Research Paper

Investigating the Effect of Water Level of Chahnimeh Reservoirs on Sedimentation of Feeder 2 Canal

Mohammad Kalantari [1], **Farzad Hassan pour** [2*]

[1] . Graduated from Hydraulic Structures Engineering, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran
[2] (Corresponding Author) Associate Professor, Department of Water Engineering, Faculty of Water and Soil, University of Zabol, Zabol, Iran

10.22125/IWE.2022.331110.1605

Received:
March 15, 2022
Accepted:
July 24, 2022
Available online:
October 3, 2023

Keywords:
Mathematical Model, Sedimentation, HEC RAS, Sistan.

Abstract

Taking water from the river to provide water for agriculture, drinking and industry has always been of interest. One of the problems that occurs in most water intake canals is the entry of sediments into the intake opening. The Sistan plain in the southeast of Iran is highly dependent on surface water resources. The HEC RAS model is a well-known software for sediment simulation. In this study, HEC RAS 6.0.0 was used to simulate sedimentation in feeder 2 canal Flow simulation in the model was performed quasi-unsteady using the standard step-by-step. According to the simulation results, in maximum water level Conditions, Feeder 2 canal Sedimentation volume is equal to 54200 m^3 which increases the bed level by 4.1m. Also, in minimum water level Conditions, sedimentation is equal to 52700 m^3, which increases the bed level by 3.84 m. Comparison of the results in the two scenarios shows that in the case of maximum water level, volume of sediment per unit of length of Sistan River is equal to 6.5 m^3/L_{River} while in minimum water level volume of erosion is equal to 2.2m^3/L_{River} of Sistan River. Therefore, Feeder 2 canal will act as a sediment depositor in all water intake conditions.

1. Introduction

Taking water from the river to provide water for agriculture, drinking and industry has always been of interest. Among the different methods of water extraction, the construction of a diversion dam and its lateral water intakes are more common for supplying water to irrigation networks. The basis of this method is to build a dam and divert part of the river flow.

A lot of research has been done in the field of simulating sedimentation in rivers and canals using HEC RAC, for example: In 2018, Sami Mohammad et al estimated the sediment transfer capacity of the Euphrates River located in the Al-Abassieh branch using the HEC RAS model. for straight sections, the increase in discharge creates a lower sediment transport capacity, while the curved sections behave have reverse In this research, the Tofalati relationship was used to estimate the sediment transfer capacity.

* **Corresponding Author:** Farzad Hassan pour
Address: Faculty of Water and Soil, Department of Water Engineering, University of Zabol, Iran
Email: Hassanpourir@UOZ.ac.ir
Tel: 09151444474

Considering the high sediments of the Sistan River and the importance of maintaining the flow transfer capacity of the Feeder 2 catchment channel and on the other hand the role of the chahnimeh reservoirs in the continuation of the life of the Sistan plain, this research aims to study the sediment deposition in the conditions of the maximum and minimum water levels of the chahnimeh reservoirs using HEC RAS 6.0.0 model was done in Feeder 2 channel.

2. Methodology

Sistan river with an average annual discharge of 2.6 billion cubic meters is discharged to Hamoun Helmand. The length of Sistan river reaches about 70 km.

According to the studies performed and determining the need to increase the intake of chahnimeh of the Sistan River the structure of feeder channel 2 were constructed. This canal is considered as a trapezoid with a longitudinal slope equal to 0.002 percent, the width of the canal floor is 60 meters and a slope of 1.5 horizontal to 1 vertical of the walls. The height of the canal is equal to 12 meters.

This model was used in quasi-permanent conditions, in normal conditions and river floods using the standard step-by-step method to calculate the amount of sediment entering the two catchment canals of the chahnimeh Sistan reservoirs. Then it is time to enter the sediment data for the simulated model of sediment transport with a moving bed. In this case, first, the granulation pattern of the substrate material must be created in different places along the range. Then, each of the granulation patterns defined in the model can be related to the arrangement of the appropriate cross sections.

3. Discussion and Conclusion

To calibrate the sediment section of the HEC RAS model, the sediment estimation results of each of the sediment transport equations were compared with the measured sediment data at the Jarike hydrometric station. In the end, Tofalti's equation, which with RMSE equal to 52162 tons had the most overlap with the field conditions, was chosen as the best sediment relationship, which is in line with the research results of Moradi et al. in 2013, Sleibi Mustafa et al. in 2017, and Sami Mohammad et al in 2018, and Mohammadi et al in 1400, by conducting a research on the methods of estimating the suspended load of the Sistan River, showed that Tofalati's empirical relationship worked better than other experimental methods.

4. Results

The results of simulation of feeder 2 canal to supply the required water of chahnimeh in the minimum and maximum water level of chahnimeh reservoirs were performed in two scenarios as follows:

Feeder 2 canal is able to pass the maximum simulation flood flow, which was equal to 352 m^3/s, without any problems in the conditions of maximum and minimum figures.

At the maximum water level of reservoirs in all sections of the Sistan River, sedimentation occurs. The amount of sedimentation volume of Sistan river sections was equal to 15 thousand m^3 and for feeder channel 2 was equal to 54 thousand m^3.

In the conditions of minimum water level, erosion occurs in the sections of the Sistan River and sedimentation occurs in the sections of the Feeder 2 channel. The amount of erosion of Sistan river sections was equal to 3 thousand and 300 $m^3$and the volume of sedimentation for feeder 2 canal was equal to 52 thousand m^3.

5. The most important references

1) HEC RAS (Hydrologic Engineering Centre - River Analysis System) In an Underground Canal in Southwest Kano Irrigation Scheme – Kenya.2016. International Journal of Engineering Science Invention, 4(9): 15- 31.

2) Mustafa, A. S., Sulaiman, S. O., Al-Alwani, K. M. 2017. Application of HEC-RAS Model to Predict Sediment Transport for Eupharates River from Haditha to Heat. Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences. Volume 20-page 570-577.
3) Ochiere, H.O., Onyando, J.O. and Kamau, D. N. 2015. Simulation of Sediment Transport in the Canal Using the
4) Serede, I. J. Mutua, B. M. Raude, J. M. 2015. A review for hydraulic analysis of irrigation canals using

5) HEC-RAS model: A case study of Mwea irrigation scheme, Kenya. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). Vol. 4 Issue 09.

6) Sami mohammad, H. A. M. Alturfi, U. Abdullah Shlash, M. 2018. Sediment Transport Capacity in Euphrates River AT AL-Abbasia Reach Using HEC RAS Model. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Volume 9, Issue 5.

US Army corps of Engineer, 2008, Engineering Design Manual – Channel stability assessment for flood control project.

بررسی تاثیر رقوم آب مخازن چاه‌نیمه در رسوب‌گذاری کانال آبگیر فیدر ۲

محمد کلانتری[۱] ، فرزاد حسن‌پور[۲]

تاریخ ارسال:۱۴۰۰/۱۲/۲۴
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۰۵/۰۲

مقاله پژوهشی

چکیده

آبگیری از رودخانه برای تأمین آب در مصارف کشاورزی، شرب و صنعت همیشه مورد توجه بوده است. یکی از مشکلاتی که در اکثر آبگیرها به وجود می‌آید، تجمع و ورود رسوبات به دهانه آبگیر می‌باشد. دشت سیستان در جنوب شرقی کشور وابستگی شدیدی به منابع آب‌های سطحی دارد. در پژوهش حاضر از مدل HEC RAS به منظور انجام شبیه‌سازی نحوه رسوب‌گذاری در کانال فیدر ۲ استفاده گردید. شبیه‌سازی جریان در مدل به صورت شبه‌دائمی، با استفاده از روش گام‌به‌گام استاندارد انجام گردید. بر اساس نتایج شبیه‌سازی در شرایط رقوم حداکثر، حجم رسوب‌گذاری کانال فیدر ۲ برابر با ۵۴۲۰۰ متر مکعب می‌باشد که تراز بستر را به مقدار ۴/۱ متر افزایش می‌دهد و در شرایط رقوم حداقل حجم رسوب‌گذاری در کانال فیدر ۲ برابر با ۵۲۷۰۰ متر مکعب می‌باشد که باعث افزایش تراز بستر به مقدار ۳/۸۴ متر شد. مقایسه نتایج در دو سناریو نشان می‌دهد که در شرایط آبگیری با رقوم حداکثر حجم رسوب‌گذاری در واحد طول برای رودخانه سیستان برابر با ۶/۵ متر مکعب در متر طول رودخانه گردید در حالیکه در شرایط رقوم حجم فرسایش برابر با ۲/۲ متر مکعب در متر رودخانه سیستان گردید. بنابراین کانال فیدر ۲ در تمامی شرایط آبگیری بصورت رسوب‌گذار عمل خواهد نمود.

واژه‌های کلیدی: مدل ریاضی، رسوب‌گذاری، HEC RAS، سیستان.

[۱]. مهندسی سازه‌های آبی گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران ، m.kalantari92@gmail.com
[۲]. (نویسنده مسئول) دانشیار دانشکده آب و خاک گروه مهندسی آب، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل، زابل، ایران، Hassanpourir@UOZ.ac.ir

مقدمه

آبگیری از رودخانه برای تأمین آب در مصارف کشاورزی، شرب و صنعت همیشه مورد توجه بوده است. از بین روش‌های مختلف آبگیری، احداث سد انحرافی و آبگیرهای جانبی آن برای تأمین آب شبکه‌های آبیاری بیشتر متداول است. اساس این روش، ساخت سد و انحراف بخشی از جریان رودخانه است. از آنجا که جریان سیلابی رودخانه‌ها بیشتر دارای آورد رسوبی بالا است، بخشی از رسوبات وارد دهانه آبگیر می‌شوند و درنتیجه، در طول زمان انسداد دهلنه و یا کاهش ظرفیت آبگیری کلنال رخ می‌دهد (حسینی و همکاران، ۱۳۹۴)

ته‌نشینی رسوبات در مسیر انتقال آب در کانال ها باعث گرفتگی دهلنه‌های آبگیر و کاهش ظرفیت کلنال ها می شود. بنابراین بایستی از ته‌نشینی مواد رسوبی در کلنالهای آبیاری جلوگیری گردد زیرا این امر مانع مدیریت صحیح در یک شبکه آبیاری می‌شود (محمودیان شوشتری و نیکان فر، ۱۳۸۱).

تحقیقات زیادی در زمینه شبیه‌سازی رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها و کانال‌ها با استفاده از HEC RAC انجام گرفته است که در ادامه به تعدادی از آنها اشاره می‌شود.

آزم و همکاران در سال ۱۳۹۲، به بررسی هیدرولیک جریان و رسوب بعد از اجرای عملیات لایروبی با استفاده از مدل HEC RAS 4.0 **پرداخته‌اند**. با تجزیه و تحلیل نتایج مدل، دیده می‌شود که لایروبی در بازه اهواز به شکل کف‌کنی تاثیر قابل ملاحظه‌ای بر روی پروفیل سطح آب ندارد و تنها روند رسوب‌گذاری و فرسایش را در این بازه تغییر می‌دهد، علاوه بر این مقاطع لایروبی شده حداکثر بعد از ۶ سال به وضعیت قبل از لایروبی در خواهند آمد.

جباری و همکاران در سال ۱۳۹۳، در پژوهشی با استفاده از مدل HEC RAS 4.1 جریان رسوبات رودخانه ابهررود را شبیه‌سازی و ظرفیت انتقال رسوب را برآورد نمودند. بررسی تغییرات ظرفیت انتقال رسوب در طول رودخانه، نشان می‌دهد در بالادست رودخانه ظرفیت حمل رودخانه بیشتر از پایین‌دست می‌باشد. همچنین بررسی وضعیت فرسایش و رسوبگذاری رودخانه نشان می‌دهد که وضعیت هیدرولیکی جریان در طول رودخلنه به گونه‌ای است که تمامی مقاطع رودخانه در وضعیت فرسایش می‌باشد.

لاری یزدی در سال ۱۳۹۳، برای بدست آوردن رسوب رودخانه کاروانداز از مدل HEC RAS استفاده نمود که نتایج مطلوبی را در پی داشت. ایشان پیشنهاد نمود جهت جلوگیری از پر شدن سد در دست احداث کاروانسر نسبت به ایجاد مخزن رسوبگیر در بالادست و تخلیه به موقع آنها اقدام تا از عمر مفید سد کاسته نشود.

نوروزی و همکاران در سال ۱۳۹۳، برای بررسی ابعاد مختلف انتقال رسوب از ایستگاه هیدرومتری کشکان-پلدختر لرستان از نرم‌افزار **HEC RAS 4.1** استفاده نمودند. نتایج، کارآیی مناسب مدل برای شبیه‌سازی رسوب و نیز تطابق خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری و شبیه‌سازی شده را نشان داد.

مرادی‌نژاد و همکاران در سال ۱۳۹۳، میزان رسوبات و توان حمل رودخانه قره چای استان مرکزی را محاسبه و مناسب‌ترین معادلات انتقال رسوب را با استفاده از مدل HEC RAS **برآورد** نمودند. نتایج نشان داد که معادلات انگلوند-هانسن[1] و توفالتی[2] در سطح ۵ درصد خطا فاقد اختلاف معنی‌دار با داده‌های اندازه‌گیری هستند و سایر معادلات با مقادیر مشاهداتی اختلاف زیادی دارند و تفاوت آنها معنی‌دار است همچنین ظرفیت انتقال رسوب از بالا به پائین به خاطر افزایش شیب طولی افزایش می‌یابد.

شیخی‌پور و همکاران در سال ۱۳۹۹، در پژوهش خود ظرفیت انتقال رسوب رودخانه خرم‌آباد و پارامترهای هندسی و هیدرولیکی رودخانه را با استفاده از مدل HEC RAS شبیه‌سازی نمودند. بررسی تغییر پارامترهای هندسی- هیدرولیکی و قطر ذرات رسوبی نشان داد که در قسمت‌های میانی فرسایش و در ساحل راست بالا و پایین‌دست رودخانه رسوب‌گذاری رخ می‌دهد.

مرادی‌نژاد و حسینی در سال ۱۴۰۰، در پژوهش خود با استفاده از مدل HEC RAS **جریان** رسوبات رودخانه خنداب را شبیه‌سازی نمودند. بررسی وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه نشان می‌دهد که قسمتی از مقاطع

1. England-Hansen

2. Toffaleti

این رودخانه در وضعیت فرسایشی و قسمتی در حال رسوبگذاری قرار دارد.

Wang در سال ۲۰۱۴، در مطالعه‌ای کاربرد مدل HEC RAS در شبیه‌سازی مشخصات سطح رودخانه‌ای از شهر شیجیاژوانگ[1] را ارائه نمود. نتایج حاصل از این مطالعه نشان‌دهنده این است که مدل HEC RAS با استفاده از اصول اساسی محاسبات جریان ناپایدار در کانال باز، توانایی شبیه‌سازی مشخصات سطح آب را به خوبی داشته و همچنین استفاده از آن بسیار ساده می‌باشد.

Serede و همکاران در سال ۲۰۱۵، با استفاده از مدل HEC RAS به تجزیه و تحلیل هیدرولیک کانال‌های طرح آبیاری Mwea پرداختند و در این تحقیق مدل HEC RAS از نظر تخمین مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از این مطالعه نشان می‌دهد که افزایش مقاومت هیدرولیکی لینک کانال (LCII) II منجر به کاهش حداکثر ظرفیت برآورد شده است.

Sleibi Mustafa و همکاران در سال ۲۰۱۷، با استفاده از مدل HEC RAS 4.1 و معادله انتقال رسوب توفالتی، ظرفیت انتقال رسوب رودخانه فرات از حدیثه[2] را پیش‌بینی نمودند. نتایج انتقال رسوب "جرم جمع شده" برای این مطالعه برابر با مقدار (۲۳۷.۳۸ تن در روز) اندازه گیری شد. همچنین مقدار بار رسوبی این مطالعه در ایستگاه هیت[3] (۵۵۱/۷۶ تن در روز) برآورد گردید.

Omran و Jaber در سال ۲۰۱۷، به شبیه‌سازی انتقال رسوب در رودخانه الهله[4] عراق با استفاده از مدل HEC RAS پرداختند. نتایج نشان داد که تغییرات بستر رودخانه با توجه به مقاطع رودخانه و نوع مواد رسوبی متفاوت بوده و با عبور از مرکز شهر ، غلظت رسوب در قسمت رودخانه افزایش یافته و این غلظت به ۱۲۵ میلی گرم در لیتر می‌رسد.

Sami mohammad و همکاران در سال ۲۰۱۸، ظرفیت انتقال رسوب رودخانه فرات واقع در شاخه العباسیه[5] را با استفاده از مدل HEC RAS برآورد نمودند. مقایسه منحنی‌های رتبه‌بندی نشان داد که پتانسیل انتقال رسوب در مقاطع دسترسی در فاصله‌های ۱۰۰۰ تا ۱۲۰۰، ۲۲۰۰ تا ۳۰۰۰ و ۳۵۸۰ متر از کمتر از سایر مقاطع است همچنین برای قسمت‌های مستقیم، افزایش دبی ظرفیت انتقال رسوب کمتری را ایجاد می‌کند در حالی که بخش‌های پیچ‌خورده رفتار معکوس دارند. در این پژوهش برای برآورد ظرفیت انتقال رسوب از رابطه توفالتی استفاده شده بود.

Joshi و همکاران در سال ۲۰۱۹، در مطالعه خود با استفاده از مدل HEC RAS به بررسی ویژگی‌های انتقال رسوب رودخانه Maumee در اوهایو[6] پرداختند. کالیبراسیون و اعتبارسنجی این مدل با اعمال توابع مختلف انتقال رسوب و ضریب زبری مانینگ انجام شد. خروجی مدل الگوی تغییر بستر و همچنین قسمت‌هایی از رودخانه را نشان می‌دهد که با فرسایش یا رسوب مطابقت دارند. خروجی مدل همراه با دانش محلی می‌تواند به کاهش مشکل ناشی از رسوب کمک کند.

Haque و همکاران در سال ۲۰۱۹، با استفاده از مدل HEC RAS انتقال رسوب رودخانه کوبادک[7] را شبیه‌سازی نمودند. این پژوهش در راستای شناسایی فرسایش-رسوب سطح مقاطع مختلف برای سال ۲۰۱۶ در امتداد رودخانه کوبادک متمرکز شد. طبق نتایج، رسوب-فرسایش از ۰/۰۱۵ متر تا ۲ متر برای مقاطع مختلف متغیر است.

Soomro و همکاران در سال ۲۰۲۱، در تحقیقی با استفاده از کالیبراسیون مدل HEC RAS ضریب زبری مانینگ مربوط به کانال رهروی[8] پاکستان را برآورد نمودند. نتایج نشان می‌دهد که ضریب زبری مانینگ برای کانال روهری که تطابق خوبی بین هیدروگراف مشاهده شده و محاسبه‌شده نشان می‌دهد ۰/۰۴۲ است.

بررسی منابع انجام شده نشان می‌دهد که رسوبگذاری در کانال ها باعث مشکلاتی از جمله کاهش ظرفیت عبور جریان می گردد و مدل HEC RAS در این زمینه به خوبی می تواند شرایط جریان و رسوب را شبیه سازی نماید. با توجه به قرارگیری رودخانه سیستان در پایاب حوزه آبریز وسیع هیرمند، سالانه مقدار زیادی رسوب وارد

1. Shijiazhuang
2. Haditha
3. Heath station
4. Al-Hilla
5. Al-Abbasiyah
6. Ohio
7. Kobadak
8. Rohri

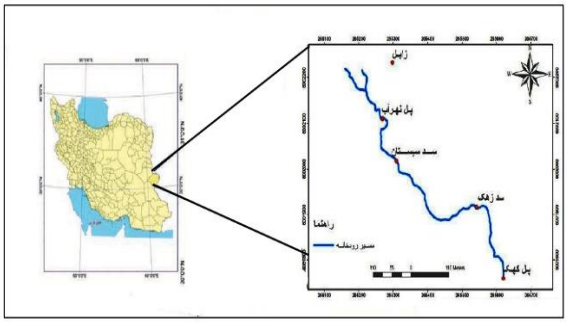
این رودخانه می‌شود. بر اساس نتایج بدست آمده از تحلیل فراوانی داده‌های رسوب، میزان رسوبات وارده به رودخانه سیستان در یک سال، حدود ۷/۳ میلیون تن خواهد بود (جهان‌تیغ و همکاران، ۱۳۹۸).

با توجه به رسوبات زیاد رودخانه سیستان و اهمیت حفظ ظرفیت انتقال جریان کانال آبگیر فیدر۲ و از طرفی نقش مخازن چاه‌نیمه در ادامه حیات دشت سیستان، این پژوهش با هدف مطالعه نحوه رسوب‌گذاری در کانال فیدر ۲ در شرایط رقوم حداکثر و حداقل سطح آب مخازن چاه‌نیمه با استفاده از مدل HEC RAS 6.0.0 انجام گردید.

مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

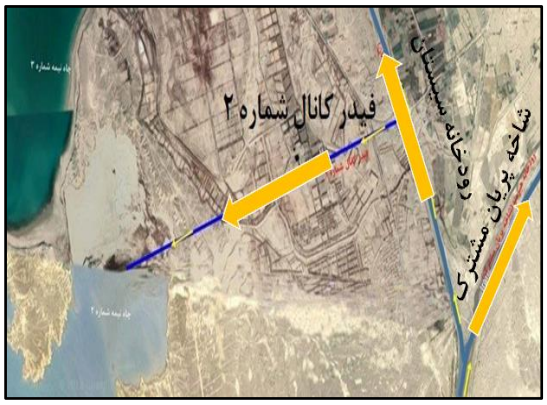
رودخانه سیستان با آبدهی متوسط سالیانه ۲/۶ میلیارد مترمکعب و نوسانات بسیار زیاد از هیرمند منشعب شده و بعد از آبیاری دشت سیستان به هامون هیرمند تخلیه می‌شود. طول رودخانه سیستان به حدود ۷۰ کیلومتر می‌رسد که ارتفاع ابتدای آن ۴۹۲ متر و ارتفاع انتهای آن در پایین‌ترین نقطه ۴۷۳ متر از سطح دریا می‌باشد. پلان رودخانه سیستان در شکل ۱ ارائه شده است (امیری و همکاران، ۱۳۹۷).



شکل (۱): موقعیت رودخانه سیستان

با توجه به مطالعات انجام شده و مشخص شدن ضرورت افزایش آبگیری مخازن چاه‌نیمه از رودخانه سیستان و سازه کانال فیدر ۲ مطابق شکل ۲ احداث گردید. این کانال به صورت ذوزنقه‌ای با شیب طولی معادل ۰/۰۰۲ درصد، عرض کف کانال ۶۰ متر شیب ۱/۵ افقی به ۱ قائم دیواره‌ها در نظر گرفته شده است. ارتفاع کانال برابر ۱۲ متر و تراز ورودی کانال معادل ۴۸۵متر است (مهندسین مشاور آبساران، ۱۳۹۵).

از جمله اهداف ساخت کانال فیدر ۲ انتقال حداکثری آب به داخل چاه‌نیمه ها، کنترل سیلاب ورودی به سیستان و تأمین ایمنی مردم و تاسیسات منطقه و افزایش سهم آبگیری سیستان از رودخانه هیرمند برای چاه‌نیمه‌ها بالاخص در دبی‌های کم است.



شکل (۲): پلان کانال فیدر ۲

معرفی مدل HEC RAS

مدل HEC RAS از رایج‌ترین مدل‌های رودخانه‌ای است که با استفاده از آن می‌توان جریان متغیر تدریجی را با هر نوع مقطع عرضی در حالات دائمی، غیردائمی و انتقال رسوب را در مرز متحرک بصورت یک‌بعدی شبیه‌سازی نمود. این مدل به‌وسیله‌ی اداره مهندسی ارتش آمریکا[1] توسعه یافته است. این مدل براساس معادلات جریان، انتقال رسوب و معادله پیوستگی رسوب در شرایط یک‌بعدی و فرض جریان شبه‌غیرماندگار توسعه یافته است (بی‌نام، ۱۳۹۵).

مدل ریاضی HEC RAS، یکی از مدل‌های حل معادلات جریان ماندگار و غیرماندگار متغیر به‌منظور تعیین تراز سطح آب و مشخصات هیدرولیکی جریان، می‌باشد. این مدل قادر به محاسبه پروفیل‌های سطح آب در شرایط جریان یک‌بعدی و متغیر تدریجی در دو حالت ماندگار و غیرماندگار در آبراهه‌های طبیعی و یا مصنوعی با

1. United States Army Corps of Engineers

هر مقطعی و در وضعیت‌های جریان زیربحرانی، فوق‌بحرانی و یا ترکیبی است. هم‌چنین این سیستم قادر به در نظر گرفتن یک شبکه کامل از کانال‌ها، یک سیستم شاخه‌ای یا یک بازه واحد از رودخانه می‌باشد (مهندسین ارتش ایالات متحده[1]، ۲۰۰۸).

برنامه سیستم تجزیه و تحلیل رودخانه مرکز مهندسی[2] می‌تواند محاسبات مسیریابی رسوب بستر متحرک را با داده‌های سری جریان شبه ماندگار (هیستوگرام) انجام دهد. این مدل ظرفیت انتقال رسوب را با تعدادی از روش های موجود محاسبه می‌کند(International Journal of Engineering Science Invention,2016). ابزار ظرفیت انتقال رسوب[3] به کاربر این امکان را می‌دهد که ظرفیت انتقال کل یک مقطع انتخابی را تخمین بزند. علاوه بر این، HEC RAS دارای برخی از ویژگی‌های خروجی قدرتمند است که به کاربر این امکان را می‌دهد تا ظرفیت حمل و نقل را بر اساس اندازه دانه، بخش فرعی، عملکرد حمل و نقل یا نمایه مشاهده کند(برونر و گیبسون[4]، ۲۰۰۵). HEC به افزودن ویژگی‌های یک‌بعدی جدید ادامه می‌دهد که در نسخه‌های آینده از جمله انتقال با چگالی متغیر، توابع پنهان، الگوریتم‌های رسوب‌گذاری سیل توزیع‌شده و قابلیت‌های ترسیم جدید در دسترس خواهند بود (گیبسون و سانچز[5]، ۲۰۱۷).

معادله حاکم بر جریان در مدل HEC RAS

روش محاسبه پروفیل سطح آب در مقاطع جریان برای جریان دائمی از طریق حل معادله ۱ به روش گام به گام استاندارد می‌باشد. شکل نهایی معادله انرژی بصورت زیر نوشته می‌شود:

$$Y_2 + Z_2 + \alpha_2 \frac{V_2^2}{2g} = Y_1 + Z_1 + \alpha_1 \frac{V_1^2}{2g} + h_e \qquad (۱)$$

در این رابطه Y = عمق آب در مقاطع عرضی، Z = تراز کف کانال اصلی، V = سرعت متوسط جریان، α = ضریب تصحیح انرژی جنبشی، g = شتاب ثقل، h_e = اتلاف انرژی کل می‌باشند.

معادله پیوستگی رسوب در مدل HEC RAS

مدل سازی انتقال رسوب بسیار مشکل می‌باشد. داده‌هایی که برای پیش‌بینی تغییرات بستر رودخانه استفاده می‌شود، اساساً متغیر بوده و تئوری استفاده شده، تجربی است و نسبت به تغییرات فیزیکی بسیار حساس می‌باشد. گرچه با استفاده از داده‌های مناسب و واسنجی دقیق مدل رسوب با شرایط میدانی، می‌توان انتظار بیش‌بینی دقیقی از مدل داشت. HEC RAS جهت محاسبه انتقال رسوب از معادله پیوستگی رسوب Exner استفاده می‌نماید:

$$\left(1 - \vartheta_p\right) B \frac{\partial \alpha}{\partial t} = -\frac{\partial Q_s}{\partial x} \qquad (۲)$$

که در آن B = عرض کلنال، α = ارتفاع بستر کلنال، ϑ_p = تخلخل لایه فعال، t = زمان، x = فاصله، Q_s = میزان رسوب انتقالی می‌باشد.

این معادله به راحتی وضعیت حجم رسوب (به عنوان مثال فرسایش یا رسوب‌گذاری) را در حجم کنترل مشخص می‌نماید، که این مقدار معادل تفاوت بین حجم رسوب ورودی و خروجی می‌باشد.

توفالتی[6] در سال ۱۹۶۸ معادله انتقال رسوبی برای دانه‌بندی ماسه ارائه داد. توفالتی آزمایشات خود را پیرامون رودخانه‌های بزرگ انجام داد لذا معادله او چندان وابسته به سرعت برشی نبود. در واقع وی با رگرسیون‌گیری از دما و یک پارامتر تجربی که رابطه بین رسوب و مولفه‌های هیدرولیکی را نشان می‌داد، به معادله خود رسید.

در این تحقیق تابع انتقال توفالتی برای انجام شبیه‌سازی رسوبات ورودی در نظر گرفته شد. معادله توفالتی به صورت زیر می‌باشد:

$$q_b = M(2d)^{1+z_v - 0.756 z_i} \qquad (۳)$$

که در آن q_b = بار بستر در واحد عرض (متر مکعب بر ثانیه در متر)، d = اندازه متوسط دانه‌های رسوب (متر) می‌باشد.

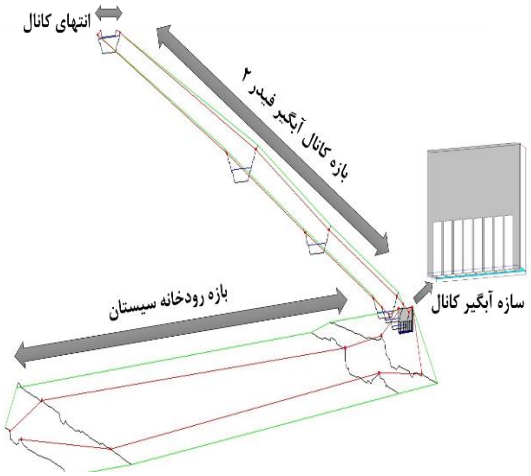
داده‌های وارد شده به مدل

اطلاعات هندسی

1. Sediment Transport Capacity
2. HEC RAS
3. USACE

4. Toffaleti
5. Gibson and Sanchez
6. Brunner and Gibson

اطلاعات هندسی از مهمترین اجزای مدل‌سازی هیدرولیکی رودخانه در برنامه HEC-RAS می‌باشد. وارد نمودن اطلاعات هندسی مورد نیاز شامل اطلاعات اتصال برای سیستم آبراهه (طرح شماتیک سیستم کانال)، داده‌های مقاطع عرضی و اطلاعات سازه‌های هیدرولیکی (سیل بر و سد و غیره) می‌باشند. برای این منظور با استفاده از نقشه توپوگرافی مقاطع عرضی کانال فیدر ۲ برای مدل تعریف گردید. بمنظور مدل‌سازی این کانال مطابق شکل ۳ تعداد ۱۲ مقطع عرضی که ۳ مقطع اول مربوط به سازه آبگیر ورودی بوده، در نظر گرفته شد و همچنین برای مدل‌سازی سازه کنترل جریان ورودی سازه آبگیر کلنال فیدر ۲ با مشخصات موجود در مسیر از گزارشات مطالعات کنترل سیل رودخانه سیستان و مطالعات مرحله اول ارزیابی کیفی سازه‌های هیدرولیکی سیستان که توسط شرکت مهندسین مشاور آبساران تهیه شده، استفاده گردیده و در مدل تعریف شد.

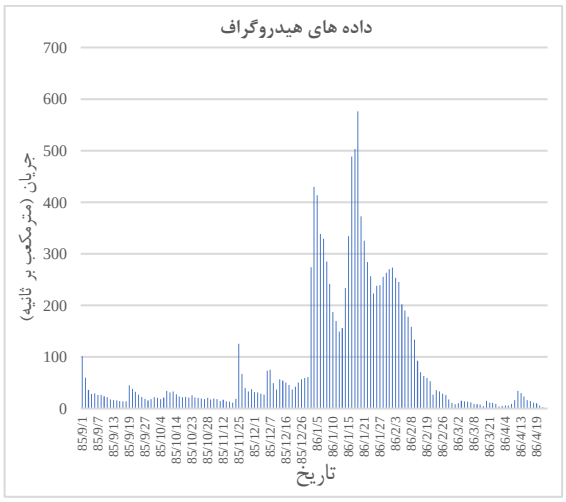


شکل (۳): کانال فیدر ۲ مخازن چاه‌نیمه

اطلاعات جریان

پس از وارد نمودن اطلاعات هندسی به منظور شناسایی رفتار هیدرولیکی رودخانه، محاسبه نیمرخ سطح آزاد، تعیین رژیم غالب جریان و پدیده‌های هیدرولیکی رودخانه بر اساس مدلسازی جریان به صورت شبه ماندگار انجام گرفت. در این پژوهش برای داده‌های جریان از هیدروگراف اصلاح شده سال ۸۶-۱۳۸۵ مطابق شکل ۴ استفاده شده است بطوریکه هیدروگراف سالانه تعریف شده توان تامین آب مورد نیاز چاه‌نیمه‌ها به میزان یک میلیارد متر مکعب را داشته باشد.

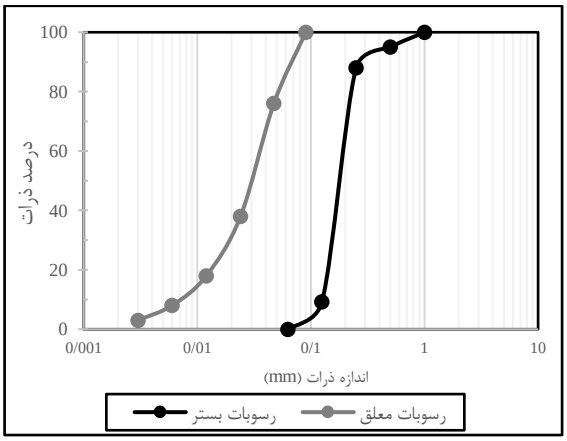
حداکثر حجم ذخیره مخازن چاه‌نیمه برابر ۱۴۵۰ میلیون متر مکعب و رقوم حداکثر مخازن چاه‌نیمه برابر ۴۹۲ متر است و با در نظر گرفتن ذخیره استراتژیک مخازن ۳-۱ چاه‌نیمه برابر ۴۲۱ میلیون متر مکعب برای تامین آب شرب منطقه سیستان و شهرستان زاهدان، رقوم حداقل مخازن چاه نیمه برابر ۴۸۷ متر است (مهندسین مشاور سامانه فرآیندهای محیطی، ۱۳۸۷). براین اساس سطح آب مخازن چاه نیمه در مدل برای رقوم حداکثر ۴۹۲ و حداقل ۴۸۷ متر در نظر گرفته شد.



شکل (۴): هیدروگراف سیلاب ۸۶-۱۳۸۵

داده‌های رسوب

در این قسمت دانه‌بندی مربوط به رسوبات بستر و رسوبات معلق مقاطع به نرم‌افزار HEC RAS معرفی و در شکل ۵ نمودار دانه‌بندی رسوبات معلق و رسوبات بستر در مقطع بالادست نشان داده شده است.



شکل(۵): نمودار دانه‌بندی رسوبات معلق و رسوبات بستر در مقطع بالادست

دانه‌بندی رسوبات مصالح بستر در اولین مقطع بالادست و مقطع انتهای پایین‌دست برداشت و به مدل معرفی گردید و با توجه به تغییرات کم دانه‌بندی در مسیر برای مقاطع میانی میان‌یابی صورت گرفت.

به منظور بررسی تاثیر رقوم مخازن چاه نیمه در میزان رسوبگذاری کانال فیدر ۲ ، شبیه‌سازی جریان و رسوب در حالت بهره‌برداری از کلنال فیدر ۲ در دو سناریوی رقوم حداقل ۴۸۷ متر و حداکثر ۴۹۲ متر سطح آب مخازن چاه‌نیمه سیستان در پایین دست صورت گرفت و دریچه‌های سازه آبگیر کانال فیدر ۲ در دو سناریو به ارتفاع ۴ متر باز در نظر گرفته شد.

صحت سنجی مدل در واقع کنترل صحت اطلاعات و نتایج خروجی از مدل شبیه‌سازی هیدرولیکی در رودخانه مورد مطالعه می‌باشد. با توجه به اینکه در محدوده‌ی مورد مطالعه، ایستگاه آب سنجی کهک موجود می‌باشد برای ارزیابی خطای واسنجی از معیار مجذور میانگین مربع خطا (RMSE) استفاده شد:

$$RMSE = \sqrt{\sum \frac{(Z_i^* - Z_i)^2}{n}} \qquad (۴)$$

که در این رابطه Z_i^* = ارتفاع سطح آب اندازه گیری شده، Z_i = ارتفاع سطح آب محاسبه شده توسط HEC RAS و n = تعداد داده‌ها است.

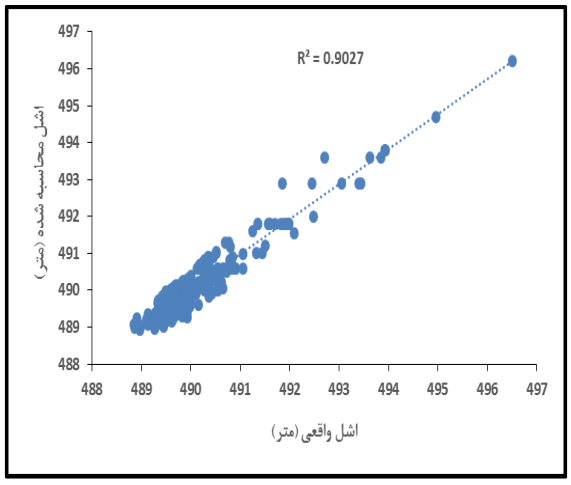
به منظور مقایسه نتایج رسوبگذاری در رودخانه سیستان و کانال فیدر ۲ در دو سناریوی تحقیق، میزان حجم رسوبگذاری در واحد طول رودخانه با تقسیم حجم رسوب‌گذاری بر طول بازه مقاطع محاسبه گردید همچنین درصد رسوبات ته‌نشین شده، از حاصل تقسیم حجم رسوب‌گذاری بر حجم رسوب تجمعی ورودی به مقاطع و ضرب در عدد ۱۰۰ محاسبه شد. درصد میانگین وزنی رسوبات از حاصلضرب مقادیر مربوط به درصد رسوبات ته‌نشین شده و مقادیر طول بازه حاصل گردید.

نتایج و بحث

صحت‌سنجی رسوبی مدل HEC RAS

برای واسنجی مدل، در جریان‌های گوناگون عبوری از مدل، ضریب زبری بستر رودخانه که با عدم قطعیت مواجه است به صورت دستی تغییر داده شد تا زمانی که اشل برآورد شده‌ی مربوط به هریک از دبی‌ها با حداقل خطا (کمتر از ۱۰ درصد تغییرات ماکزیمم و مینیمم سطح آب در ایستگاه مورد نظر) مطابق با اشل‌های واقعی آن‌ها شد. بدین جهت از داده‌های دبی- اشل ایستگاه هیدرومتری جریکه در بازه زمانی ۱۳۸۶-۱۳۸۵ استفاده گردید. بعد از انجام مراحل واسنجی ضریب زبری مانینگ این بازه از رودخانه برای بستر سیلابی ۰/۰۴ و برای مجرای اصلی رودخانه ۰/۰۲ بدست آمد.

بعد از واسنجی مدل و تعیین ضریب زبری بستر رودخانه به جهت صحت‌سنجی مدل، از داده‌های دبی-اشل ایستگاه هیدرومتری جریکه استفاده شد، مقایسه‌ی اشل اندازه‌گیری و برآورد شده با ریشه‌ی میانگین مربعات (RMSE) خطای معادل ۰/۳۶ (کمتر از ۱۰ درصد ماکزیمم تغییرات سطح آب در ایستگاه هیدرومتری جریکه) دقت بالای مدل در شبیه‌سازی جریان را نشان می‌دهد. در معادله ۴ مقدار ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE) **ارائه** گردیده همچنین برازش مربوط به اشل واقعی و برآورد شده در مرحله‌ی صحت‌سنجی در شکل ۶ نشان داده شده است.



شکل (۶): مقایسه سطح آب در شرایط واقعی و محاسبه شده در مرحله صحت سنجی

برای واسنجی بخش رسوب مدل HEC RAS نتایج برآورد رسوب هر یک از معادلات انتقال رسوب با داده‌های اندازه‌گیری شده رسوب در ایستگاه هیدرومتری جریکه

مقایسه شد که برای این کار از داده‌های دبی-رسوب سال ۱۳۸۶-۱۳۸۵ بهره گرفته شد. در نهایت معادله‌ی توفالتی که با RMSE برابر با ۵۲۱۶۲ تن بیشترین همپوشانی را با شرایط میدانی داشت به عنوان بهترین رابطه رسوبی انتخاب گردید که این نتیجه با نتایج تحقیق مرادی و همکاران در سال ۱۳۹۳، Sleibi Mustafa و همکاران در سال ۲۰۱۷ و Sami Mohammad و همکاران در سال ۲۰۱۸ تطابق دارد و محمدی و همکاران در سال ۱۴۰۰ با انجام تحقیقی بر روی روش های تخمین بار معلق رودخانه سیستان نشان دادند که رابطه تجربی توفالتی بهتر از سایر روش‌های تجربی عمل کرده است.

از میان روش‌های سرعت سقوط، معادله سرعت سقوط توفالتی که با R^2 برابر با ۰/۸۸ برازش بهتری نسبت به سه روش دیگر دارد به عنوان معادله مناسب جهت برآورد سرعت سقوط تعیین شد. مقادیر مجذور میانگین مربعات خطا وR^2 مربوط به هریک از روابط انتقال رسوب در جدول ۱ آمده است.

جدول(۱): مقایسه روابط انتقال رسوب

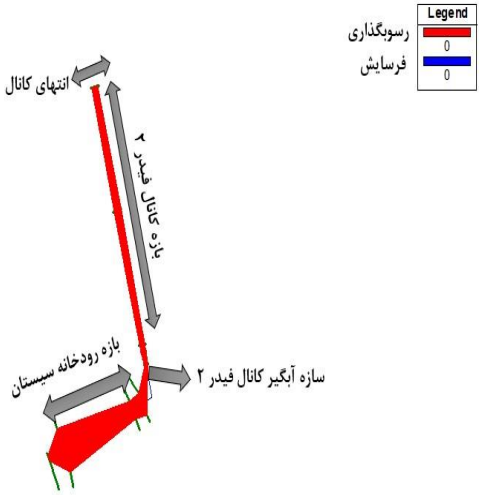
ردیف	روابط انتقال رسوب	RMSE (ton/day)	R^2
۱	MPM	۱۰۷۳۱۸	۰/۵۶
۲	Acker-whit	۱۰۷۶۱۶	۰/۵۸
۳	Yang	۱۰۳۴۸۱	۰/۴۱
۴	Wilcok	۱۰۷۶۴۴	۰/۵۵
۵	England-Hansen	۵۴۰۰۰	۰/۸۲
۶	Laursen	۸۷۳۷۹	۰/۴۱
۷	Toffaleti	۵۲۱۶۲*	۰/۸۹*

جهت صحت‌سنجی پروفیل سطح آب مدل در شرایط بستر متحرک بعد از انتخاب بهترین رابطه انتقال رسوب، مدل با داده‌های دبی-رسوب سال ۱۳۸۶-۱۳۸۵ اجرا گردید. سطح آب استخراج شده از مدل بسیار به داده‌های واقعی نزدیک بود بطوریکه مقدار مجذور میانگین مربعات خطای آن برابر ۰/۱۳۴ محاسبه گردید.

نتایج سناریوی آبگیری کانال فیدر ۲ در رقوم حداکثرسطح آب مخازن

تغییرات تراز بستر

براساس نتایج شبیه سازی مدل HEC RAS در این سناریو، کانال فیدر ۲ قادر است دبی حداکثر سیلاب شبیه‌سازی که برابر ۳۵۲ متر مکعب بر ثانیه بوده را بدون هیچ‌گونه مشکلی از کلیه مقاطع عرضی عبور دهد، پلان محدوده فرسایش و رسوب‌گذاری کانال فیدر ۲ و رودخانه سیستان در پایان سیلاب مطابق شکل ۷ ارائه می‌گردد و مطابق شکل در کل طول مسیر رودخانه سیستان و کانال فیدر ۲ رسوب‌گذاری صورت می پذیرد.



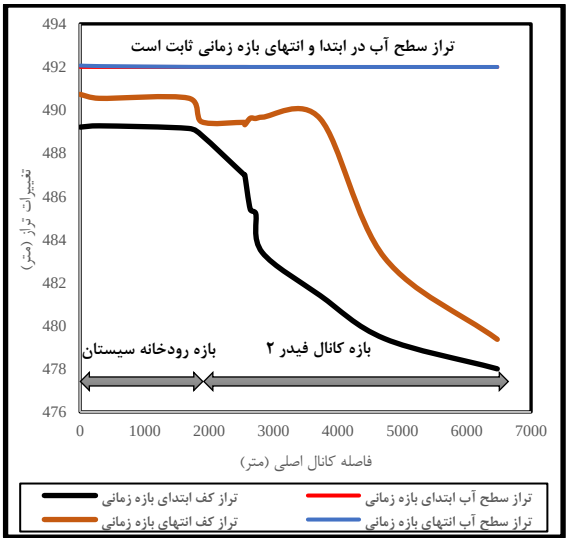
شکل (۷): پلان محدوده فرسایش و رسوب‌گذاری کانال فیدر ۲ و رودخانه سیستان در شرایط رقوم حداکثر

نتایج حاصل از تغییرات طولی تراز بستر مقاطع مربوط به رودخانه سیستان و کانال فیدر ۲ در جدول۳ و شکل ۹ ارائه گردیده است. مطابق این جدول مقطع هفتم کلنال فیدر ۲ با مقدار ۸/۲ متر دارای بیشترین مقدار افزایش ارتفاع می باشد. میانگین وزنی تغییرات تراز بستر مقاطع رودخانه سیستان برابر با ۱/۳۵ متر و برای مقاطع کانال فیدر ۲ برابر ۴/۱ متر حاصل گردید که نشان‌دهنده افزایش تراز بستر در کل این مقاطع می‌باشد.

جدول (۳): تراز کل تغییرات بستر مقاطع رودخانه سیستان و فیدر ۲ در پایان سیلاب و شرایط رقوم حداکثر

ردیف	مقاطع		فاصله (m)	طول بازه مقاطع (m)	میانگین تراز بستر (m)	تغییرات تراز (m)	میانگین وزنی
۱	رودخانه سیستان	۱	۰	۱۴۷	۴۸۹/۹۷	۱/۵۱	۲۲۳/۴۲
۲		۲	۲۹۴	۸۴۱/۲	۴۸۹/۹۰	۱/۲۷	۱۰۷۳/۳۷
۳		۳	۱۶۸۲/۵	۷۹۴/۷	۴۸۹/۸	۱/۴۰	۱۱۱۵/۳۶
۴	فیدر ۲	۱	۱۸۸۳/۵	۴۳۱/۵	۴۸۹/۱۵	۰/۶۲	۲۶۷/۵۷
۵		۲	۲۵۴۵/۵	۳۳۶	۴۸۸/۲۱	۲/۴۳	۸۱۶/۸۸
۶		۳	۲۵۵۵/۵	۴۷/۵	۴۸۸/۱۶	۲/۳۲	۱۱۰/۲۰
۷		۴	۲۶۴۰/۵	۸۵	۴۸۷/۵۱	۴/۲۲	۳۵۸/۸۱
۸		۵	۲۷۲۵/۵	۹۲/۵	۴۸۷/۴	۴/۴۱	۴۰۷/۹۸
۹		۶	۲۸۲۵/۵	۵۰۰	۴۸۶/۵	۶/۲۷	۳۱۳۶/۱۵
۱۰		۷	۳۷۲۵/۵	۹۵۰	۴۸۵/۵	۸/۲	۷۷۹۱/۹۹
۱۱		۸	۴۷۲۵/۵	۱۳۷۵	۴۸۱/۲	۳/۷۵	۵۱۵۹/۹۶
۱۲		۹	۶۴۷۵/۵	۸۷۷/۵	۴۷۸/۶	۱/۳۶	۱۲۰۰/۴۲
میانگین وزنی مقاطع رودخانه سیستان							۱/۳۵
میانگین وزنی مقاطع کانال فیدر ۲							۴/۱

شکل ۸ تغییرات تراز بستر و سطح آب در دبی ۲۰ متر مکعب بر ثانیه رودخانه سیستان و کانال فیدر ۲ را در ابتدا و انتهای بازه زمانی شبیه‌سازی نشان می‌دهد که با در نظر گرفتن جدول ۴ ، سطح تراز بستر در انتهای بازه زمانی در کانال فیدر ۲ افزایش ارتفاع بیشتری نسبت به رودخانه سیستان داشته است، همچنین تراز سطح آب در انتهای بازه زمانی در اولین مقطع بالادست رودخانه سیستان ۵ درصد بیشتر از تراز سطح آب در ابتدای سیلاب می‌گردد که این نتیجه با توجه به دو شاخه شدن رودخانه هیرمند در این نقطه کاهش آبگیری رودخانه سیستان و افزایش آبگیری رودخانه پریان مشترک را به دنبال دارد.



شکل (۸): تغییرات تراز بستر رودخانه سیستان و کانال فیدر ۲ در شرایط رقوم حداکثر

حجم رسوب‌گذاری انجام شده

در جدول ۴ حجم رسوب‌گذاری، تغییرات حجم رسوب تجمعی ورودی، حجم رسوب‌گذاری در واحد طول و درصد رسوبات ته‌نشین‌شده مربوط به مقاطع رودخانه سیستان و کانال فیدر ۲ ارائه گردید.

بر اساس نتایج این جدول میزان حجم رسوب‌گذاری مربوط به مقاطع رودخانه سیستان برابر با ۱۵ هزار مترمکعب و برای کانال فیدر ۲ برابر با ۵۴ هزار متر مکعب حاصل گردید که به نسبت رودخانه سیستان دارای حجم رسوب‌گذاری بیشتری است. حجم رسوب‌گذاری در واحد طول برای رودخانه سیستان برابر با ۶/۵ متر مکعب در متر طول رودخانه و برای کانال فیدر ۲ برابر با ۱۰/۵ متر مکعب در متر طول رودخانه بود. میانگین درصد وزنی رسوبات ته نشین شده برای رودخانه سیستان برابر با ۷/۵٪ و برای کانال فیدر ۲ برابر ۱۸/۴۷ ٪ می‌باشد.

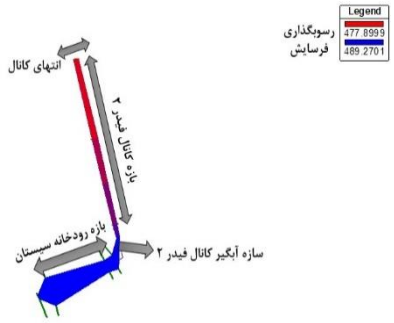
درصد رسوبات ته‌نشین شده براساس میزان رسوبات ورودی برای رودخانه سیستان ۵/۴ ٪ و برای کانال فیدر ۲، مقدار ۹/۹ ٪ محاسبه شد که بیانگر تله اندازی بیشتر رسوبات درکانال فیدر ۲ نسبت رودخانه سیستان است.

جدول (۴): حجم رسوب‌گذاری مقاطع فیدر ۲ در پایان سیلاب و شرایط رقوم حداکثر سطح آب مخازن چاه‌نیمه

نتایج سناریوی آبگیری فیدر ۲ در رقوم حداقل سطح آب مخازن

تغییرات تراز بستر

بر اساس نتایج شبیه‌سازی مدل **HEC RAS** در این سناریو، کانال فیدر ۲ قادر است دبی حداکثر سیلاب شبیه‌سازی که برابر ۳۵۲ متر مکعب بر ثانیه بوده را بدون هیچ‌گونه مشکلی از کلیه مقاطع عرضی عبور دهد. پلان محدوده فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه سیستان و کانال فیدر ۲ در پایان سیلاب در شکل ۹ ارائه گردیده که با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی، تغییرات در کل طول مسیر رودخانه همراه با فرسایش بوده و در کانال فیدر ۲ رسوب‌گذاری انجام شد.



شکل (۹)- پلان محدوده فرسایش و رسوب‌گذاری کانال فیدر ۲ و رودخانه سیستان در شرایط رقوم حداقل

نتایج شبیه‌سازی تغییرات کلی تراز بستر مقاطع رودخانه سیستان و کانال فیدر ۲ ، در پایان سیلاب در جدول ۵ ارائه شد. مقادیر جدول نشان می‌دهد که مقطع دوم از رودخانه سیستان که دارای فرسایش بود و مقطع نهم از کانال فیدر ۲ که دارای رسوب‌گذاری است به ترتیب با مقادیر ۰/۵ متر و ۶/۶ متر دارای کمترین و بیشترین مقدار تغییرات بودند. میانگین وزنی تغییرات تراز بستر برای رودخانه سیستان دارای فرسایش به میزان ۰/۳۷ متر بود و برای کلنال فیدر ۲ مقدار ۳/۸۴ متر رسوب‌گذاری حاصل گردید.

جدول (۵): تراز کل تغییرات بستر مقاطع فیدر ۲ در پایان سیلاب و شرایط رقوم حداقل سطح آب مخازن چاه‌نیمه

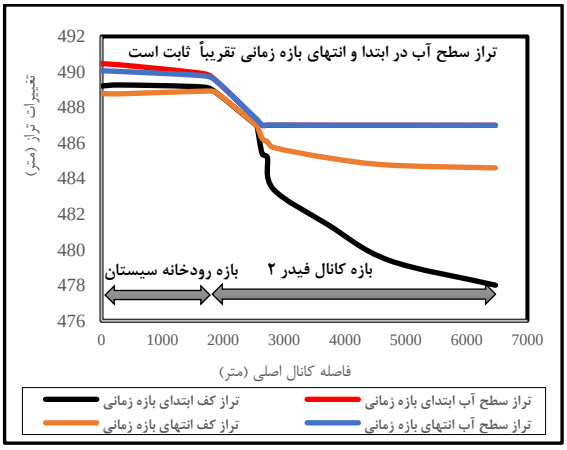
ردیف	مقاطع		طول بازه (m)	حجم رسوب تجمعی (m³)	حجم رسوبگذاری (m³)	حجم فرسایش (m³)	درصد رسوبات	درصد میانگین
۱	رودخانه سیستان	۱	۱۴۷	۱۰۰۲	۴/۰۸	۰/۲۷	/۰۴	۶/۰۲
				۳۸	۱		۰	
۲		۲	۸۴/۲	۱۰/۹	۸۳/۶	۹/۹۰	/۳۱	۶۹/۱
			۱	۰۱۹۶	۳۵		۸	۹۸
۳		۳	۷۹/۷	۹/۳۲	۷۴/۲	۹/۴۰	/۱۳	۶۴/۶
			۴	۱۸۶۱	۷۷		۸	۶۸
۴		۱	۴۳/۵	۸/۰۵	۱۲/۲	۲/۹۶	/۵۱	۶۵/۱
			۱	۴۳۸۴	۸۱		۱	۵
۵		۲	۳۳۶	۸/۸۴	۱۹/۹	۵/۸	/۳۴	۷/۹۸
				۳۱۰۲	۴۸		۲	۸۷
۶		۳	۴۷/۵	۸/۹۱	۲۵/۸	۵/۴۶	/۳۲	۱/۲۰
				۱۱۵۳	۹		۰	۵
۷		۴	۸۵	۸/۰۹	۱۰/۷	۱/۰۶	/۲۶	۱۰/۷
				۰۸۹۴	۲۵	۲	۱	۷
۸	فیدر ۲	۵	۹۲/۵	۷/۳۷	۱۱/۴	۱۲/۶	/۴۶	۱/۶۷
				۹۸۶۸	۷۱		۱	۳۵
۹		۶	۵۰۰	۷۸/۹	۹۲/۱	۱/۵۳	۱/۷	۵۸/۱
				۶۹۶	۶۹	۸	۱	۸۹
۱۰		۷	۹۵۰	۶/۷۷	۲۲/۷	۲/۳۴	/۹۴	۳۰۳۴
				۹۴۲۷	۱۷۶	۳	۳۱	۵
۱۱		۸	۱۳۷۵	۴/۰۶	۱۳/۶	۱/۱۰	۲/۴	۴۰/۳
				۷۲۵۱	۸۹۲	۰	۹	۴۲۷
۱۲		۹	۸۷/۵	۳/۴۵	۳۱/۶	۳/۶۲	۹/۵	۸۳/۶
			۷	۳۳۵۸	۷۸			۶۱
	رودخانه سیستان				۱۵۸۵	۶/۵۳	۵/۴	۱/۸۲
					۴			۳۴۷۲
	کانال فیدر ۲				۵۴/۳	۱۰/۵	/۹۵	۸۶/۹
					۲۰۴		۹	۷۲۴

میانگین وزنی درصد رسوبات ته‌نشین رودخانه سیستان **۷/۵**

میانگین وزنی درصد رسئبات ته‌نشین کانال فیدر ۲ **۱۸/۴۷**

ردیف		مقاطع	فاصله (m)	طول بازه مقاطع (m)	میانگین تراز بستر (m)	تغییرات تراز (m)	میانگین وزنی
۱	رودخانه سیستان	۱	۰	۱۴۷	۴/۰۰۱	۰/۴۱	۶۱/۳۸
					۸۹	–	–
۲		۲	۲۹۴	۸۴۱/۲	۴/۰۱	-۰/۵	۴۲۱/۶۹
					۸۹		–
۳		۳	۱۶/۵	۷۹۴/۷	۴/۰۳	۰/۲۲	۱۸۱/۹۸
			۸۲		۸۹	–	–
۴	فیدر ۲	۱	۱۸/۵	۴۳۱/۵	۴/۸۴	/۰۰۰۲	۰/۰۸
			۸۳		۸۸	۰	
۵		۲	۲۵/۵	۳۳۶	۴۸۷	/۰۰۰۵	۰/۱۶
			۴۵			۰	
۶		۳	۲۵/۵	۴۷/۵	۴۸۷	/۰۰۰۵	۰/۰۲
			۵۵			۰	
۷		۴	۲۶/۵	۸۵	۴۸/۸	۰/۸۵	۷۳/۰۲
			۴۰		۵		
۸		۵	۲۷/۵	۹۲/۵	۴۸/۶	۰/۸۷	۸۰/۸۸
			۲۵		۵		
۹		۶	۲۸/۵	۵۰۰	۴۸/۵	۲/۳۵	۱۱۷/۸۵
			۲۵		۴		۵
۱۰		۷	۳۷/۵	۹۵۰	۴۸/۲	۳/۷۶	۳/۰۸۵
			۲۵		۳		۵۷۶
۱۱		۸	۴۷/۵	۱۳۷۵	۴۸۲	۵/۳۶	۷۳/۳۷
			۲۵				۷۱
۱۲		۹	۶۴/۵	۸۷۷/۵	۴۸/۲	۶/۶	۵۷/۶۷
			۷۵		۱		۹۱
		میانگین وزنی مقاطع رودخانه سیستان					-۰/۳۷
		میانگین وزنی مقاطع کانال فیدر ۲					۳/۸۴

در شکل ۱۰ تغییرات تراز کف رودخانه سیستان و کانال فیدر ۲ در ابتدا و انتهای بازه زمانی شبیه‌سازی ارائه شده و با توجه به جدول۶ مقدار میانگین تراز کل تغییرات بستر سطح آب بیانگر این بود که سطح تراز خروجی افزایش پیدا نموده است همچنین تراز سطح آب در انتهای بازه زمانی در مقطع بالادست رودخانه سیستان به میزان ۳۲ درصد کمتر از تراز سطح آب در انتهای سیلاب می‌گردد که این نتیجه با توجه به دو شاخه شدن رودخانه هیرمند در این نقطه افزایش آبگیری رودخانه سیستان و کاهش آبگیری رودخانه پریان مشترک را به دنبال دارد.



شکل (۱۰): تغییرات تراز کف رودخانه سیستان و کانال فیدر ۲ در شرایط رقوم حداقل

حجم رسوب‌گذاری انجام شده

تغییرات حجم رسوب‌گذاری، حجم رسوب تجمعی ورودی، حجم رسوب‌گذاری در واحد طول و درصد رسوبات ته‌نشین‌شده مربوط به رودخانه سیستان و کانال فیدر ۲ در پایان سیلاب در جدول ۶ ارائه گردید. بر اساس نتایج مقاطع رودخانه سیستان دارای فرسایش به میزان ۳ هزار و ۳۰۰ متر مکعب و کانال فیدر ۲ دارای رسوب‌گذاری به مقدار ۵۲ هزار متر مکعب می‌باشد. حجم فرسایش در واحد طول برای رودخانه سیستان برابر با ۲/۲ متر مکعب در متر طول رودخانه و حجم رسوب‌گذاری برای کانال فیدر ۲ برابر با ۶/۲ متر مکعب در متر طول رودخانه بود. درصد میانگین وزنی رسوبات فرسایش یافته مقاطع رودخانه سیستان برابر با ۱/۳۲ ٪ و درصد رسوبات ته‌نشین شده کانال فیدر ۲ برابر با ۱۴/۲ ٪ است. درصد رسوبات فرسایش یافته با استفاده از میانگین‌گیری در بازه شبیه‌سازی و شرایط رقوم حداقل، برای رودخانه سیستان برابر با ۱/۰۸٪ بود و درصد ته‌نشست رسوبات برای کانال فیدر ۲، برابر با ۷/۰۱۵٪ است.

جدول (۶): حجم رسوب‌گذاری مقاطع فیدر ۲ در پایان سیلاب و شرایط رقوم حداقل سطح آب مخازن چاه‌نیمه

ردیف		مقاطع	طول بازه	حجم رسوب تجمعی	حجم رسوبگذاری	درصد رسوبگذاری	حجم رسوبگذاری	درصد رسوبگذاری
۱	رودخانه سیستان	۱	۱۴	۱۰۰۲	۴۸/۶	۳/۳۲	۰/۴۸	۷۱/۶
			۷	۳۸	-۸	-	-	-
۲		۲	۸/۲	۱۰/۷	۱/۰۳	۲/۱۷	۱/۸۱	۱/۶۴
			۴۱	۰۷۲۶	-۸۲۸	-	-	-۵۲۶
۳		۳	۷/۷	۱۰/۷	۹/۷۴	۱/۲۴	۰/۹۶	۷/۶۳
			۹۴	۲۵۵۴	-۸۶	-	-	-۶۴
۴		۱	۴/۵	۱۰/۵	۰/۲	۰۰۰۴	۰۰۰۱	/۰۸۴
			۳۱	۳۵۴۱		۰/	۰/۹	۰
۵		۲	۳۳	۱۰/۳	۰/۲۹	۰۰۰۸	۰۰۰۲	/۰۹۵
			۶	۳۵۴۱		۰/	۰/۸	۰
۶		۳	۴/۵	۱۰۳۵	۰/۰۴	۰۰۰۸	۰۰۰۰	۰۰۱۸
			۷	۴۱		۰/	۰/۳۸	۰/
۷		۴	۸۵	۱۰/۹	۱۵/۷	۱/۸۳	۰۰۱۵	۱/۷۸
				۳۵۴۰	۵		۰/	۲
۸	فیدر ۲	۵	۹/۵	۱۰/۲	۱۵/۳	۱/۶۷	۰۰۱۵	۱/۹۰
			۲	۳۵۸۸	۵		۰/	۳
۹		۶	۵۰	۱۰/۹	۳۰/۵	۶/۰۵	۲/۹۳	۱۴/۴
			۰	۳۲۲۹	۲۷			۶۶
۱		۷	۹۵	۱۰/۳	۱۰/۵	۱/۰۸	۱/۵۱	۹۹/۵
۰			۰	۰۲۰۲	۵۳۴	۱	۰	۸۷
۱		۸	۱۳	۸۹/۸	۲۱/۸	۱۵/۶	۲۳/۹	۳۲/۷
۱			۷۵	۶۶۷	۴۵۶			۹۰۲
۱		۹	۸/۵	۶/۹۷	۱۷/۵	۱/۷۹	۲۵/۴	۲۲/۷
۲			۷۷	۸۲۱۰	۳۶۸	۹		۳۴۳
رودخانه سیستان					۳/۴۵	-۲/۲	۱/۰۸	۲/۹۴
					-۳۰۳		-	-۳۶۲
کانال فیدر ۲					۵/۰۸	۶/۲	/۰۱۵	۶/۳۷
					۲۶۹۹		۷	۶۷۲۷
میانگین وزنی درصد رسوبات ته‌نشین رودخانه سیستان								-۱/۳۲
میانگین وزنی درصد رسئبات ته‌نشین کانال فیدر ۲								۱۴/۲

نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی کانال آبگیر فیدر ۲ با استفاده از مدل HEC RAS با هیدروگراف سالانه به میزان یک میلیارد متر مکعب برای تأمین آب مورد نیاز چاه‌نیمه‌ها در شرایط حداقل و حداکثر سطح آب مخازن چاه‌نیمه در دو سناریو انجام گردید به شرح زیر می باشد:

- کانال فیدر ۲ قادر است دبی حداکثر سیلاب که برابر ۳۵۲ متر مکعب بر ثانیه بوده را بدون هیچ‌گونه مشکلی در شرایط رقوم حداکثر و حداقل از مقاطع عرضی خود عبور دهد.
- در شرایط رقوم حداکثر سطح آب مخازن در کل مقاطع رودخانه سیستان، رسوب‌گذاری رخ می‌دهد. میزان حجم رسوب‌گذاری مقاطع رودخانه سیستان برابر با ۱۵ هزار مترمکعب و برای کانال فیدر ۲ برابر با ۵۴ هزار متر مکعب حاصل گردید. حجم رسوب‌گذاری در واحد طول

برای رودخانه سیستان برابر با ۶/۵ متر مکعب در متر طول رودخانه و برای کلنال فیدر ۲ برابر با ۱۰/۵ متر مکعب در متر طول رودخانه بود. میانگین درصد وزنی رسوبات ته نشین شده برای رودخانه سیستان برابر با ۷/۵٪ و برای کانال فیدر ۲ برابر ۱۸/۴۷ ٪ می‌باشد.

- درصد رسوبات ته‌نشین شده براساس میزان رسوبات ورودی برای رودخانه سیستان ۵/۴ ٪ و برای کانال فیدر ۲، مقدار ۹/۹ ٪ محاسبه شد که بیانگر تله اندازی بیشتر رسوبات درکانال فیدر ۲ نسبت رودخانه سیستان است.
- در شرایط رقوم حداقل در مقاطع رودخانه سیستان فرسایش و در مقاطع کانال فیدر ۲ رسوب‌گذاری رخ می دهد. میزان فرسایش مقاطع رودخانه سیستان برابر با ۳ هزار و ۳۰۰ مترمکعب و حجم رسوب‌گذاری برای کانال فیدر ۲ برابر با ۵۲ هزار متر مکعب حاصل گردید. حجم فرسایش در واحد طول برای رودخانه سیستان برابر با ۲/۲ متر مکعب در متر طول رودخانه و حجم رسوب‌گذاری برای کانال فیدر ۲ برابر با ۶/۲ متر مکعب در متر طول رودخانه است. میانگین درصد وزنی رسوبات فرسایش یافته برای رودخلنه سیستان برابر با ۱/۲٪ و میانگین درصد وزنی رسوبات ته‌نشین شده برای کانال فیدر ۲ برابر ۱۴/۲ ٪ می‌باشد.
- درصد رسوبات ته‌نشین شده براساس میزان رسوبات ورودی برای رودخانه سیستان ۱/۰۸٪ و برای کانال فیدر ۲، مقدار ۷/۰۱۵ ٪ محاسبه شد که بیانگر تله لندازی رسوبات درکلنال فیدر ۲ نسبت رودخانه سیستان است.
- نتایج بررسی تغییرات سطح آب رودخانه سیستان در ابتدا و انتهای بازه زمانی نشان می‌دهد که سطح آب در سناریوی آبگیری با حداکثر سطح آب مخازن، در اولین مقطع بالادست رودخانه سیستان ۵ درصد بیشتر از تراز سطح آب در ابتدای سیلاب می‌گردد در حالیکه در سناریوی آبگیری با حداقل سطح آب مخازن تراز سطح آب در انتهای بازه زمانی به میزان ۳۲ درصد کمتر از تراز سطح آب در انتهای سیلاب می‌گردد که بیانگر افزایش آبگیری رودخانه سیستان نسبت به پریان مشترک از رودخانه هیرمند در شرایط آبگیری کانال فیدر ۲ با رقوم حداقل مخازن چاه نیمه رخ می‌دهد.

منابع

آزم، ن. قمشی، م. فایضی‌زاده، ژ. و منصوری هفشجانی، م. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی هیدرولیکی طرح‌های ساماندهی رودخانه با استفاده از مدل ریاضی Hec Ras 4 (مطالعه موردی رودخانه کارون). آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۷(۴)، ۸۰۲-۸۱۱.

امیری، م. کیخا، م. و حسن‌پور، ف. ۱۳۹۷. ارزیابی عملکرد سدهای انحرافی سیستان و زهک بر رودخانه سیستان به کمک مدل هیدرولیکی HEC RAS . علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۲۰(۴)، ۶۷-۵۱.

جهان‌تیغ، م. تاج‌بخش فخرآبادی، س.، م. میراب شبستری، غ.، ر. و معماریان خلیل‌آباد، ه. ۱۳۹۸. بررسی نقش بارگذاری رسوبات معلق بر تغییرات مورفولوژی رودخانه هیرمند، مطالعه موردی: سیستان. نشریه علمی-پژوهشی مهندسی و مدیریت آبخیز. ۱۱(۲)، ۴۹۲-۴۷۸.

جباری، آ. حسینی، س.، ا. حقی‌آبی، ا.، ح. امامقلی‌زاده، ص. و بهنیا، ع. ۱۳۹۳. برآورد دبی انتقال رسوب رودخلنه با استفاده از مدل ریاضی HEC -RAS . فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۴(۱۶). ۱۲-۲۳.

حسینی اصلی چکوسری، ن. پرورش‌ریزی، ع. رستمی، م.، و فرهودی، ج. ۱۳۹۴. شبیه سازی سه بعدی الگوی جریان در مجاورت ورودی کانال آبگیر سد انحرافی. مجله پژوهش آب ایران. جلد ۹، شماره ۳، ۸۹-۹۸.

رودباری موسوی، م. امیری، ا. و جاماسبی، ح. ۱۳۹۶. بررسی و برآورد رسوب‌گذاری رودخانه قزل‌اوزن در مخزن سد سفیدرود با استفاده از مدل HEC RAS . چهارمین کنگره بین المللی عمران ، معماری و توسعه شهری، دبیرخانه دائمی کنفرانس، دانشگاه شهید بهشتی، تهران.۱۳(۳)، ۱۸۶-۱۸۱.

. شیخی‌پور، آ. ایلدرمی، ع. و زینی‌وند، ح. ۱۳۹۹. مدل‌سازی روابط هندسی-هیدرولیکی سطح مقطع و ظرفیت انتقال رسوب رودخانه خرم‌آباد. نشریه علمی جغرافیا و برنامه‌ریزی، دوره ۲۵(۷۶)، ۱۸۵-۱۷۳.

فرخی، م. ۱۳۹۸. مدل سازی اثر حذف قوس بر تغییرات بستر و دبی در رودخانه سیستان. پایان‌نامه کارشناسی ارشد رشته سازه‌های آبی، دانشکده آب و خاک، دانشگاه زابل.

لاری یزدی، م.، ا. ۱۳۹۳. بررسی آب و رسوب و آبشستگی پایه پل(مطالعه موردی رودخانه کاروندر در جنوب سیستان و بلوچستان). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، رشته مهندسی عمران سازه‌های هیدرولیکی، دانشکده عمران، دانشگاه سیستان و بلوچستان، زاهدان.

محمدی، س. حسن پور، ف. شریف آذری، س. و فروغی ف. ۱۴۰۰. ارزیابی روشهای رگرسیونی نوین جهت تخمین بار رسوبی معلق در رودخانه سیستان. مهندسی آبیاری و آب ایران، شماره ۴۶. ۱۴-۱.

.محمودیان شوشتری، م. و نیکان فر، ر. ۱۳۸۱. ارزیابی روشهای برآورد بار معلق در کانالهای آبیاری پوشش دار. مجله تحقیقات مهندسی کشاورزی، دوره ۳ شماره ۱۳ ، ۴۰-۲۷.

مرادی‌نژاد، ا. حقی‌آبی، ا.، ح. و ترابی، ح. ۱۳۹۳. انتخاب مناسب‌ترین معادلات انتقال رسوب با مدل عددی HEC RAS (مطالعه موردی: رودخانه قره چای استان مرکزی). پژوهش‌های آبخیزداری، شماره ۱۰۴ .۱۳۱-۱۲۳.

مرادی‌نژاد، ا. و حسینی، ا. ۱۴۰۰. برآورد دقت روابط انتقال دبی رسوب با استفاده از مدلHEC RAS مطالعه موردی: (رودخانه خنداب، ایستگاه جوشیروان). مجله محیط زیست و مهندسی آب. ۸(۱)، ۱۷۶-۱۶۱.

مهندسین مشاور سامانه فرآیندهای محیطی. ۱۳۸۷. مطالعات تبخیر در چاه نیمه ۴. وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان.

مهندسین مشاور آبساران ، ۱۳۹۵. مطالعات مرحله دوم تامین آب دشت سیستان (ساماندهی رودخانه سیستان). وزارت نیرو، شرکت سهامی آب منطقه‌ای سیستان و بلوچستان، ۱۲۶-۹۷

نوروزی، گ.، ا. طهماسبی‌پور، ن. زینی‌وند، ح. و رحیمی‌نسب، م. ۱۳۹۳. شبیه‌سازی میزان رسوب سیلاب‌ها و بررسی تغییرات زمانی آن‌ها از طریق نرم‌افزار HEC RAS. (مطالعه موردی ایستگاه هیدرومتری کشکان-پلدختر، لرستان). نشریه منابع آب و توسعه، سال دوم شماره ۲، ۶۶.

Brunner, G. W. Gibson, S. 2005. Sediment Transport Modeling in HEC RAS. Impacts of Global Climate Change.

Gibson, S. Sanchez, A. 2017. New One-Dimensional Sediment Features in HEC-RAS 5.0 and 5.1. Conference Paper

HEC RAS (Hydrologic Engineering Centre - River Analysis System) In an Underground Canal in Southwest Kano Irrigation Scheme – Kenya.2016. International Journal of Engineering Science Invention, 4(9): 15- 31.

Haque, M. H. Shaun, S. Kibria, K. M. Mohib, K. M. Sultana, A. Mamoon, W. B. 2019. Sediment Modeling of Kobadak River by HEC RAS. International Journal of Science and Research (IJSR). ISSN: 2319-7064

Joshi, N. Lamichhane, G. R. Rahaman, Md. M. Kalra, A. Ahmad, S. 2019. Application of HEC-RAS to Study the Sediment Transport Characteristics of Maumee River in Ohio. World Environmental and Water Resources Congress

Mustafa, A. S., Sulaiman, S. O., Al-Alwani, K. M. 2017. Application of HEC-RAS Model to Predict Sediment Transport for Eupharates River from Haditha to Heat. Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences. Volume 20-page 570-577.

Omran, Z. A. Jaber, W. Sh. 2017. Simulation of Sediment Transport in Al- Hilla River in Iraq Using the HEC-RAS Software. journal of kerbala university, 2017, Volume 13, Issue 4, Pages 8-18.

Sami mohammad, H. A. M. Alturfi, U. Abdullah Shlash, M. 2018. Sediment Transport Capacity in Euphrates River AT AL-Abbasia Reach Using HEC RAS Model. International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET). Volume 9, Issue 5.

Soomro, S. Hu, C. Baber, M. M. Aamir, M. H. A. 2021. Estimation of Manning's Roughness Coefficient Through Calibration Using HEC-RAS Model: A Case Study of Rohri Canal, Pakistan. American Journal of Civil Engineering. Volume 9, Issue 1, January 2021, Pages: 1-10.

Serede, I. J. Mutua, B. M. Raude, J. M. 2015. A review for hydraulic analysis of irrigation canals using

HEC-RAS model: A case study of Mwea irrigation scheme, Kenya. International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT). Vol. 4 Issue 09.

Slebi, A. M. Sulaiman, S. O. Al-Alwani, K. M. 2017. Application of HEC-RAS Model to Predict Sediment Transport for Euphrates River from Haditha to Heet. Academic Scientific Journals. Volume 20, Issue 3, Pages 570-577. US Army corps of Engineer, 2008, Engineering Design Manual – Channel stability assessment for flood control project.

Wang, C. H., 2014. Application of HEC-RAS Model in Simulation of Water Surface Profile of River. Tianjin Research Institute for Water Transport Engineering, China. Applied Mechanics and Materials Vols 641-642 pp 232-23