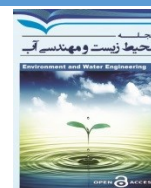




Environment and Water Engineering

Homepage: www.jewe.ir



ISSN: 2476-3683

Research Paper

Accuracy Estimation of Sediment Discharge Transfer Relationships of Khondab River, Joshirvan Station Using HEC-RAS Model

Amir Moradinejad^{1*} and Seyed Ahmad Hosseini²

¹Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Research Department, Markazi Agricultural and Natural Resources Research and Education Center, Agricultural Research Education & Extension Organization (AREEO), Arak, Iran

²Assist. Professor, Soil Conservation and Watershed Management Institute, Agricultural Research Education & Extension Organization (AREEO), Tehran, Iran

Article information

Received: June 24, 2021

Revised: August 25, 2021

Accepted: August 27, 2021

Keywords:

Discharge Sediment

Erosion

HEC-RAS Model

Khondab

River Flow

*Corresponding author:
a.moradinejad@areeo.ac.ir



Abstract

Due to the complexity of hydraulic and sedimentary problems in rivers, it is not possible to solve the equations analytically, so numerical methods are used. In the present study, the HEC-RAS 5.0.3 model was used to simulate the sediment flow of the Khondab River. For this purpose, using the topographic map of the route, DEM and TIN of the River route with a scale of 1: 2000, in the HEC-GeoRAS extension package in ArcMap software, 200 sections along 5 km of the river were prepared. Relevant information was inserted to introduce the river geometry to the model. The flow rate was calculated with 25-, 50- and 100-year return periods and was used for river hydraulic simulation. Quasi-volatile flow conditions, boundary conditions and granulation of riverbed materials were introduced to the model. Using sediment transport estimation relationships, river sediment transport capacity was calculated. The results showed that the Mir-Peter and Müller relationship with 26% error is closer to the observed sediment values than the other relationships. Moreover, the study of erosion and sedimentation status of the river using Hjulsstrom and Shields criteria showed that a part of the sections of this river is in erosion status and another part is being sedimenting.

© Authors, Published by **Environment and Water Engineering** journal. This is an open access article distributed under the CC BY) license <http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>.



Introduction

Extraction of sand from the country's riverbeds has increased in recent years. The study of previous research works indicates that sand extraction has caused different changes in the hydraulic pattern of rivers, changes in morphology and changes in sediment balance of rivers. On the other hand, recognizing the flow and sediment status and analyzing the hydraulic parameters of flow and sediment in different conditions is the basis for studying the behavior of rivers and deciding on engineering measures and their impact. The study of erosion and sediment in rivers is usually very complex and the practical application of the results of the studies requires great care and attention. Recognizing this phenomenon in rivers is important for studying river behavior and predicting possible future changes. Extensive research works have been done to understand this phenomenon, and various mathematical relationships for modeling erosion and sedimentation in rivers have been proposed by various researchers. Due to the complexity of hydraulic and sedimentary problems in rivers, it is not possible to solve the equations analytically and usually numerical methods are used.

Materials and Methods

In this research, a part of Shara River, located in Khondab city, where is subjected to excessive sand extraction, was studied. In the present study, HEC-RAS 5.0.3 model was used to simulate the sediment flow of Khondab River. For this purpose, 200 sections along 5 km of the river were prepared using the topographic map of the route, DEM and TIN of the Shara River route with a scale of 1:2000, in the HEC-GeoRAS extension package in ArcMap software. After preparing the cross sections and taking the distances of the left and right shores of the main canal, the relevant information was inserted to introduce the river geometry to the model (HEC-RAS 5.0.3). Moreover, using the measured discharge with a statistical length of 40 years at the Khondab hydrometric station, the discharge with a return period of 25, 50 and 100 years was calculated and used for hydraulic simulation of the river. After calibrating the model for the hydraulic conditions of the river and modeling the quasi-volatile flow conditions, the boundary conditions and grain size of the river bed materials were introduced to the model. In order to implement the model, it was necessary to introduce the boundary conditions upstream and

downstream. For this purpose, normal depth was used for the upstream boundary conditions and the flow-discharge relationship of Joshirvan hydrometric station was used for the downstream boundary conditions. After simulation, changes in longitudinal profile of river flow energy level, velocity, shear stress, flow strength, landing number, sediment transport capacity at different stages were investigated using sediment transport estimation relationships, river sediment transport capacity Calculated.

Results

Analysis of the sediment statistics of the river at the site of the selected hydrometric and sedimentation station (Joshirvan) in order to determine its sediment load. Considering the power relationship between sediment suspended solids and daily discharge, sediment sampling statistics of suspended sediment collection and discharge-sediment relations were calculated by three methods of sediment measurement curve, FAO and co-concentration cap, Joshirvan station valley and finally co-method. Concentration was selected as the most appropriate method. Using this relationship and the daily discharge statistics of the hydrometric station, the sediment values of this station during the existing statistical period have been determined. Using this relationship and the daily discharge statistics of the hydrometric station, the average annual discharge was equal to 5.406 (m^3/s) and the sediment values of this station during the current statistical period have been determined. The average annual sediment of suspended river materials at the site of Joshirvan hydrometric station is estimated to be 10172.26 ton and the specific annual discharge of its sediment is estimated to be 3.67 (ton/km). The studied watershed does not have bed load statistics, so in this study, according to the slope and physiography and geological conditions of this basin, the amount of bed load is proposed to be about 20% of suspended load. Total suspended load 10172.26 (ton/yr) and bed load 2034.5 (ton/yr) The total load 12207 (ton/yr) during the census period was obtained. Changes in sediment transport capacity (ton/day) at Khondab station using

eight sediment transport functions in the simulation period showed that Ackers and White method shows the average changes in sediment transport capacity along the river during the simulation period are very high. The results also showed that during this period, the average output data of Meyer-Peter- Müller, Engelund-Hansen, Toffaleti and Wilcock methods are closer to the observational data. The average volume of outflow sediment including suspended load and bed from this river station is about 12207 ton/yr. Flow parameters including hydraulic depth, velocity, shear stress, flow strength, landing number and flow surface width for average annual discharge along the river interval and at different sections do not have analyzable changes and are almost uniform. In order to determine the status of erosion, sedimentation or river equilibrium using the results of model implementation and determine the average flow velocity in 20 sections, sampling and Hjulstrom diagram were used. The results showed that out of 20 sections sampled from the range, eight sections of the river are in an erosive state and nine sections are in sedimentation and three sections are in transition. In addition, the study with Shields criterion showed that in eight erodible sections, the value of Reynolds shear number is greater than 400 and the value of Shields parameter is greater than 0.056, in other words, according to Shields criterion, these sections are in the state of erosion.

Conclusion

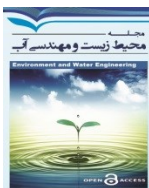
The results of the model showed that the sediment carrying capacity in the study period of the river, by selecting different relationships, is variable. Nevertheless, a part of the river is being eroded and a part is being deposited in the form of sedimentary ridges. Removal of materials from sediments or sedimentary ridges of the riverbed can help to improve the cross section of the river and increase its drainage capacity. According to the results of the model for seven sediment transport functions, the sediment values calculated by the Meyer-Peter and Müller relationship are 26% closer to the observed sediment values with 26% error. The Meyer-Peter and Müller method hypotheses also refer to the type of sand deposits and coarseness. The Ackers-White method shows very high changes in the average sediment transport capacity along the river during the simulation period. Therefore, the Meyer-Peter and Müller method was selected as the most appropriate relationship for this station.

Data Availability

In the final report, the research project with the same title will be presented in the Agricultural Research, Education and Extension Organization (AREEO) and will be made available to readers.

Conflict of Interests

The authors of this article declared no conflict of interest regarding the authorship or publication of this article.



ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب

Homepage: www.jewe.ir



مقاله پژوهشی

برآورد دقت روابط انتقال دبی رسوب رودخانه خنداب، ایستگاه جوشیروان با استفاده از مدل HEC-RAS

امیر مرادی نژاد^{۱*} و سیداحمد حسینی^۲

^۱استادیار، بخش آبخیزداری مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی استان مرکزی، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، اراک، ایران

^۲استادیار، بخش مهندسی رودخانه و سواحل پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری کشور، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی، تهران، ایران

چکیده

اطلاعات مقاله

تاریخ دریافت: [۱۴۰۰/۰۴/۰۳]

تاریخ بازنگری: [۱۴۰۰/۰۶/۰۵]

تاریخ پذیرش: [۱۴۰۰/۰۶/۰۷]

واژه‌های کلیدی:

جریان رودخانه

خنداب

دبی رسوب

فرسایش

HEC-RAS

*نویسنده مسئول:

a.moradinejad@areeo.ac.ir

با توجه به پیچیدگی مسائل هیدرولیکی و رسوبی در رودخانه‌ها امکان حل معادلات به روش تحلیلی ممکن نیست، لذا از روش‌های عددی استفاده می‌شود. در پژوهش حاضر از مدل-HEC-RAS 5.0.3، به منظور شبیه‌سازی جریان رسوبات رودخانه خنداب استفاده شد. بدین منظور با استفاده از نقشه توپوگرافی مسیّر، DEM و TIN از مسیر رودخانه شریاء با مقیاس ۱:۲۰۰۰، در بسته الحاقی HEC-GeoRAS در نرم‌افزار ArcMap، تعداد ۲۰۰ مقطع در طول ۵ km رودخانه تهیه شد. اطلاعات مربوطه جهت معرفی هندسه رودخانه به مدل معرفی شد. دبی با دوره بازگشت ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ YI محاسبه و برای شبیه‌سازی هیدرولیکی رودخانه مورد استفاده قرار گرفت. شرایط جریان شبه غیرماندگار، شرایط مرزی و دانه‌بندی مواد بستر رودخانه به مدل معرفی شد. با استفاده از رابطه‌های برآورد انتقال رسوب، ظرفیت انتقال رسوب رودخانه محاسبه شد. نتایج نشان داد، رابطه میر- پیتر و مولر با ۲۶٪ خطا نسبت به روابط دیگر به مقادیر رسوبات مشاهداتی نزدیک‌تر می‌باشد. همچنین، بررسی وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه با استفاده از معیارهای هولشتروم و شیلدز نشان می‌دهد که قسمتی از مقاطع این رودخانه در وضعیت فرسایشی و قسمتی در حال رسوب‌گذاری قرار دارد.

۱- مقدمه

شناخت وضعیت جریان و رسوب و تحلیل پارامترهای هیدرولیکی جریان و رسوب در شرایط مختلف، در نهایت مبنای بررسی رفتار رودخانه‌ها و تصمیم‌گیری در خصوص اقدامات مهندسی و تأثیرگذار بر آنهاست. برای بررسی رفتار رودخانه و پیش‌بینی تغییرات احتمالی آینده، شناخت این

پدیده در رودخانه‌ها دارای اهمیت است. برای شناخت این پدیده تحقیقات گسترده‌ای انجام شده است و روابط ریاضی مختلفی برای مدل کردن فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه‌ها به‌وسیله محققان مختلف ارائه شده است. با توجه به پیچیدگی مسائل هیدرولیکی و رسوبی در رودخانه‌ها

عناصر قیمتی دیگر در رودخانه Kafue در زامبیا پرداختند، آن‌ها نتیجه گرفتند که با افزایش برداشت، مقدار رسوبات معلق افزایش یافته و به تبع آن عناصری همچون مس، کبالت و منگنز با اثرات سوء محیط-زیستمحیطی در پایین دست افزایش داشته است. (Moradinejad et al. (2014) در مطالعه‌ای به بررسی وضعیت رسوب ایستگاه پل دوآب رودخانه شراه پرداختند. آن‌ها نتیجه گرفتند که معادلات انگلوند-هانسن و توفالتی در سطح ۵٪ خطا، فاقد اختلاف معنی دار با داده‌های اندازه‌گیری شده هستند و روش‌های میر-پیتر و مولر، ویلکوکس، ایگر-وایت و لارسن با مقادیر مشاهداتی اختلاف زیادی دارند و تفاوت آن‌ها معنی دار است.

(Azizian and Samadi. (2019) پتانسیل یابی معادن شن و ماسه خارج از بستر رودخانه با تلفیق سامانه اطلاعات جغرافیایی و مدل‌های ژئومورفولوژیکی را در حوزه‌های آبخیز فردوس و قائن بررسی کردند. نتایج به دست آمده در حوضه‌های مورد مطالعه حاکی از آن بود که مدل‌های ژئومورفولوژیکی از قابلیت بسیار مناسبی جهت شناسایی مناطق مستعد تولید رسوب برخوردار هستند. (Honarbakhsh et al. (2020) به بررسی اثرات برداشت شن و ماسه بر رفتار هیدرومورفولوژیکی کانال رودخانه خشکه رود فارسان پرداختند. نتایج آن‌ها نشان داد در فاصله شرایط قبل و بعد از برداشت (از سال ۱۳۸۱ تا ۱۳۸۸) بستر رودخانه با متوسط $2/02$ m از حداقل $0/05$ m تا حداکثر 4 m کف کنی داشته است. همچنین حجم خروجی رسوب از مقطع آخر در شرایط بعد از برداشت نسبت به شرایط قبل از برداشت $0/12$ ٪ کاهش و مقدار تنش برشی $0/26$ ٪ درصد افزایش داشته است. بررسی پژوهش‌های انجام شده نشان می‌دهد که تا به حال هیچ‌گونه پژوهشی به منظور برآورد دبی انتقال رسوب ایستگاه جوشیروان رودخانه خنداب انجام نشده است. با توجه به این که در سال‌های اخیر برداشت مصالح شن و ماسه از این بازه رودخانه که در پایین دست ایستگاه جوشیروان قرار دارد به شدت افزایش یافته، به طوری که منجر به کف کنی، تغییر شدید شکل کناره‌های رودخانه و عریض تر شدن آن، انحراف مسیر رودخانه و در نتیجه افزایش میزان فرسایش کناره‌ها شده است. از طرفی در پایین دست بازه مورد مطالعه سد ساوه قرار دارد، بنابراین جهت شناخت پتانسیل میزان انتقال رسوب در مناطق مختلف رودخانه و همچنین برای برآورد میزان رسوبات ورودی به مخزن سد

امکان حل معادلات به روش تحلیلی ممکن نیست و معمولاً از روش‌های عددی استفاده می‌شود. تحقیقات متعددی با استفاده از نسخه‌های مختلف مدل HEC-RAS به منظور مطالعه فرسایش و رسوب رودخانه‌ها و مخازن سدها انجام پذیرفته است. از جمله آن‌ها مطالعات (Cook et al. (2009) et al. (2005) Canfield می‌باشد که با استفاده از مدل HEC-RAS آبخستگی و تجمع رسوب در رودخانه Cerro Grande را مدل‌سازی نمودند. همچنین در مورد بررسی هیدرولیک جریان در رودخانه مطالعات مختلفی با استفاده از مدل HEC-RAS انجام شده که برای مثال می‌توان به مطالعات (Pappenberger et al. (2005) Cook et al. (2009) اشاره نمود. (Gibson et al. (2006) قابلیت مدل HEC-RAS را برای محاسبات انتقال رسوب رودخانه مورد بررسی قرار دادند و نتایج این مدل را با مدل HEC-6 مقایسه کردند. آن‌ها نتیجه گرفتند مدل HEC-RAS در شبیه‌سازی‌ها به خوبی عمل نموده اما نتایج این مدل در مقایسه با HEC-6 در شرایط خاص، کمی متفاوت بوده که به دلیل تفاوت در روابط هیدرولیکی مدل می‌باشد.

(Duncan et al. (2007) در مطالعه‌ای در کشور انگلستان در مورد عملیات برداشت شن و ماسه در دو رودخانه Wolshingham و Harperly به این نتیجه رسیدند که برداشت مصالح شن و ماسه از مهم‌ترین دخالت‌های انسانی است که باعث به وجود آمدن تغییراتی در مورفولوژی رودخانه می‌شود. (Wishart et al. (2008) اثرات برداشت مصالح شن و ماسه رودخانه ویر در شمال انگلستان را طی سال‌های ۱۹۳۰ تا ۱۹۶۰ میلادی بررسی کردند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد تفاوت معنی‌داری در ویژگی‌های مورفولوژیکی رودخانه طی دوره 30 yr رخ داده است، به گونه‌ای که شکل و ساختار رودخانه به طور کلی تغییر کرده است. (Asadi et al. (2011) نشان دادند که از بین معادلات انتقال رسوب موجود در مدل HEC-RAS معادله میر-پیتر-مولر، در رودخانه تالار، بیشترین تطابق را با واقعیت دارد و می‌تواند برای پیش‌بینی تغییرات مقاطع در این رودخانه مورد استفاده قرار گیرد. (Piro et al. (2012) در پژوهشی نشان دادند که حجم متوسط رسوب خروجی از رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS به خوبی قابل محاسبه می‌باشد. (Sracek et al. (2012) با استفاده از اندازه‌گیری رسوبات انتقالی جریان و عناصر چسبیده به رسوبات به بررسی تأثیر برداشت شن و ماسه و

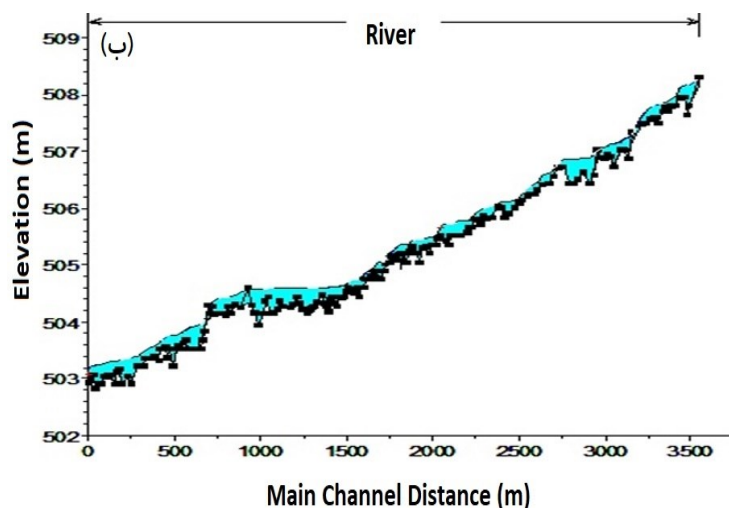
مختصاتی به طول جغرافیایی $۳۴^{\circ} ۲۶'$ و عرض جغرافیایی $۴۹^{\circ} ۰۸'$ شروع تا پایین روستای فاراب و تا مختصاتی به طول جغرافیایی $۳۴^{\circ} ۳۰'$ و عرض جغرافیایی $۴۹^{\circ} ۰۷'$ ادامه می‌یابد. در این پژوهش بازه‌ای به طول ۵ km از محل ایستگاه هیدرومتری جوشیروان که نماینده واقعی از رودخانه و سیلاب‌دشت‌های آن است و دارای اطلاعات اندازه‌گیری شده موردنیاز می‌باشد، با استفاده از مدل HEC-RAS 5.0.3 شبیه‌سازی و بررسی شد. ایستگاه هیدرومتری جوشیروان (خنداب) دارای آبدهی ۱۷۴ MCM/yr (میلیون مترمکعب در سال) و مساحت حوضه آن ۲۷۷۱ km^2 می‌باشد. شکل (۱) پلان و پروفیل طولی رودخانه در این محدوده را نشان می‌دهد.

نیاز به مطالعات بیشتری دارد. لذا در پژوهش حاضر از مدل ریاضی HEC-RAS 5.0.3 استفاده و با استفاده از داده‌های صحرائی اندازه‌گیری شده توانایی مدل مذکور در شبیه‌سازی انتقال رسوب مورد ارزیابی قرار گرفت و تغییرات برخی پارامترهای رسوبی در رودخانه موردبررسی قرار گرفت.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- محدوده موردپژوهش

حوزه آبخیز رودخانه قره‌چای در استان‌های مرکزی، همدان و قم واقع شده و مهم‌ترین رودخانه آن شرا از شهرستان‌های آستانه، شازند، اراک، همدان، نقرش، ساوه و قم می‌گذرد. این رودخانه از ارتفاعات شازند سرچشمه گرفته تا دریاچه نمک امتداد یافته است. محدوده موردپژوهش، بازه‌ای از رودخانه است که از بالا از محل روستای شاوله در پایین خنداب در



شکل ۱- الف- پلان رودخانه شرا و ب- پروفیل طولی رودخانه‌ی شرا
Fig. 1: a) Sharah river plan and b) Sharah river longitudinal profile

دائمی و غیردائمی و انتقال رسوب را در مرز متحرک به- صورت یک‌بعدی شبیه‌سازی نماید. این مدل به‌وسیله‌ی اداره مهندسی ارتش آمریکا (USACE) توسعه‌یافته و در آخرین

۲-۲- معرفی نرم‌افزار HEC-RAS 5.0.3
این مدل از رایج‌ترین مدل‌های رودخانه‌ای است که می‌تواند جریان متغیر تدریجی را با هر نوع مقطع عرضی در حالات

عمق کانال $T, (ft)$ ، دمای آب (F°) و R شعاع هیدرولیکی (ft) می‌باشد.

۲-۳- مدل‌سازی هیدرولیک جریان رودخانه

برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و رسوب، اطلاعات رودخانه شامل داده‌های هندسی، هیدرولیکی و رسوبی به کار گرفته شد. در بخش هندسی ابتدا نقشه توپوگرافی مسیر رودخانه با مقیاس ۱:۲۰۰۰ با فاصله خطوط ۰/۵ m تهیه شد. سپس از نقشه توپوگرافی مسیر، DEM و TIN از مسیر رودخانه تهیه شد. در بسته الحاقی HEC-GeoRAS در نرم‌افزار ArcMap، پلان عمومی رودخانه، تعداد ۲۰۰ مقطع عرضی در طول ۵ km رودخانه تهیه و به مدل معرفی شد. پس از تهیه مقاطع عرضی و برداشت فواصل سواحل چپ و راست کانال اصلی، اطلاعات مربوطه جهت معرفی هندسه رودخانه به مدل (HEC-RAS.5.0.3) معرفی شد. ایستگاه جوشیروان معرف میزان آبدی رودخانه شریاء می‌باشد. پس از اجرای مدل SMADA و انتخاب بهترین روش توزیع (لوگ پیرسون ۳) با استفاده از روش گشتاور محدود (-L Moment) مقادیر دبی لحظه‌ای سیلاب در این ایستگاه برای دوره بازگشت‌های ۵، ۲۵ و ۵۰ به ترتیب ۹۵، ۱۸۹ و m^3/s ۲۵۸ محاسبه شد.

تحلیل آمار رسوب موجود رودخانه در محل ایستگاه آب‌سنجی و رسوب‌سنجی منتخب (جوشیروان) به منظور تعیین میزان بار رسوبی آن می‌باشد. دبی بیشینه لحظه‌ای متوسط با دوره بازگشت ۵۰ yr نیز برابر با $258 m^3/s$ وارد مدل گردید. ضریب زبری مانینگ رودخانه با توجه به بازدیدها و جدول‌های معتبر تهیه شده توسط دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه‌بودجه تعیین شد. برای اجرای مدل نیاز به معرفی شرایط مرزی در بالادست و پایین‌دست بود که بدین منظور برای شرایط مرزی بالادست از عمق نرمال و برای شرایط مرزی پایین‌دست از رابطه دبی-اشل ایستگاه هیدرومتری جوشیروان استفاده گردید. پس از شبیه‌سازی، تغییرات پروفیل طولی تراز انرژی جریان رودخانه، میزان سرعت، تنش برشی، قدرت جریان، عدد فرود، ظرفیت حمل رسوب در مقاطع مختلف مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به مواردی شامل هیدرولیک رسوب، مقایسه خروجی‌های مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده در مقطع ایستگاه جوشیروان پرداخته شد.

نگارش خود علاوه بر قابلیت‌های قبلی توانایی تحلیل فرآیند رسوب، فرسایش و کیفیت را نیز دارا می‌باشد. 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 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 از 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. این مدل براساس معادلات جریان و انتقال رسوب و معادله پیوستگی رسوب در شرایط یک‌بعدی و فرض جریان شبه‌غیرماندگار توسعه یافته است (Lorang and Aggett, 2005). در مدل HEC-RAS 5.0.3 برای شبیه‌سازی یک‌بعدی ته‌نشین شدن رسوب و یا فرسایش و آب‌شستگی بستر از شش تابع مختلف استفاده می‌شود. روندیابی رسوب با استفاده از معادله Exner صورت می‌گیرد. معادله بقای جرم برای رسوب با توجه به معادله اکسندر به صورت رابطه (۱) می‌باشد (USACE 2010).

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

که، B عرض رودخانه (m) ، η ارتفاع کف بستر رودخانه (m) ، λ_p تخلخل لایه فعال، Q_s دبی بار رسوبی حمل شده (m^3/d) ، x فاصله (m) و t زمان (s) می‌باشد.

برای محاسبه آهنگ انتقال رسوب، روابط مختلفی در مدل پیش‌بینی شده است تا کاربر رابطه مناسب برای رودخانه مورد پژوهش را از میان آن‌ها انتخاب کند. جدول (۱) مشخصات توابع به کار رفته در نسخه ۵ نرم‌افزار HEC-RAS را نشان می‌دهد. در این جدول d قطر کلی ذرات به کار رفته در آزمایش‌ها (mm) ، d_m متوسط قطر ذرات یا همان d_{50} (mm) ، s وزن مخصوص ذرات رسوب، v سرعت متوسط در کانال (ft/s) ، S شیب خط انرژی، w عرض کانال (ft) ، D

جدول ۱- مشخصات توابع به کاررفته در نسخه ۵ نرم افزار HEC-RAS
Table 1- Specifications of functions used in version 5 of HEC-RAS software

Terms of use of the relationship	Description	Grading	How to extract	Transport Function
$0.04 < d < 7 \text{mm}$, $0.07 < v < 7.1 \text{ (fps)}$ $0.00006 < s < 0.0037$, $1 < G_s < 2.7$ $46 < T < 89 \text{ }^\circ\text{F}$ $0.01 < D < 1.4 \text{ft}$, $0.23 < w < 4 \text{ft}$	انتقال بار معلق (ریزدانه) تابعی آر نوسانات آشفتگی جریان آب می باشد. انتقال بار بستر (درشتدانه) تابعی از تنش برشی اعمال شده بر روی رسوبات می باشد.	ماسه - شن	آزمایشگاهی	Ackers-White (1973)
$0.19 < d < 0.93 \text{mm}$, $0.65 < v < 6.34 \text{ (fps)}$ $0.000055 < s < 0.019$, $45 < T < 93 \text{ }^\circ\text{F}$ $0.19 < D < 1.33 \text{ft}$	برای رودخانه های ماسه ای که دارای بار معلق قابل توجه دارند کاربرد دارد	ماسه	آزمایشگاهی	Engelund and Hansen (1967)
$0.011 < d < 29 \text{mm}$, $0.7 < v < 9.4 \text{ (fps)}$ $0.00025 < s < 0.025$, $0.25 < w < 6.6 \text{ft}$ $46 < T < 83 \text{ }^\circ\text{F}$ $0.01 < D < 1.4 \text{ft}$	برای رودخانه هایی که دارای بار شنی دارند کاربرد دارد	سیلت - شن	آزمایشگاهی	Laursen (1989)
$0.04 < d < 7 \text{mm}$, $1.2 < v < 9.4 \text{ (fps)}$ $0.0004 < s < 0.02$, $46 < T < 89 \text{ }^\circ\text{F}$ $0.03 < D < 3.9 \text{ft}$, $0.5 < w < 6.6 \text{ft}$	برای رودخانه هایی که دارای رسوبات درشتدانه اند کاربرد دارد	ماسه - شن	آزمایشگاهی	Meyer-Peter-Muller (1948)
$0.062 < d < 4 \text{mm}$, $0.7 < v < 7.8 \text{ (fps)}$ $0.000002 < s < 0.0011$, $63 < w < 3640 \text{ft}$ $32 < T < 9 \text{ }^\circ\text{F}$ $0.095 < D < 0.76 \text{ft}$,	برآورد دبی رسوب بر اساس محاسبه ستون های عمودی غلظت (تقسیم بندی آن به ۴ ناحیه) صورت می گیرد	ماسه	آزمایشگاهی	Toffaletti (1968)
$0.15 < d < 1.7 \text{mm}$, $0.8 < v < 6.4 \text{ (fps)}$ $0.000043 < s < 0.028$, $0.04 < D < 50 \text{ft}$ $32 < T < 94 \text{ }^\circ\text{F}$, $0.23 < w < 4 \text{ft}$	برآورد دبی رسوب بر اساس قدرت جریان استوار است	ماسه - شن	آزمایشگاهی	Yang (1973), (1984)
--	برای بار بستر و پتانسیل حمل و نقل شن به کار می رود	ماسه - شن 2mm < شن	آزمایشگاهی	Wilcock and Crowe (2003)

شد. سپس از نقشه توپوگرافی مسیر، DEM و TIN از مسیر رودخانه تهیه شد. در بسته الحاقی HEC-GeoRAS نرم افزار ArcMap، پلان عمومی رودخانه، تعداد ۲۰۰ مقطع عرضی در طول ۵ km رودخانه تهیه و به مدل معرفی شد. پس از تهیه مقاطع عرضی و برداشت فواصل سواحل چپ و راست کانال اصلی، اطلاعات مربوطه جهت معرفی هندسه رودخانه به مدل (HEC-RAS.5.0.3) معرفی شد. ایستگاه جوشیروان معرف میزان آبدی رودخانه شرا می باشد. پس از اجرای مدل SMADA و انتخاب بهترین روش توزیع (لوگ پیرسون ۳) با استفاده از روش گشتاور محدود (L-Moment) مقادیر دبی لحظه ای سیلاب در این ایستگاه برای دوره بازگشت های ۵، ۲۵ و ۵۰ به ترتیب ۹۵، ۱۸۹ و m^3/s ۲۵۸ محاسبه شد. تحلیل آمار رسوب موجود رودخانه در محل ایستگاه آب سنجی و رسوب سنجی منتخب (جوشیروان) به منظور تعیین میزان بار رسوبی آن می باشد. دبی بیشینه

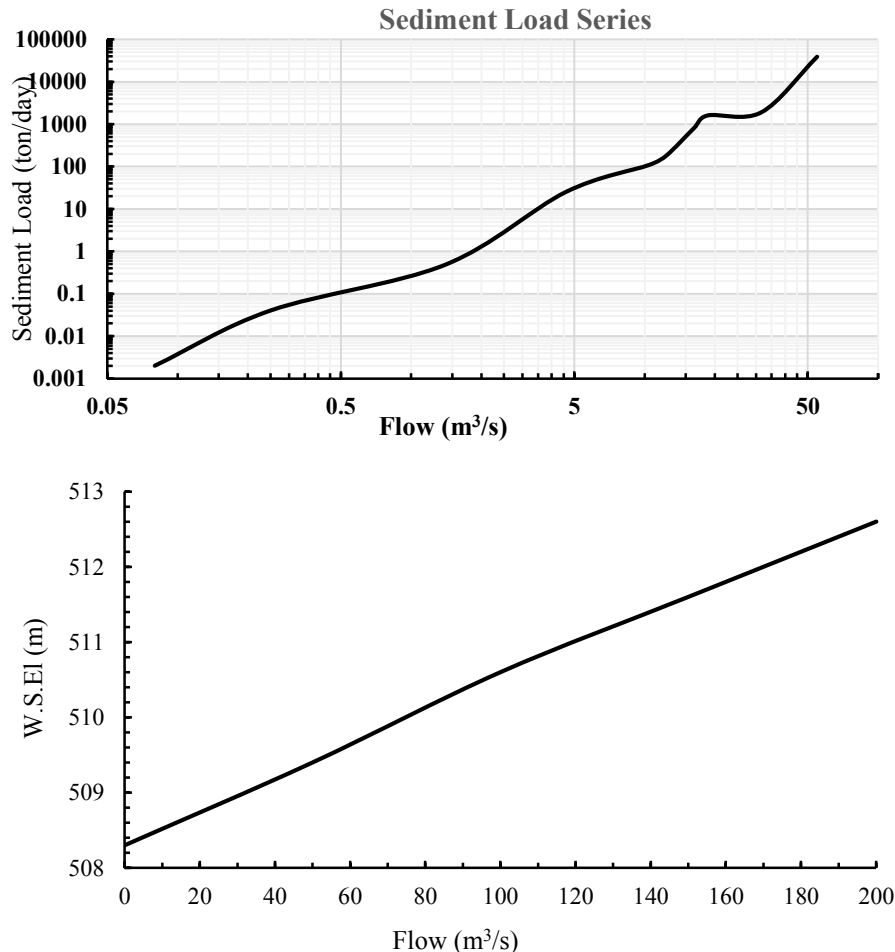
برای محاسبه آهنگ انتقال رسوب، روابط مختلفی در مدل پیش بینی شده است تا کاربر رابطه مناسب برای رودخانه مورد پژوهش را از میان آن ها انتخاب کند. جدول (۱) مشخصات توابع به کار رفته در نسخه ۵ نرم افزار HEC-RAS را نشان می دهد. در این جدول d قطر کلی ذرات به کار رفته در آزمایش ها (mm)، d_m متوسط قطر ذرات یا همان d_{50} (mm)، s وزن مخصوص ذرات رسوب، v سرعت متوسط در کانال (ft/s)، S شیب خط انرژی، w عرض کانال (ft)، D عمق کانال (ft)، T دمای آب ($^\circ\text{F}$) و R شعاع هیدرولیکی (ft) می باشد.

۲-۳- مدل سازی هیدرولیک جریان رودخانه

برای شبیه سازی هیدرولیک جریان و رسوب، اطلاعات رودخانه شامل داده های هندسی، هیدرولیکی و رسوبی به کار گرفته شد. در بخش هندسی ابتدا نقشه توپوگرافی مسیر رودخانه با مقیاس ۱:۲۰۰۰ با فاصله خطوط ۰/۵ m تهیه

اشل ایستگاه هیدرومتری جوشیروان استفاده گردید. پس از شبیه‌سازی، تغییرات پروفیل طولی تراز انرژی جریان رودخانه، میزان سرعت، تنش برشی، قدرت جریان، عدد فرود، ظرفیت حمل رسوب در مقاطع مختلف مورد بررسی قرار گرفت. همچنین به مواردی شامل هیدرولیک رسوب، مقایسه خروجی‌های مدل با داده‌های اندازه‌گیری شده در مقطع ایستگاه جوشیروان پرداخته شد.

لحظه‌ای متوسط با دوره بازگشت ۵۰ یژ نیز برابر با m^3/s ۲۵۸ وارد مدل گردید. ضریب زبری مانینگ رودخانه با توجه به بازدها و جدول‌های معتبر تهیه شده توسط دفتر تحقیقات و معیارهای فنی سازمان برنامه‌بودجه تعیین شد. برای اجرای مدل نیاز به معرفی شرایط مرزی در بالادست و پایین‌دست بود که بدین منظور برای شرایط مرزی بالادست از عمق نرمال و برای شرایط مرزی پایین‌دست از رابطه دبی-

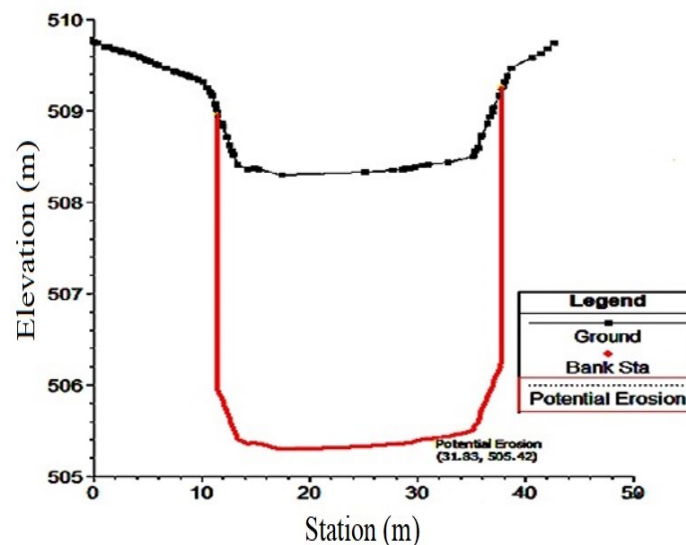


شکل ۲- الف- منحنی دبی جریان رسوب و ب- منحنی دبی جریان در مقابل سطح آب
Fig. 2 a) Flow-sediment load curve and b) Flow rate curve Vs. water surface level

رودخانه ترسیم کرد. سرعت ته‌نشینی با توجه به اندازه ذرات و وزن مخصوص آن و ضریب لزجت سینماتیک سیال محاسبه می‌شود. نظر به اینکه تفاوت اصلی فرمول‌های سرعت سقوط ذرات مربوط به میزان ذرات ریزدانه و همچنین میزان چسبندگی و کلونیدی بودن آن ذرات می‌باشد، لذا از رابطه رایجی در تعیین سرعت سقوط و انتقال رسوبات استفاده شد. عرض محدوده بازه فرسایش‌پذیر در هر مقطع، معادل با عرض محدوده مقطع اصلی جریان که در مطالعات هیدرولیک رودخانه تعیین شده بود، انتخاب و به مدل وارد

۲-۴- مدل‌سازی هیدرولیک رسوب رودخانه
به‌منظور ورود اطلاعات مربوط به مواد رسوبی، ابتدا در طول رودخانه نمونه‌گیری از رسوبات بستر انجام و پس از تعیین دانه‌بندی، به مدل معرفی شدند. شرط مرزی رسوب به‌صورت یک منحنی سنج رسوب، که ارتباط بین دبی جریان و دبی رسوب است برای مدل تعریف شد شکل (۲-۲) الف). منحنی دبی جریان در مقابل تراز سطح آب یا همان منحنی سنج آب در شکل (۲-۲) ب) نشان داده شده است. این منحنی را می‌توان در هر موقعیت با انتخاب بازه و ایستگاه

شد. با توجه به مطالعات میدانی و نتایج مطالعات زمین-شناسی رودخانه مورد پژوهش، حداکثر میزان عمق فرسایش بین ۲/۵ تا ۳ m انتخاب و این مقدار به مدل وارد شد. شکل (۳) عمق واقعی و عمق قابل فرسایش را نشان می‌دهد. با توجه به بررسی میدانی رخنمون‌های سنگی و تخمین عمق آبرفت در منطقه، پتانسیل عمق قابل فرسایش برآورد گردید.



شکل ۳- مقطع عرضی و عمق رسوب قابل فرسایش

Fig. 3 Cross section and depth of erodible sediment

شد. رابطه بین دبی جریان و دبی رسوب ایستگاه هیدرومتری جوشیروان ترسیم گردید. در این تحقیق با استفاده از داده‌های دبی آب و رسوب اندازه‌گیری شده در ایستگاه جوشیروان در یک دوره زمانی ۴۰ yr (از سال ۱۹۷۶ تا ۲۰۱۶) روش‌های هیدرولوژیکی جهت انتخاب مدل بهینه مورد آزمون قرار گرفت و با در نظر گرفتن ۲۰٪ بار معلق به‌عنوان بار بستر، بار کل سالیانه محاسبه شد.

۲-۵- کالیبراسیون مدل

بررسی‌ها نشان می‌دهد که میزان فرسایش و رسوب‌گذاری در یک مقطع عرضی، نسبت به انتخاب معادله انتقال رسوب و ضریب زبری مانینگ حساس می‌باشد. همچنین ضریب زبری مانینگ، مهم‌ترین ضریب هیدرولیکی در انواع مطالعات هیدرولیک رودخانه است که تأثیر بارزی بر نتایج محاسبات برجای می‌گذارد. لذا کالیبراسیون یا واسنجی مدل با استفاده از تغییر در این پارامتر صورت گرفت. میانگین حاصله برای این ضریب با استناد به جداول معتبر کتاب هیدرولیک کانال‌های باز در بازه موردپژوهش تعیین گردید (Hosseini, 2004). همچنین با مشخص بودن منحنی دبی-اشل در مقطع خروجی و برداشت مشخصات هیدرولیکی در مقطع آخر نظیر محیط خیس شده و مساحت مقطع به ازای ترازهای مختلف آب در دبی‌های مختلف، با

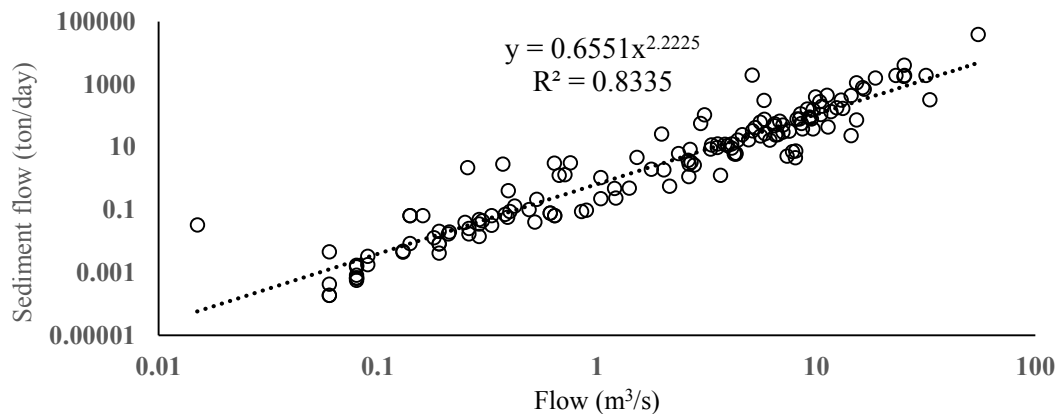
هم‌چنین ضرایب همگرایی و واگرایی برای ارزیابی افت انرژی، که به‌علت وجود بازشدگی و تنگ‌شدگی در جریان رخ می‌دهد مورد استفاده قرار گرفتند. این ضرایب در تغییرات بار سرعت از یک مقطع عرضی تا مقطع عرضی بعدی ضرب می‌شوند تا افت‌های بین آن مقاطع در محاسبات لحاظ شود. با توجه به تغییرات طبیعی مقاطع رودخانه و با توجه به مقادیر ضرایب همگرایی (Cc) و واگرایی (Ce) مقطع که برای شرایط مختلف به‌وسیله انجمن مهندسين ارتش آمریکا پیشنهاد شده است. در پژوهش حاضر به‌خاطر اینکه در این قسمت رودخانه تغییرات تدریجی می‌باشد، ضرایب همگرایی و واگرایی به ترتیب ۰/۱ و ۰/۳ در نظر گرفته شد. افت انرژی در طولی مسیر رودخانه که ناشی از زبری بوده و نقش مؤثری در تراز آب و سرعت جریان در هر مقطع دارد نیز لحاظ گردید (Lorang and Aggett 2005). در قسمت اطلاعات رسوبی با توجه به تغییرات زیاد مواد بستر رودخانه در طول مسیر از نتایج حاصل از ۲۰ نمونه آزمایش دانه‌بندی بستر در مقاطع مختلف جهت اجرای مدل استفاده گردیده و منحنی سنج رسوب در ایستگاه جوشیروان نیز به‌عنوان شرط مرزی در نظر گرفته شد. در نهایت برای بررسی وضعیت فرسایش، رسوب‌گذاری و تعادل رودخانه از معیار هولشتروم، که در آن سرعت جریان در مقابل اندازه ذره رسم شده است، با استفاده از ۲۰ نمونه رسوب بستر اخذشده در طول رودخانه استفاده

در شکل (۴) پراکندگی نمونه‌های دبی- رسوب ایستگاه جوشیروان خنداب نشان داده شده است. تحلیل آمار رسوب موجود رودخانه در محل ایستگاه آب‌سنجی و رسوب‌سنجی منتخب (جوشیروان) به‌منظور تعیین میزان بار رسوبی آن می‌باشد. با توجه به رابطه توانی بین مواد معلق رسوبی و دبی روزانه، آمار نمونه‌برداری رسوب مواد معلق جمع‌آوری و روابط دبی - رسوب، به‌وسیله‌ی سه روش منحنی سنج رسوب، FAO و پوش هم غلظت، در ایستگاه جوشیروان محاسبه و در نهایت روش پوش هم غلظت به‌عنوان مناسب‌ترین روش، انتخاب شد.

حل معکوس معادله مانینگ ضریب زبری تعیین گردید. متوسط این مقادیر به ازای تراز و دبی‌های مختلف در کنار راست ۰/۰۴۶ در مرکز کانال ۰/۰۴۱ و در کنار ساحل چپ ۰/۰۴۴ به دست آمد. دقت مدل کالیبره شده حدود ۸۵٪ می‌باشد، یعنی حدود ۱۵٪ خطا دارد.

۳- یافته‌ها و بحث

۳-۱- بررسی نتایج عمومی جریان و رسوب در رودخانه مورد پژوهش

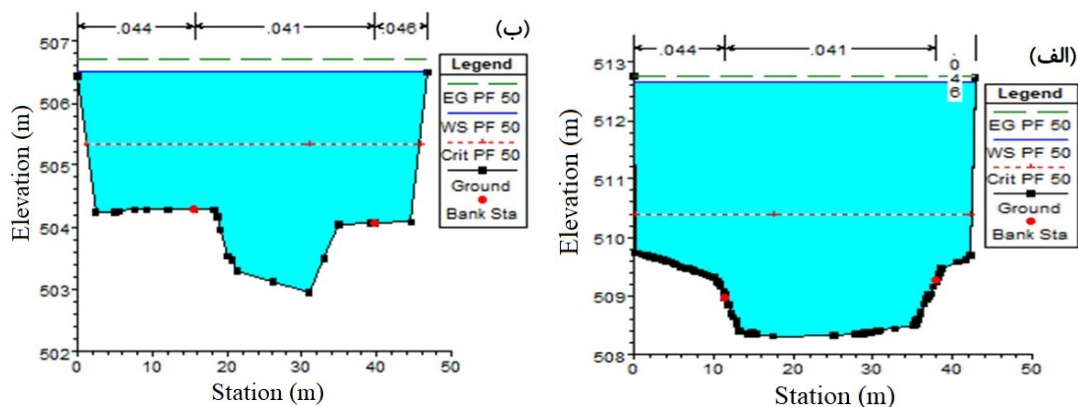


شکل ۴- رابطه بین دبی جریان و دبی رسوب ایستگاه هیدرومتری جوشیروان

Fig. 4 Relationship between flow rate and sediment rating curve of Joshirvan hydrometric station

۳/۶۷ در هر کیلومتر برآورد شده است. حوزه آبخیز مورد مطالعه فاقد آماربرداری بار بستر می‌باشد لذا در این پژوهش با توجه به شیب و فیزیوگرافی و شرایط زمین-شناختی این حوزه، مقدار بار بستر حدود ۲۰٪ بار معلق پیشنهاد می‌شود (Maddock 2006). مجموع بار معلق کل ۱۰۱۷۲/۲۶ ton/yr و بار بستر ۲۰۳۴/۵ ton/yr مقدار بار ۱۲۲۰۷ ton/yr در طول دوره آماربرداری به‌دست آمد.

با استفاده از این رابطه و آمار دبی روزانه ایستگاه آب‌سنجی، مقادیر رسوب این ایستگاه در طول دوره آماری موجود تعیین شده است. با استفاده از این رابطه و آمار دبی روزانه ایستگاه آب‌سنجی، مقدار دبی متوسط سالانه برابر شد با (m³/s) ۵/۴۰۶ مقادیر رسوب این ایستگاه در طول دوره آماری موجود تعیین شده است. میانگین سالانه رسوب مواد معلق رودخانه در محل ایستگاه آب‌سنجی جوشیروان، ton ۱۰۱۷۲/۲۶ و مقدار دبی ویژه رسوب سالانه آن ton/yr



شکل ۵- مقطع عرضی رودخانه، الف- در ابتدا و ب- در انتهای بازه

Fig. 5 Transverse section of the river, a) at the beginning and b) at the end of the interval

جدول (۲) به طور خلاصه پارامترهای جریان را برای رودخانه نشان می‌دهد. در این جدول مقدار بیشینه، کمینه و متوسط پارامترهای، عمق هیدرولیکی، قدرت جریان، مساحت هر

جدول ۲- خلاصه نتایج محاسبات هیدرولیکی در دبی طراحی رودخانه قره چای ایستگاه خنداب در مقاطع مختلف

Table 2 Summary of the results of hydraulic calculations in the design of Qarachai river design of Khondab station in different sections

Froude Number	Wetted perimeter	Energy slope	Shear Stress	Flow Velocity	Width Surface	Flow Surface	Flow Power	Hydraulic Depth	Parameter amount
-	m	(m/m)	(N/m ²)	(m/s)	(m)	(m ²)	N/m.s	(m)	Unit
0.46	71.24	0.0029	46.81	1.93	88.33	127	90.25	2.9	Maximum
0.16	11.97	0.00039	5.80	0.64	21.31	42.67	3.69	1.44	Minimum
0.303	26.45	0.0013	24.18	1.33	41.78	67.42	34.31	1.94	Medium

پس از ورود داده‌های جریان شبه غیرماندگار و اطلاعات رسوب رودخانه، با انتخاب توابع انتقال رسوب موجود در مدل (Yang, England - Hansen, Ackers - White, Meyer, Peter and Copeland's form of Laursen, Muller, Toffaleti و Wilcock-Crowe) مدل اجرا گردید. نتایج حاصل از اجرای مدل نشان داد که ظرفیت

جدول ۳- مقایسه کمی نتایج حاصل از اجرای مدل و مقادیر اندازه‌گیری شده رودخانه شره

Table 3 Quantitative comparison of the results obtained from the implementation of the model and the measured values of the Sharah River

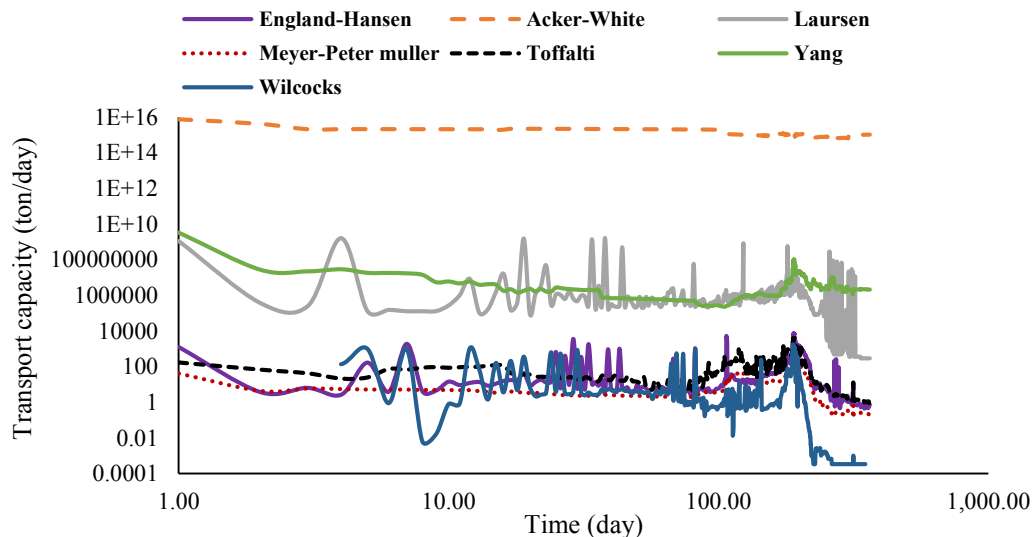
Standard deviation	Minimum (Ton/day)	Maximum (Ton/day)	Percentage of error compared to the measured sediment	Mass capacity (Ton/yr)	Transport Function
250932	194817	998103	-8.44	115280	Yang
1.217	1.3	5.46	0.92	941.7	Ackers-White
71.45	35	230	-0.25	15230.5	Engelund - Hansen
32157	16792	104944	-0.58	19290	Laursen
7.36	14.5	34	0.26	8997.25	Meyer, Peter and Muller
273.67	88	816	-0.57	19225	Toffaleti
971.19	0.2	3079	-0.21	18442.2	Wilcock-crowe
-	-	-	-	12207	Sediment rating curve

با توجه به نتایج حاصل، مقادیر رسوبات محاسبه شده به وسیله‌ی رابطه میر- پیتر و مولر به مقادیر رسوبات مشاهداتی نزدیک‌تر می‌باشد. لذا این رابطه به عنوان مناسب‌ترین رابطه برای این ایستگاه انتخاب می‌شود. نتایج این پژوهش با نتایج مطالعات (Asadi et al. 2011) مطابقت دارد. نتایج آن‌ها نشان دادند که از بین معادلات انتقال رسوب موجود در مدل HEC-RAS معادله میر- پیتر و مولر، در رودخانه تالار،

اثرات منفی شدیدی ایجاد خواهد نمود. برای پیش‌بینی مشخصه‌های جریان در بازه‌ای از رودخانه نیاز به شرایط مرزی منطبق با طبیعت می‌باشد.

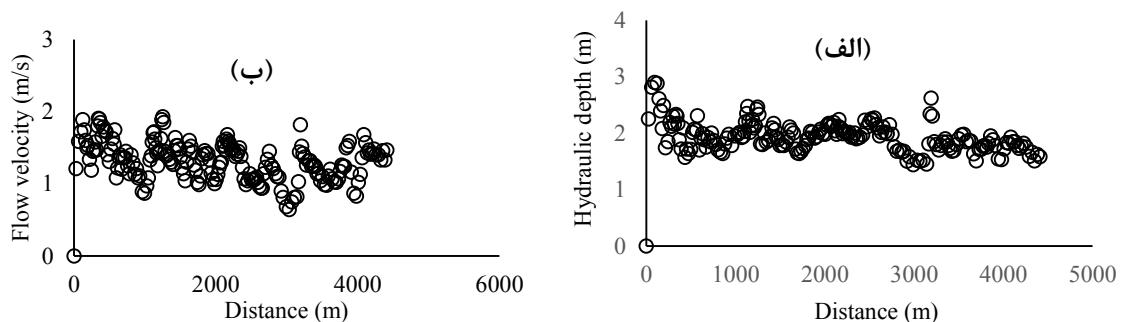
شکل (۶) تغییرات ظرفیت انتقال رسوب (ton/day) در ایستگاه خنداب با استفاده از هشت تابع انتقال رسوب را در دوره شبیه‌سازی نشان می‌دهد. با توجه به شکل، روش آکرز و وایت تغییرات متوسط ظرفیت انتقال رسوب در طول رودخانه در دوره شبیه‌سازی را بسیار بالا نشان می‌دهد. هم چنین نتایج نشان داد که در طی این دوره، متوسط داده‌های خروجی از روش‌های میر-پیترو مولر، انگلند-هانسن، توفالتی و ویلکوکس به داده‌های مشاهداتی نزدیک‌تر می‌باشند. حجم متوسط رسوب خروجی شامل بار معلق و بستر از این ایستگاه رودخانه حدود 12207 ton/yr می‌باشد.

چند سال اخیر در طول این بازه از رودخانه به‌عنوان معادن شن و ماسه، شن و ماسه برداشت شده است، برداشت مصالح از رودخانه، باعث برهم زدن مرفولوژی رودخانه و به‌خصوص ایجاد فرسایش می‌گردد. لذا باید قبل از هرگونه برداشت مصالح، محدوده مجاز برداشت با انجام فرایند تحلیل رسوب رودخانه مشخص گردد. چون رودخانه‌ها در عبور از پیچ‌ها به سمت کناره خارجی پیچ گرایش داشته و در کناره خارجی پیچ فرسایش و در عوض در کناره داخلی رسوب‌گذاری دارند. کناره داخلی پیچ‌های رودخانه محل مناسبی جهت برداشت مصالح می‌باشد. برداشت مصالح از بارها یا پشته‌های رسوبی بستر رودخانه می‌تواند به اصلاح مقطع رودخانه و افزایش ظرفیت آبگذری آن کمک کند. برداشت شن و ماسه، تعلیق مواد رسوبی بستر را به‌دنبال دارد که بر روی آبریز رودخانه



شکل ۶- تغییرات متوسط ظرفیت انتقال رسوب در طول رودخانه در دوره شبیه‌سازی

Fig. 6 Average changes in sediment transport capacity along the river during the simulation period



شکل ۷- مقدار، الف- عمق هیدرولیکی و ب- سرعت جریان در طول مسیر

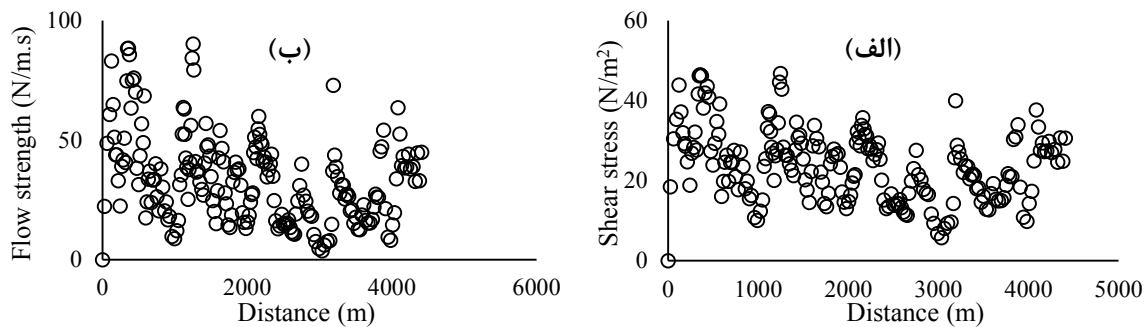
Fig. 7 The amount of: a) hydraulic depth and b) flow velocity along the route

عرض سطح جریان را در طول رودخانه در مقاطع مختلف برای دبی متوسط سالانه نشان می‌دهد. شکل (الف- ۷) عمق

شکل‌های (۷) تا (۹) تغییرات پارامترهای جریان شامل عمق هیدرولیکی، سرعت، تنش برشی، قدرت جریان، عدد فرود و

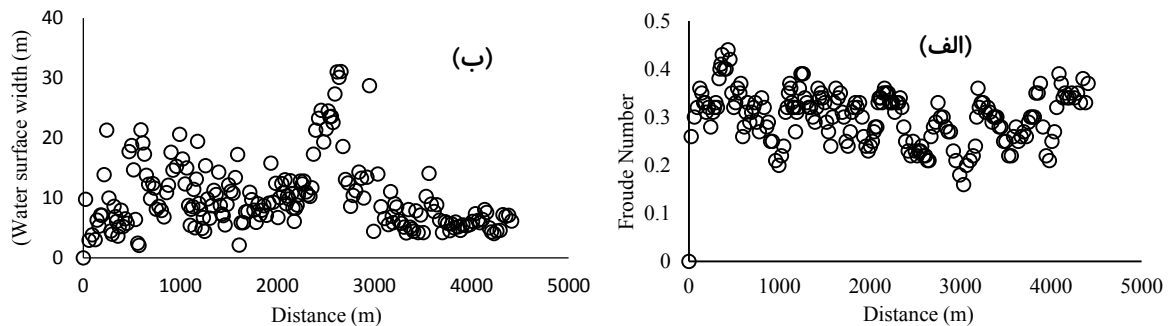
می‌دهد. از شکل‌های فوق نتیجه گرفته می‌شود که پارامترها در طول مسیر تغییرات قابل‌تحلیلی ندارند و تقریباً به صورت یکنواخت می‌باشند.

هیدرولیکی، شکل (۷-ب) سرعت جریان، شکل (۸-الف) تنش برشی، شکل (۸-ب) قدرت جریان، شکل (۹-الف) عدد فرود، (۹-ب) عرض سطح جریان در طول مسیر را نشان



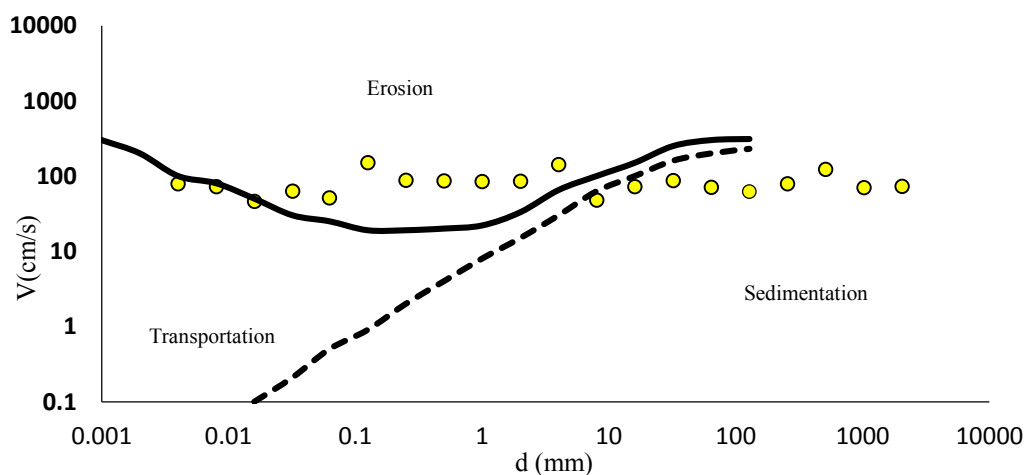
شکل ۸- مقدار، الف- تنش برشی و ب- قدرت جریان در طول مسیر

Fig. 8 The amount of a) Shear stress and b) flow strength along the path



شکل ۹- مقدار، الف- عدد فرود و ب- عرض سطح جریان در طول مسیر

Fig. 9 The amount of: a) Froude number and b) flow surface width along the route



شکل ۱۰ - وضعیت مقاطع رودخانه در نمودار هولشتروم

Fig. 10 State of river sections in Hallstrom diagram

کانال‌ها ارائه داده است از این معیار به منظور تعیین وضعیت فرسایشی، رسوب‌گذاری و یا انتقال رسوب در طول بازه رودخانه موردپژوهش استفاده شد. همچنین با داشتن شرایط هیدرولیکی رودخانه، تنش برشی و سرعت برشی و با استفاده از مشخصات مصالح بستر عدد شیلدز و عدد رینولدز مرزی محاسبه و براساس منحنی شیلدز وضعیت حرکت مصالح

۲-۳- بررسی وضعیت فرسایش، رسوب‌گذاری و تعادل رودخانه شراه

با توجه به این‌که نمودار هولشتروم، آنالیز دقیقی بر روی داده‌های به‌دست‌آمده از بررسی حرکت دانه‌های یکنواخت در

Hjulstrom

هشت مقطع رودخانه در وضعیت فرسایشی و نه مقطع در حال رسوب‌گذاری و سه مقطع هم در حال انتقالی می‌باشند. همچنین بررسی با معیار شیلدز نشان داد در هشت مقطع فرسایش‌پذیر مقدار عدد رینولدز برشی بزرگ‌تر از ۴۰۰ و مقدار پارامتر شیلدز بزرگ‌تر از ۰/۰۵۶ می‌باشد، به عبارت بهتر براساس معیار شیلدز این مقاطع در حالت فرسایش می‌باشند.

با توجه به اینکه در طول این بازه در چند سال اخیر به‌عنوان معادن شن و ماسه، شن و ماسه برداشت می‌شده، لذا باید قبل از هرگونه برداشت مصالح، محدوده مجاز برداشت با انجام فرایند تحلیل رسوب رودخانه مشخص گردد. لذا کناره داخلی پیچ‌های رودخانه محل مناسبی جهت برداشت مصالح می‌باشد چون رودخانه‌ها در عبور از پیچ‌ها به سمت کناره خارجی پیچ گرایش داشته و در عوض در کناره داخلی رسوب‌گذاری وجود دارد. با توجه به اینکه در پایین دست بازه موردنظر سد ساوه قرار دارد و همچنین با توجه به این‌که در این بازه تابع انتقال رسوب میر-پیتر و مولر نسبت به سایر توابع انتقال رسوب بهتری را برآورد نموده است، براین اساس پیشنهاد می‌شود جهت شناخت پتانسیل میزان انتقال رسوب، از این مدل در مناطق مختلف رودخانه و همچنین برای برآورد میزان رسوبات ورودی به مخزن استفاده گردد.

نحوه دسترسی به داده‌ها

در گزارش نهایی طرح پژوهشی با همین عنوان در سازمان تحقیقات و آموزش کشاورزی کشور (AREEO) ارائه و در دسترس خوانندگان قرار داده خواهد شد.

تضاد منافع نویسندگان

نویسندگان این مقاله اعلام می‌دارند که هیچ تضاد منافی در رابطه با نویسندگی و یا انتشار این مقاله ندارند.

بستر در دبی طراحی مشخص شد. شکل (۱۰) نقاط ترسیم‌شده را بر روی منحنی هولشتروم نشان می‌دهد. در این منحنی سه ناحیه فرسایش، رسوب‌گذاری و تعادل از یکدیگر متمایز شده‌اند. به‌منظور تعیین وضعیت فرسایش، رسوب‌گذاری و یا تعادل رودخانه با استفاده از نتایج اجرای مدل و تعیین سرعت متوسط جریان در ۲۰ مقطع نمونه-بررداری شده از نمودار هولشتروم مطابق شکل استفاده شد. با توجه به این شکل از ۲۰ مقطع نمونه‌بررداری شده از بازه،

۴- نتیجه‌گیری

در پژوهش حاضر از مدل HEC-RAS 5.0.3 استفاده و با استفاده از داده‌های صحرائی اندازه‌گیری شده توانایی مدل مذکور در شبیه‌سازی انتقال رسوب ارزیابی و تغییرات برخی پارامترهای رسوبی در رودخانه مورد بررسی قرار گرفت. بررسی ظرفیت انتقال رسوب رودخانه شرا در حوضه قره-چای با ۷ تابع انتقال رسوب با مدل HEC-RAS انجام شد. در ادامه نتایج حاصل از پژوهش ارائه شده است.

۱- اجرای مدل نشان داد که ظرفیت حمل رسوب در بازه موردپژوهش رودخانه، با انتخاب روابط مختلف، متغیر می‌باشد.

۲- قسمتی از رودخانه در حال فرسایش و قسمتی در حال رسوب‌گذاری به‌صورت پشته‌های رسوبی می‌باشد.

۳- اجرای مدل برای هفت تابع انتقال رسوب، مقادیر رسوبات محاسبه‌شده به‌وسیله‌ی رابطه میر-پیتر و مولر با ۲۶٪ خطا به مقادیر رسوبات مشاهداتی نزدیک‌تر می‌باشد. در فرضیات روش میر-پیتر و مولر هم به نوع رسوبات شن و ماسه و درشت‌دانه بودن اشاره شده است. روش ایکرز و وایت تغییرات متوسط ظرفیت انتقال رسوب در طول رودخانه در دوره شبیه‌سازی را بسیار بالا نشان می‌دهد. لذا روش میر-پیتر و مولر به‌عنوان مناسب‌ترین رابطه برای این ایستگاه انتخاب شد.

References

- Ackers, P. and White, W. R. (1973). Sediment transport: new approach and analysis. J. Hydraul. Division, ASCE, 99(HY11), 2040-2060.
- Asadi, F., Fazlavali, r., Emadi, A. and Asadi, M. (2011). Hydraulic simulation of river sediment using a mathematical model HEC-RAS4.0 (Case Study: River Hall). Third National Conference on Integrated Water

Resources Management. Sari Agri. Sci. Nat. Resour., Sari [In Persian].

- Azizian, A. and Samadi, A. (2019). Determination of the potential of mountainous sand and gravel mines, using GIS and geomorphologic models integration, case study: Ferdows and Ghaen

- Basins. *J. Watershed Eng. Manage.*, 10(4), 564-579 [In Persian].
- Canfield, H. E., Wilson, C. J., Lane, L. J., Crowell, K. J. and Thomas, W. A. (2005). Modeling scour and deposition in ephemeral channels after wildfire. *J. Catena*, 61(2-3), 273-291.
- Cook, A. and Merwade, V. (2009). Effect of Topographic data geometric configuration and modeling approach on flood inundation Mapping. *J. Hydrol.*, 377(1-2), 131-142
- Duncan, W., Warburton, J. and Bracken, L. (2007). Gravel extraction and plan form change in a wandering gravel-bed river: The River Wear, Northern England. Department of Geography, Durham University. DH1 3LE, UK.
- Engelund, F. and Hansen, E. (1972). a monograph on sediment transport in alluvial streams, teknish Forlag, Technical press, Copenhagen, Denmark.
- Gibson, S., Brunner, G., Piper, S. and Jensen, M. (2006). Sediment transport computations with HEC-RAS. Proceedings of the Eighth Federal Interagency Sedimentation Conference (8thFISC), April 2-6, 2006, Reno, NV, USA
- Honarbakhsh, A., Hedayatipour, K. And Samadi, H. (2021). Investigation of the effects of sand harvesting on the hydromorphological behavior of the river canal, a case study of the dry river Farsan. *Quant. Geomorph. Res.*, 9(1), 203-216 [In Persian].
- Hosseini, M. and Abrishami, J. (2004). Hydraulics of open channels. Eleventh edition. Imam Reza University, Mashhad [In Persian].
- Laursen, E. M. (1958). Total sediment load of streams. *J. Hydraul. Division. ASCE*, 84(HY1), 1530-1 - 1530-36.
- Lorang, M. S. and Aggett, G. (2005). Potential sedimentation impacts related to dam removal: Icicle Creek, Washington, U.S.A.
- Maddock, T., In *Sediment Engineering, Manuals and Reports on Engineering Practice* (ed. Vanoni, V. A.), ASCE, New York, USA, 2006, vol. 54.
- Meyer-Peter, E. and Muller, R. (1948). Formulas for bed-load transport. Proceedings, 3rd Meeting of International Association Hydraulic Resources, Stockholm, 39-64.
- Moradinejad, A., Haghiaibi, A. H., Torabi, H. and Jabari, A. (2014). Qara-Chai River sediment survey of the Markazi province numerical model HEC-RAS.4. *Int. Res. J. Appl. Basic Sci.*, 8(10), 1628-1636. [In Persian].
- Pappenberger, F., Bevena, K., Horritb, M. and Blazkova, S. (2005). Uncertainty in the calibration of effective roughness parameters in HEC-RASS using inundation and downstream level observation. *J. Hydrol.*, 302(1-4), 46:69.
- Piro, M., Ghomshi, M., Nohani, A. and Ravansalar, M. (2012). Status of river sediment numerical model HEC-RAS.4, Bashar Yasooj River case study. International Conference on Water Basin (challenges and opportunities). Shahrekord University. [In Persian].
- Sracek, O., Bohdan, k., Martin, M., Vladimír, M., Frantisek, V., Zbynek, V. and Imasiku, N. (2012). Mining-related contamination of surface water and sediments of the Kafue River drainage system in the Copperbelt district, Zambia: An example of a high neutralization capacity system. *J. Geochem. Explor.* 112, 174-188.
- Toffaleti, F. B. (1968). A procedure for computation of total river sand discharge and detailed distribution, bed to surface. Technical Report NO. 5, Committee on channel stabilization, US army corps of engineers, November, 1968.
- USACE, (2010). HEC-RAS River Analysis System, Reference Manual for Version 4.1.0 Report CPD-69, Hydrologic Engineering Center, Davis, CA.
- Wilcock, P. R. and Crowe, J. C. (2003). Surface-based transport model for mixed-size sediment. *J. Hydraul. Eng.*, ASCE, 129(2), 120-128.
- Wishart, D., Warburton, J. and Bracken, L. (2008). Gravel extraction and planform change in a wandering gravel-bed river: The River Wear, Northern England. *Geomorph.*, 94(1-2), 131-152.
- Yang, C. T. (1973). Incipient motion and sediment transport. *J. Hydraul. Division, ASCE*, 99(HY10), 1679-1704.
- Yang, C. T. (1984). Unit stream power equation for gravel. *J. Hydraul. Division, ASCE*, 110(12), 1783-1797.