

Investigation of the changes in the stream sedimentation pattern by creating a loop in the Karun River in the Zargan-Farsyat region

Farhoud Kalateh^{*1}, Ehsan Aminvash², Zahra Vakili³

1. Corresponding Author, Associate Prof., Dept. of Water Engineering and Hydraulic Structures, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: fkalateh@tabrizu.ac.ir
2. Ph.D. Student in Water Engineering and Hydraulic Structures, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: e.aminvash@tabrizu.ac.ir
3. M.Sc. Graduate in Hydraulic Structures, University of Tabriz, Tabriz, Iran. E-mail: zahra.vakili90@yahoo.com

Article Info

Article type:
Research Full Paper

Article history:
Received: 07.04.2023
Revised: 11.10.2023
Accepted: 11.27.2023

Keywords:
HEC-RAS mathematical model,
Mobile bed bed,
Open channels flow,
Sediment transfer,
Unsteady flow

ABSTRACT

Background and Objectives: The present research was carried out with the aim of investigating and determining sediment changes in the Karun River, in the Zargan-Farsyat region, taking into account the existing conditions and the time of formation of the ring. The simulation of the river at a distance of about 75 km in Zargan-Farsyat region was done using HEC-RAS model. One of the main and most important issues in the water sector is the supply of required water and its transfer. One of the factors that reduce the transfer efficiency is sedimentation in water transfer channels and irrigation facilities. Knowledge of sediments and their control is essential for water engineering specialists. Therefore, in this study, the pattern of flow and transport of sediments in the network of open channels has been examined. Also, in this study, in order to determine the changes in the flow and sedimentation pattern of the Karun River in the existing conditions and when the loop was created. Gibson et al. (2010) modeled the COWLITZ River with respect to the moving bed and used the HEC-RAS model for simulation. They did the modeling for the last 20 miles of the river because flooding was more likely due to sedimentation in this area. The purpose of this study was to investigate the effects of sedimentation on the increase of flood risk in the long term. The Laursen-Copeland relation was used in the sediment calculations because the sediments ranged from very fine sand to large rubble. They also stated that the ability to add bed particle size in 20 different classes has been added to the HEC-RAS model in version 4.1.

Materials and Methods: Karun River is one of the largest and longest rivers in Iran and collects the waters of vast areas of the country and finally leads to the Persian Gulf. The length of the Karun river is about 890 kilometers and the area of its watershed is 62570 square kilometers. The geographic location of this research is based on the UTM geographic system, around 32°22'33" to 17°45'32" north latitude and 48°22'40" to 19°57'48" east longitude. According to Figure 1, the total length of the studied route is about 75 km between Zargan and Farsiat and includes 155 cross sections, and the approximate length of the meander is 13.4 km. In order to simulate the hydraulic flow and sedimentation of the river by HEC-RAS model, geometric information (cross sections, distance of sections from the downstream control section, Manning's roughness coefficient and opening and narrowing coefficients), hydraulic information (flow information and water level level at the lower station) meteorological (water temperature) and sedimentary (related to flow-sediment discharge

and bed sediments granularity) is necessary. To calculate the sediment transport rate, various relationships are predicted in the model (Young, Eckers-White, England-Hansen, Larsen (Copeland), Meer-Peter and Muller, Tofalti and Wilcock) so that the user can find the appropriate relationship for the studied surface. They choose. Gibson et al. (2010) stated that the ability to add bed particle size in 20 different classes was added to the HEC-RAS model in version 4.1.

Results: Generally, it can be said that after the formation of the ring, the upstream distance (R1) of its sedimentation decreases from upstream to downstream until it undergoes erosion in the fork of the river and the middle distance (R2) changes from an erodible state to a sedimentary state, and the middle distance (R2) changes from the erodible state to the sedimentary state, and the distance downstream of the ring (R3) remains almost unchanged and shows very little tendency to erode. In section 21, if there is no ring, this section tends to erosion, and when the ring is created, it tends to sedimentation, which can be seen that at the end of the hydrograph, in the absence of a ring, there is approximately 1 cm of erosion on the bottom of the river. It has happened and in the case of the presence of a ring, 11 cm of sedimentation has taken place, and the amount of sedimentation reaches 23 cm almost in the middle of the hydrograph.

Conclusion: The middle part of the Karun River (R2) turns from erodible to sediment by creating a ring, which is the reason for the river's tendency to deposit sediment in this part after creating the ring. Also, the decrease in flow rate and as a result the decrease in flow speed in this section is due to the division of the flow of the two branches of the river upstream of this section. In general, it can be said that after the formation of the upstream interval ring (R1), its sediment decreases from upstream to downstream until it undergoes erosion in the fork of the river, and the middle interval (R2) changes from erodible to sedimentary, and the interval of the base ring (R3) remains almost unchanged and has very little tendency to erode.

Cite this article: Kalateh, Farhoud, Aminvash, Ehsan, Vakili, Zahra. 2024. Investigation of the changes in the stream sedimentation pattern by creating a loop in the Karun River in the Zargan-Farsyat region. *Journal of Water and Soil Conservation*, 30 (4), 147-164.



© The Author(s).

DOI: 10.22069/jwsc.2024.21528.3662

Publisher: Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

بررسی تغییرات الگوی رسوب‌گذاری جریان با ایجاد حلقه در مسیر رودخانه کارون در محدوده زرگان-فارسیات

فرهود کلاته*^۱، احسان امین‌وش^۲، زهرا وکیلی^۳

۱. نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: fkalateh@tabrizu.ac.ir

۲. دانشجوی دکتری آب و سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: e.aminvash@tabrizu.ac.ir

۳. دانش‌آموخته کارشناسی ارشد سازه‌های هیدرولیکی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران. رایانامه: zahra.vakili90@yahoo.com

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله کامل علمی-پژوهشی	سابقه و هدف: پژوهش حاضر با هدف بررسی و تعیین تغییرات رسوب در رودخانه کارون، در منطقه زرگان-فارسیات با در نظر گرفتن شرایط موجود و زمان ایجاد حلقه انجام گرفته است. شبیه‌سازی رودخانه در فاصله حدود ۷۵ کیلومتری در منطقه زرگان-فارسیات با استفاده از مدل HEC-RAS انجام شد. یکی از اصلی‌ترین و مهم‌ترین مسائل در بخش آب، تأمین آب موردنیاز و انتقال آن است. از عوامل کاهش‌دهنده راندمان انتقال، رسوب‌گذاری در کانال‌های انتقال آب و تأسیسات آبیاری است. علم شناخت رسوبات و کنترل آن‌ها برای متخصصان مهندسی آب امری ضروری است. بنابراین در این مطالعه به بررسی الگوی جریان و انتقال رسوبات در شبکه کانال‌های روباز پرداخته شده است. هم‌چنین در این مطالعه به منظور تعیین تغییرات الگوی جریان و رسوب رودخانه کارون در شرایط موجود و زمان ایجاد لوپ بررسی گردید. گیبسون و همکاران (۲۰۱۰) رودخانه COWLITZ را با توجه به بستر متحرک مدل‌سازی کردند و از مدل HEC-RAS برای شبیه‌سازی استفاده کرد. آن‌ها مدل‌سازی را برای ۳۳ کیلومتر آخر رودخانه انجام دادند زیرا احتمال سیل به دلیل رسوب‌گذاری در این منطقه بیش‌تر بود. هدف از این مطالعه بررسی اثرات رسوب‌گذاری بر افزایش خطر سیل در بلندمدت بود. رابطه Laursen-Copeland در محاسبات رسوب مورداستفاده قرار گرفت زیرا رسوبات از ماسه بسیار ریز تا قلوه‌سنگ‌های بزرگ متغیر بودند. هم‌چنین بیان کردند که قابلیت افزودن اندازه ذرات بستر در ۲۰ کلاس مختلف به مدل HEC-RAS اضافه شده است.
تاریخ دریافت: ۰۲/۰۴/۱۳ تاریخ ویرایش: ۰۲/۰۸/۱۹ تاریخ پذیرش: ۰۲/۰۹/۰۶	
واژه‌های کلیدی: انتقال رسوب، بستر متحرک، جریان غیرماندگار، شبکه کانال‌های روباز، مدل ریاضی HEC-RAS	
	مواد و روش‌ها: رودخانه کارون یکی از بزرگ‌ترین و طولی‌ترین رودخانه‌های ایران بوده و آب‌های مناطق وسیعی از کشور را جمع‌آوری نموده و در نهایت به خلیج فارس هدایت می‌کند. طول رودخانه کارون حدود ۸۹۰ کیلومتر و وسعت حوضه آبریز آن ۶۲۵۷۰ کیلومترمربع است.

موقعیت جغرافیایی این پژوهش در حدود عرض جغرافیایی $32^{\circ}22'33''$ تا $17^{\circ}45'32''$ شمالی و $48^{\circ}22'40''$ تا $19^{\circ}57'48''$ شرقی است. طول کل مسیر مورد مطالعه حدود ۷۵ کیلومتر بین زرگان و فارسیات و شامل ۱۵۵ مقطع عرضی و طول تقریبی پیچ‌وخم $13/4$ کیلومتر است. به منظور شبیه‌سازی جریان هیدرولیکی و رسوب‌گذاری رودخانه توسط مدل HEC-RAS، اطلاعات هندسی (مقاطع، فاصله مقاطع از بخش کنترل پایین‌دست، ضریب زبری مانینگ و ضرایب باز و باریک شدن)، اطلاعات هیدرولیکی (اطلاعات جریان و سطح تراز در ایستگاه پایین) هواشناسی (دمای آب) و رسوبی (مربوط به دبی جریان-رسوب و دانه‌بندی رسوبات بستر) ضروری است. برای محاسبه نرخ انتقال رسوب، روابط مختلفی در مدل پیش‌بینی شده است (یانگ، ایگرز- وایت، انگلند- هانسن، لارسن (کوپلند)، میر-پیتر و مولر، توفالتی و ویلکوک) تا کاربر رابطه مناسب برای روخانه مورد مطالعه را از میان آن‌ها انتخاب کند. گیسون و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند که قابلیت افزودن سایز ذرات بستر در ۲۰ کلاس مختلف به مدل HEC-RAS اضافه شده است.

یافته‌ها: به‌طور کلی می‌توان گفت که پس از تشکیل حلقه، فاصله بالادست (R1) رسوب‌گذاری آن از بالادست به پایین‌دست کاهش می‌یابد تا این‌که در دوشاخه رودخانه دچار فرسایش می‌شود و فاصله میانی (R2) از حالت فرسایش‌پذیر به حالت رسوبی تغییر می‌کند و فاصله پایین‌دست حلقه (R3) تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند و تمایل بسیار کمی به فرسایش نشان می‌دهد. در مقطع ۲۱ در صورت عدم ایجاد حلقه این مقطع تمایل به فرسایش دارد و در زمان ایجاد حلقه تمایل آن به سمت رسوب‌گذاری می‌باشد که می‌توان مشاهده کرد که در انتهای هیدروگراف در صورت عدم وجود حلقه تقریباً ۱ سانتی‌متر در کف رودخانه فرسایش اتفاق افتاده و در حالت وجود حلقه ۱۱ سانتی‌متر رسوب‌گذاری صورت گرفته است که میزان رسوب‌گذاری تقریباً در وسط هیدروگراف به ۲۳ سانتی‌متر می‌رسد.

نتیجه‌گیری: قسمت میانی رودخانه کارون (R2) با ایجاد یک حلقه از فرسایش‌پذیر به رسوبی تبدیل می‌شود که دلیل تمایل رودخانه به رسوب‌گذاری در این بخش پس از ایجاد حلقه را دارد. هم‌چنین کاهش میزان ورودی جریان و در نتیجه آن کاهش سرعت جریان در این بخش، ناشی از تقسیم جریان دوشاخه رودخانه در بالادست این بخش است. به‌طور کلی می‌توان گفت که پس از ایجاد حلقه بازه بالادست (R1)، رسوب آن از بالادست به پایین‌دست کاهش می‌یابد تا این‌که در دوشاخه رودخانه دچار فرسایش می‌شود و فاصله میانی (R2) از فرسایش‌پذیر به رسوبی تبدیل می‌شود و فاصله حلقه پایه (R3) تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند و تمایل بسیار کمی به فرسایش‌پذیری دارد.

استناد: کلاته، فرهود، امین‌وش، احسان، وکیلی، زهرا (۱۴۰۲). بررسی تغییرات الگوی رسوب‌گذاری جریان با ایجاد حلقه در مسیر رودخانه کارون در محدوده زرگان-فارسیات. *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۳۰ (۴)، ۱۶۴-۱۴۷.

DOI: 10.22069/jwsc.2024.21528.3662



© نویسندگان.

ناشر: دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

مقدمه

رسوب انتقال یافته توسط جریان آب عامل مهمی در شکل‌گیری هندسه و ویژگی‌های ریخت‌شناسی رودخانه‌ها به حساب می‌آید. هر گونه کاهش و یا افزایش بار رسوبی رودخانه پیامدهای مختلفی از جمله وقوع پدیده کف‌کنی و یا ترازافزایی، تغییر دانه‌بندی مصالح و شکل مسطح و نیم‌رخ طولی آن را به همراه دارد (۱). در اکثر اقدامات مهندسی رودخانه نیز باید به کمیت رسوب توجه ویژه داشت. چاو (۱۹۶۴) در خصوص اهمیت و جایگاه تعیین بار رسوبی تأکید می‌نماید که باوجود موانع در شناخت فرآیند انتقال رسوب هر اقدام مهندسی آب باید الزاماً با محاسبه بار رسوبی رودخانه همراه باشد که این ارزیابی شرایط قبل و بعد از اقدامات مهندسی را دربرمی‌گیرد (۲). چنین ارزیابی‌هایی مستلزم اندازه‌گیری میدانی و ثبت داده‌های رسوب است (۱). لین (۱۹۵۵) رابطه لین را که به رابطه اولیه انتقال رسوب معروف است را ارائه نمود. این رابطه بیان می‌کند که حاصل ضرب دبی رسوب و اندازه ذرات رسوب متناسب است با حاصل ضرب شیب و دبی جریان (۳). ویلکوک و کوران (۲۰۰۵) در گزارشی بیان نمودند که نتیجه برآورد انتقال رسوب در روخانه‌ها تا حد زیادی تحت تأثیر انتخاب نوع معادله رسوب می‌باشد. جهت انتخاب بهترین معادله باید علاوه بر رسم منحنی دانه‌بندی رسوبات بستر رودخانه، به مشاهدات میدانی رودخانه و اطراف آن نیز اقدام نمود (۴). شاهی‌نژاد و همکاران (۲۰۰۸)، روند رسوب‌گذاری و فرسایش در رودخانه کارون در محدوده شهر اهواز را با استفاده از مدل ریاضی GSTARS پیش‌بینی کردند. نتایج نشان داد که روابط رسوبی آیکرز- وایت و توفالتی نسب به روابط دیگر، برآورد بهتری را ارائه می‌کنند (۵). گیبسون و همکاران (۲۰۱۰) با در نظر گرفتن بستر متحرک به مدل‌سازی رودخانه COWLITZ پرداختند

و از مدل HEC-RAS جهت شبیه‌سازی استفاده نمودند. ایشان مدل‌سازی را برای ۲۰ مایل انتهایی رودخانه انجام دادند چراکه احتمال خطر سیلاب در اثر رسوب‌گذاری در این بازه بیش‌تر بود. هدف از این مطالعه، ارزیابی تأثیرات رسوب بر افزایش خطر سیلاب در بلندمدت بود. از رابطه Laursen-Copeland در محاسبات رسوب استفاده شد چرا که دانه‌بندی رسوبات از شن و ماسه بسیار ریز تا قلوه‌سنگ‌های بزرگ را شامل می‌شد (۶).

قمی اوپلی و همکاران (۲۰۱۰) شبیه‌سازی پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل HEC-RAS در رودخانه کارون را انجام دادند (۷). پیرو و همکاران (۲۰۱۲)، در پژوهشی به تحلیل رسوب رودخانه پرداختند. در این پژوهش از مدل HEC-RAS جهت انجام شبیه‌سازی‌ها استفاده شد (۸). هم‌چنین پژوهش‌گران دریافتند که برداشت شن و ماسه موجب تعلیق مواد رسوبی بستر می‌شود. فخری (۲۰۱۲) به بررسی رسوبات معلق و هم‌چنین بررسی ارتباط آن با شرایط رودخانه‌های استان خوزستان پرداخته است (۹). جهاندار ملک‌آبادی و کلاته (۲۰۱۷) تغییر تدریجی پروفیل‌های جریان براساس الگوی تطبیقی موردبررسی قرار دادند. آن‌ها روش‌های پیشنهادی برای بررسی تغییرات پروفیل سطح آب به دلیل تجمع بستر کانال در شبکه‌های متغیر تدریجی به‌عنوان کاربرد عملی ارائه دادند (۱۰). سامی‌محمد و همکاران (۲۰۱۸) ظرفیت انتقال رسوب در رودخانه فرات در منطقه العباسیه را با استفاده از مدل HEC-RAS موردبررسی قرار دادند (۱۱). مهتا و یاداو (۲۰۲۰) با تجزیه و تحلیل عمق آب‌شستگی در مورد پایه‌های پل موازی با استفاده از HEC-RAS به این نتیجه دست یافتند که ساخت یک پل جدید در بالادست به‌جای پایین‌دست اثرات مثبتی در این امر خواهد داشت (۱۲). جوشی و همکاران (۲۰۱۹) کاربرد مدل HEC-RAS

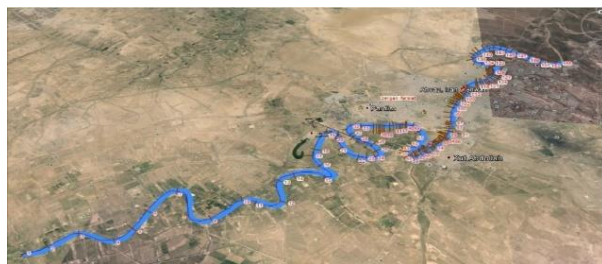
کاهش تراز سطح آب در شرایط سیلابی است. از طرفی با توجه به سیستم فعال رودخانه و تغییرات هیدرولیک جریان و به‌خصوص شیب‌خط انرژی در نتیجه حذف مماندر، تغییر شرایط رسوب‌گذاری و فرسایش رودخانه باید مورد بررسی قرار گیرد.

مواد و روش‌ها

رودخانه کارون یکی از بزرگ‌ترین و طولی‌ترین رودخانه‌های ایران بوده و آب‌های مناطق وسیعی از کشور را جمع‌آوری نموده و در نهایت به خلیج فارس هدایت می‌کند. طول رودخانه کارون حدود ۸۹۰ کیلومتر و وسعت حوضه آبخیز آن ۶۲۵۷۰ کیلومتر مربع است (۱۶).

موقعیت جغرافیایی این پژوهش بر اساس سیستم جغرافیایی UTM در حدود $33^{\circ}22'33''$ تا $32^{\circ}17'45''$ عرض شمالی و $48^{\circ}22'40''$ تا $48^{\circ}19'57''$ طول شرقی می‌باشد. طول کل مسیر مورد مطالعه مطابق شکل ۱ حدود ۷۵ کیلومتر حد فاصل زرگان-فارسیات و شامل ۱۵۵ مقطع عرضی است و طول تقریبی مماندر $13/4$ کیلومتر می‌باشد (شکل ۲). با وصل کردن دو سر قوس با مسیری به طول تقریبی ۲ کیلومتر مماندر به لوپ یا حلقه تبدیل می‌شود که در شکل ۳ نشان داده شده است. طول تقریبی ۲ کیلومتر به مسیر نهایی مطابق شکل ۳ در نرم‌افزار HEC-RAS مدل می‌شود.

برای بررسی ویژگی‌های انتقال رسوب رودخانه مائومی در ایالت اوهایو را انجام دادند. نتایج آن‌ها نشان داد که الگوی تغییر بستر و هم‌چنین بخش‌هایی از رودخانه با فرسایش و رسوب‌گذاری مطابقت دارد. هم‌چنین خروجی مدل همراه با دانش محلی می‌تواند به کاهش مشکل ناشی از رسوب‌گذاری کمک کند (۱۳). تیموری یگانه و آرمان (۲۰۲۰) برآورد دبی انتقال رسوب رودخانه شاهرود با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS را انجام دادند. مقایسه بین نتایج به‌دست‌آمده و داده‌های اندازه‌گیری‌شده نشان داد که معادله ایگز-وایت با داشتن متوسط خطای ۱۶٪ در بازه مورد بررسی نسبت به سایر توابع برآورد بهتری داشته است (۱۴). کیران و همکاران (۲۰۲۲) کاربرد مدل‌های HEC-RAS و Arc-GIS را در ارزیابی رسوب‌گذاری در رودخانه گوداوری مورد بررسی قرار دادند (۱۵). راحول و شارما (۲۰۲۳) مروری بر مدل‌سازی انتقال رسوب با استفاده از HEC-RAS را انجام دادند. نتایج بررسی آن‌ها نشان داد از آنجایی‌که انتقال رسوب مشکلات زیادی را به‌همراه دارد، مطالعات و پژوهش‌ها در این زمینه بسیار مورد نیاز است. در این مقاله، یک بررسی برای درک عملکرد مدل‌سازی انتقال رسوب با استفاده از نرم‌افزار HEC-RAS انجام شده است. در این پژوهش هدف بررسی یکی دیگر از روش‌های ساماندهی رودخانه کارون یعنی حذف مماندر جنگیه در جهت کاهش افت مسیر و در نتیجه



شکل ۱- نمایش شماتیک رودخانه کارون در بازه زرگان-فارسیات (۷۵ کیلومتر).

Figure 1. Schematic representation of Karun river in Zargan-Farsiat range (75 km).



شکل ۲- نمایش مناندر و طول مسیر مناندر (۱۳/۴ کیلومتر).

Figure 2. Meander view and Meander route length (13.4 km).



شکل ۳- نمایش مسیر و طول میانبر (۱/۹۸ کیلومتر).

Figure 3. Show route and shortcut length (1.98 km).

انرژی، عمق و سایر پارامترها در هر یک از مقاطع عرضی به دست می‌آید. سپس نرخ انتقال رسوب در هر یک از مقاطع محاسبه می‌شود. این نرخ نشان‌دهنده میزان رسوب انتقالی در هر مقطع در طول زمان است. همچنین میزان رسوب‌گذاری و یا فرسایش در هر یک از مقاطع محاسبه خواهد شد و با استفاده از آن، تغییرات حاصل در مقاطع هندسی برای بازه زمانی مربوطه به دست خواهد آمد. در مرحله بعد، همین روند محاسباتی برای بازه زمانی بعدی تکرار خواهد شد. برای محاسبه نرخ انتقال رسوب، روابط مختلفی در مدل پیش‌بینی شده است (یانگ، ایکرز- وایت، انگلند- هانسن، لارسن (کوپلند)، میر- پیتر و مولر، توفالتی و ویلکوک) تا کاربر رابطه مناسب برای روخانه مورد مطالعه را از میان آن‌ها انتخاب کند. گیسون و همکاران (۲۰۱۰) بیان داشتند که قابلیت افزودن سایز ذرات بستر در ۲۰ کلاس مختلف به مدل

مدل ارائه شده در نرم‌افزار HEC-RAS 4.1.0 از متداول‌ترین مدل‌های جریان رودخانه‌ای است، به طوری که قابلیت مدل‌سازی جریان متغیر تدریجی را با هر نوع مقطع عرضی در شرایط دائم، غیردائم و انتقال رسوب را در مرز متحرک به صورت یک‌بعدی دارد. این مدل توسط اداره مهندسی ارتش آمریکا (USACE) توسعه یافته و در آخرین نگارش خود علاوه بر قابلیت‌های قبلی توانایی تحلیل فرآیند رسوب، فرسایش و کیفیت را نیز دارا است. در این مدل تغییرات پروفیل طولی بستر رودخانه در اثر رسوب‌گذاری و فرسایش برای دوره‌های طولانی مدت شبیه‌سازی می‌شود. هنگام استفاده از این نرم‌افزار، سری پیوسته جریان به قطعه‌های جریان ماندگار براساس متغیرهای دبی و زمان تقسیم می‌شود. برای هر یک از قطعه‌های جریان ماندگار، پروفیل سطح آب محاسبه می‌شود و با استفاده از آن سرعت، شیب

بعد از ترسیم شکل شماتیک بازه مورد مطالعه، مقاطع برداشت شده از منطقه، فاصله مقاطع و ضریب زبری مانینگ آن‌ها در بخش مخصوص داده‌های مقطع وارد گردید. ضرایب تنگ‌شدگی و بازشدگی بیان‌کننده میزان افت انرژی در اثر تغییر مقطع جریان می‌باشند. مقدار توصیه شده برای تنگ‌شدگی و بازشدگی طبق توصیه‌های مرکز هیدرولوژی گروه مهندسی ارتش آمریکا به ترتیب ۰/۱ و ۰/۳ است، که در این پژوهش نیز مورد استفاده قرار گرفت. هم‌چنین به منظور تخمین محدوده مقدار زبری مانینگ در موقعیت مقاطع عرضی مختلف از تجربیات و گزارش‌های قبلی استفاده شده است و با کالیبره کردن مدل براساس ضریب زبری مانینگ، مقدار ۰/۰۳۵ برای زبری مقاطع انتخاب شد. با توجه به پژوهش‌های توکلی‌زاده (۱۳۸۵) مقدار ضریب زبری مانینگ در محدوده ایستگاه اهواز برابر ۰/۰۳۵۶ و در محدوده ایستگاه فارسیات برابر ۰/۰۳۵ می‌باشد. به منظور بررسی روند فرسایشی و رسوب‌گذاری بازه مورد نظر، مدل به صورت شبه غیرماندگار اجرا شد. برای شرایط مرزی بالادست از آمار دبی روزانه ایستگاه اهواز، و برای شرایط مرزی پایین دست از آمار دبی-اشل ایستگاه هیدرومتری فارسیات و هم‌چنین در بخش رسوب از آمار ایستگاه اهواز استفاده گردید.

در بخش مربوط به اطلاعات رسوبی، مدل با استفاده از هفت رابطه رسوب مختلف برای انتقال رسوب و چهار روش سرعت سقوط ذرات یعنی روش‌های رابی، توفالتی، فان رایان و گزارش ۱۲، به بررسی نحوه انتقال رسوبات در رودخانه می‌پردازد. در این پژوهش به دلیل نبود اطلاعات واقعی و جدید رودخانه کارون مدل‌های رسوبی پیشنهاد شده توسط شاه‌نژاد و همکاران (۲۰۰۸) در محدوده اهواز، مورد استفاده قرار گرفتند. نتایج مطالعات آن‌ها مطابق شکل ۴ نشان می‌دهد که روابط توفالتی و ایگرز-

HEC-RAS در نسخه 4.1 اضافه شده است (۶). این مدل براساس معادلات جریان و انتقال رسوب و معادله پیوستگی رسوب در شرایط یک‌بعدی و فرض جریان شبه‌غیرماندگار توسعه یافته است (۱۷). مدل HEC-RAS برای شبیه‌سازی یک‌بعدی ته‌نشین شدن رسوب و یا فرسایش و آب‌شستگی بستر از شش تابع مختلف استفاده می‌نماید (امام‌قلی‌زاده و همکاران، ۲۰۱۰). معادله اکسنر برای بیان پایستگی جرم در رسوب در سیستم‌های جریانی مانند رودخانه‌ها به کار می‌رود (۱۹).

این معادله توسط فلیکس ماریا فون اکسنر-اوارتن هوشناس و رسوب‌شناس اتریشی بیان شده و به نام او نام‌گذاری شده است. معادله اکسنر پایستگی جرم میان رسوبات بستر رودخانه و رسوبات منتقل شده را تشریح می‌کند. براساس این معادله ارتفاع بستر رودخانه به نسبت میزان رسوبی است که منتقل نمی‌شود و برعکس کاهش ارتفاع بستر (فروسایی بستر) وابسته به میزان رسوباتی است که توسط جریان منتقل می‌شود (۱۸):

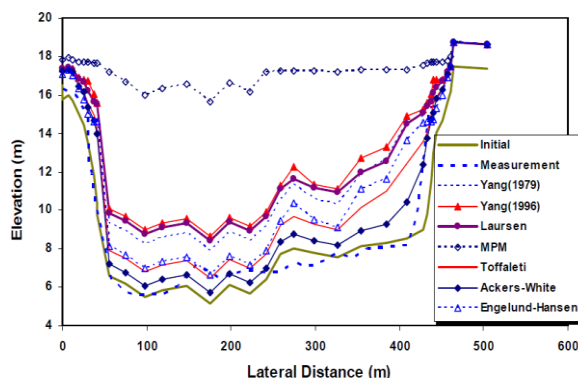
$$(1 - \lambda_p)B \frac{\partial \eta}{\partial t} = - \frac{\partial Q_s}{\partial x} \quad (1)$$

که در رابطه فوق، η ارتفاع بستر رودخانه (متر)، B عرض رودخانه (متر)، λ_p تخلخل لایه فعال (%)، Q_s دبی بار رسوبی حمل شده (مترمکعب در ثانیه)، x فاصله (متر) و t زمان (ثانیه) می‌باشند.

شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و رسوب رودخانه توسط مدل HEC-RAS، اطلاعات ژئومتری (مقاطع عرضی، فاصله مقاطع از مقطع کنترل پایین دست، ضریب زبری مانینگ و ضرایب بازشدگی و تنگ‌شدگی)، هیدرولیکی (اطلاعات جریان و تراز سطح آب در ایستگاه پایین دست)، هواشناسی (دمای آب) و رسوبی (اطلاعات مربوط به دبی جریان-رسوب و دانه‌بندی رسوبات کف بستر) لازم است.

منحنی دبی رسوب نیز به مدل داده می‌شوند. هم‌چنین منحنی دانه‌بندی بار معلق رسوبی به صورت درصد ذرات رسوبی معلق در این بخش به مدل داده می‌شود.

وایت با توجه به نوع رسوبات بستر در این بازه، مطابقت بیشتری با رودخانه کارون دارند. در قسمت شرایط مرزی بخش رسوبی منحنی دانه‌بندی بستر و

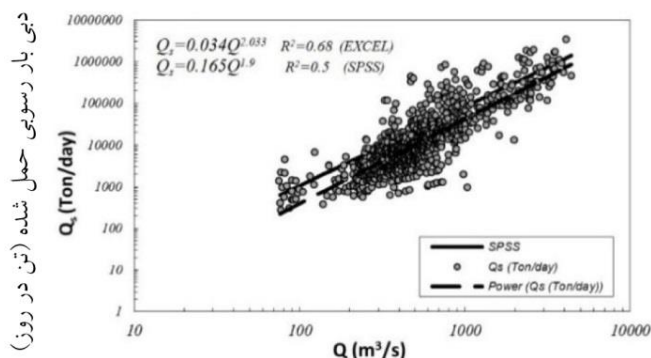


شکل ۴- واسنجی روابط رسوبی مختلف برای مقطع عرضی ایستگاه اهواز (۵).

Figure 4. Calibration of different sedimentary relationships for the cross section of Ahvaz station (5).

کوچک‌تر، برای هر کلاس، دبی‌هایی را انتخاب کرده، آن‌گاه با توجه به رابطه دبی آب- دبی رسوب، با احتساب ۱۰ درصد رسوبات معلق به‌عنوان رسوبات بستر، بار کل رسوبات را محاسبه نموده و با توجه به منحنی‌های موجود از پژوهش‌های قبل در این زمینه (۵، ۸، ۹) و محدوده اندازه برای هر کلاس، درصد‌های مربوط به هراندازه در هر محدوده جریان محاسبه گردید.

به‌منظور یافتن رابطه دبی آب- دبی رسوبات از آمار ۳۰ ساله ایستگاه هیدرومتری اهواز استفاده گردید. آمار مربوط به دبی و دبی رسوب با استفاده از نرم‌افزارهای آماری مورد ارزیابی قرار گرفتند. نتایج به‌دست آمده در شکل ۵ آورده شده است. بخش رسوب مدل، از دو قسمت اصلی رسوبات معلق و رسوبات بستر تشکیل یافته است. در قسمت رسوبات معلق با توجه به منحنی‌های اندازه ذرات- درصد



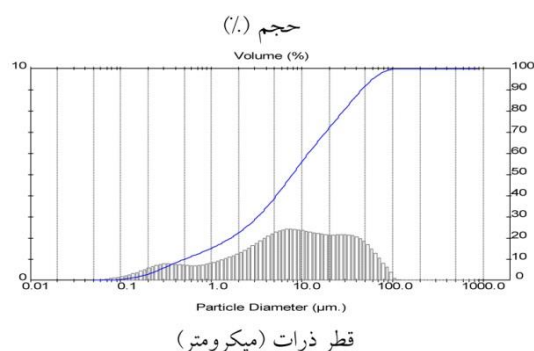
دبی (متر مکعب در ثانیه)

شکل ۵- رابطه دبی آب- دبی رسوبات معلق رودخانه کارون (۱۸).

Figure 5. Relationship between water discharge and discharge of suspended sediments of Karun river (18).

درصد مربوط به منحنی هیستوگرام و محور عمودی سمت راست درصد ریزتر از، مربوط به "منحنی تجمعی کوچک‌تر از D" می‌باشند. محور افقی نیز اندازه ذره برحسب میکرون را نشان می‌دهد.

نمودار دانه‌بندی متوسط ایستگاه اهواز در شکل ۶ آورده شده است. منحنی‌های موجود در شکل ۶ یکی «منحنی تجمعی کوچک‌تر» از D و دیگری هیستوگرام کلاس‌های دانه‌بندی است. محور عمودی سمت چپ



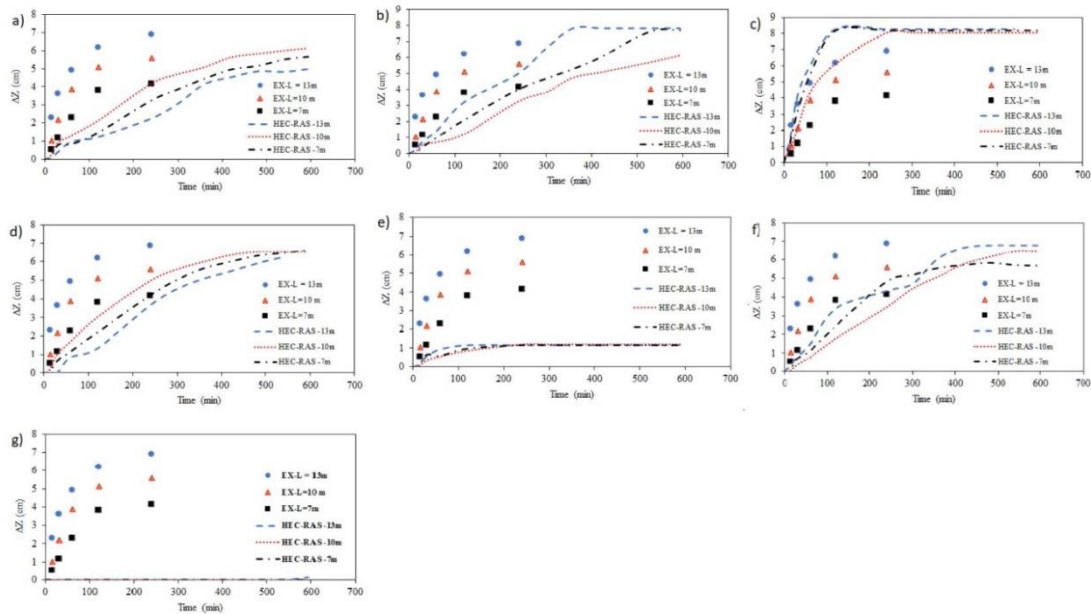
شکل ۶- نمودار دانه‌بندی متوسط ایستگاه اهواز- رودخانه کارون (۹).

Figure 6. Medium grain size diagram of Ahvaz station - Karun river (9).

در مطالعه حاضر از معادله ایگرز- وایت با داشتن خطای کم‌تر جهت مدل‌سازی فرآیند انتقال رسوب استفاده شده است (شکل ۴). به منظور بررسی نحوه رسوب‌گذاری و فرسایش در رودخانه کارون (اهواز- فارسیات) مقاطعی که به نظر می‌رسید تغییرات بستر در آن‌ها زیاد است در نظر گرفته شد تا تغییرات در دو حالت وجود و عدم وجود حلقه مقایسه گردد. در شکل ۸ شماتیک رودخانه و مقاطع انتخابی جهت مقایسه نشان داده شده است. هیدروگراف سال ۲۰۱۳ که در سال‌های اخیر دارای ماکزیمم جریان روزانه برابر با ۳۴۸۵/۸ مترمکعب بر ثانیه می‌باشد انتخاب گردید که در شکل ۹ ارائه گردیده است. سپس تغییرات بستر برای هیدروگراف سال ۲۰۱۳ و هم‌چنین دبی سیلاب ۵۰ ساله که با توجه به داده‌های سی سال اخیر با استفاده از نرم‌افزار EasyFit محاسبه شده، بررسی و نتایج برای قبل و بعد حلقه مقایسه شد.

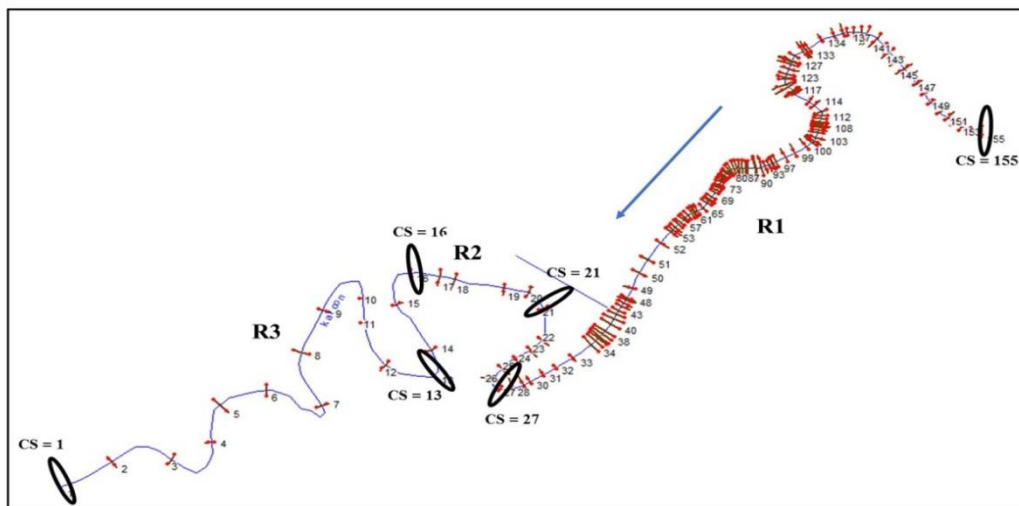
نتایج و بحث

به منظور شبیه‌سازی توسط مدل HEC-RAS ابتدا مشخصات مقاطع عرضی فلوم و مشخصات رسوبات بستر و هم‌چنین مشخصات جریان به مدل عددی وارد گردید و هم‌چنین عمق بستر فرسایش‌پذیر برابر با ۰/۵ متر در نظر گرفته شد و پس‌از آن شبیه‌سازی آغاز گردید. جهت رسیدن به نتایج نزدیک به نتایج آزمایشگاهی، به صورت آزمون سعی و خطا مقادیر فرسایش بستر در نقاط مختلف برای معادلات مختلف انتقال و روش‌های مختلف سرعت سقوط محاسبه شد و با نتایج آزمایشگاهی مقایسه گردید. با توجه به آزمون‌های صورت گرفته و مقایسه نتایج طبق شکل ۷، تمامی معادلات تقریباً دارای خطای یکسانی هستند و نتایج را نزدیک به واقعیت نشان می‌دهند اما معادلات توفالتی و ویلکاک نتایج را دور از واقعیت نشان می‌دهند.



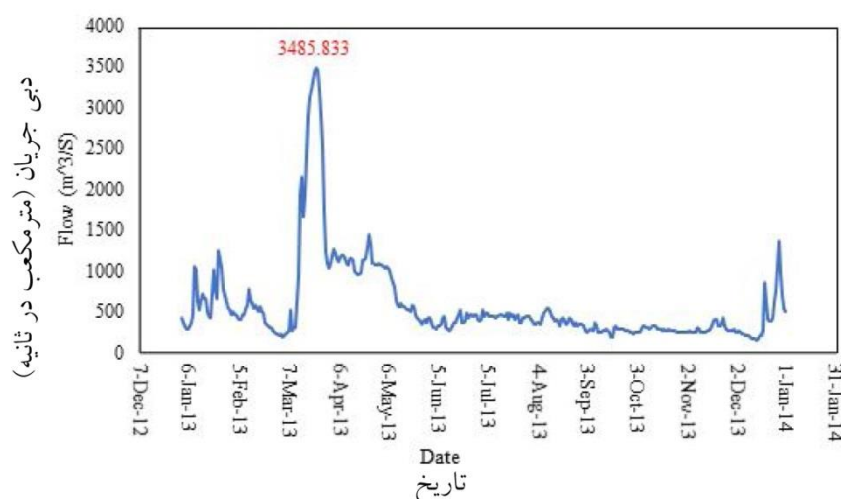
شکل ۷- (الف): مقایسه نتایج معادله Ackers-White و نتایج آزمایشگاهی. (ب): مقایسه نتایج معادله England-Hansen و نتایج آزمایشگاهی. (ج): مقایسه نتایج معادله Laursen (Copeland) و نتایج آزمایشگاهی. (د): مقایسه نتایج معادله Meyer Peter Muller و نتایج آزمایشگاهی. (ه): مقایسه نتایج معادله Toffaleti و نتایج آزمایشگاهی. (و): مقایسه نتایج معادله Yang و نتایج آزمایشگاهی. (ز): مقایسه نتایج معادله Wilcock و نتایج آزمایشگاهی.

Figure 7. (a) Comparison of the results of the Ackers-White equation and laboratory results, (b) Comparison of the results of the England-Hansen equation and laboratory results, (c) Comparison of the results of Laursen (Copeland) equation and laboratory results, (d) Comparison of the results of Meyer Peter Muller equation and laboratory results, (e) Comparison of the results of Toffaleti equation And laboratory results, (f) Comparison of the results of Yang equation and laboratory results, (g) Comparison of the results of Wilcock equation and laboratory results.



شکل ۸- شماتیک رودخانه کارون در بازه موردنظر و مقاطع انتخابی.

Figure 8. Schematic of Karun river in the desired period and selected sections.



شکل ۹- هیدروگراف جریان مربوط به سال ۲۰۱۳.
Figure 9. Flow hydrograph related to 2013.

مقطع بسیار ناچیز می‌باشد فاصله زیاد آن تا حلقه می‌باشد. که دلیل کاهش رسوب نسبت به زمانی که حلقه وجود ندارد با توجه به توضیحاتی که برای هیدروگراف ۲۰۱۳ بیان گردید این است که به علت دوشاخه‌ای شدن رودخانه در پایین‌دست این بازه و رفع برگشت آب ناشی از وجود پیچ عمق جریان کاهش یافته و سرعت جریان بیش‌تر شده و تنش برشی افزایش می‌یابد. مقطع شماره ۲۱ که در بالادست بازه R2 قرار گرفته است نشان می‌دهد که در هر دو حالت وجود و عدم وجود حلقه رودخانه تقریباً در این مقطع در حالت تعادل است و نه فرسایش‌پذیری و نه رسوب‌گذاری دارد. مقطع شماره ۱۶ که در پایین‌دست بازه R2 قرار دارد نشان می‌دهد در هر دو حالت وجود و عدم وجود حلقه موردنظر در حالت تعادل می‌باشد در مقطع ۱۶ که در پایین‌دست بازه R2 قرار دارد در پایین‌دست بازه در هر دو حالت وجود و عدم وجود حلقه موردنظر در حالت تعادل می‌باشد. نتایج مقاطع ۱۳ و ۱ نشان می‌دهد که بازه‌های پایین‌دست در صورت وجود و عدم وجود حلقه تقریباً در حال

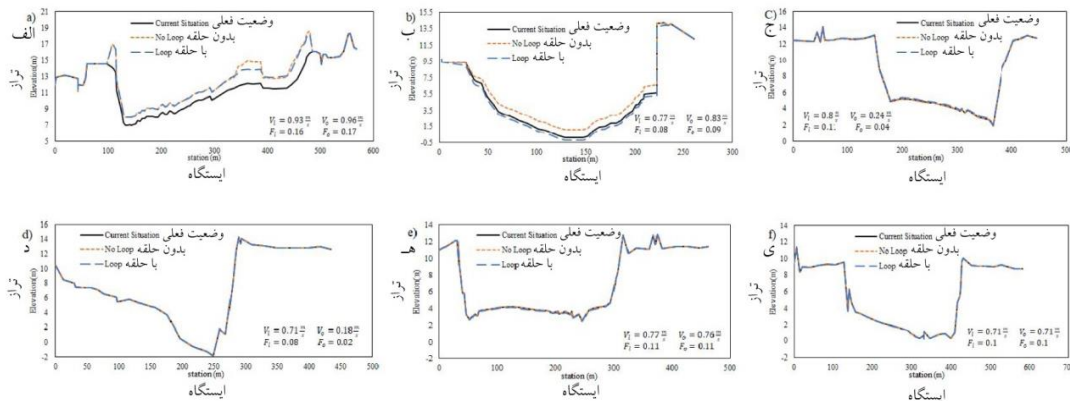
نتایج مربوط به تغییرات بستر قبل و بعد از ایجاد حلقه در مقاطع انتخابی برای هیدروگراف مربوط به سال ۲۰۱۳ در شکل‌های ۱۰ و ۱۱ ارائه گردیده است. شکل ۱۰ نشان می‌دهد که مقطع شماره ۱۵۵ که بالادست‌ترین مقطع بازه موردنظر است هم در صورت وجود و هم عدم وجود حلقه رسوب‌گذار است و مقایسه تغییرات بستر در این مقطع نشان می‌دهد که وجود حلقه تأثیر به‌سزایی بر روی میزان رسوب‌گذاری ندارد و به مقدار بسیار ناچیزی رسوب‌گذاری کاهش می‌یابد. مقطع شماره ۲۷ که بلافاصله در بالادست حلقه قرار دارد در وضعیت موجود (حالت بدون حلقه) رسوب‌گذار بوده و در وضعیت وجود حلقه تقریباً بدون تغییر بوده و تمایل به فرسایش دارد. علت تمایل رودخانه به رسوب‌گذاری در این مقطع پس از ایجاد حلقه، کاهش میزان جریان ورودی و سرعت جریان در این مقطع که ناشی از تقسیم شدن جریان به علت دو شاخه‌ای شدن رودخانه در بالادست این بازه‌ها می‌باشد. علت این فرسایش تلاطم ایجاد شده به‌علت تنگ شدن مقطع ناشی از تبدیل دوشاخه به یک‌شاخه می‌باشد. علت این‌که تأثیر حلقه بر این

کاهش عمق و سرعت به رسوب‌گذاری در این بازه (R2) کمک می‌کند. در بازه انتهایی (R3) پس از ایجاد حلقه تغییر خاصی در عمق، سرعت و عدد فرود جریان رخ نداده است. تغییرات عدد فرود در حالت جریان‌های ماندگار و غیرماندگار در جدول ۱ ارائه شده است.

تبادل بوده و بسیار کم تحت‌تأثیر حلقه می‌باشد. از طرف دیگر، نتایج نشان می‌دهد که در بازه میانی (R2) عمق جریان، سرعت جریان و عدد فرود کاهش یافته است که علت آن ایجاد یک کانال کمکی است که بیش‌تر جریان در آن انتقال می‌یابد بنابراین میزان جریان عبوری از بازه میانی کاهش می‌یابد. این

جدول ۱- عدد فرود جریان قبل و بعد از ایجاد حلقه برای حداکثر جریان هیدروگراف ۲۰۱۳.

مقطع Section	عدد فرود		اختلاف عدد فرود جریان قبل و بعد از ایجاد حلقه (متر بر ثانیه) The difference in the Froude number of the flow before and after creating the loop (m/s)
	قبل از ایجاد حلقه Before making loop	بعد از ایجاد حلقه After making loop	
155	0.1	0.11	-0.01
27	0.12	0.14	-0.02
21	0.14	0.04	0.1
16	0.11	0.03	0.08
13	0.11	0.11	0
1	0.12	0.12	0

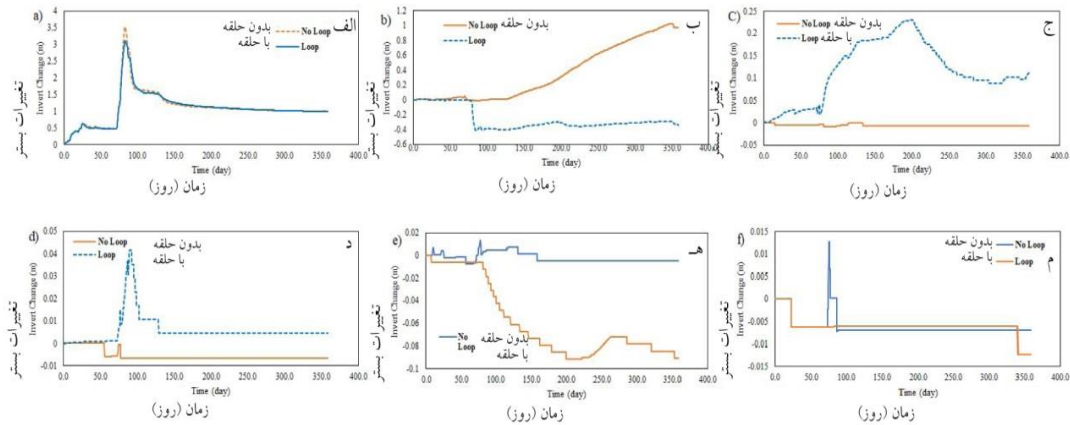


شکل ۱۰- تغییرات بستر قبل و بعد از ایجاد حلقه در مقاطع انتخابی در انتهای دوره شبیه‌سازی برای هیدروگراف سال ۲۰۱۳
 (الف): مقطع شماره ۱۵۵. (ب): مقطع شماره ۲۷. (ج): مقطع شماره ۲۱. (د): مقطع شماره ۱۶. (ه): مقطع شماره ۱۳.
 (ی): مقطع شماره ۱.

Figure 10. Substrate changes before and after ring formation at selected sections at the end of the simulation period for the 2013 hydrograph. (a) Section No. 155, (b) Section No. 27, (c) Section No. 21, (d) Section No. 16, (e) Section No. 13, (f) Section No. 1.

تمایل رودخانه به رسوب‌گذاری در این مقطع پس از ایجاد حلقه، کاهش میزان جریان ورودی و سرعت جریان در این مقطع که ناشی از تقسیم شدن جریان به علت دوشاخه‌ای شدن رودخانه در بالادست این بازه می‌باشد. در مقطع ۱۶ رودخانه در حالت وجود حلقه تمایل به رسوب‌گذاری دارد هرچند که این رسوب‌گذاری در پایان هیدروگراف در حد $0/5$ سانتی‌متر بوده و در نقطه اوج هیدروگراف این مقدار به ۴ سانتی‌متر می‌رسد که ناچیز می‌باشد. همانند مقطع ۲۱ علت تمایل رودخانه به رسوب‌گذاری در این مقطع کاهش جریان و سرعت در این مقطع که ناشی از تقسیم شدن جریان به علت دوشاخه‌ای شدن رودخانه در بالادست این بازه می‌باشد. نتایج ارائه‌شده برای مقاطع ۲۱ و ۱۶ نشان می‌دهد که بازه‌ی R2 در صورت عدم وجود حلقه تمایل به فرسایش و در صورت وجود حلقه تمایل به رسوب‌گذاری دارد که دلیل آن کاهش جریان و سرعت در این مقطع که ناشی از تقسیم شدن جریان به علت دوشاخه‌ای شدن رودخانه در بالادست این بازه می‌باشد. مقطع ۱۳ که بلافاصله در پایین‌دست حلقه قرار گرفته است تمایل به فرسایش دارد و در پایان هیدروگراف میزان فرسایش برابر با ۹ سانتی‌متر می‌باشد علت این فرسایش تلاطم ایجادشده به علت تنگ شدن مقطع ناشی از تبدیل دوشاخه به یک شاخه می‌باشد. مقطع شماره ۱ نیز در صورت وجود و عدم وجود حلقه تمایل به فرسایش دارد که هرچند این فرسایش ناچیز بوده و در حالت ماکزیمم برابر با ۱ سانتی‌متر می‌باشد. به‌طورکلی می‌توان گفت که پس از ایجاد حلقه بازه بالادست (R1) رسوب‌گذاری آن از بالادست به پایین‌دست کاهش می‌یابد تا جایی که در محل دوشاخه‌ای شدن رودخانه دست‌خوش فرسایش قرار می‌گیرد و بازه میانی (R2) از فرسایش‌پذیر به رسوب‌گذار تبدیل می‌گردد و بازه پایدحلقه (R3) تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند و تمایل بسیار کمی به فرسایش‌پذیری پیدا می‌کند.

شکل ۱۱ تغییرات بستر در مقاطع انتخابی را در طول هیدروگراف سال ۲۰۱۳ نشان می‌دهد. در مقطع شماره ۱۵۵ در طول هیدروگراف تغییرات بستر در خط القعر رودخانه برای هر دو حالت وجود و عدم وجود حلقه تقریباً بر هم منطبق بوده و فقط در اطراف نقطه اوج هیدروگراف ارتفاع رسوب در حالت وجود حلقه ۴۰ سانتی‌متر کم‌تر از زمان عدم وجود حلقه می‌باشد. علت این‌که تأثیر حلقه بر این مقطع بسیار ناچیز می‌باشد فاصله نسبتاً قابل‌توجه آن تا حلقه می‌باشد. دلیل کاهش رسوب نسبت به زمانی که حلقه وجود ندارد این است که به علت دوشاخه‌ای شدن رودخانه در پایین‌دست این بازه و رفع برگشت آب ناشی از وجود پیچ عمق جریان کاهش‌یافته و سرعت جریان بیش‌تر شده و تنش برشی افزایش می‌یابد. در مقطع ۲۷ در انتهای هیدروگراف رودخانه در حالت عدم وجود حلقه رسوب‌گذاری به ارتفاع ۱ متر اتفاق افتاده و در حالت وجود حلقه فرسایشی به میزان ۳۴ سانتی‌متر به وجود آمده است. هم‌چنین می‌توان دید که در اطراف نقطه اوج هیدروگراف حدود ۴۱ سانتی‌متر فرسایش رخ می‌دهد. علت فرسایش‌پذیر شدن این مقطع پس از ایجاد حلقه قرار داشتن این مقطع بلافاصله در بالاست حلقه بوده و درست در پایین‌دست آن رودخانه دوشاخه‌ای شده و مقطع عبور جریان افزایش‌یافته و تقریباً جریان حالت ریزشی به‌علت کاهش ناگهانی عمق پیدا می‌کند و سرعت در آن افزایش می‌یابد و در نتیجه با افزایش تنش برشی فرسایش صورت می‌گیرد. در مقطع ۲۱ در صورت عدم ایجاد حلقه این مقطع تمایل به فرسایش دارد و در زمان ایجاد حلقه تمایل آن به سمت رسوب‌گذاری می‌باشد که می‌توان مشاهده کرد که در انتهای هیدروگراف در صورت عدم وجود حلقه تقریباً ۱ سانتی‌متر در کف رودخانه فرسایش اتفاق افتاده و در حالت وجود حلقه ۱۱ سانتی‌متر رسوب‌گذاری صورت گرفته است که میزان رسوب‌گذاری تقریباً در وسط هیدروگراف به ۲۳ سانتی‌متر می‌رسد. علت

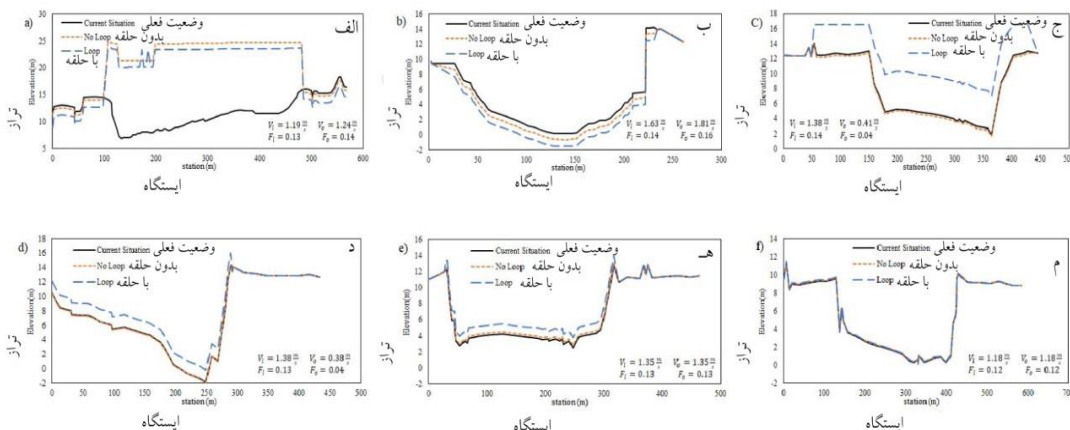


شکل ۱۱- تغییرات بستر در طول زمان قبل و بعد از ایجاد حلقه در مقاطع انتخابی برای هیدروگراف سال ۲۰۱۳
 (الف): مقطع شماره ۱۵۵. (ب): مقطع شماره ۲۷. (ج): مقطع شماره ۲۱. (د): مقطع شماره ۱۶. (ه): مقطع شماره ۱۳.
 (م): مقطع شماره ۱.

Figure 11. Substrate changes over time before and after ring formation in selected sections for the 2013 hydrograph. (a) Section No. 155, (b) Section No. 27, (c) Section No. 21, (d) Section No. 16, (e) Section No. 13, (f) Section No. 1.

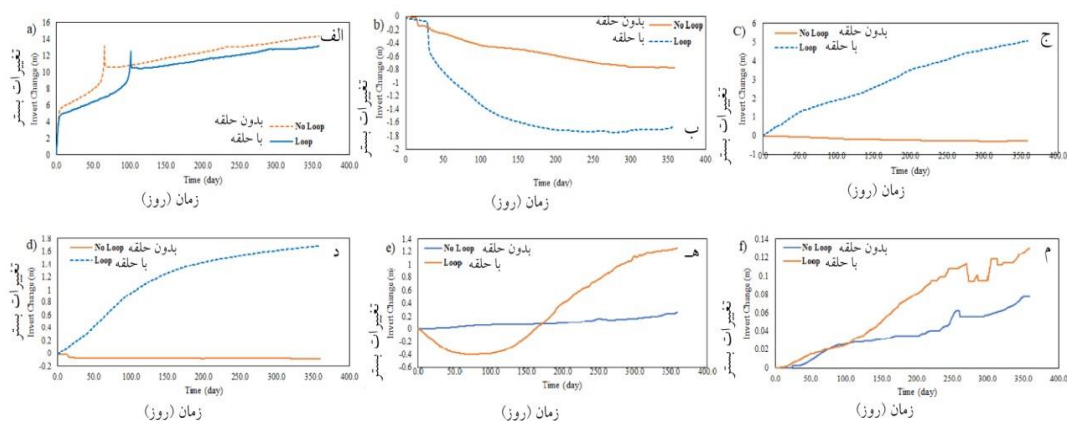
که در محل دوشاخه‌ای شدن رودخانه دستخوش فرسایش قرار می‌گیرد و بازه میانی (R2) از فرسایش‌پذیر به رسوب‌گذار تبدیل می‌گردد و بازه پایین‌دست حلقه (R3) تقریباً بدون تغییر باقی می‌ماند و تمایل بسیار کمی به رسوب‌گذاری پیدا می‌کند.

در ادامه نتایج مربوط به تغییرات بستر برای سیلاب با دوره بازگشت ۵۰ ساله در شکل‌های ۱۲ و ۱۳ ارائه گردیده است. به‌طورکلی می‌توان گفت که پس از ایجاد حلقه بازه بالادست (R1) رسوب‌گذاری آن از بالادست به پایین‌دست کاهش می‌یابد تا جایی



شکل ۱۲- تغییرات بستر قبل و بعد از ایجاد حلقه در مقاطع انتخابی در انتهای دوره شبیه‌سازی برای سیلاب ۵۰ ساله
 (الف): مقطع شماره ۱۵۵. (ب): مقطع شماره ۲۷. (ج): مقطع شماره ۲۱. (د): مقطع شماره ۱۶. (ه): مقطع شماره ۱۳.
 (م): مقطع شماره ۱.

Figure 12. Substrate changes before and after ring formation at selected sections at the end of the simulation period for 50-year floods. (a) Section No. 155, (b) Section No. 27, (c) Section No. 21, (d) Section No. 16, (e) Section No. 13, (f) Section No. 1.



شکل ۱۳- تغییرات بستر در طول زمان قبل و بعد از ایجاد حلقه در مقاطع انتخابی برای سیلاب ۵۰ ساله
 (الف): مقطع شماره ۱۵۵. (ب): مقطع شماره ۲۷. (ج): مقطع شماره ۲۱. (د): مقطع شماره ۱۶. (ه): مقطع شماره ۱۳.
 (م): مقطع شماره ۱.

Figure 13. Substrate changes over time before and after ring formation in selected sections for 50-year floods. (a) Section No. 155, (b) Section No. 27, (c) Section No. 21, (d) Section No. 16, (e) Section No. 13, (f) Section No. 1.

صورت گرفته و مقایسه نتایج تمامی معادلات تقریباً دارای خطای یکسانی هستند و نتایج را نزدیک به واقعیت نشان می‌دهند اما معادلات توفالتی و ویلکاک نتایج را دور از واقعیت نشان می‌هند.

- در شرایط موجود بازه بالادست رودخانه کارون رسوب‌گذار، بازه میانی فرسایش‌پذیر و بازه انتهایی در حالت تعادل هست.

- ایجاد حلقه موجب کاهش رسوب‌گذاری در بالادست رودخانه کارون نسبت به حالت موجود می‌شود و تقریباً تغییرات بستر در خط القعر رودخانه برای هر دو حالت وجود و عدم وجود حلقه بر هم منطبق است. دلیل کاهش رسوب نسبت به زمانی که حلقه وجود ندارد دوشاخه‌ای شدن رودخانه در پایین‌دست این بازه و رفع برگشت آب ناشی از وجود پیچ که موجب کاهش عمق جریان شده و سرعت جریان افزایش یافته و تنش برشی نیز افزایش می‌یابد.

- بازه میانی رودخانه کارون (R2) با ایجاد حلقه از فرسایش‌پذیر به رسوب‌گذار تبدیل می‌شود که علت تمایل رودخانه به رسوب‌گذاری در این بازه پس از ایجاد حلقه، کاهش میزان جریان ورودی و در نتیجه

نتیجه‌گیری کلی

مقاله حاضر با هدف بررسی و تعیین تغییرات رسوب در رودخانه کارون با در نظر گرفتن شرایط موجود و زمان ایجاد حلقه (لوپ) انجام گرفت. شبیه‌سازی رودخانه در بازه‌ای حدود ۷۵ کیلومتر در محدوده زرگان-فارسیات و با استفاده از مدل HEC-RAS انجام گرفت.

به‌طورکلی نتایج مطالعه صورت گرفته به شرح زیر است:

- نتایج نشان می‌دهد که در بازه میانی (R2) عمق جریان، سرعت جریان و عدد فرود کاهش یافته است که علت آن ایجاد یک کانال کمکی است که بیش‌تر جریان در آن انتقال می‌یابد بنابراین میزان جریان عبوری از بازه میانی کاهش می‌یابد. این کاهش عمق و سرعت به رسوب‌گذاری در این بازه (R2) کمک می‌کند. در بازه انتهایی (R3) پس از ایجاد حلقه تغییر خاصی در عمق، سرعت و عدد فرود جریان اتفاق نیفتاد.

- مقایسه نتایج آزمایشگاهی آشیدا و میشو و مدل عددی HEC-RAS نشان داد با توجه به آزمون‌های

تعارض منافع

در این مقاله تعارض منافی وجود ندارد.

مشارکت نویسندگان

تمامی مراحل انجام پژوهش توسط همه نویسندگان و مکاتبه آن با دفتر مجله به عهده نویسنده بوده است.

اصول اخلاقی

اصول اخلاقی در انجام و انتشار این پژوهش مراعات شده است.

حمایت مالی

این پژوهش از حمایت مالی برخوردار نبوده است.

کاهش سرعت جریان در این مقطع شده که ناشی از تقسیم شدن جریان به علت دوشاخه‌ای شدن رودخانه در بالادست این بازه می‌باشد.

- با ایجاد حلقه تغییر خاصی در رفتار بازه پایانی رودخانه کارون (R3) ایجاد نشده و در حالت تعادل است و تمایل بسیار کمی به فرسایش‌پذیری پیدا کرده است.

تقدیر و تشکر

نویسندگان مقاله از داوران محترم به جهت صرف وقت کافی و ارائه نظرات هوشمند و کارساز کمال تقدیر و تشکر را دارند.

داده‌ها و اطلاعات

داده‌ها و اطلاعات پژوهش حاضر متعلق به پایان‌نامه نویسنده سوم می‌باشد.

منابع

1. Culbertson, D. M., Young, L. E., & Brice, J. C. (1967). Scour and fill in alluvial channels with particular reference to bridge sites (No. 68-68). US Dept. of the Interior, Geological Survey.
2. Chow, V. T. (1964). Handbook of applied hydrology: a compendium of water-resources technology. In Handbook of applied hydrology: a compendium of water-resources technology. Pp. 1525-1525.
3. Lane, E. W. (1955). Design alluvial channels. *Transactions American Society of Civil Engineers*, 12, 1234-1260.
4. Curran, J. C., & Wilcock, P. R. (2005). The effect of sand supply on transport rates in a gravel-bed channel. *Journal of Hydraulic Engineering*. 131 (11), 961-967.
5. Shahinejad, B., Zahiri, A., & Rostami, S. (2008). Predicting the process of erosion and sedimentation in the Karun River in the urban area of Ahvaz using the GSTARS mathematical model. In *Fourth National Congress of Civil Engineering, May 2008, University of Tehran*. [In Persian]
6. Gibson, S., Nygaard, C., & Sclafani, P. (2010). Mobile bed modeling of the Cowlitz river using HEC-RAS: assessing flooding risk and impact due to system sediment. In *2nd Joint Federal Interagency Conference, Las Vegas, NV, June 27*.
7. Rahul, P. R., & Sharma, P. K. (2023). A review on sediment transport modelling using HEC-RAS. *Water and Energy International*, 66 (1), 1-10.
8. Peiro, M., Ghomeshi, M., Nouhani, A., & Ravansalar, M. (2012). River sediment analysis with numerical model HEC-RAS.4, a case study of Bashar Yasuj river. In *Regional Conference on Civil Engineering and Water and Energy Crisis, Meshginshahr*. [In Persian]
9. Fakhri, M. (2012). Determining the grading of suspended sediments and investigating its relationship with hydraulic conditions in Khuzestan rivers. Thesis, Shahid Chamran University of Ahvaz, Iran. 118p. [In Persian]

10. Jahandar Malekabadi, M., & Kalateh, F. (2017). Gradually varied flow profile based on adaptive pattern. *ISH Journal of Hydraulic Engineering*. 25 (2), 223-231.
11. Mohammed, H. S., Alturfi, U. A., & Shlash, M. A. (2018). Sediment transport capacity in Euphrates river at Al-Abbasia reach using HEC-RAS model. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 9 (5), 919-929.
12. Mehta, D. J., & Yadav, S. M. (2020). Analysis of scour depth in the case of parallel bridges using HEC-RAS. *Water Supply*. 20 (8), 3419-3432.
13. Joshi, N., Lamichhane, G. R., Rahaman, M. M., Kalra, A., & Ahmad, S. (2019). Application of HEC-RAS to study the sediment transport characteristics of Maumee River in Ohio. In *World Environmental and Water Resources Congress 2019: Hydraulics, Waterways, and Water Distribution Systems Analysis* (pp. 257-267). Reston, VA: American Society of Civil Engineers.
14. Teymoori Yeganeh, M., & Arman, A. (2020). Estimation of Shahrood River Sediment Transport Using HEC-RAS Model. *Irrigation and Water Engineering*. 10 (4), 18-32.
15. Lorang, M. S., & Aggett, G. (2005). Potential sedimentation impacts related to dam removal. Icicle Creek, Washington, U.S.A.
16. Anonymous. (2007). Guide to erosion and sedimentation studies on rivers, publications of the vice president for strategic planning and oversight. *Technical Rep. No.383*. [In Persian]
17. Kiran, S., Poudyal, A., Pradhan, S., & Gautom, M. (2022). Application of ArcGIS and HEC-RAS in Assessing Sedimentation in Godavari River Reach. In *A System Engineering Approach to Disaster Resilience: Select Proceedings of VCDRR 2021* (pp. 157-167). Singapore: Springer Nature Singapore.
18. Azam, N., Faiezizadeh, J., & Ghomeshi, M. (2011). Hydraulic evaluation of Karun river dredging efficiency and evaluation of alternative solutions using HEC-RAS mathematical model. In *4th Iranian Water Resources Management Conference*. 13 and 14 May 2011, Amirkabir University of Technology, Tehran. [In Persian]
19. Emamgolizadeh, S., Shirdel, S., Ganjavian, M. A., Mohammadiun, M., & Fathi Moghadam, M. (2010). Investigation of erosion and sedimentation status of Shirin Darreh river using HEC-RAS mathematical model. *Water Engineering*. 1, 19-34. [In Persian]