات مورفولوژیک احتمالی ناشی از فرآیند فرسایش و رسوب رودخانه پس از احداث و آبگیری سد مخزنی می‌تواند روی بسیاری از تأسیسات آبی نظیر دهانه‌های آبگیر، کانال‌های آبیاری و ایستگاه‌های پمپاژ در پایین دست سد تأثیر داشته باشد به همین منظور در تحقیق حاضر در محدوده‌ای از این رودخانه در حدفاصل ایستگاه‌های آب سنجی پای پل و عبدالخان فرآیند فرسایش و رسوب و برخی از ویژگی‌های آن نظیر تغییرات خط القعر، شکل هندسی مقطع عرضی و بارکل رسوب رودخانه مورد بررسی قرار گرفت و با استفاده مدل HEC-RAS شبیه سازی شد. دوره شبیه سازی در این پژوهش ۱۲ سال (سال‌های ۱۳۸۰ تا ۱۳۹۲) و بعد از احداث سد در نظر گرفته شده است. نتایج نشان می‌دهد که در نزدیکی سد مخزنی کرخه یعنی بالادست محدوده مورد مطالعه، شرایط فرسایشی رودخانه بیشتر بود ولی در نواحی میانی و پایین دست محدوده فرسایش کمتری مشاهده می‌شود. از طرفی در شبیه سازی تابع‌های انتقال رسوب آکرز-وایت، لارسن و انگلوند-هانسن نتایج مطلوب تری در مورد تغییرات فرسایشی و رسوبی رودخانه ارائه دادند. همچنین در بررسی‌های مورفولوژیکی رودخانه کرخه مشخص شد که احداث سد مخزنی نتوانسته است از جابه جایی محور مرکزی رودخانه کرخه جلوگیری نماید. نتایج این پژوهش می‌تواند مرجع مناسبی در خصوص شرایط رودخانه کرخه و اثرات احداث سد مخزنی بر وضعیت آن برای پروژه‌های مختلف مهندسی رودخانه، آبگیری و انتقال آب باشد.

کلید واژه‌ها: *شبیه سازی، مدل HEC-RAS، واسنجی، انتقال رسوب، محور مرکزی رودخانه*

مقدمه

رودخانه‌ها مهم ترین منابع تأمین آب برای مصارف گوناگون هستند که بهره برداری صحیح از آن‌ها مستلزم مطالعه و شناخت دقیق رفتار آن هاست. رودخانه‌ها پدیده‌های متغیر و پویایی هستند و همواره وضعیت بستر، دیواره‌ها و راستای آن‌ها در حال تغییر و تحول می‌باشد [٤]. انتقال رسوب و رسوب گذاری که از فرآیندهای فرسایش هستند اصلی ترین عوامل این تغییرات به شمار می‌روند و لزوم شناخت هریک از این فرآیندها به منظور بررسی رفتار رودخانه‌ها و پیش بینی تغییرات آینده دارای اهمیت می‌باشد. از طرفی با احداث سازه‌های هیدرولیکی عظیم مانند سدها امکان تغییرات مضاعف بر رودخانه‌ها به خصوص در پایین دست این سازه‌ها به وجود می‌آید. بررسی شرایط فرسایش و رسوب گذاری رودخانه‌ها و برآورد بار رسوبی آن‌ها در مقاطع مختلف در بسیاری از پروژه‌های مهندسی رودخانه دارای اهمیت می‌باشد [٤]. رودخانه کرخه با توجه به طرح‌های مهم برنامه ریزی شده از سوی وزارت جهاد کشاورزی در استان خوزستان از جمله طرح ۳٤۰ هزار هکتاری دشت آزادگان از اهمیت چشمگیری برخوردار است و لزوم شناخت شرایط فرسایش و رسوبی رودخانه کرخه در خصوص پیش بینی شرایط آینده ی آن و تأمین آب مورد نیاز پروژه‌ها امری اجتناب ناپذیر قلمداد می‌شود. رودخانه کرخه در محدوده مطالعاتی این تحقیق از پایین دست سد مخزنی کرخه، ایستگاه پای پل، تا ایستگاه عبدالخان (در ۹٤ کیلومتری ایستگاه پای پل) براساس درجه تکامل جزو رودخانه‌های پیر محسوب می‌شود، دلیل آن شیب تقریباً کم رودخانه و به تبع آن سرعت کم جریان، حالت پیچان رودی بودن رودخانه و عدم وجود تندآب‌های بزرگ در مسیر رودخانه است [٦]. شیب رودخانه کرخه در این محدوده در حدود ۰/۰۰۰۷ می‌باشد. همچنین

۱- نویسنده مسئول. دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات، باشگاه پژوهشگران جوان و نخبگان، تهران، ایران
F.azarang@srbiau.ac.ir Farhang.azg@gmail.com,
۲- دانشیار گروه مهندسی عمران، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد اهواز
۳- استاد گروه علوم و مهندسی آب، دانشگاه آزاد اسلامی، واحد علوم و تحقیقات تهران
٤- استاد دانشکده علوم و مهندسی آب، دانشگاه شهید چمران، اهواز

در طبقه بندی رودخانه‌ها از منظر تداوم جریان، کرخه در محدوده مورد پژوهش در ردیف رودخانه‌های دائمی به شمار می‌رود چرا که با توجه به آمارهای ایستگاه‌های آب سنجی همیشه دارای آبدهی پایه بوده است. در مورد تقسیم بندی رودخانه از نظر پیدایش نیز رودخانه کرخه جزو رودخانه‌های قدیمی محسوب می‌شود، چون آبراهه رودخانه کرخه مسیر خود را براساس قدرت تخریبی جریان بر روی سازندهایی که امکان توسعه داشته اند انتخاب نموده است [٦]. در طبقه بندی رودخانه‌ها از نظر شکل پلان و راستا رودخانه‌ها به سه دسته ی مستقیم، شریانی و پیچان رودی تقسیم می‌شود که در مورد رودخانه کرخه دو حالت شریانی و پیچان رودی بیشتر دیده می‌شود. همچنین رودخانه کرخه جزو آن دسته از رودخانه‌های کشور است که بار معلق آن بیشتر از بار بسترش می‌باشد و دلیل این موضوع عمق زیاد رودخانه می‌باشد.

رودخانه کرخه به دلیل طی مسیر طولانی و عبور از سازندهای مختلف زمین شناسی دارای بار معلق زیادی بوده است و وجود این ذرات موجب بالا رفتن غلظت رودخانه می‌گردد، البته وجود این غلظت بالا در مواقع سیلابی می‌تواند باعث سایش بستر و دیواره‌های رودخانه و در نهایت افزایش بار رسوبی رودخانه گردد. بار کل رسوب رودخانه کرخه شامل مجموع بار معلق و بار بستر می‌باشد. مواد ریزدانه سیلتی و رسی ناشی از فرسایش تشکیلات بالادست حوضه آبریز کرخه که توسط رژیم‌های جریانی و سیلابی از مناطق دیگر توسط رودخانه کرخه به پایین دست منتقل می‌گردد، تا قسمت‌های انتهایی رودخانه کرخه توسط جریان به صورت بار معلق حمل می‌شوند. همچنین در مورد بار بستر رودخانه کرخه مواد درشت دانه تر که محصول فرسایش تشکیلات بختیاری در مواقع سیلابی رودخانه هستند، به صورت بار بستر از قسمت‌های شمالی محدوده منتقل می‌شوند [٦].

امروزه مدل‌های ریاضی متعددی جهت بررسی شرایط رسوبی رودخانه‌ها در سراسر جهان مورد استفاده قرار می‌گیرد. نرم افزار HEC-RAS نیز یکی از این مدل هاست که به تازگی در نسخه جدید خود این قابلیت را اضافه نموده است. این مدل ریاضی به دلایلی مانند وجود مرجع علمی معتبر، سهولت دسترسی به جدیدترین نسخه مدل و اطلاعات خروجی مناسب جزو نرم‌افزارهایی است که مورد استقبال محققین در سرتاسر جهان قرار گرفته است. از جمله این تحقیقات می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

پری یرا و همکاران [١٣] طی تحقیقی به بررسی انتقال رسوبات در پایین دست رودخانه می‌سی سی پی پرداختند و با استفاده از مدل HEC-RAS فرمول انگلوند-هانسن را به عنوان بهترین روش برآورد بار رسوبی در این رودخانه معرفی کردند. گیبسون [١١] مدل HEC-RAS را برای رودخانه ی کولیتز در ایالت واشنگتن که از سرشاخه‌های رودخانه کلمبیا محسوب می‌شود به کار گرفت و استفاده از معادله لارسن را برای این رودخانه پیشنهاد داد. چن [١٠] به بررسی تغییرات ارتفاع بستر رودخانه ریوسالادو در ایالت آریزونا کشور آمریکا با کمک نرم‌افزار HEC-RAS پرداخت و نتایج حاصل از این مدل را با نتایج مدل CCHE2D مقایسه نمود، نتایج آن تحقیق نشان داد، با استفاده از مدل HEC-RAS در بالادست بازه مورد مطالعه فرسایش بیشتری رخ داده است درحالی که کاربرد مدل CCHE2D حاکی از فرسایش پذیری رودخانه در پایین دست بازه بوده است و همچنین نتایج نشان داد که مدل دوبعدی در شبیه سازی رودخانه دارای قدرت بالاتری بوده است. شلی و همکاران [١٥] با هدف شبیه سازی جریان غیردائمی و انتقال رسوب در دریاچه ی تاتل کریک در حوضه آبریز رودخانه کانساس ایالات متحده آمریکا، از مدل HEC-RAS استفاده نمودند، آن‌ها بین سال‌های ٢٠٠٠ تا ٢٠٠٩ میزان تغییرات حجم رسوبات و خط القعر را با مقایسه نتایج مدل و مقادیر اندازه گیری شده بررسی نمودند و مطالعات آن‌ها نشان داد که عملیات کاهش میزان رسوبات در آینده ضروری به نظر می‌رسد. رحمان و همکاران [١٤] از طرف انجمن توسعه منابع آب کشور بنگلادش با استفاده از مدل HEC-RAS بررسی سامان دهی رودخانه جومانا را انجام دادند، با توجه به حالت شریانی بودن رودخانه در حوالی پل بنگاباندهو و نتایج مدل، لایروبی رودخانه در مقاطعی از مسیر رودخانه پیشنهاد گردید.

در ایران نیز از مدل HEC-RAS در بعضی از رودخانه‌های کشور استفاده شده است. به عنوان مثال می‌توان به پژوهش اعلمی و همکاران [٢] در بررسی وضعیت فرسایش و رسوب گذاری رودخانه آجی چای در پایین دست سد شهید مدنی در شمال شرقی تبریز اشاره کرد این محققین فرمول لارسن[1] را نسبت به روش‌هایی مانند آکرز-وایت[2]، انگلوند-هانسن[3] و یانگ[4] برای این رودخانه مناسب تر دانستند. اکبرزاده و همکاران [١] به صحت سنجی تابع‌های انتقال رسوب مدل HEC-RAS در مخزن سد شهید عباس پور واقع در شمال شرقی شهرستان مسجدسلیمان پرداختند و روش آکرز-وایت را دارای دقت بالاتری نسبت به روش‌هایی مانند توفالتی[5]، یانگ، لارسن و انگلوند- هانسن معرفی کردند. عاشوری و همکاران [٣] نیز از مدل HEC-RAS در بررسی تغییرات مورفولوژیکی بستر رودخانه اهرچای در پایین دست سد ستارخان واقع در غرب شهرستان اهر استفاده نمودند و کاهش شدید در میزان رسوبات حمل شده را در اثر احداث سد و پیامد آن کاهش دبی رودخانه را دلیل اصلی تغییرات بستر پایین دست رودخانه اهرچای معرفی کردند. آذرنگ و شفاعی بجستان [٤] تحقیقی در محدوده ی شهری اهواز با استفاده از مدل HEC-RAS بین سال‌های ٢٠٠١ تا ٢٠١١ انجام دادند و نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد که نیاز به سامان دهی و لایروبی رودخانه کارون به ویژه در مناطقی از شهر اهواز ضروری می‌باشد، همچنین این محققین تابع‌های انتقال رسوب انگلوند-

1- Larsen
2- Ackers - White
3- Engelund-Hansen
4- Yang
5- Toffaleti

هانسن و آکرز–وایت را در پیش بینی مشخصات رودخانه به عنوان روش‌های برتر معرفی نمودند.

در این پژوهش نیز با استفاده از مدل HEC-RAS شبیه سازی فرسایش و رسوب در شرایط بعد از احداث سد، به همراه میزان جابه جایی محور مرکز رودخانه و تغییرات هندسی مقاطع عرضی و پیش بینی تغییرات خط القعر رودخانه کرخه مورد بررسی قرار گرفت و تابع‌های انتقال رسوب برتر معرفی شدند.

مواد و روش ها

حوزه آبخیز کرخه در جنوب غربی کشور و در حد فاصل ٤٦ درجه و ٧ دقیقه تا ٤٩ درجه و ١٠ دقیقه طول شرقی و ٣٢ درجه و ١٥ دقیقه تا ٣٥ درجه و ١٠ دقیقه عرض شمالی واقع شده است. این حوضه از حوضه‌های آبریز درجه دو حوضه آبریز خلیج فارس و دریای عمان محسوب می‌شود. حوضه کرخه دارای گستردگی اقلیمی از کوه‌های زاگرس با آب و هوای سردسیر تا دشت خوزستان با اقلیم گرم و نیمه بیابانی و مرطوب می‌باشد. متوسط سالیانه ریزش‌های جوی در این حوضه بین مقادیر ٣٠٠ تا ٨٠٠ میلی‌متر متغیر است. زیرحوضه‌های رودخانه کرخه شامل گاماسیاب، قره‌سو، سیمره، کشکان و کرخه پایینی می‌باشد [٦ و٧].

سد مخزنی کرخه یکی از بزرگترین سدهای خاکی دنیا و بزرگترین سد ایران و خاورمیانه به شمار می‌رود. این سازه هیدرولیکی عظیم در ٢٠ کیلومتری شمال غربی شهرستان اندیمشک بر روی رودخانه کرخه در رشته کوه‌های زاگرس واقع شده است. این سد در فاصله زمانی سال‌های ١٣٧٠ الی ١٣٧٩ بر روی رودخانه کرخه احداث گردیده است.

رودخانه کرخه سومین رودخانه کشور از نظر آبدهی و طول مسیر می‌باشد. طول رودخانه کرخه از سرچشمه (دامنه زاگرس) تا تالاب هور العظیم واقع در مرز بین ایران و عراق حدود ١١٠٠ کیلومتر می‌باشد. عمق آن نیز به طور متوسط بین ٤ تا ٦ متر در طول مسیر رودخانه متغیر است.

محدوده‌ای از رودخانه ی کرخه که در این پژوهش مورد مطالعه قرار گرفته است در پایین دست سد مخزنی کرخه قرار دارد. به دلیل فقدان ایستگاه آب سنجی در حدفاصل ایستگاه‌های آب سنجی پای پل و عبدالخان، محدوده مورد پژوهش به طول تقریبی ٩٤ کیلومتر و در حدفاصل دو ایستگاه ذکر شده در نظر گرفته شد و از اطلاعات هندسی و هیدرومتری (جریان و رسوب) این ایستگاه‌ها در این پژوهش استفاده شده است. شکل١ محدوده مورد مطالعه در استان خوزستان و شکل٢ نیز نمایی از محل ایستگاه‌های آب‌سنجی پای پل و عبدالخان را نشان می‌دهد.

شکل ١- نمایی از محدوده مورد مطالعه در پژوهش

Fig 1. The reach under study

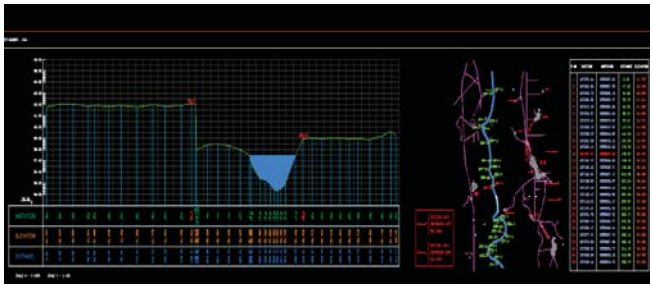
دوره شبیه سازی این پژوهش ١٢ سال و بین سال‌های آبی ٨١-١٣٨٠ تا ٩٢-١٣٩١ (٢٠١٣- ٢٠٠١ میلادی) درنظر گرفته شده است. در طول مسیر رودخانه کرخه از بالادست (محل ایستگاه پای پل) تا پایین دست (محل ایستگاه عبدالخان) از اطلاعات هندسی ١٤٠ مقطع عرضی استفاده شده است. کدگذاری مقاطع عرضی رودخانه کرخه براساس نقشه اصلی مورد استفاده در این پژوهش صورت گرفته است و مقطع پای پل در بالادست دارای شماره ی ٢٢٨ و مقطع عبدالخان در پایین دست محدوده، شماره‌ی ٩١ می‌باشد. فاصله مقاطع از هم به طور متوسط ٦٥٠ متر می‌باشد. شکل٣ نمونه‌ای از مقطع عرضی مورد استفاده در این تحقیق را نشان می‌دهد.

سری زمانی دبی رودخانه کرخه در محل ایستگاه پای پل در بالادست نیز به صورت شکل٤ است.

نمونه‌ای از منحنی‌های دانه بندی مصالح بستر رودخانه کرخه در بالادست و پایین دست محدوده مورد مطالعه نیز مطابق شکل٥ است. منحنی‌های دانه بندی ذرات رسوبی رودخانه کرخه براساس آمار و اطلاعات نمونه‌های رسوبی رودخانه در محل ایستگاه‌های

شکل ٢-ایستگاه‌های آب سنجی پای پل (سمت راست) و عبدالخان (چپ)

Fig 2. Paye-Pol(right) and Abdoulkhan (left) hydrometrics gauges



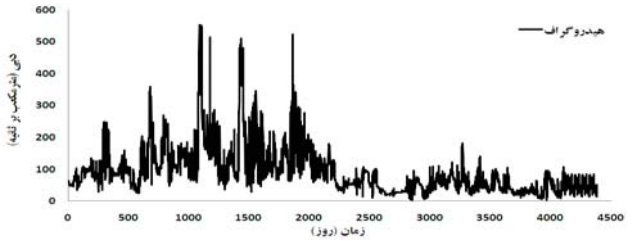
شکل ٣- نمونه شکل هندسی مقطع عرضی رودخانه کرخه

Fig 3. A cross section of Karkheh river

آب سنجی و برخی مناطق برداشت شده در طول مسیر و با کمک نرم‌افزار تحلیل دانه بندی ذرات رسوبی (ماکرو) Gradistat ٤,٠ تهیه شده است.

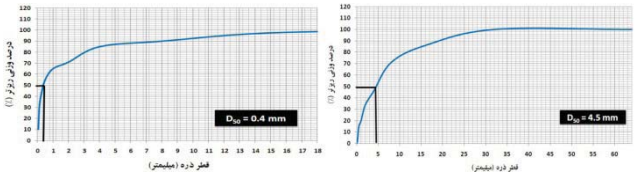
منحنی سنجه رسوب معلق ایستگاه آب سنجی پای پل نیز مطابق شکل٦ است.

مدل عددی HEC-RAS توسط سازمان مهندسین ارتش آمریکا ارائه شده است، این مدل از نظر شبیه سازی رسوب در واقع نسخه ی تکمیل یافته مدل HEC-6 است. نسخه‌های ابتدایی مدل در سال ۱۹۹۵ ارائه گردید و در حال حاضر این مدل ریاضی دارای قابلیت‌های شبیه سازی جریان ماندگار، جریان متغیر تدریجی، کنترل کیفیت آب و انتقال رسوبات می‌باشد. نسخه مورد استفاده در این پژوهش نسخه ی ٤/١ مدل HEC-RAS است که در بخش شبیه سازی رسوب این مدل جریان را به صورت شبه غیرماندگار در نظر



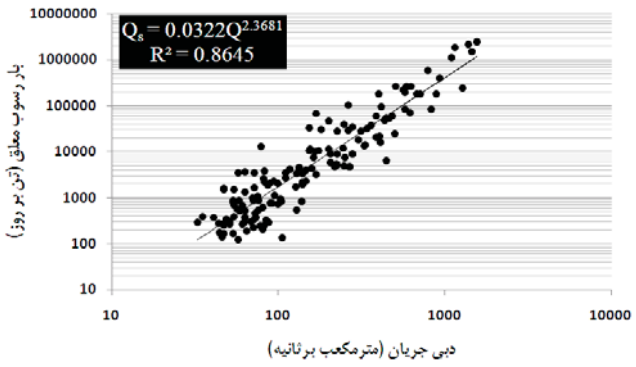
شکل ٤- سری زمانی دبی ورودی بالادست رودخانه کرخه

Fig 4. Inflow discharge time series at upstream of dam



شکل٥- منحنی دانه بندی رسوبات بستر رودخانه کرخه در محل ایستگاه‌های پای پل (راست) و عبدالخان (چپ)

Fig 5. Bed material Particles size distribution at Paye-Pol (right) and Abdoulkhan (left) stations



شکل٦- رابطه دبی جریان و دبی رسوب معلق ایستگاه پای پل

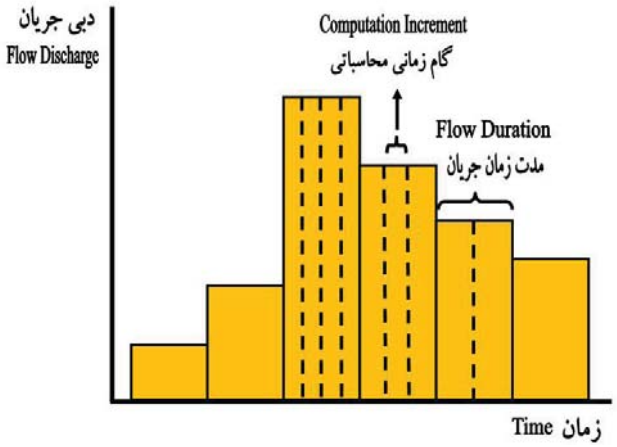
Fig 6. Relation between flow and suspended load at Paye-Pol station

می‌گیرد. جریان شبه غیرماندگار، سری زمانی دبی پیوسته جریان را به صورت یک سری زمانی دبی گسسته و پلکانی در نظر می‌گیرد و در هر بازه زمانی مقادیر جریان ثابت و ماندگار در نظر گرفته می‌شود [٨ و ٩]. شکل٧ مفهوم جریان شبه غیرماندگار در مدل HEC-RAS را بیان می‌کند.

حجم کنترل رسوبی که مدل HEC-RAS برای هر مقطع عرضی جهت انجام محاسبات در نظر می‌گیرد به صورت شکل٨ است.

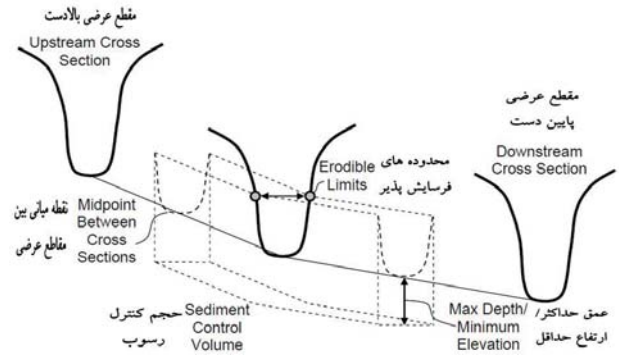
معادله انرژی، معادلات پیوستگی جریان و اندازه حرکت و معادله پیوستگی رسوب از اصلی ترین معادلات حاکم بر مدل HEC-RAS می‌باشد. در این مدل از شش تابع انتقال بارکل رسوب و چهار معادله محاسبه سرعت سقوط ذرات رسوبی استفاده می‌شود. برخی از ویژگی‌های معادلات انتقال رسوب مورد استفاده در مدل HEC-RAS به شرح جدول١ است.

روند کار مدل HEC-RAS بدین صورت است که برای هریک از قطعه‌های جریان ماندگار، نیم رخ سطح آب محاسبه می‌شود و با استفاده از آن سرعت جریان، شیب خط انرژی، عمق جریان و سایر



شکل ٧- مفهوم جریان شبه غیرماندگار در مدل HEC-RAS

Fig 7. Concept of semi-unsteady flow in HEC-RAS



شکل ٨- نمای شماتیک حجم کنترل رسوبی مقطع عرضی در مدل HEC-RAS

Fig 8. Schematic of sediment control volume in cross section of river in HEC-RAS

جدول۱-ویژگی‌های تابع‌های انتقال بار کل رسوب

Table 1. Characteristics of transport function for total sediment load

تابع بارکل رسوب	نوع دانه بندی	توضیحات
Function of Total Sediment Load	Type of Gradation	Description
آکرز-وایت 1973 Ackers-White	ماسه-شن Sand-Gravel	رابطه براساس پارامترهای بدون بعد است. بخشی از تنش برشی در حرکت ذرات درشت و کل تنش برشی در حرکت ذرات ریزدانه موثر است. / The equation is based on dimensionless parameters. Coarse particles moving by the part of effective bed shear stress and Fine particles moving by the total bed shear stress.
انگلوند-هانسن Engelund-Hansen 1972	ماسه Sand	رابطه براساس تحقیقات آزمایشگاهی حاصل شده است. / Equation is resulted by laboratory research.
لارسن Larsen 1958	سیلت تا شن Silt-Gravel	رابطه بین مشخصات جریان و دبی رسوب می‌باشد و براساس مطالعات آزمایشگاهی به دست آمده است. / Equation is on basis of the characteristics of the flow and sediment transport, Equation is the result of laboratory research.
توفالتی Toffaleti 1968	ماسه Sand	عمق رودخانه به چهار ناحیه فوقانی، میانی، تحتانی و مجاور بستر تقسیم شده است و رابطه اساس آزمایشگاهی دارد. / River depth is divided into four sections; upper part, middle part, lower part and near bed part, Equation is the result of laboratory research.
یانگ Yang 1973	ماسه تا شن Sand-Gravel	مقدار بار مواد بستر به میزان استهلاک انرژی بستگی دارد. رابطه به سرعت سقوط ذرات و سرعت جریان حساس است. / Bed sediment load is dependent on energy loss, Equation is sensitive to the velocity flow and Particle fall velocity.
ویلکاک Wilcock 2001	ماسه تا شن Sand-Gravel	توانایی انتقال رسوب با افزایش ذرات درشت دانه تر مثل ماسه بیشتر می‌شود و رابطه براساس مطالعات آزمایشگاهی و صحرایی حاصل شده است. / Sediment transport capacity increases with increasing the sand particles, Equation is the result of laboratory and field work research.

پارامترهای هیدرولیکی در هریک از مقاطع عرضی به دست می‌آید. سپس نرخ انتقال رسوب در هریک از این مقاطع محاسبه می‌شود که این نرخ بیان گر میزان رسوبات انتقالی از هر مقطع عرضی در طول زمان است. سپس میزان فرسایش یا رسوب گذاری در هر مقطع نیز محاسبه خواهد شد و با استفاده از آن تغییرات حاصل در مقاطع هندسی رودخانه برای بازه زمانی مورد نظر بدست می‌آید و همین روند محاسباتی برای بازه زمانی بعدی نیز تکرار می‌شود [8 ,7].

واسنجی مدل، انطباق مقادیر محاسبه شده توسط مدل با مقادیر اندازه گیری شده در ایستگاه‌های آب سنجی است. در هیدرولیک از دبی جریان و تراز سطح آب جهت واسنجی استفاده می‌گردد. ضریب زبری مانینگ عامل واسنجی مدل در بخش جریان است بدین صورت که با تغییر این ضریب در محدوده مجاز سعی بر نزدیک تر شدن مقادیر محاسباتی مدل و مشاهداتی ایستگاه آب سنجی می‌شود. در مورد رودخانه کرخه، ابتدا با توجه منحنی‌های دانه بندی در طول

مسیر رودخانه و اندازه ذرات رسوبی به کمک روش‌های تجربی اقدام به تخمین مقادیر اولیه ضریب زبری مانینگ شده است. جدول۲ روش‌های تجربی تخمین ضریب زبری را نشان می‌دهد.

سپس با اجرای مدل و تغییر مقادیر ضریب زبری مانینگ در محدوده ی مجاز و استفاده از تراز سطح آب محاسباتی و مشاهداتی در محل ایستگاه عبدالخان در پایین دست محدوده واسنجی مدل بررسی گردید. در نهایت برای رودخانه کرخه در محدوده مطالعاتی مذکور مقدار ۰/۰۲۵۲ برای مجرای اصلی و مقدار ۰/۰٤٤ برای سیلاب دشت به عنوان ضریب زبری مانینگ در نظر گرفته شد.

در این پژوهش علاوه بر واسنجی هیدرولیکی مدل HEC-RAS، در بخش شبیه سازی رسوبی، صحت سنجی تابع‌های انتقال رسوب، پیش بینی تغییرات خط القعر رودخانه کرخه، تعیین بار کل رسوب و همچنین جابه جایی‌های پلان و راستای رودخانه مورد بررسی قرار گرفته است.

خط القعر مبنای هندسی مقطع عرض رودخانه محسوب می‌شود. خط القعر می‌تواند نشان گر فرسایش پذیر یا رسوب گذار بودن مقطع و مجرای رودخانه باشد، و در مباحثی مانند کشتیرانی و قایق رانی، پایداری سواحل و غیره دارای اهمیت می‌باشد. خط القعر در طی زمان بر اثر فرآیندهای رودخانه‌ای دستخوش تغییرات خواهد شد. این تغییرات به شکل بالا آمدن تراز خط القعر یا گود شدگی آن روی می‌دهد.

بار کل رسوب رودخانه حاصل جمع بار بستر و بار معلق رودخانه است و یکی از پارامترهای مهم هیدرولیک رسوب می‌باشد و معیاری پراهمیت در بسیاری از طرح‌های مهندسی رودخانه است، به همین دلایل برآورد آن می‌تواند نقشی موثر در پیش بینی رفتار هیدرولیکی و رسوبی رودخانه داشته باشد. در مورد رودخانه کرخه براساس مطالعه پژوهش‌های گذشته بار بستر رودخانه به صورت ده درصد بار معلق درنظر گرفته شده است.

در پایان بخش نتایج بار کل رسوب، به منظور مقایسه نتایج حاصل از مدل HEC-RAS با مقادیر مشاهداتی از معیار ناش–ساتکلیف استفاده شده است. این معیار یکی از معیارهای کاربردی در جهت مقایسه مقادیر محاسباتی و مشاهداتی در علوم مهندسی می‌باشد و فرمول این معیار به صورت زیر است.

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(ESTi - OBSi)^2}{\sum_{i=1}^{n}(OBSi - \overline{OBS})^2} \qquad (۱)$$

که در این رابطه $ESTi$ مقادیر محاسباتی و $OBSi$ مقادیر مشاهداتی می‌باشد.

همچنین یکی از معیارهای مهم در بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه‌ها بررسی تغییرات مربوط به پلان و راستای رودخانه است. پلان یک رودخانه در اثر عوامل مختلف با گذر زمان دچار تغییراتی می‌شود. این تغییرات می‌تواند به صورت جابه جایی محور مرکزی رودخانه خود را نشان دهد. به طور کلی در مورد راستای رودخانه کرخه می‌توان گفت که از نظر شکل پلان، رودخانه کرخه کمتر دارای مسیر مستقیم بوده است و بیشتر قسمت‌های رودخانه دارای قوس‌های متوالی و منظم یا نامنظم بوده و در طبقه بندی رودخانه‌های پیچان رودی قرار می‌گیرد. در بخش‌هایی از مسیر رودخانه نیز حالت شریانی و جزیره‌ای به خود گرفته است که نسبت به خصوصیات رودخانه‌های پیچان رودی کمتر اتفاق افتاده است. در بخش نتایج، به بررسی این مشخصه ی رودخانه کرخه نیز پرداخته می‌شود.

نتایج

۱- شبیه‌سازی رسوبی و صحت سنجی تابع‌های انتقال رسوب با فراهم ساختن اطلاعات مورد نیاز مدل HEC-RAS جهت انجام شبیه سازی رسوبی رودخانه در شرایط جریان شبه غیرماندگار و اجرای مدل لازم است تا نتایج اولیه تابع‌های انتقال رسوب مدل مورد صحت سنجی قرار گیرند. برای این منظور از پیش بینی و تخمین شکل هندسی مقاطع عرضی محل ایستگاه‌های آب سنجی پای پل و عبدالخان استفاده شده است. از همین روی مقطع ابتدا و انتهای

جدول ۲- مقادیر تخمینی ضریب زبری مانینگ با روش‌های مختلف

Table 2. Estimated manning roughness for different methods of estimation

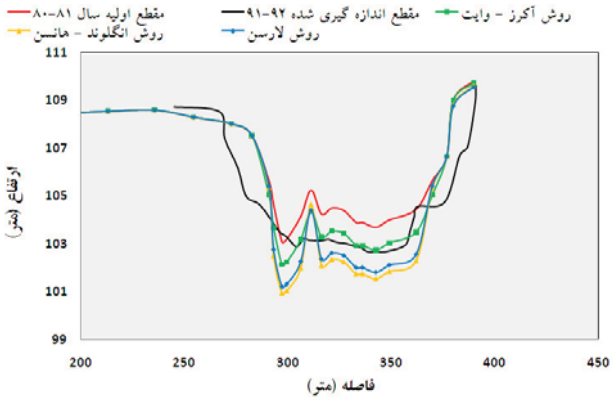
برآورد Estimates	فرمول Equation	نام روش	Method
0.022	$(D_{50}^{1/6})/21.1$	استریکلر	Srickler, 1923
0.036	$(D_{90}^{1/6})/26$	مولر	Mouler 1948
0.011	$(D_{50}^{1/6})/46.9$	کولیگان[۱]	Koligan(1) 1949
0.014	$(D_{90}^{1/6})/49$	کولیگان[۲]	Koligan(2) 1949
0.018	$(D_{65}^{1/6})/29.3$	کولیگان[۳]	Koligan(3) 1949
0.025	$(D_{75}^{1/6})/39$	لین و کارلسون	Line & Karlson 1953

زمانی مورد مطالعه با شکل هندسی مقطع حاصل از شبیه سازی مقایسه می‌شوند و روش‌هایی که بهترین پیش بینی را در تغییرات شکل هندسی مقطع داشته است، انتخاب می‌گردد. شکل‌های ۹ و ۱۰ تخمین شکل هندسی تغییر یافته در پایان دوره شبیه سازی برای مقاطع پای پل و عبدالخان را با استفاده از تابع‌های انتقال رسوب برتر نشان می‌دهد.

با توجه به شکل‌های ۹ و ۱۰ مشاهده می‌شود که روش‌های آکرز- وایت، لارسن و انگلوند – هانسن پیش بینی بهتری را نسبت به سایر تابع‌های انتقال رسوب داشته اند و بر همین اساس این سه روش مبنای محاسبات بعدی رسوبی رودخانه کرخه قرار می‌گیرند.

۲- تغییرات خط القعر رودخانه

در بخش پیش بینی تغییرات خط القعر رودخانه کرخه، به علت طولانی بودن مسیر رودخانه، محدوده مورد مطالعه به سه زیر بازه تقسیم می‌شود و با استفاده از روش‌های مختلف در مدل HEC-RAS نتایج پیش بینی تراز خط القعر رودخانه کرخه به صورت



شکل ۹- تغییرات شکل هندسی مقطع پای پل با تابع‌های برتر

Fig 9. Cross section geometrics changes at Paye-Pol using best relation equations

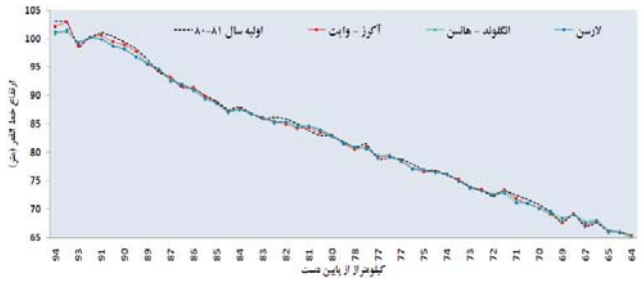
شکل ۱۰- تغییرات شکل هندسی مقطع عبدالخان با تابع‌های برتر

Fig 10. Cross section geometrics changes at Abdolkhan using best relation equations

شکل‌های ۱۳،۱۱،۱۲ می‌باشد.

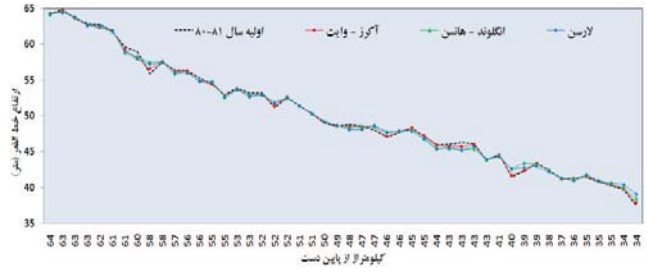
برای درک بهتر پیش بینی تغییرات خط القعر رودخانه کرخه در محدوده مورد مطالعه، با استفاده از روش‌های مختلف، نتایج هر یک از تابع‌های انتقال رسوب جداگانه نمایش داده می‌شود، نتایج پیش بینی خط‌القعر رودخانه کرخه در این محدوده به صورت ستونی نیز مطابق شکل‌های۱۵،۱٤،۱٦ است.

همان طور که در شکل‌ها مشاهده می‌شود در بالادست رودخانه حالت فرسایش پذیر بودن مقاطع نسبت به رسوب گذار بودن بیشتر است ولی در بخش‌های میانی و انتهایی محدوده تقریباً حالت تعادلی بین فرسایش و رسوب گذاری دیده می‌شود، با رها شدن آب زلال به پایین دست سد مخزنی و قدرت حمل رسوب بالای این جریان، ایجاد شرایط فرسایشی در بستر رودخانه کرخه در مناطق بالادست بازه ی مورد مطالعه بیشتر مشاهده شده است.



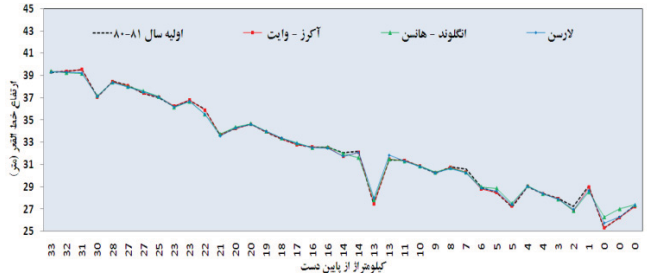
شکل ۱۱- تغییرات خط القعر رودخانه کرخه در بازه اول با استفاده از مدل‌های مختلف

Fig 11. Karkheh thalweg line changes in first reach using different equations



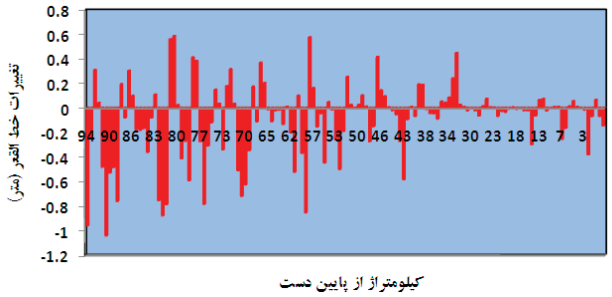
شکل ۱۲- تغییرات خط القعر رودخانه کرخه در بازه دوم

Fig 12. Karkheh thalweg line changes in second reach



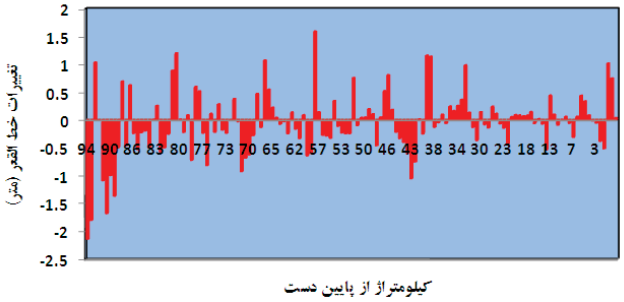
شکل ۱۳- تغییرات خط القعر رودخانه کرخه در بازه سوم

Fig 13. Karkheh thalweg line changes in third's reach



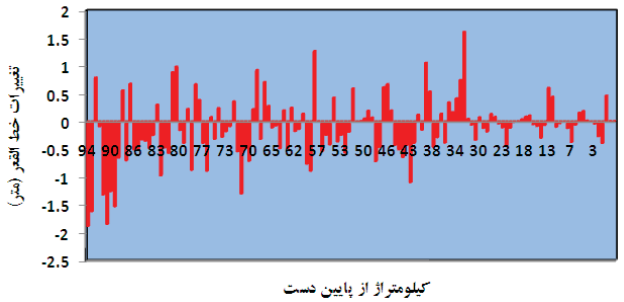
شکل ١٤- مقادیر فرسایش و یا رسوب در مقاطع مختلف با روش آکرز- وایت

Fig 14. Amount of erosion or sediment at cross sections using Akers-White's equation



شکل ١٥- مقادیر فرسایش و رسوب یافته مقاطع مختلف با روش انگلوند-هانسن

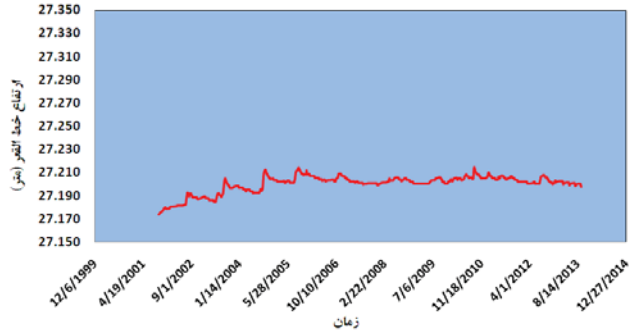
Fig 15. Amount of erosion or sediment at cross sections using Engelund-Hansen's equation



شکل ١٦- مقادیر فرسایش و رسوب در مقاطع مختلف با روش لارسن

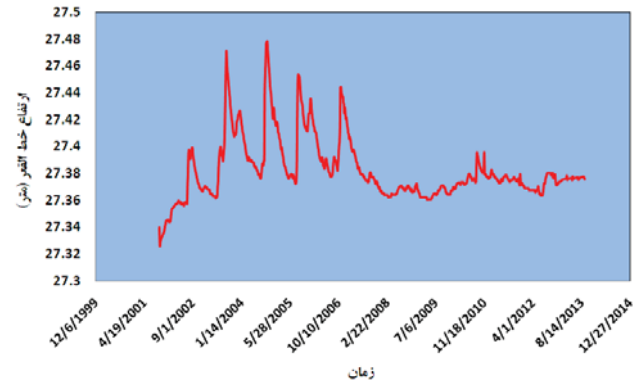
Fig 16. Amount of erosion or sediment at cross sections using Laurnson's equation

یکی دیگر از خروجی‌های نرم‌افزار HEC-RAS در بخش خط القعر، برآورد میزان تغییرات خط القعر محل مقاطع عرضی در دوره شبیه‌سازی است. شکل‌های ١٩،١٧،١٨ تغییرات خط القعر مقطع ایستگاه آب سنجی عبدالخان را با روش‌های مختلف نشان می‌دهد. در روش آکرز-وایت تقریباً پیش بینی خط القعر مقطع عبدالخان



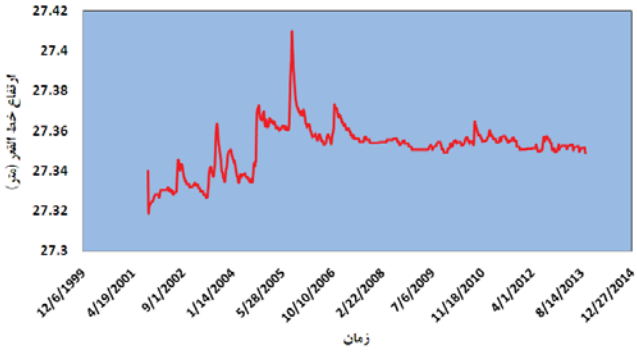
شکل١٧- تغییرات خط القعر مقطع عبدالخان با روش آکرز- وایت

Fig 17. River thalweg line changes at Abdoulkhan section using Akers-White's equation



شکل١٨- برآورد تغییرات خط القعر مقطع عبدالخان با روش انگلوند-هانسن

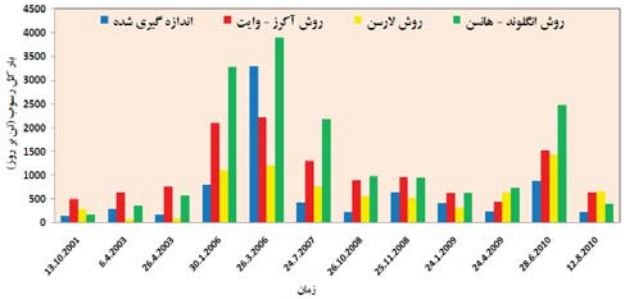
Fig 18. River thalweg line changes at Abdoulkhan section using Engelund-Hansen's equation



شکل١٩- تغییرات خط القعر مقطع عبدالخان با روش لارسن

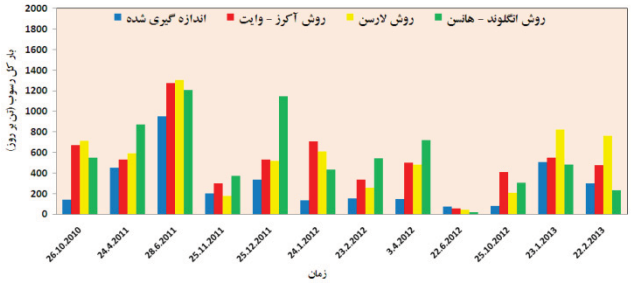
Fig 19. River thalweg line changes at Abdoulkhan section using Laurnson's equation

به صورت ثابت و بدون تغییر بوده است، در حالی که در روش‌های انگلوند-هانسن و لارسن در ابتدای دوره شبیه سازی حالت رسوب گذاری بیشتر دیده می‌شود و در انتهای بازه زمانی روند ثابت مشاهده می‌گردد.



شکل ۲۰- برآورد بارکل رسوب با روش‌های مختلف در ایستگاه عبدالخان

Fig 20. Total sediment load estimated at abdoulkhan gauge station using different equations



شکل ۲۱- برآورد بارکل رسوب با روش‌های مختلف در ایستگاه عبدالخان

Fig 21. Total sediment load estimated at abdoulkhan gauge station using different equations

۳- بارکل رسوب

شکل‌های ۲۰ و ۲۱ به عنوان نمونه با استفاده از تابع‌های انتقال رسوب در مدل HEC-RAS، در روزهای خاصی از بازه زمانی شبیه سازی، برآورد بارکل رسوب رودخانه را بعد از احداث سد مخزنی کرخه در محل ایستگاه آب سنجی عبدالخان نشان می‌دهد.

همان طور که در بخش مواد و روش‌ها اشاره گردید، به منظور ارزیابی نتایج بارکل رسوب با استفاده از تابع‌های مختلف از معیار ناش-ساتکلیف استفاده می‌شود. جدول ۳ نتایج حاصل از این مقایسه را برای تابع‌های انتقال رسوب برتر نشان می‌دهد.

این معیار محدوده‌ای از منهای بینهایت تا یک را در بر می‌گیرد و هر چه این ضریب به عدد یک نزدیک تر باشد، نشان دهنده ی مطلوب تر بودن نتایج می‌باشد. از این رو می‌توان نتیجه گرفت که به ترتیب روش‌های آکرز-وایت، لارسن و انگلوند-هانسن بهترین پیش بینی را در مورد برآورد بارکل رسوب در مقطع پایین دست داشته اند.

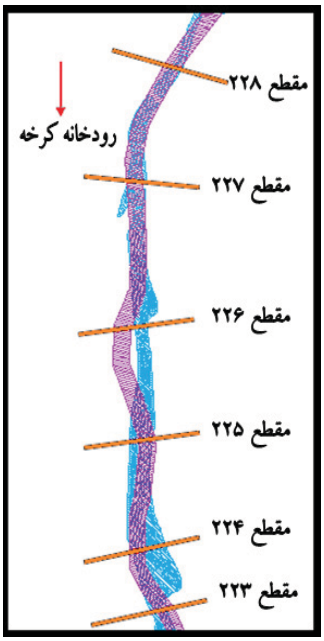
٤- جابه جایی پلان رودخانه

جهت بررسی تغییرات مورفولوژیکی رودخانه کرخه از دو نقشه ی پلان رودخانه که مربوط به دو دوره ی متفاوت می‌باشد و با فرمت اتوکد با مقیاس ۱:۵۰۰۰۰ استفاده شده است. این پلان‌ها با استفاده از

جدول۳- مقادیر معیار ناش-ساتکلیف تابع‌های انتقال رسوب

Table 3. Nash-Sutcliffe index for different sediment transport equations

معیار ناش-ساتکلیف Nash-Sutcliffe Index	آکرز- وایت Akers- White	لارسن Laurnson	انگلوند- هانسن Engelund-Hansen
NE	0.74	0.61	0.43



شکل ۲۲- مقایسه پلان‌های رودخانه کرخه قبل و بعد از ساخت سد

Fig 22. comparison of Karkheh river platform before and after Dam construction

نقشه برداری صحرایی تهیه شده است و توسط سازمان آب و برق خوزستان انجام گرفته است که پلان آبی رنگ مربوط به شرایط پیش از احداث سد یعنی سال آبی ۷۷-۱۳۷٦ است و پلان دوم یا بنفش رنگ محدوده مورد مطالعه در شرایط پس از احداث سد و در سال آبی ۸٦-۱۳۸۵ را نشان می‌دهد. برای بررسی تغییرات پلان رودخانه کرخه خط مرکزی مجرای رودخانه مبنای کار قرار گرفته است و از محل مقاطع عرضی در مسیر رودخانه که دارای مختصات جهانی UTM می‌باشند به عنوان شاخص مقایسه تغییرات پلان رودخانه در دو نقشه استفاده شده است. به عنوان نمونه در شکل۲۲ که بازه‌ای از محدوده مورد مطالعه در حدفاصل مقاطع شماره ی ۲۲۸ و ۲۲۳ که به ترتیب در فاصله ی ۹٤ و ۹۱ کیلومتری از ایستگاه عبدالخان قرار دارد، انتخاب شده است. مشاهده می‌شود که پلان رودخانه در مقاطع ۲۲۸ و ۲۲۷ بدون جابه جایی بوده است ولی در سایر مقاطع عرضی این محدوده تغییرات مکانی دیده می‌شود. میزان این تغییرات و جابه جایی‌ها با کمک محور مرکزی رودخانه و مختصات محل مقاطع عرضی به دست آمده است. جدول٤ مقادیر جابه جایی مربوط

جدول٤- میزان جابه جایی محور مرکزی رودخانه کرخه در محدوده مورد نظر

Table 4. Amount of river center line movement in study river reach

شماره مقطع No. Cross section	مختصات (UTM)سال۷۷-۱۳۷۶ 1997-98	مختصات (UTM) سال۸۶ -۱۳۸۵ 2006-2007	میزان جابه جایی (متر) Movement(m)
226	231830 3588148	231710 3588129	120
225	231835 3587422	231875 3587425	40
224	231913 3586638	231811 3586612	105
223	231937 3586344	231952 3586351	16

به محور مرکزی رودخانه را در این زیربازه نشان می‌دهد.

بحث و نتیجه‌گیری

در بخش جریان رودخانه کرخه، همان طور که از سری زمانی دبی (شکل٤) مشخص است، وقوع مقادیر دبی‌های بالا در سال‌های آغازین دوره شبیه سازی تحقیق در رودخانه کرخه و ایستگاه پای پل در بالادست بیشتر اتفاق افتاده است در حالی که در سال‌های پایانی بازه زمانی مورد مطالعه به شدت کاهش یافته است و این تغییرات براثر کاهش میزان بارش در سطح حوضه آبریز کرخه و خشکسالی‌های اخیر کشور بوده است.

در بخش نتایج رسوبی، از مقایسه منحنی‌های دانه بندی مصالح بستر رودخانه کرخه و بررسی منحنی‌های طول مسیر رودخانه نتیجه می‌شود که در بخش‌های بالادست محدوده مورد مطالعه مواد بستر درشت دانه تر هستند و به سمت پایین دست مواد بستر ریزدانه تر می‌شوند. به بیان دیگر مواد بستر رودخانه کرخه در محل نزدیک به سد مخزنی کرخه دارای اندازه ی متوسط ذرات بزرگتری نسبت به قسمت‌های پایاب رودخانه می‌باشد، که دلیل این موضوع می‌تواند وضعیت فرسایش پذیری بیشتر رودخانه در بالادست بازه ی مورد مطالعه باشد، به طوری که فرسایش پذیری رودخانه در بالادست و نزدیکی سد مخزنی که ناشی از رهاشدن جریان با آب زلال رودخانه کرخه است موجب درشت دانه تر شدن ذرات مصالح بستر رودخانه شده است.

در بحث پیش بینی تغییرات شکل هندسی مقطع عرضی ای ستگاه‌های آب سنجی پای پل و عبدالخان در بازه ی زمانی ۱۲ ساله ی مطالعاتی، روش‌های آکرز- وایت، لارسن و انگلوند- هانسن با دقت بهتری تغییرات را پیش بینی کرده اند. بخشعلی پور - قمشی [٥] در سال ۹۰ که از مدل GSTARS استفاده کردند، طی تحقیقی در محدوده‌ای از رودخانه کرخه (پای پل - حمیدیه) در بین سال‌های ۸۸-۱۳۷۷ روش آکرز - وایت را در پیش بینی تغییرات شکل هندسی مقاطع رودخانه مناسب تر معرفی کردند. همچنین موحد - شفاعی بجستان [۱۲] با استفاده از نرم‌افزار MIKE-11 در سال ۸۷ نیز در تحقیقی در مورد رودخانه کرخه پایین دست سد کرخه از روش‌های انگلوند - هانسن و آکرز - وایت را در تخمین تغییر شکل مقاطع رودخانه کرخه معرفی نمودند. بنابراین نتایج مطالعات آنها با نتایج به دست آمده در این تحقیق همخوانی داشته و یکدیگر را تأیید می‌کنند. همچنین آذرنگ وشفاعی بجستان [٤] نیز که از مدل HEC-RAS برای شبیه سازی رودخانه کارون استفاده نمودند، تابع‌های انتقال رسوب انگلوند-هانسن و آکرز-وایت را در پیش بینی تغییرات شکل هندسی مقاطع رودخانه کارون معرفی کردند، که این موضوع می‌تواند کاربردی بودن مدل HEC-RAS و به ویژه تابع‌های انتقال رسوب انگلوند-هانسن و آکرز-وایت را در سطح رودخانه‌های استان خوزستان نشان دهد.

در مورد پیش بینی تغییرات خط القعر بستر رودخانه کرخه در طول مسیر در صورت استفاده از روش آکرز - وایت، ۱/۰٤ متر فرسایش در مقطع ۲۲۳ در فاصله ی ۹۱ کیلومتری از پایین دست رودخانه بیشترین میزان تغییر بوده است. همچنین در روش لارسن مقدار ۱/۸۷ متر کنش در مقطع اول محدوده مطالعاتی برای تغییرات خط القعر تخمین زده شده است. و بالاخره در روش انگلوند - هانسن ۲/۱۳ متر فرسایش در مقطع ابتدایی رودخانه پیش بینی شده است.

همان طور که از نتایج مشاهده می‌شود بیشتر تغییرات در خط القعر رودخانه کرخه با روش‌های مختلف به صورت کاهش ارتفاع بستر و فرسایشی بوده است و مقدار این تغییرات در بخش‌های بالادست رودخانه و نزدیکی محل سد و تا بخش میانی بیشتر بوده است و در بخش‌های انتهایی بیشتر حالت افزایش ارتفاع و رسوب گذاری بستر وجود داشته است. در بالادست رودخانه و در نزدیکی سد مخزنی کرخه به علت رهاسازی آب زلال در پایین دست سد فرسایش بیشتری در بستر رودخانه روی می‌دهد، زیرا که آب زلال رها شده از سد دارای ظرفیت حمل رسوب بالایی است و برای تأمین بار رسوبی خود اقدام به فرسایش بستر رودخانه در این نواحی می‌کند [۲]. در بررسی تغییرات خط القعر مقطع عرضی محل ایستگاه آب سنجی عبدالخان در پایین دست محدوده مورد مطالعه، رسوب گذاری در پاره‌ای از موارد همراه با تغییرات اندک در خط القعر قابل مشاهده بوده است. در تحقیق بخشعلی پور و قمشی روش‌های آکرز – وایت و لارسن جهت پیش بینی تغییرات خط القعر رودخانه کرخه در محدوده ی پای پل – حمیدیه پیشنهاد شده است [۵]. با توجه به مقایسه نتایج بار کل رسوب محاسبه شده با مقادیر اندازه گیری در ایستگاه آب سنجی عبدالخان و استفاده از معیار ناش ساتکلیف در دوره ی شبیه سازی به ترتیب روش‌های آکرز – وایت، لارسن و انگلوند – هانسن بهترین نتایج را در برآورد بارکل رسوب پیش بینی کرده اند. موحد – شفاعی بجستان [۱۲] نیز در تحقیقاتی که انجام دادند، روش‌های انگلوند – هانسن و آکرز – وایت را در برآورد بارکل رسوب رودخانه کرخه در پایین دست سد مخزنی کرخه استفاده کردند و به عنوان بهترین روش معرفی نموده اند که نتایج این محققین، نتایج تحقیق پیش روی را تأیید می‌نماید.

در تحقیقی مشابه در رودخانه آجی چای واقع در پایین دست سد شهید مدنی شهر تبریز، اعلمی و همکاران [۱] با مدل HEC-RAS در سال ۱۳۸۸ شمسی روش لارسن را برای پیش بینی بارکل رسوبات مناسب تر معرفی کردند.

در مورد تغییرات پلان و راستای رودخانه کرخه در محدوده مورد مطالعه می‌توان به طور کلی گفت که رودخانه کرخه از ابتدای ایستگاه آب سنجی پای پل تا حوالی پایین دست شهرستان شوش دارای حرکتی با روند شمالی- جنوبی بوده است. در این قسمت، رودخانه کرخه با توجه به وضعیت زمین شناسی و وجود لایه‌های سخت از الگوی رودخانه‌های شریانی پیروی می‌کند. سپس پس از روستای شیخ شجاع یا شهید بهشتی رودخانه در جهت شمال غربی- جنوب شرقی تغییر مسیر می‌دهد و با توجه به بستر آبرفتی رودخانه، کاهش شیب و سرعت جریان از الگوی رودخانه‌های پیچان رودی تبعیت می‌نماید. همچنین با توجه به بررسی نقشه‌های توپوگرافی رودخانه کرخه مربوط به سال‌های ۷۷-۱۳۷۶ و ۸۶-۱۳۸۵ مشاهده می‌گردد پلان و محور مرکزی رودخانه کرخه در محدوده مورد مطالعه دارای جابه جایی‌هایی بوده است و هم به سمت غرب و هم به سمت شرق منتقل شده است. همچنین می‌توان گفت که میزان جابه جایی‌های محور مرکزی رودخانه کرخه از بالادست محدوده به سمت پایین دست محدوده مورد مطالعه بیشتر می‌شود.

نتیجه‌گیری

رودخانه کرخه با توجه به کاهش بارش در حوضه آبریز کرخه و خشکسالی‌های هیدرولوژیکی دچار کاهش شدید میزان دبی در سال‌های انتهایی دوره زمانی شبیه سازی شده است. به طور کلی می‌توان گفت که تابع‌های انتقال رسوب آکرز- وایت، لارسن و انگلوند- هانسن در رودخانه کرخه محدوده ی ایستگاه پای پل تا عبدالخان نسبت به روش‌های دیگر نظیر یانگ، توفالتی و ویلکاک پیش بینی بهتری در مورد پارامترهای رسوبی داشته اند، گواه این مطلب پیش بینی شکل هندسی مقاطع ایستگاه پای پل و عبدالخان در پژوهش بوده است. در این پژوهش پیش بینی تغییرات خط القعر رودخانه کرخه در طول محدوده ی مطالعاتی با استفاده از تابع‌های انتقال رسوب برتر انجام گرفت. با توجه به نتایج بارکل رسوب و نتایج پژوهش‌های دیگر محققین کشور در سایر مناطق می‌توان نتیجه گرفت که استفاده از تابع‌های انتقال رسوبی مانند آکرز-وایت، لارسن و انگلوند – هانسن می‌تواند برای سایر رودخانه‌های کشور نیز مناسب باشد. در انتهای پژوهش نیز تغییرات پلان رودخانه کرخه با استفاده از نقشه‌های مربوط به دو دوره ی زمانی مختلف انجام پذیرفت که با توجه به شرایط رودخانه و بهره برداری از سد مخزنی، شاهد ایجاد تغییرات در محور مرکزی رودخانه کرخه بوده‌ایم.

منابع

1. Akbarzadeh, N. Majdzadeh Tabatabaei, M. and Ghoreyshi Najafabadi, H. 2011. Validation functions to simulate sediment transport and hydraulic parameters sedimentation Shahid Abbas pour Reservoir Dam by uning HEC-RAS. 6th Congress of Civil Engineering. Semnan, Iran. (In Persian)

2. Alami, M. Ahmadian, M. and Teymouri Moghadam, A. 2009. The estimated changes in downstream of Shahid Madani Dam by using HEC-RAS 4.0. 8th International Seminar on River Engineering. Ahwaz. Iran. (In Persian)

3. Ashouri, M. Rezaei Moghadam, M. and Piri, Z. 2013. Changes in river morphology before and after dam construction by using HEC-RAS and GIS (Case Study: Downstream of the Sattar Khan dam). Natural Geography Research. 45(1): 87-100. (In Persian)

4. Azarang, F. and Mahmoud, Shafai Bajestan. 2015. Simulating the Erosion and Sedimentation of Karun Alluvial River in the Region of Ahvaz (Southwest Of Iran). American Journal of Engineering Research. 4(7): 233-245.

5. Bakhshalipour, S. and Ghomeshi, Mehdi. 2011. Effect Karkheh Dam on the river bed by using GSTARS3. 10th Conference of Iran

hydraulic. Gilan University. Iran. (In Persian)

6. Behan Sad Consulting Engineers. 2010. Karkheh Catchment Hydrology Report. (In Persian)

7. Behan Sad Consulting Engineers. 2010. Karkheh Catchment Climatology Report. (In Persian)

8. Brunner, G. US Army Corps of Engineers. 2008, HEC-RAS 4.0 Reference Manual Hydrologic Engineering Center.

9. Brunner, G. US Army Corps of Engineers. 2008, HEC-RAS 4.0 User's Manual, Hydrologic Engineering Center.

10. Chen, D. 2011. Modeling channel response to instream gravel mining. Sediment Transport Flow and Morphological Processes. 125-141.

11. Gibson, S. 2010. Mobile bed modeling if the Cowlitz river uning HEC-RAS: Assessing flooding risk and impact due to system sediment. 2nd Joint Federal Interagency Conference. Las Vegas. USA.

12. Movahed, I. Shafaei Bajestan, M. and Zahiri, A. 2009. Simulation of sediment transport and morphology by using MIKE 11 model (Case Study: Karkheh River Downstream of Reservoir Dam). 8th International Seminar on River Engineering. Ahwaz. Iran. (In Persian)

13. Pereira, J.F. McCorquodale, J.A. Meselhe, E.A. Georgiou, I.Y. and Allison, M.A. 2009. Numerical simulation of bed material transport in the lower Mississippi river. Journal of Coastal Research. Special Issue 56: 1449-1453.

14. Rahman, M. Shubhra, M. Kamal, P. and Rahman, M.M. 2014. Sustainability of a Dredged Channel for River Training: A Case Study Using Satellite Image and HEC-RAS 1D Model. Journal of Journal of Civil Engineeringand Architecture Research. 1(6): 414-427.

15. Shelley, J. Gibson, S. and Williams, A. Unsteady Flow and Sediment Modeling in a Large Reservoir Using HEC-RAS 5.0. Federal Interagency Sediment Conference. 2015.

نشریه علمی- پژوهشی
علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management
Science & Engineering
Vol. 10, No. 34, Fall 2016
سال دهم- شماره ۳۴- پاییز ۱۳۹۵

Abstract

Evaluating of Erosion and Sedimentation of Karkheh River at Downstream of Reservoir Dam

F. Azarang[1], A. Telvari[2], H. Sedghi[3] and M. Shafai Bajestan[4]

Received: 2015/02/14 Accepted: 2016/01/05

Karkheh, the third largest river of Iran, is high importance due to strategic environmental conditions caused by major water and agricultural projects, industrial and urban water supply. Since the probable morphological changes caused by the process of erosion and sedimentation of the river after dam construction and flooding can affect many water utilities such as ponds and irrigation channels, therefore in the present study, in a specific range of this river between hydrometric stations at the Paye-Pol and Abdolkhan, the process of erosion and sedimentation and some of its features such as changes in geodetic, cross-section shape of river and total sediment load were all examined and simulated using HEC-RAS model. The simulation period of this research was between 2001 to 2013. The results show that near Karkheh Reservoir Dam, which is upstream studying area the erosion condition of the river is higher but in the middle and lower areas of the river, less erosion can be seen. Furthermore, in the simulation of sediment transport functions Ackres-White, Larsen and Engelund-Hansen have offered better results regarding erosion and sedimentation changes of river. Also morphological studies of Karkheh River showed that construction of Reservoir Dam has failed to prevent the displacement of the central axis of Karkheh River. The results of this survey can be a good reference for the condition of Karkheh River and the effects of constructing Reservoir Dam on its condition for various engineering projects, dewatering and water transport.

Keywords: Simulation, HEC-RAS Model, Calibration, Sediment Transport, Central Axis of River.

1. Young Researchers and Elites Club, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran. Corresponding Author, Email: F.azarang@srbiau.ac.ir Farhang.azg@gmail.com.
2. Associate Professor of Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Islamic Azad University, Ahwaz, Iran .
3. Professor of Department of Water Science and Engineering, Science and Research Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran.
4. Professor of Department of Water Science and Engineering, Shahid Chamran University, Ahwaz, Iran .