Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

The use of the HEC-RAS model to evaluate the pattern of sedimentation variations in areas of the Talar river

Fatemeh Hashemi[1] | **Ali Shahnazari**[2]✉ | **Andersen Mathias Neumann**[3]

1. Postdoc Researcher, Faculty of Water Engineering, University of Sari Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran. **E-mail:** F.Hahsemi@sanru.ac.ir
2. Corresponding Author, Professor of Water Irrigation and Drainage, Faculty of Water Engineering, University of Sari Agriculture and Natural Resources, Sari, Iran **E-mail:** F.Hahsemi@sanru.ac.ir
3. Professor, Department of Agroecology, Aarhus University, Denmark. **E-mail:** mathiasn.andersen@agro.au.dk

Article Info

Article type:
Research Article

Article history:
Received
2024/02/07
Received in revised
2024/05/09
Accepted
2024/05/13
Published
2024/05/15
Published online
2025/09/23

Keywords:
HEC-geoRAS add-on,
sedimentation,
erosion,
Exner equation.

ABSTRACT

The catchment area of the Talar River in Mazandaran Province is subject to annual flooding events that facilitate the transport of substantial quantities of silt. To investigate sediment transport dynamics within this watershed, samples were collected at five designated sections along an 11-kilometer segment of the Talar River. The sampling intervals were delineated as follows: 24.7–22.4 km, 18.2–20.5 km, 17.5–18 km, 16.75–17.5 km, and 11.5–16.75 km, measured from the urban area of Malakala-Najjarkala to Arab Roshan, with all distances calculated from the shoreline. This study aimed to analyze sedimentation and erosion patterns over a five-year period (2016–2021) employing the HEC-RAS model. Sediment transport and volume were assessed based on long-term data obtained from the Kiakla hydrometric station, with a specific focus on flood conditions associated with return periods of 2, 10, 25, 50, and 100 years. The findings indicate that the cumulative sediment input at the beginning of the monitored section is 0.9 million tonnes lower than the total sediment at the end. The river exhibits a pronounced tendency towards erosion. In the first section (22.4–24.7 km), the mean sediment height is 11 cm, accompanied by significant sedimentation totaling 6 million tonnes. The second section reflects an approximate deposition of 1 million tonnes. The third section demonstrates a relatively stable sediment pattern. In the fourth section, the conditions for erosion—both in terms of depth and volume—are deemed unsuitable for sediment harvesting. The fifth section (11.5–16.75 km) records erosion amounting to approximately 8.3 million tonnes, with height variations ranging from 10 to 20 cm. Under these circumstances, sediment removal is impractical; However, the implementation of flood management strategies and river engineering interventions is strongly recommended.

Cite this article: Hashemi, Fatemeh., & Shahnazari, Ali. (2025). The use of the HEC-RAS model to evaluate the pattern of sedimentation variations in areas of the Talar river. *Applied Researches in Geographical Sciences*, 25 (78), 256-277. DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.16

© The Author(s). Publisher: Kharazmi University
DOI: http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.16

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

Extended Abstract

Introduction

Numerical models are powerful tools for analyzing the effects of sediment transport and exploring various scenarios under different conditions. Among the most prominent models in this category are HEC-RAS (US Army, 1989), HEC-6 (US Army, 1982), MOBED (Krishnappan, 1981), GSTARS (US Army, 1998), MIKE-11 (DHI, 2003), FLUVIAL (Chang, 1998), and SSIM (Olsen, 1993). The HEC-RAS model is particularly renowned for its versatility in simulating a wide range of river phenomena. This software is capable of accurately modeling both steady and unsteady flows in one-dimensional and two-dimensional scenarios. It also effectively simulates transverse structures such as bridges, diversion dams, reservoirs, and spillways. To visualize the study area and extract essential information—such as flood zones and water inundation depths derived from hydraulic analysis—the integration of ArcGIS software and its HEC-geoRAS extension is essential. The combination of ArcGIS and HEC-geoRAS provides river studies specialists with a highly effective tool for making informed decisions, accurately determining cross sections, and managing sediment (US Army, 1989).

Materials and Methods

The data for this study were collected through field research conducted along five consecutive intervals of an 11-kilometer stretch of the Talar River. The intervals were as follows: 24.7–22.4 km, 18.2–20.5 km, 17.5–18 km, 16.75–17.5 km, and 11.5–16.75 km, measured from the urban area of Malakala-Najjarkala to Arab Roshan. The study area is geographically located between 36°34' to 36°38' north latitude and 52°48' to 52°46' east longitude, within the Simorgh city region. Data collection took place between the years 1395 and 1400 (2016–2021). Table 1 provides detailed information on the intervals studied. To simulate flow and sediment hydraulics, the HEC-RAS model requires three main types of input data: Geometry data, Hydraulic data, and Sediment data. Additionally, the model incorporates seven sediment transport functions, primarily focusing on coarse-grained sediments, to simulate sediment behavior in rivers. This feature enhances the model's ability to accurately replicate changes in river morphology and composition, making it a robust tool for sediment transport analysis.

Results and Discussion

The simulation results indicate a strong agreement between the observed and simulated water level values across all river flow rates, as evidenced by an R^2 value of 0.74. Additionally, the Root Mean Square Error (RMSE) values were minimal, measuring only 0.4 meters, while the normalized RMSE (nRMSE) was calculated at 18%. This level of error is considered insignificant, especially when compared to potential measurement errors arising from

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

Journal of Applied Researches in Geographical Sciences
Print ISSN: 2228-7736 Online ISSN: 2588-5138
https://jgs.khu.ac.ir/

inaccuracies in data collection. The findings also reveal that the river is prone to erosion in most scenarios. This is supported by the fact that the total sediment input at the beginning of the simulation period was 0.9 million tonnes less than the total sediment at the end of the period. This discrepancy highlights the erosional tendencies of the river under the studied conditions.

Conclusion

The Tofalti equation was identified as the most suitable sediment transport relationship for the study region. Discharge-sediment data from the Shirgah station were analyzed using a power equation (Y = 22.8X^1.8), yielding an R^2 value of 0.85, which falls within the middle limit curve. Analysis of the river's upstream sections and comparison of depth variations between 1395 and 1400 (2016–2021) revealed a significant increase in the riverbed level during the initial period, with this trend becoming more pronounced downstream. Limited erosion was observed in the second, third, and fourth intervals, and the sedimentation patterns at the beginning and end of the simulation period were consistent. However, in the fifth interval, downstream of the studied section, a notable decline in the riverbed level was observed, which intensified further downstream. In this section, the increased gradient and water velocity led to the erosion of sedimentary materials transported from upstream. Based on these findings, it is recommended to collect sediments during the early stages, considering environmental, economic, and social factors. However, in certain areas where the river exhibits a steep slope and reduced width, erosive behavior makes sediment harvesting unsuitable. These results align with the findings of Asadi et al. (2016) and Kivanlu (2013). In summary, it can be concluded that the river's sediment-carrying capacity decreases progressively downstream..

References

Chang, H, 1998, Generalized Computer Program FLUVIAL-12 Mathematical Model for Erodible Channels. Users Manual. 10.4025/actascitechnol.v41i1.39539

Danish Hydraulic Institute, 2003, “Mike11 version 3.01 user manual”, https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2021/Water_Resources/Mike_11_ref.pdf

Krishnappan, B.G., 1981, “programming for MOBED, an unsteady, nonuniform, mobile boundary flow model, “, Canada center for Inland waters, 107p.

Olsen N.R.B. (1993). SSIIM - a three-dimensional numerical model for simulation of water and sediment flow. Transactions on Ecology and the Environment vol 8, © 1994 WIT Press, www.witpress.com, ISSN 1743-3541. https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/HY94/HY94027FU2.pdf

U.S. Armay corps of Engineera, 1982. “Hec6 Users Manual”. https://www.scribd.com/document/318091722/HEC-RAS-5-0-Reference-Manual.

U.S. Armay corps of Engineers, 1989, “sedimentation Investigation of Rivers. And Reservoirs, code: EM 1110-2-4000, PP 6.1-6.13. https://dots.el.erdc.dren.mil/guidance/sedimentation-investigations-of-rivers-and-reservoirs.pdf

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی
شاپا چاپی: ۷۷۳۶-۲۲۲۸ شاپا الکترونیکی: ۵۱۳۸-۲۵۸۸
https://jgs.khu.ac.ir/

کاربرد مدل HEC-RAS در ارزیابی الگوی تغییرات رسوب‌گذاری بخش‌هایی از رودخانه تالار

سیده فاطمه هاشمی [۱]، علی شاهنظری [۲]✉، ماتیاس نیومان آندرسون [۳]

۱. پژوهشگر پسادکتری دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. رایانامه: sfhashemi85@yahoo.com
۲. نویسنده مسئول، استاد دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری. رایانامه: Aliponh@yahoo.com
۳. استاد دانشگاه Aarhus، دانشکده Agroecology، دانمارک. رایانامه: mathiasn.andersen@agro.au.dk

اطلاعات مقاله

نوع مقاله:
مقاله پژوهشی

تاریخ دریافت:
۱۴۰۲/۱۱/۱۸

تاریخ بازنگری:
۱۴۰۳/۰۲/۲۰

تاریخ پذیرش:
۱۴۰۳/۰۲/۲۴

تاریخ انتشار:
۱۴۰۳/۰۲/۲۶

تاریخ انتشار آنلاین:
۱۴۰۴/۰۷/۰۱

کلیدواژه‌ها:
الحاقیه HEC-geoRAS،
رسوب‌گذاری،
فرسایش،
معادله Exner.

چکیده

حوضه آبریز رودخانه تالار در استان مازندران هرساله شاهد سیلاب‌های بزرگ با حجم رسوب انتقالی بسیار زیاد می‌باشد. برای بررسی انتقال رسوب از حوضه‌ی آبریز مذکور، ۱۱ کیلومتر از رودخانه تالار در پنج بازه مکانی در فواصل ۲۲/۴- ۲۴/۷، ۱۸/۲ -۲۰/۵، ۱۷/۵- ۱۸/۰۰، ۱۶/۷۵- ۱۷/۵ و ۱۱/۵ – ۱۶/۷۵ کیلومتر از محدوده شهری از دریا ملاکلا- نجار کلا تا عرب روشن انتخاب شد تا الگوی تغییرات رسوب‌گذاری و فرسایش در بازه زمانی پنج ساله (۱۴۰۰- ۱۳۹۵) با توجه به قابلیت‌های مدل HEC-RAS، موردبررسی قرار گرفت. برهمین اساس از آمار بلندمدت ایستگاه هیدرومتری کیاکلا، در شرایط سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله برای حوضه‌ی آبریز ایستگاه مذکور انتقال رسوب و حجم آورد رسوب تجزیه‌وتحلیل و بررسی شد. نتایج نشان داد مجموع رسوب ورودی در طول کل شبیه‌سازی در ابتدای دوره از مجموع رسوب در انتهای دوره شبیه‌سازی به میزان ۰/۹ میلیون تن کمتر و رودخانه در اکثر مواقع به‌صورت فرسایش‌پذیر است. همچنین متوسط ارتفاع رسوب در بازه مکانی اول (۲۲/۴- ۲۴/۷) ۱۱ سانتیمتر و میزان رسوب‌گذاری ۶ میلیون تن و رسوب‌گذاری قابل‌توجه می‌باشد. در بازه مکانی دوم (۱۸/۲ -۲۰/۵) میزان رسوب‌گذاری تقریباً ۱ میلیون تن می‌باشد. در بازه مکانی سوم نیز نتایج کم‌وبیش مشابه وجود دارد. در بازه مکانی چهارم شرایط از نظر عمق و حجم فرسایش برای برداشت مناسب نیست. بازه مکانی پنجم (۱۱/۵ – ۱۶/۷۵) میزان فرسایش به‌طور تقریبی ۸/۳ میلیون تن به دست آمده است. دامنه تغییر ارتفاع فرسایش در بازه مکانی پنجم از ۱۰ الی ۲۰ سانتیمتر متغیر است.

استناد: هاشمی، سیده فاطمه؛ و شاهنظری، علی (۱۴۰۴). کاربرد مدل HEC-RAS در ارزیابی الگوی تغییرات رسوب‌گذاری بخش‌هایی از رودخانه تالار. *تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی*، ۲۵ (۷۸)، ۲۷۷-۲۵۶.
http://dx.doi.org/10.61186/jgs.25.78.16

ناشر: دانشگاه خوارزمی تهران.

© نویسندگان.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

مقدمه

عوامل طبیعی و انسانی باعث می‌شود رودخانه‌ها با رسوب‌گذاری شدید و فرسایش بستر یا سواحل مواجه هستند. فرسایش و یا رسوب‌گذاری و اثرات بلندمدت آن‌ها، بسته به موقعیت و رژیم هیدرولوژیکی، تغییرات چشمگیری در ژئومورفولوژی رودخانه ایجاد می‌کند که غالباً به سه شکل بار معلق، بار بستر یا بار شستشو[۱]صورت می‌پذیرد (جوشی[۲] و همکاران، ۲۰۱۹). بر همین اساس مطالعات بار رسوبی که بتواند ضمن شناخت رفتار مورفولوژی رودخانه، اقدامات ساماندهی را میسر نماید، اجتناب‌ناپذیر است. چرا که بار رسوبی با تغییرات زمانی و مکانی زیادی روبرو است (گودرزی و همکاران، ۱۴۰۱). این مسئله بررسی جریان و مکانیسم انتقال رسوب را دشوار می‌سازد. همچنین علیرغم پیشرفت فناوری‌های مختلف که در زمینه مدیریت فرایندهای هیدرولوژیکی رودخانه وجود دارد، دسترسی به داده‌های پایه موردنیاز برای ارزیابی این پدیده‌ها و در نتیجه شناخت مسائل آن، دشوار است. لذا روابط تجربی، مدل‌های آزمایشگاهی و مدل‌های عددی مختلفی توسعه یافتند که قابلیت مدل کردن خصوصیات هیدرولیکی و هیدرولوژیکی رودخانه را دارا می‌باشند.

از این میان مدل‌های عددی قادر هستند اثرات مختلف انتقال رسوب را مطالعه نموده و سناریوهای متعددی را تحت شرایط مختلف موردبررسی قرار دهد. از عمده‌ترین این مدل‌ها می‌توان به مدل HEC-RAS (ارتش ایالات‌متحده،[۳] ۱۹۸۹)، HEC- 6 (ارتش ایالات‌متحده، ۱۹۸۲)، MOBED (کریشناپان،[۴] ۱۹۸۱)، GSTARS (ارتش ایالات‌متحده، ۱۹۹۸)، MIKE-11 (دی‌اچ‌آی،[۵] ۲۰۰۳)، FLUVIAL (چانگ،[۶] ۱۹۹۸) و SSIM (اولسن،[۷] ۱۹۹۳) اشاره نمود. از میان مدل‌های موجود، مدل HEC-RAS[۸] یکی از کاربردی‌ترین مدل‌ها برای شبیه‌سازی پدیده‌های مختلف رودخانه‌ای به شمار می‌رود. این نرم‌افزار قادر به شبیه‌سازی جریان‌های یک بعدی و دو بعدی ماندگار و غیرماندگار بوده و به‌خوبی می‌تواند سازه‌های عرضی همچون پل، سدهای انحرافی و مخزنی و سرریز را مدل نماید. همچنین به‌منظور نمایش محدوده موردمطالعه و تحلیل و استخراج اطلاعات موردنیاز همچون پهنه سیلاب و عمق آب‌گرفتگی حاصل از تحلیل هیدرولیکی، از نرم‌افزار ArcGIS و یکی از افزونه‌های آن بنام HEC-geoRAS استفاده شود. تلفیق ArcGIS و HEC-geoRAS ابزار بسیار قدرتمندی را در اختیار کارشناسان بخش مطالعات رودخانه قرار می‌دهد که بتوانند در تعیین دقیق مقاطع عرضی و مدیریت رسوبی آن تصمیم مناسب اتخاذ نمایند (ارتش ایالات‌متحده آمریکا، ۱۹۸۹). پژوهش‌های مختلفی در رابطه با شبیه‌سازی تک بعدی، دوبعدی و جریان ماندگار و غیرماندگار با استفاده از مدل HEC-RAS انجام شده است (محمد[۹] و همکاران، ۲۰۱۶، روشان و همکاران، ۱۳۹۲، مطلبیان، ۱۳۹۲، ریاحی و فکور، ۱۴۰۰، ظهیری و آشناور، ۱۴۰۰، گودرزی و همکاران، ۱۴۰۱، مولودی و محمدی، ۱۴۰۰، جوشی و همکاران، ۲۰۱۹، گیبسون[۱۰] و همکاران، ۲۰۱۷). عمده‌ای تحقیقات یا به ارزیابی خصوصیات هیدرولیکی جریان تک بعدی و دو بعدی پرداخته (روشان و همکاران، ۱۳۹۲، محمدی و مهتدی، ۱۴۰۱، مهرورز و همکاران، ۱۳۹۹) به بررسی چگونگی پهنه‌بندی جریان سیلابی (یمانی و همکاران، ۱۳۹۱، علیشاهی و همکاران، ۱۳۹۵، زراعتکار و حسن‌پور، ۱۳۹۵، رضایی، ۱۳۹۷، شفیعی مطلق و عبادتی، ۱۳۹۹). همچنین مدل‌سازی عددی انتقال رسوب و چگونگی الگوی فرسایش هم موضع تحقیقات دیگری در این زمینه است (امام قلی‌زاده و همکاران، ۱۳۸۹، جباری و همکاران، ۱۳۹۳، عرفانی و همکاران، ۱۳۹۸، مرادی و همکاران، ۱۳۹۷) و بخش دیگری، به چگونگی انتخاب مناسب‌ترین معادلات انتقال رسوب اختصاص

[۱] wash load
[۲] Joshi
[۳] U. S. Army
[4] Krishnapan
[۵] DHI
[۶] Chang
[۷] Olsen
[۸] Hydrologic engineering center river system analysis
[9] Mohammad
[۱۰] Gibson

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

دارد (مرادی‌نژاد و همکاران، ۱۳۹۳). گودرزی و همکاران (۱۴۰۱) در تحقیقی به مدل‌سازی عددی انتقال رسوب و فرسایش کناره رودخانه کشکان پرداختند که نتایج آن نشان داد حجم رسوبات معلق انتقالی در فروردین ماه نسبت به سایر ماه‌ها بیشتر بوده و رسوب کل با استفاده از رابطه یانگ با خطای ۱۱/۸۷+ بهترین تابع برآورد رسوب شناخته شد. جوشی و همکاران (۲۰۱۹) نیز در تحقیقی از تلفیق مدل HEC-RAS با افزونه Arc-GIS (HEC-geoRAS) چگونگی انتقال رسوبات را برای ضرایب زبری مانینگ مختلف کالیبره و اعتبارسنجی نمودند. نتایج مدل، الگوی تغییر بستر بخش‌هایی از رودخانه را نشان می‌دهد که با فرسایش و رسوب واقعی مطابقت دارد. گیبسون و همکاران (۲۰۱۶) الگوی رسوب‌گذاری را در دو رودخانه پویالاب و وایت ریور در غرب واشنگتن با استفاده از مدل HEC-RAS موردبررسی قرار دادند و دریافتند که این دو رودخانه شامل سیستم‌هایی با شیب بالا و منبع رسوب در پایین‌دست هستند که این مسئله موجب می‌شود انباشتگی رسوب در طول هر دو رودخانه افزایش یابد. با توجه به این موضوع هرگونه پیش‌بینی ریسک سیل آینده یا بررسی‌های کاهش سیلاب، نیاز به تجزیه‌وتحلیل مورفولوژیکی دارد.

حوضه آبریز رودخانه تالار در استان مازندران هرساله شاهد سیلاب‌های بزرگ با حجم رسوب انتقالی بسیار زیاد می‌باشد (گزارش جامع سیلاب استان مازندران، ۱۳۹۸). از طرفی مسائل و مشکلات ناشی از فرسایش بستر و دیواره‌های رودخانه تالار، در بازه‌های مختلف این رودخانه مشهود می‌باشد. همچنین با توجه به اینکه اکنون مطالعات در حد کافی و موردنیاز به‌منظور آشکارسازی روند فرسایش و رسوب‌گذاری در رودخانه تالار حداقل بر اساس بررسی سوابق تحقیق که برای این پژوهش به عمل آمد، یافت نشد و همچنین از آنجایی که تحقیقات صورت گرفته در منطقه موردمطالعه تنها به جنبه‌های مدیریتی متمرکز بوده است، بر همین اساس در تحقیق حاضر برای بررسی ابعاد مختلف انتقال رسوب از حوضه‌ی آبریز مذکور، بخش‌هایی از رودخانه تالار انتخاب شد تا با توجه به قابلیت‌های مدل HEC-RAS، بهترین رابطه انتقال رسوب تعیین شده و الگوی تغییرات رسوب‌گذاری و فرسایش در بازه زمانی پنج ساله (۱۴۰۰- ۱۳۹۵) موردبررسی قرار گیرد. همچنین انتقال رسوب و حجم آورد رسوب در شرایط سیلاب با دوره‌ی بازگشت‌های ۲، ۱۰، ۲۵، ۵۰ و ۱۰۰ ساله با استفاده آمار بلندمدت ایستگاه هیدرومتری کیاکلا، برای حوضه‌ی آبریز ایستگاه مذکور موردبررسی قرار گرفت.

روش‌شناسی

منطقه موردمطالعه

رودخانه تالار از رودخانه‌های اصلی حوزه آبریز دریای مازندران می‌باشد که در ۳۵ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۴۵ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۵۳ درجه و ۲۵ دقیقه طول شرقی واقع شده است. این رودخانه، پس از جمع‌آوری آب‌های ارتفاعات سوادکوه و فیروزکوه به دریای مازندران می‌پیوندد، رژیم آبدهی حوزه تالار برفی بارانی بوده و دارای رژیم پایه‌ای دائم می‌باشد (مطالعات جامع مهندسی رودخانه‌های شرق استان مازندران، ۱۳۹۲). اطلاعات موردنیاز این مقاله از یک پژوهش میدانی در ۵ بازه مکانی متوالی این رودخانه به طول ۱۱ کیلومتر در فواصل ۲۲/۴- ۲۴/۷، ۱۸/۲ -۲۰/۵، ۱۷/۵- ۱۸/۰۰، ۱۶/۷۵- ۱۷/۵ و ۱۱/۵ – ۱۶/۷۵ کیلومتر از محدوده شهری ملاکلا- نجار کلا تا عرب روشن، واقع در ۳۶ درجه و ۳۴ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۳۸ دقیقه عرض شمالی و ۵۲ درجه و ۴۸ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۴۶ دقیقه طول شرقی (شهرستان سیمرغ)، در طی سال‌های ۱۴۰۰- ۱۳۹۵ به دست آمد. در جدول (۱) مشخصات بازه‌های مکانی آورده شده است.

جدول (۱). مشخصات جغرافیایی بازه‌های مکانی موردمطالعه از رودخانه تالار

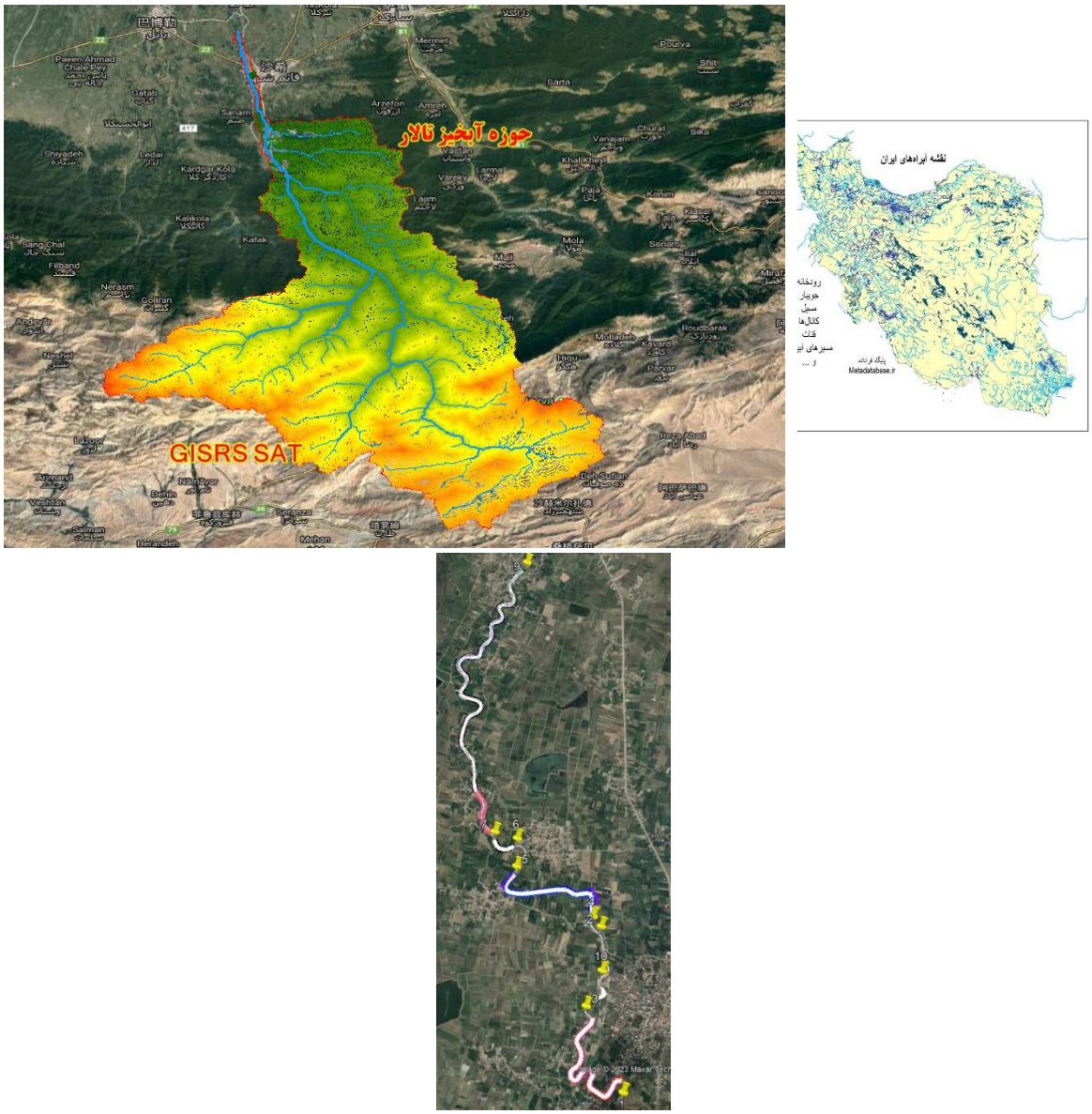
بازه‌ها	محدوده	آغاز (متر)	خاتمه (متر)	طول بازه مکانی (کیلومتر)
بازه مکانی اول	ملاکلا- نجارکلا	X= 66462 Y= 4048571	X= 660848 Y= 4049358	۲/۳
بازه مکانی دوم	برج خیل- ملاکلا	X= 660556 Y=4050764	X= 659234 Y=4051218	۲
بازه مکانی سوم	برج خیل ۱	X= 659126 Y=4051634	X= 659909 Y=4051669	۰/۵
بازه مکانی چهارم	برج خیل ۲	X= 658749 Y=4051767	X=658368 Y=4052365	۰/۷۵

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

بازه مکانی پنجم	عرب روشن	X= 658353 Y=4052370	X=658257 Y=4056144	۵

بررسی میدانی از محدوده رودخانه تالار نشان می‌دهد دو ایستگاه هیدرومتری شیرگاه- تالار و کیاکلا – تالار در این محدوده وجود دارد که می‌توان از داده‌های دبی آب و رسوب آن استفاده نمود. مساحت حوزه آبریز تالار تا ایستگاه شیرگاه ۱۷۶۸ کیلومترمربع و تا ایستگاه کیاکلا ۲۳۸۶/۷۸۹ کیلومترمربع است که قسمت اعظم آن مناطق کوهستانی پوشیده از جنگل است (گزارش جامع سیلاب استان، ۱۳۹۸). در شکل (۱)، موقعیت بازه‌های مکانی و ایستگاه‌های هیدرومتری ارائه شده است.



شکل (۱). جانمایی حوضه آبریز رودخانه تالار و بازه مکانی موردمطالعه به همراه ایستگاه هیدرومتری محدوده

رویکرد مدل HEC-RAS در انتقال رسوب

نرم‌افزار HEC-RAS به‌منظور انجام محاسبات هیدرولیکی یک بعدی برای شبکه کاملی از کانال‌های طبیعی و مصنوعی طراحی شده است. بخش انتقال رسوب این مدل برای شبیه‌سازی یک بعدی ته‌نشین شدن رسوب و یا فرسایش و آبشستگی

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

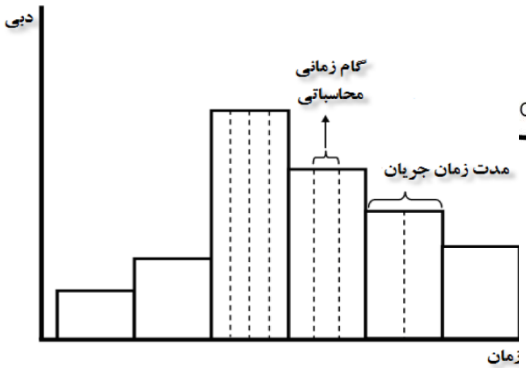
بستر در سال ۲۰۰۶ با عنوان نسخه ۴ معرفی شد (سیستم تحلیل رودخانه HEC-RAS[۱]، ۲۰۱۰). این مدل براساس معادلات جریان و انتقال رسوب و معادله پیوستگی رسوب در شرایط یک بعدی و فرض جریان شبه غیرماندگار[۲] توسعه یافته است. معادلات جریان مبتنی بر روش محاسبه پروفیل سطح آب در مقاطع جریان برای جریان دائمی از طریق حل معادله ۱ به روش گام‌به‌گام استاندارد است.

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

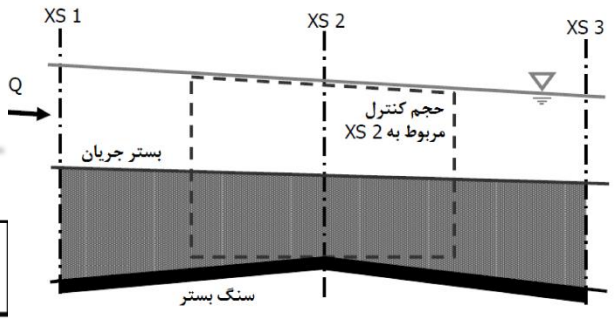
که در این رابطه Y: عمق آب در مقاطع، Z: تراز کف کانال اصلی، V: سرعت متوسط جریان، α: ضریب تصحیح انرژی جنبشی، g: شتاب ثقل و he: اتلاف انرژی کل است. همچنین HEC-RAS جهت محاسبه انتقال رسوب از معادله پیوستگی رسوب Exner استفاده می‌نماید که به‌صورت رابطه (۲)، در مدل حل می‌شود:

رابطه (۲)
$$(1\text{-}v_p)B\frac{\vartheta \alpha}{\vartheta_t} = -\frac{\vartheta Q_s}{\vartheta x}$$

که در آن B: عرض کانال، α: ارتفاع بستر کانال، v_p: تخلخل لایه فعال، t: زمان، x: فاصله و Q_S: میزان رسوب انتقالی می‌باشد. این معادله به‌راحتی حجم رسوب را در حجم کنترل مشخص می‌کند که این مقدار معادل تفاوت بین حجم رسوب ورودی و خروجی است. در شکل (۲)، طرح شماتیک حجم کنترل که توسط HEC-RAS برای محاسبات رسوب استفاده می‌شود، آورده شده است. در جریان شبه‌غیرماندگار نیز، هیدروگراف پیوسته جریان به‌صورت یک هیدروگراف گسسته بیان می‌شود شکل (۳). به‌طوری‌که در هر بازه زمانی مقادیر جریان ثابت در نظر گرفته می‌شود. به‌عبارت‌دیگر مقادیر جریان در هر بازه زمانی به‌صورت جریان ماندگار فرض می‌شود (راهنمای کاربردی HEC-RAS[۳]، ۲۰۱۶).



شکل (۳). تبدیل هیدروگراف پیوسته به هیدروگراف گسسته در حالت شبه غیرماندگار



شکل (۲). طرح شماتیک حجم کنترل در نرم‌افزار HEC-RAS

این مدل همچنین این قابلیت را دارد که تغییرات پروفیل طولی بستر رودخانه را در اثر رسوب‌گذاری و فرسایش برای دوره‌های طولانی‌مدت شبیه‌سازی نماید. 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 می‌گردد 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 می‌گردد. این نرخ نشان‌دهنده میزان رسوب انتقالی از هر مقطع در طول زمان است. سپس میزان رسوب‌گذاری و یا فرسایش در هر یک از مقاطع محاسبه خواهد شد و با استفاده از آن، تغییرات حاصل در

[۱] HEC-RAS River Analysis System
[۲] Quasi unsteady flow
[۳] HEC-RAS Application Guide

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

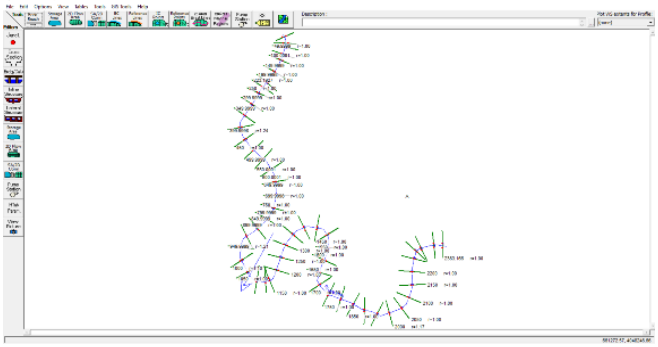
مقاطع هندسی برای بازه زمانی مربوط به دست خواهد آمد. در مرحله بعد، همین روند محاسباتی برای بازه زمانی بعدی تکرار خواهد شد.

روش انجام پژوهش

شبیه‌سازی الگوی انتقال رسوب در بازه‌های مکانی موردبررسی با استفاده از مدل HEC-RAS

به‌منظور استفاده از این مدل برای شبیه‌سازی هیدرولیک جریان و رسوب، اطلاعات رودخانه در سه گام کلی ۱- داده‌های هندسی، ۲- داده‌های هیدرولیکی و ۳- داده‌های رسوبی به مدل وارد می‌شود. شروع کار با مدل HEC-RAS وارد کردن داده‌های هندسی موردنیاز است که شامل اطلاعات اتصال برای سیستم آبراهه (طرح شماتیک سیستم رودخانه)، داده‌های مقاطع عرضی و داده‌های سازه‌های هیدرولیکی می‌باشند. این اطلاعات جزء اولین و اصلی‌ترین اطلاعات لازم برای شبیه‌سازی هیدرولیک رودخانه است. در واقع با ورود جریان به داخل رودخانه بر مبنای شکل سطح مقطع رودخانه است که پارامترهای هیدرولیکی آن نظیر سرعت، عمق و سطح آبگرفتگی مشخص می‌شود. هندسه مقطع در شرایط موجود با استفاده از نقشه رودخانه با مقیاس ۱:۲۰۰۰ تهیه شده توسط شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان مازندران تهیه شد. بدین‌صورت که ابتدا نقشه‌ها در محیط نرم‌افزار AutoCAD ویرایش و سپس به محیط ArcGIS ۹,۳ وارد شدند و بعد از اعمال تغییراتی از طریق الحاقیه HEC-geoRAS آماده ورود به نرم‌افزار HEC-RAS می‌شود. از طریق الحاقیه HEC-geoRAS در محیط GIS با استفاده از ابزار Flow Area 2D سطح جریان در پهنه رودخانه موردمطالعه در محیط HEC-RAS ترسیم گردید و با استفاده از ابزار SA/2D Area BC Lines مناطق بالادست و پایین‌دست رودخانه مشخص شد.

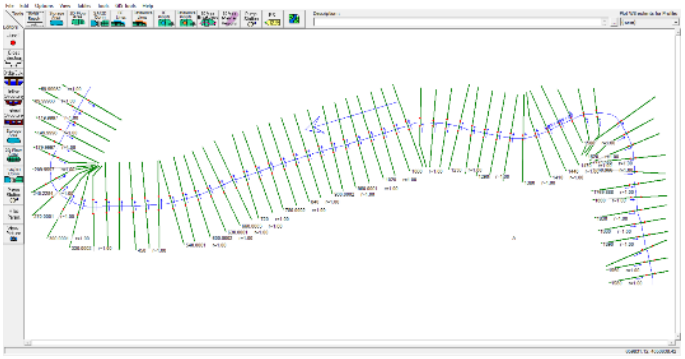
هر مقطع عرضی دارای یک نام کانال، یک نام بازه مکانی و یک ایستگاه رودخانه می‌باشد. در این مرحله محل‌هایی نظیر خم‌ها نیز موردتوجه قرار گرفته است. لازم به ذکر است پس از تهیه هندسه رودخانه در شرایط موجود لازم است تا ضمن شناسایی محدوده‌های تغییریافته در اثر دخل و تصرف انسان نسبت به شبیه‌سازی هندسه اولیه و یا به عبارتی مقطع طبیعی رودخانه اقدام شد که با توجه به بازدید میدانی از محل فاصله مقاطع عرضی نسبت به یکدیگر ۵۰ متر جهت شبیه‌سازی در نظر گرفته شده و در مجموع ۱۶۴ مقطع عرضی استخراج گردید. در نهایت با استفاده از الحاقیه HEC-geoRAS برای به دست آوردن سایر خصوصیات جریان، نقشه موردنظر به نرم‌افزار HEC-RAS وارد گردید. در شکل (۴)- الف، ب و ج برای نمونه مشخصات هندسی سه بازه مکانی اول، دوم و سوم آورده شده است.



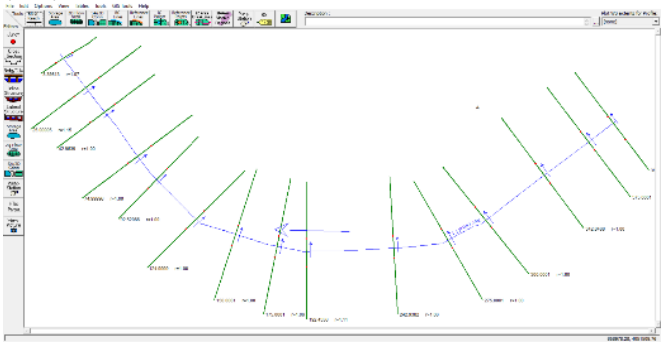
الف- پلان مدل HEC-RAS رودخانه تالار در بازه مکانی ملاکلا – نجارکلا

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]



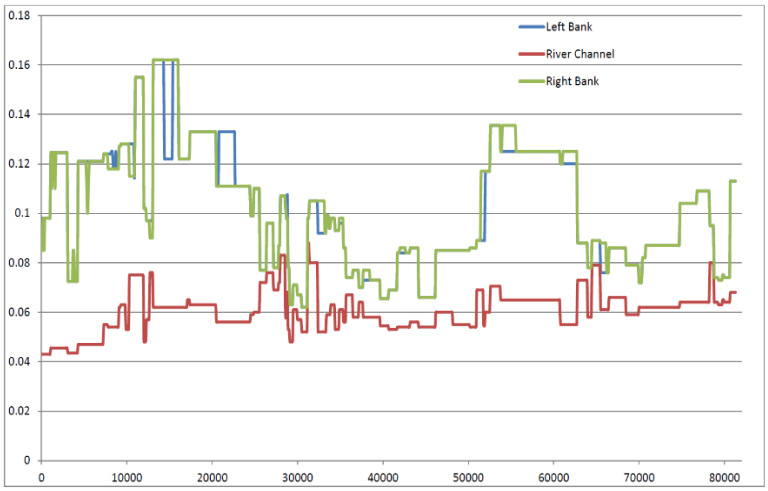
ب- پلان مدل HEC-RAS رودخانه تالار در بازه مکانی ملاکلا – برج خیل



ج- پلان مدل HEC-RAS رودخانه تالار در بازه مکانی برج خیل بخش ۱

شکل (۴). پلان رودخانه تالار در بازه‌های مکانی نمونه آن در محل HEC-RAS با استفاده از الحاقیه HEC-geoRAS

ضرایب همگرایی و واگرایی برای ارزیابی افت انرژی و ضریب زبری مانینگ از جمله مواردی است که نقش مؤثری در تراز آب و سرعت جریان در هر مقطع دارد و به‌عنوان ورودی مدل در این مرحله به مدل وارد می‌شود. تعیین ضریب زبری مناسب که معرف شرایط واقعی رودخانه باشد، از اهمیت ویژه‌ای برخوردار است. در رودخانه تالار با توجه به بازدیدهای به عمل آمده و جداول معتبر (راهنمای کاربردی HEC-RAS، ۲۰۱۶) این ضرایب مشخص و به مدل وارد شد. در شکل (۵)، مقادیر ضریب مانینگ بکار رفته در مدل، در سواحل راست و چپ و همین‌طور بانک اصلی ارائه شده است.



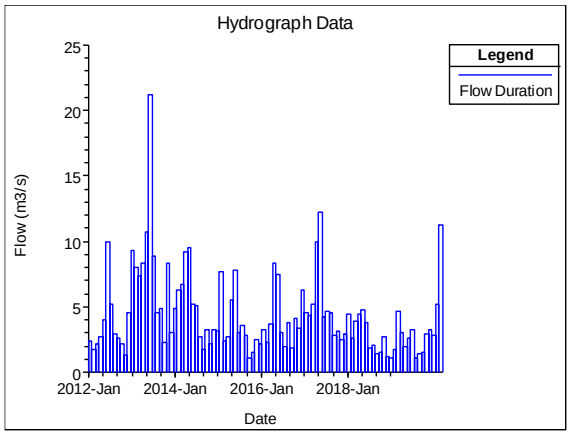
شکل (۵). میزان ضریب زبری مانینگ بکار گرفته در مدل در سواحل چپ و راست و بانک اصلی رودخانه

در گام دوم اطلاعات جریان شبه غیر ماندگار به مدل وارد شد. شرایط مرزی متعددی در این مرحله در مدل HEC-RAS موجود می‌باشد. اعمال شرایط مرزی بستگی به نوع جریان از نظر زیر بحرانی، فوق بحرانی و ماندگار و غیر ماندگار

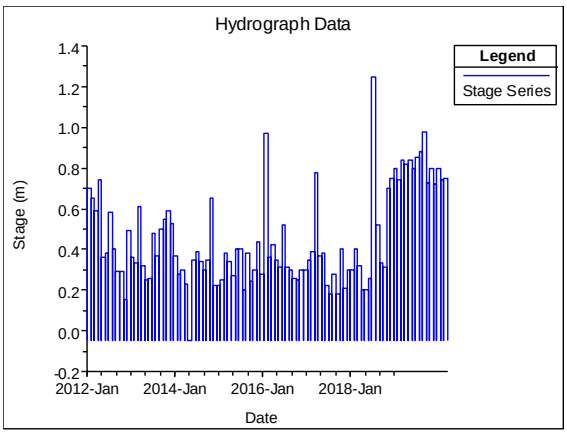
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

بودن آن دارد. با این تفاسیر این شرایط مرزی را می‌توان به دو دسته شرایط مرزی بالادست و شرایط مرزی پائین‌دست تقسیم‌بندی نمود. سری زمانی دبی تنها شرایط مرزی است که برای بالادست توسط مدل لحاظ می‌گردد. درحالی‌که برای شرایط مرزی پایین‌دست، سه شرط مرزی که عبارت‌اند از عمق نرمال، سری زمانی دبی و سری زمانی تراز سطح آب در نظر گرفته می‌شود. ویرایشگر جریان شبه‌غیردایمی به‌صورت خودکار مقاطع عرضی را که به‌صورت مرزهای خارجی در مدل می‌باشند، لیست می‌نماید. در این تحقیق با توجه به شرایط موجود و اطلاعات در دسترس به‌منظور مدل‌سازی جریان رودخانه در محدوده موردمطالعه از روش تراز سطح آب برای شرایط پایین‌دست و سری زمانی دبی برای شرایط بالادست استفاده شد. در شکل‌های (۶) و (۷) این موارد آورده شده است. دمای آب نیز در کنار سایر موارد در این مرحله به مدل وارد شد.



شکل (۶). هیدروگراف اطلاعات سری زمانی دبی در بازه زمانی ماهانه در طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۵



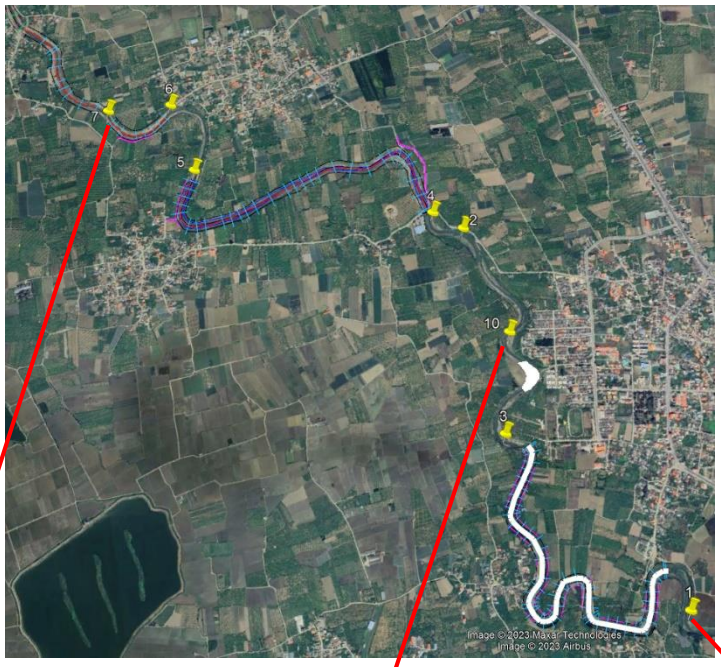
شکل (۷). هیدروگراف اطلاعات سری زمانی تراز سطح آب در بازه زمانی ماهانه در طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۵

در گام سوم اطلاعات موردنیاز جهت تحلیل رسوب به مدل وارد می‌شود که عبارت‌اند از: دانه‌بندی مصالح بستر در بازه‌های مکانی مختلف (بستر سیلابی و بستر اصلی رودخانه)، شرایط مرزی (منحنی سنجه رسوب در بازه مکانی بالادست رودخانه)، نقاط تغییر دبی رسوبی رودخانه، نوع معادله انتقال رسوب و ضرایب عددی به کار رفته در معادله انتقال و انتخاب نوع معادله مربوط به محاسبه سقوط ذرات. در شکل (۸). الف، ده نقطه نمونه‌برداری شده ارائه شده است. سه منحنی دانه‌بندی از رودخانه در بخش ب – د از همین شکل به‌عنوان نمونه آورده شده است.

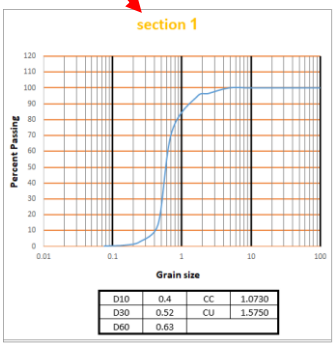
برای تعیین شرایط مرزی نیز در این مرحله از منحنی سنجه رسوب[۴]استفاده شد. یک منحنی سنجه، رسوب ورودی را بر اساس جریان ورودی تعیین می‌کند. برای به دست آوردن این منحنی در پژوهش حاضر از داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هیدرومتری کیاکلا (پایین‌دست) استفاده شده و با یکی از روش‌های متداول مانند روش FAO و یا روش USBR، منحنی سنجه رسوب جریان به دست آمد و هر نموداری که بیشترین میزان ضریب همبستگی را نشان می‌داد، مبنای محاسبات قرار گرفت. در همین مرحله از ورود داده‌ها به مدل، محدوده‌ای از جریان که وارد می‌شود، بایستی به‌طور کامل شامل جریان‌های مورد انتظار در طول شبیه‌سازی نیز باشد؛ زیرا چنانچه دبی عبوری از رودخانه، از حد بالای منحنی سنجه تجاوز نماید، مدلHEC-RAS قادر به برون‌یابی نبوده و بزرگ‌ترین بار رسوبی موجود در داده‌های ورودی را به‌عنوان دبی رسوبی متناظر با آن در نظر خواهد گرفت. همچنین چنانچه دبی عبوری از رودخانه از حد پائین منحنی سنجه کمتر باشد، با فرض بار رسوبی صفر در جریان صفر، مقدار بار رسوبی در دبی موردنظر درون‌یابی خواهد شد.

[۱]Rating curve

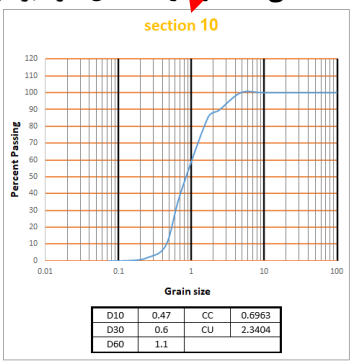
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]



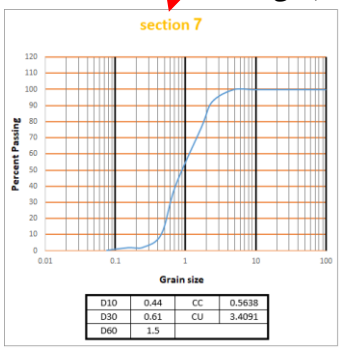
الف) بازه‌های مکانی مطالعاتی. نقاط زردرنگ محل نمونه‌برداری جهت دانه‌بندی است



ب - منحنی دانه‌بندی نقطه ۱ یک، بازه مکانی یک



ج- منحنی دانه‌بندی از نقطه ۱۰، بازه مکانی ۳



د- منحنی دانه‌بندی از نقطه ۷، بازه مکانی ۵

شکل (۸). نمونه‌ای از نتایج آزمایشات دانه‌بندی از بستر رودخانه تالار در بازه مکانی انتخابی

همچنین این مدل در حال حاضر از هفت تابع انتقال رسوب (عمدتاً درشت‌دانه) جهت مدل‌سازی رسوب در رودخانه‌ها استفاده می‌کند. به همین جهت بخش انتقال رسوب این مدل از توانایی نسبتاً بالایی جهت شبیه‌سازی تغییرات ریخت‌شناسی و رسوبی در رودخانه‌ها برخوردار می‌باشد. در جدول (۲) خصوصیات این توابع آورده شده است. شایان‌ذکر است که نه‌تنها در این مدل، بلکه در همه مدل‌های ریاضی، نتایج انتقال رسوب به نوع تابع انتقال رسوب وابسته می‌باشد. در نتیجه باید هنگام مدل‌سازی، نوع تابع انتقال با توجه به شرایط توسعه مدل (محدوده ذرات به‌کاررفته، شرایط هیدرولیکی جریان و همچنین مشخصات هندسی رود) انتخاب تا از نتایج غلط و دور از واقعیت اجتناب گردد.

جدول (۲)- خلاصه‌ای بر عمده‌ترین معادلات انتقال رسوب در مدل HEC-RAS

معادله انتقال رسوب	سال	نحوه استخراج	دانه‌بندی	توضیحات
ایکر – وایت[۱۵]	۱۹۷۳	آزمایشگاهی	ماسه – شن	رسوبات معلق تابعی از سرعت برشی و بار بستر تابعی از تنش برشی است.

[۱۵] Ackers & White

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

انگلند – هانسن[16]	۱۹۶۷	آزمایشگاهی	ماسه	برای رودخانه‌های ماسه‌ای که دارای بار معلق قابل هستند موفق بوده است.
لارسن- کوپلند[17]	۱۹۸۹۱	آزمایشگاهی – صحرایی	سیلت – شن	در دانه‌بندی ریز موفق بوده است.
مایر- پیتر و مولر[18]	۱۹۸۴	آزمایشگاهی	ماسه – شن	در دانه‌بندی شن موفق بوده است.
توفالتی[19]	۱۹۶۸	آزمایشگاهی – صحرایی	ماسه	محاسبه ستون‌های عمودی غلظت- موفق در رودخانه‌های بزرگ
یانگ[20]	۱۹۷۳-۸۴	آزمایشگاهی – صحرایی	ماسه – شن	به سرعت جریان و سرعت سقوط حساس است.
ویل کاک[21]	۲۰۰۱-۰۳	آزمایشگاهی – صحرایی	ماسه – شن	توانایی حمل رسوبات با افزایش مقدار ماسه زیاد می‌شود.

واسنجی[22] مدل

واسنجی مدل در طی دو مرحله مجزا انجام شد. در مرحله اول مدل هیدرولیکی مورد واسنجی قرار می‌گیرد به‌طوری‌که تراز سطح آب در حالت مشاهداتی و شبیه‌سازی در ایستگاه کیاکلا واقع در پایین‌دست بازه‌های مکانی مطالعاتی مورد مقایسه قرار می‌گیرد. در مرحله دوم نیز با استفاده از مدل رسوبی ارائه شده در جدول (۲)، الگوی رسوب‌گذاری در محدوده مطالعاتی مورد واسنجی قرار گرفت و به‌منظور ارزیابی هیدرولیکی نتایج مدل، رفتار مدل با رفتار مشاهده‌ای مقایسه شد. برای انجام هرگونه آنالیز رسوب روی رودخانه براساس پیشینه تحقیق صورت گرفته دستکم برای مطالعه پیشرو، لازم است بهترین رابطه انتقال رسوب که توانایی پیش‌بینی دقیقی از شرایط طبیعی رودخانه دارد، تعیین شود. یکی از متغیرهایی که صحت‌سنجی آن بررسی شد و در تحلیل نتایج این تحقیق از اهمیت بسیار زیادی نیز برخوردار است، تراز سطح آب و چگونگی تغییرات آن در دوره شبیه‌سازی می‌باشد. نرم‌افزار HEC-RAS توانایی شبیه‌سازی جریان‌های حاوی بار رسوبی را از طریق هفت معادله انتقال رسوب ارائه می‌دهد. هر یک از معادلات انتقال رسوب با رابطه منحنی سنجه منطقه، مقایسه می‌شود و در نهایت معادله‌ای که بیشترین همپوشانی را با آن دارد به‌عنوان بهترین رابطه رسوبی انتخاب می‌گردد. بر همین اساس پارامتر تراز سطح آب شبیه‌سازی در طی سال‌های آماری ۱۴۰۰- ۱۳۹۵ با تراز سطح آب ثبت شده مورد ارزیابی قرار گرفت تا بتوان چگونگی رفتار مدل را نسبت به شرایط مرجع سنجید.

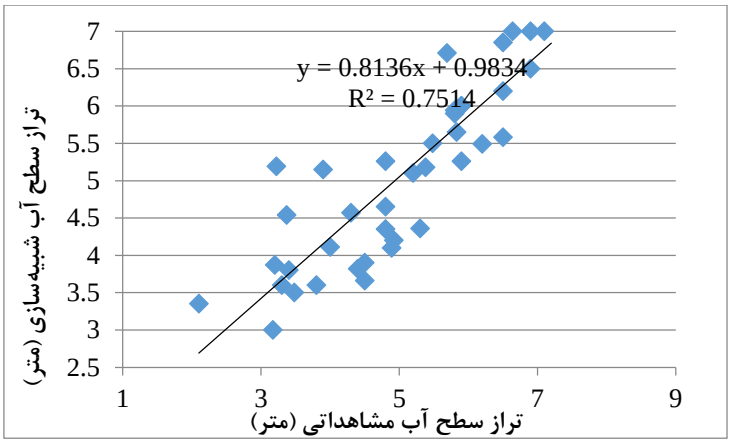
نتایج و بحث

نتایج واسنجی و ارزیابی مدل

نتایج شبیه‌سازی مطابق با شکل (۹) نشان داد در همه دبی‌های عبوری از رودخانه، مقادیر تراز سطح آب مشاهداتی و شبیه‌سازی به هم نزدیک بوده، به‌طوری‌که R^2 آن ۰/۷۴ گزارش شده است. همچنین مقادیر RMSE نیز ناچیز و برابر با ۰/۴ متر و nRMSE نیز ۱۸ درصد محاسبه گردید که این مقدار در مقایسه با خطای اندازه‌گیری ناشی از عدم دقت در برداشت اطلاعات قابل چشم‌پوشی است.

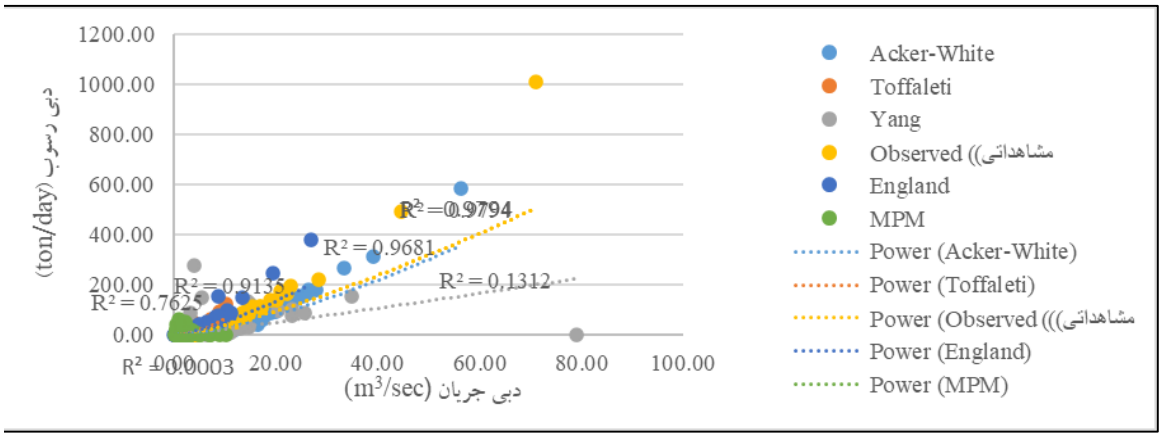
[16] Engelund & Hansen
[17] Laursen
[18] Meyer-Peter & Muller
[19] Toffaleti
[20] Yang
[21] Wilcock
[22] Calibration

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]



شکل (۹). نمودار یک‌به‌یک مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

برای واسنجی بخش رسوب مدل HEC-RAS نتایج هر یک از معادلات انتقال رسوب با شرایط طبیعی منطقه مقایسه شد. برای این کار از داده‌های دبی- رسوب در طی سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۵ بهره گرفته شد. بر همین اساس مدل برای سال ۱۳۹۵ مورد واسنجی قرار گرفت و در ادامه مدل برای سال‌های ۱۴۰۰-۱۳۹۵ ارزیابی شد. در نهایت معادله توفالتی که با RMSE برابر با ۹۷ تن در روز و R^2 برابر با ۰/۹۷ بیشترین همپوشانی را با شرایط طبیعی منطقه داشت که به‌عنوان بهترین رابطه رسوب در محدوده مطالعاتی انتخاب گردید. از این میان، توابع ایکرز- وایت، ویلکاک و لارسن کمترین میزان R^2 را داشتند که نشان می‌دهد مقادیر شبیه‌سازی شده با این توابع، همپوشانی کمی با مقادیر واقعی دارد. دلیل این امر را می‌توان در این حقیقت اساسی دنبال نمود که این دو رابطه بیشتر برای شرایط آزمایشگاهی و فلوم آن توصیه می‌شود و برای شرایط صحرایی نظیر آنچه در این پژوهش شاهد حاکم است، کارایی کمتری دارد. از سویی دیگر، بعد از رابطه توفالتی، توابعی نظیر اینگلند و یانگ با داشتن ضریب همبستگی به ترتیب ۰/۹۱ و ۰/۷۶ در محدوده موردمطالعه رتبه دوم و سوم R^2 را شامل می‌شوند. نتایج واسنجی و ارزیابی روابط انتقال رسوب در شکل (۱۰) و جدول (۳) آورده شده است.



شکل (۱۰). نتایج رسم توابع توانی هفت معادله انتقال رسوب و مقایسه با نتایج دبی- رسوب ایستگاه کیاکلا

جدول (۳). نتایج شاخص‌های آماری از هفت معادله انتقال رسوب در مدل HEC-RAS

شاخص‌های آماری	Toffaleti	Laursen	England	Wilcock	Yang	Ackers-White	MPM
RMSE (t/d)	96.69	180.62	12.35	67.68	61.71	23.75	17.6
nRMSE	584.24	-1294.63	443.53	1271.9	214.37	80.77	559.47
EF (%)	47.99	167.49	0.78	23.52	0.84	0.96	1

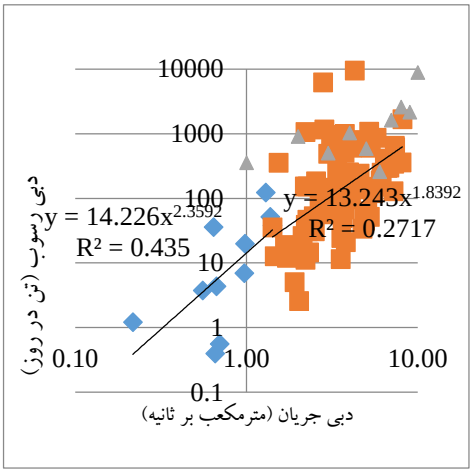
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

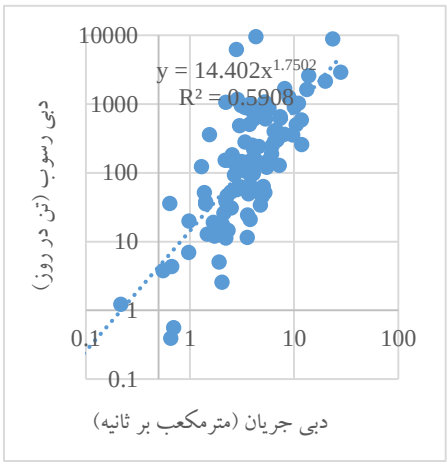
MAE (%)	-10.15	20.23	3.56	1.03	2.1	5.28	-20.77
R^2	۰/۹۷	-	۰/۹۱	-	۰/۷۶	-	۰/۱۳

انتخاب بهترین تابع برازش منحنی سنجه رسوب

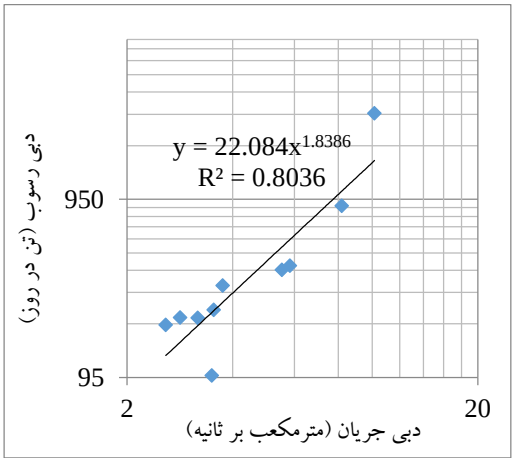
منحنی سنجه رسوب به ازای آمار ۵ ساله ایستگاه شیرگاه تحت روش‌های منحنی سنجه تک خطی، منحنی سنجه دو خطی و منحنی حد وسط مورد آنالیز قرار گرفت. مطابق با شکل (۱۱)، ج، بالاترین R^2 برای داده‌های دبی- رسوب ایستگاه شیرگاه تحت منحنی حد وسط است که ۰/۸۵ به دست آمد که مبنای محاسبات قرار گرفت. معادله توانی آن، $Y = ۲۲/۸ X^{1.8}$ می‌باشد که در آن X به‌صورت دبی جریان برحسب مترمکعب بر ثانیه و Y به‌صورت رسوب برحسب تن در روز است.



ب) منحنی سنجه دو خطی



الف) منحنی سنجه تک خطی



ج) منحنی حد وسط

شکل (۱۱). نتایج انتخاب منحنی سنجه رسوب براساس معادلات یک‌به‌یک در ایستگاه شیرگاه

نتایج شبیه‌سازی رسوب با استفاده از مدل HEC-RAS

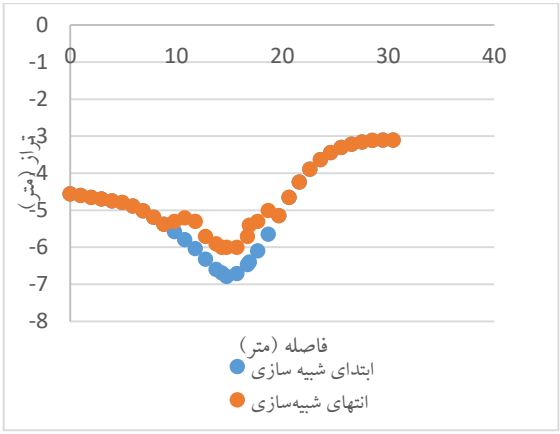
پس از واردکردن اطلاعات موردنیاز به مدل HEC RAS و تعیین بهترین رابطه انتقال رسوب، مدل برای بازه زمانی ۵ ساله اجرا گردید و تغییرات هیدرولیک و مقاطع موردبررسی قرار گرفت.

تغییرات مقاطع در سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰

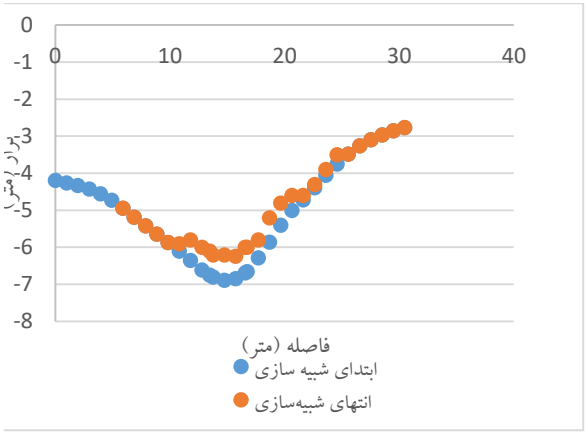
[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

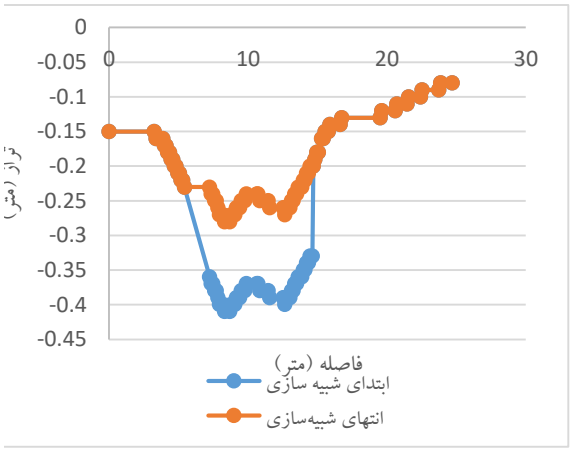
در این پژوهش الگوی رسوب‌گذاری ۵ بازه مکانی از رودخانه تالار در محدوده شهر کیاکلا، موردبررسی قرار گرفت. ۵۱ مقطع مربوط به بازه مکانی اول، ۳۱ مقطع مربوط به بازه مکانی دوم، ۹ مقطع مربوط به بازه مکانی سوم، ۱۰ مقطع مربوط به بازه مکانی چهارم و ۶۳ مقطع مربوط به بازه مکانی آخر می‌باشد. با بررسی مقاطع در بالادست رودخانه و مقایسه تغییرات عمق بین سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ می‌توان به این نتیجه رسید که در بازه مکانی اول، اکثریت ۷۰ درصدی مقاطع، تراز بستر به مقدار قابل‌توجهی افزایش یافته که هر چه به سمت پایین‌دست امتداد یابد، این افزایش بیشتر می‌شود (شکل (۱۲)، الف تا د). در بازه مکانی دوم، سوم و چهارم فرسایش به مقدار کم رخ داده و نمودار رسوب‌گذاری ابتدا و انتهای دوره شبیه‌سازی بر هم منطبق هستند. این مسئله مؤید این حقیقت است که رودخانه در حالت تعادل قرار دارد و پیشنهاد می‌شود برداشت از آن صورت نگیرد (شکل (۱۲)، ذ تا س). در پایین‌دست بازه مکانی پنجم، تراز بستر به مقدار قابل‌توجهی کاهش یافته است که به سمت پایین‌دست این کاهش بیشتر می‌شود. در این محدوده از رودخانه به دلیل افزایش شیب و سرعت آب، مواد رسوبی حمل شده از بالادست فرسایش می‌شوند شکل (۱۲)، ش تا ع.



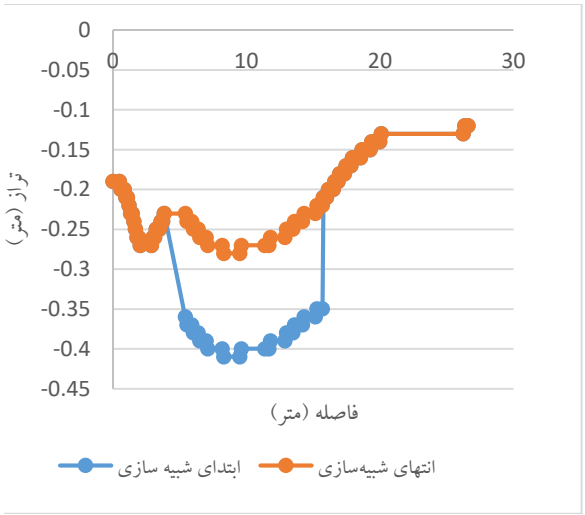
الف) الگوی رسوب‌گذاری در مقطع شماره ۱۳ از بازه مکانی اول



ب) الگوی رسوب‌گذاری در مقطع شماره ۱۴ از بازه مکانی اول



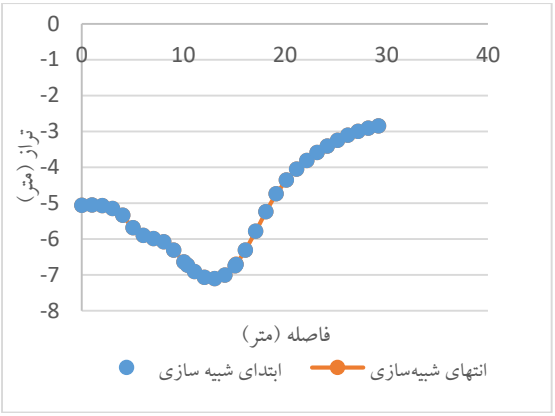
ج) الگوی رسوب‌گذاری در مقطع شماره ۲۷ از بازه مکانی اول



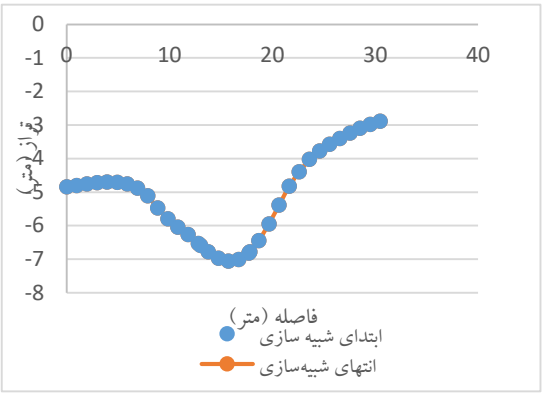
د) الگوی رسوب‌گذاری در مقطع شماره ۲۸ از بازه مکانی اول

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

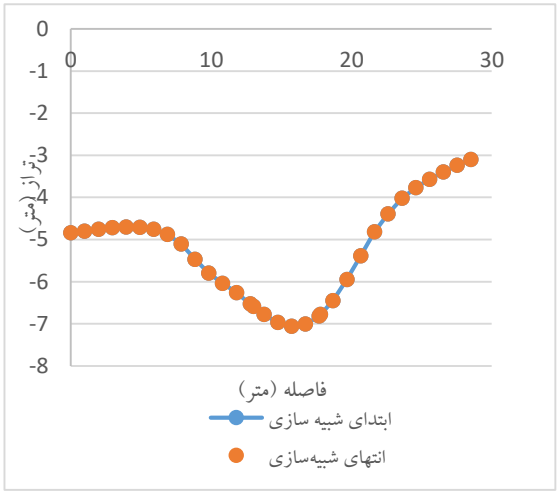
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]



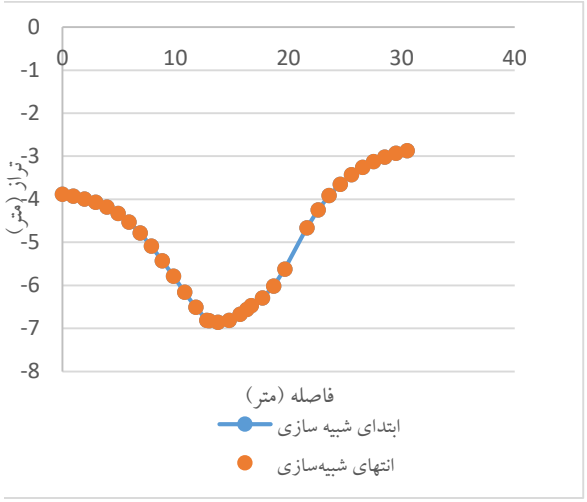
ذ) الگوی تعادلی در مقطع شماره ۶۰ از بازه مکانی دوم



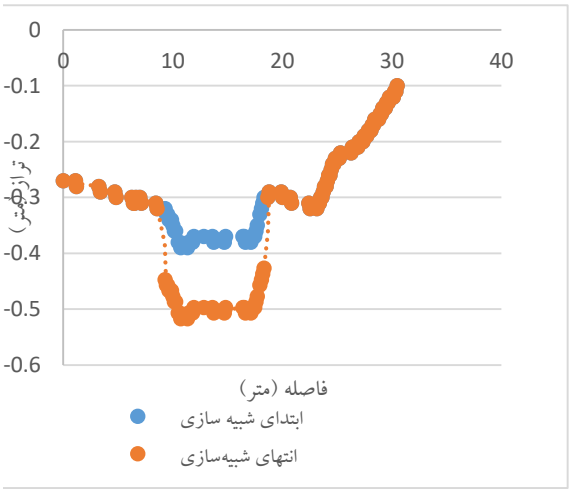
ر) الگوی تعادلی در مقطع شماره ۶۱ از بازه مکانی دوم



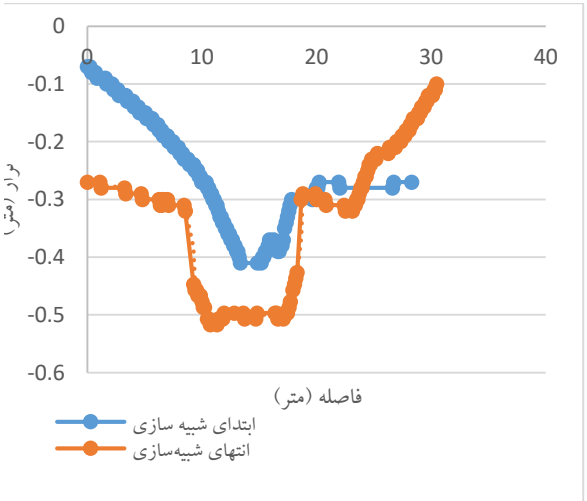
ز) الگوی تعادلی در مقطع شماره ۸۰ از بازه مکانی سوم



س) الگوی تعادلی در مقطع شماره ۹۰ از بازه مکانی چهارم



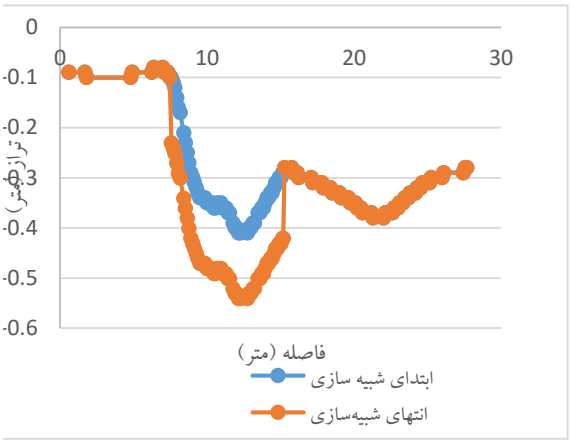
ش) الگوی فرسایش در مقطع شماره ۱۴۵ از بازه مکانی پنجم



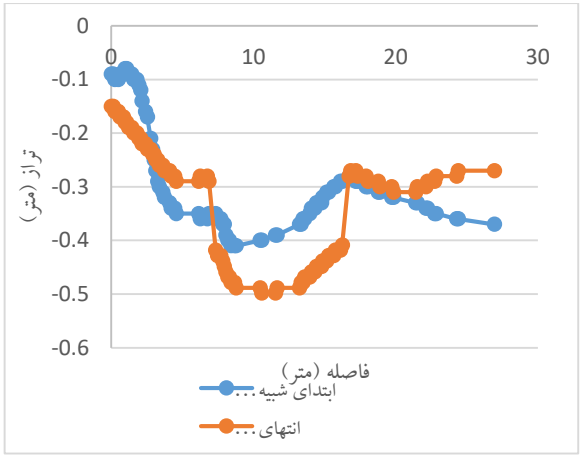
ص) الگوی فرسایش در مقطع شماره ۱۴۶ از بازه مکانی پنجم

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]



ض) الگوی فرسایش در مقطع شماره ۱۴۷ از بازه مکانی فرسایش



ع) الگوی فرسایش در مقطع شماره ۱۴۸ از بازه مکانی فرسایش

شکل (۱۲). الگوی فرسایش و رسوب‌گذاری در مقاطع مختلف بازه‌های مکانی موردمطالعه

شکل (۱۲) میزان فرسایش و رسوب‌گذاری را در هر مقطع برحسب تن نشان می‌دهد. با بررسی روند تغییرات رسوب‌گذاری در بازه مکانی موردمطالعه از رودخانه می‌توان محدوده برداشت رسوبات را مشخص نمود. در قسمت قابل‌توجهی از بازه‌های مکانی موردمطالعه رودخانه تالار در مقاطع مختلف، فرسایش و رسوب‌گذاری به‌طور متناوب تکرار شده است. در بازه مکانی ابتدایی موردمطالعه میزان رسوب‌گذاری در این مقاطع بیشتر از فرسایش است و جهت برداشت رسوب با لحاظ سایر موارد محیط زیستی و اقتصادی و اجتماعی می‌تواند مناسب باشند. در بازه‌های مکانی میانی رودخانه به علت کاهش شیب و عریض شدن رودخانه، رودخانه حالت تعادلی دارد و این بخش جهت برداشت رسوبات توصیه نمی‌شود. در بازه مکانی انتهایی نیز، به دلیل افزایش ناگهانی شیب و کاهش عرض رودخانه و پیچان‌رودی شدن آن، رودخانه حالت فرسایشی یافته است و این بخش نیز برای برداشت مصالح مناسب به نظر نمی‌رسد. روی‌هم‌رفته می‌توان چنین استنباط نمود ظرفیت حمل رودخانه از بالادست به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد.



شکل (۱۳). وزن تجمع رسوبات ورودی و خروجی مقاطع مختلف

مجموع رسوب ورودی رودخانه در کل بازه مکانی شبیه‌سازی در ابتدای دوره از مجموع رسوب در انتهای دوره شبیه‌سازی کمتر است که تفاوت بین آن‌ها، ۰/۹ میلیون تن می‌باشد که نشان‌دهنده این است که رودخانه در اکثر مواقع به‌صورت فرسایش‌پذیر بوده است (شکل (۱۳)). با استفاده از نتایج حاصل از شبیه‌سازی مدل HEC-RAS حجم متوسط رسوب

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]
[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

خروجی از مقاطع مختلف رودخانه، میزان تغییرات در تراز کف هر یک از مقاطع و عمق مجاز برداشت مصالح شن و ماسه در بازه‌های مکانی مختلف قابل‌تعیین است. در بازه مکانی اول که از کیلومتر ۲۴/۷ از دریا تا کیلومتر ۲۲/۴ از دریا است، متوسط ارتفاع رسوب ۱۱ سانتی‌متر بوده و میزان رسوب‌گذاری حدود تقریباً ۶ میلیون تن می‌باشد. در این بازه مکانی میزان رسوب‌گذاری قابل‌توجه می‌باشد. در بازه مکانی دوم که از کیلومتر ۲۰/۵ از دریا تا کیلومتر ۱۸/۲ از دریا می‌باشد، طول بازه مکانی حدود ۳ کیلومتر بوده و میزان رسوب‌گذاری تقریباً ۱ میلیون تن می‌باشد. در بازه مکانی سوم روندی کم‌وبیش مشابه وجود دارد. در بازه مکانی چهارم شرایط از نظر عمق و حجم فرسایش برای برداشت مناسب نیست و این محدوده نیز به میزان قابل‌توجهی با فرسایش مواجه است. بازه مکانی پنجم که از کیلومتر ۱۶/۷۵ از دریا تا کیلومتر ۱۱/۵ از دریا ادامه دارد، میزان فرسایش به‌طور تقریبی ۸/۳ میلیون تن به دست آمده است. دامنه تغییر ارتفاع فرسایش در بازه مکانی پنجم از ۱۰ الی ۲۰ سانتیمتر متغیر است. در چنین شرایطی امکان برداشت رسوب در آن وجود ندارد بلکه بایستی به راهکارهای مدیریت سیلاب و مهندسی رودخانه اندیشید. از سویی دیگر نتایج مربوط به میزان فرسایش و رسوب‌گذاری هر کدام از مقاطع و همین‌طور طول رودخانه تالار نشان می‌دهد اگرچه ممکن است رسوب قابل‌توجهی برای برداشت وجود داشته باشد اما بازدیدهای میدانی نشان می‌دهد میزان برداشت بسیار بیشتر از این مقدار بوده و این مسئله خسارات زیادی را به دنبال داشته است.

جدول (۴). وزن و عمق رسوبات ته‌نشین شده

بازه مکانی	کیلومتر از دریا	مجموع بار رسوبی خارج شده (تن)	میزان بار بستر در مقطع (تن)
۱	۲۴/۷ -۲۲/۴	۳۰۸۴۰۸۰	**۶۲۹۱۱۰۰**
۲	۲۰/۵- ۱۸/۲	۳۳۴۵۹۵	**۱۳۶۳۳۷۰**
۳	۱۸/۰۰ -۱۷/۵	-۱۰۱۲۲۷	**۱۰۹۵۸۳**
۴	۱۷/۵ -۱۶/۷۵	-۲۰۴۶۶	**۱۱۹۶۷**
۵	۱۶/۷۵ – ۱۱/۵	-۳۲۸۷۱۸	**۸۲۵۶۳۰۰**

نتیجه‌گیری

مقایسه نتایج هر یک از معادلات انتقال رسوب با شرایط طبیعی منطقه نشان داد که معادله توفالتی با RMSE برابر با ۹۷ تن در روز و R^2 برابر با ۰/۹۷ بیشترین همپوشانی را با شرایط طبیعی منطقه داشت و به‌عنوان بهترین رابطه رسوب انتخاب گردید. همچنین داده‌های دبی- رسوب ایستگاه شیرگاه تحت منحنی حد وسط با R^2، ۰/۸۵ مطابق معادله توانی $Y = 22/8\ X^{1.8}$ به دست آمد. همچنین با بررسی مقاطع در بالادست رودخانه و مقایسه تغییرات عمق بین سال‌های ۱۳۹۵ تا ۱۴۰۰ چنین استنباط می‌شود در بازه مکانی اول، تراز بستر به مقدار قابل‌توجهی افزایش یافته که هر چه به سمت پایین‌دست امتداد یابد، این افزایش بیشتر می‌شود. در بازه مکانی دوم، سوم و چهارم فرسایش به مقدار کم رخ داده و نمودار رسوب‌گذاری ابتدا و انتهای دوره شبیه‌سازی بر هم منطبق هستند. در بازه مکانی پنجم، در پایین‌دست بازه مکانی موردمطالعه تراز بستر به مقدار قابل‌توجهی کاهش یافته است که به سمت پایین‌دست این کاهش بیشتر می‌شود. در این محدوده از رودخانه به دلیل افزایش شیب و سرعت آب، مواد رسوبی حمل شده از بالادست فرسایش می‌شوند. برهمین اساس پیشنهاد می‌گردد در بازه مکانی ابتدایی با لحاظ سایر موارد محیط زیستی و اقتصادی و اجتماعی به برداشت رسوبات اقدام شود. ولی در سایر بازه‌های مکانی به دلیل افزایش ناگهانی شیب و کاهش عرض رودخانه و پیچان‌رودی شدن آن، رودخانه حالت فرسایشی داشته و این بخش نیز برای برداشت مصالح مناسب به نظر نمی‌رسد و در واقع ظرفیت حمل رودخانه از بالادست به سمت پایین‌دست کاهش می‌یابد که با نتایج اسدی و همکاران (۱۳۹۶) و کیوانلو (۱۳۹۳) همخوانی دارد.

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

منابع

اسدی، فاطمه زهرا؛ فضل اولی، رامین؛ و عمادی، علیرضا (۱۳۹۶). بررسی تغییرات بستر رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS4.0 (مطالعه موردی: رودخانه تالار). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۸(۱۵)، ۲۵-۳۵. https://sid.ir/paper/230370/fa

امامقلی‌زاده، صمد؛ شیردل، سولماز؛ گنجویان، محمدعلی؛ محمدیون محمد؛ فتحی مقدم، منوچهر (۱۳۸۹). بررسی وضعیت فرسایش و رسوب‌گذاری رودخانه شیرین دره با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS. *فصلنامه مهندسی آب*، ۱ (۱)، ۱۹-۳۴.

جباری، آزاده؛ حسینی، سید احمد؛ حقی آبی، امیرحمزه؛ امام قلی زاده، صمد؛ و بهنیا، عبدالکریم. (۱۳۹۳). برآورد دبی انتقال رسوب رودخانه با استفاده از مدل ریاضی HEC-RAS. *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۴(۱۶)، ۱۲-۲۳. . https://sid.ir/paper/247203/fa

رضایی، پرویز. (۱۳۹۷). تعیین پهنه سیل گیر با استفاده از GIS و مدل هیدرولیکی HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه گوهررود در محدوده شهر رشت). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۷(۲۷)، ۴۱-۵۶. https://sid.ir/paper/226669/fa .

روشان، حسین؛ وهاب‌زاده، قربان؛ سلیمانی، کریم؛ و فرهادی، رسول. (۱۳۹۲). شبیه‌سازی رفتار هیدرولیکی رودخانه با استفاده از مدل HEC-RAS در محیط GIS (مطالعه موردی: رودخانه بشار، استان کهگیلویه و بویراحمد). *پژوهشنامه مدیریت حوزه آبخیز*، ۴(۷)، ۷۰-۸۴. https://sid.ir/paper/230251/fa .

ریاحی مدوار، حسین؛ فکوری، بهمن. (۱۴۰۰). تحلیل عدم قطعیت نتایج مدل HEC-RAS در شبیه‌سازی پارامترهای هیدرولیکی جریان رودخانه کارون با رویکرد مونت کارلو. *هیدرولیک*، ۱۶(۱)، ۱-۲۲. . https://sid.ir/paper/966224/fa

زراعتکار، زهرا؛ و حسن‌پور، فرزاد. (۱۳۹۵). شبیه‌سازی سیلاب شهری بیرجند با استفاده از مدل HEC-RAS و ARC-GIS. *پژوهش‌های آبخیزداری (پژوهش و سازندگی)*، ۲۹(۱۱۲)، ۴۱-۵۶. https://sid.ir/paper/200504/fa.

شفیعی مطلق، خسرو؛ و عبادتی، ناصر. (۱۳۹۹). پهنه‌بندی سیلاب و شبیه‌سازی رفتار هیدرولیک رودخانه با استفاده از نرم‌افزار HEC RAS (مطالعه‌ی موردی: رودخانه‌ی مارون-جنوب غرب ایران). *اکوهیدرولوژی*، ۷(۲)، ۳۹۷-۴۰۹. . https://sid.ir/paper/361673/fa

شیخ علیشاهی، نجمه؛ جمالی، علی‌اکبر؛ و حسن‌زاده نفوتی، محمد. (۱۳۹۵). پهنه‌بندی سیل با استفاده از مدل هیدرولیکی تحلیل رودخانه (مطالعه موردی: حوضه آبریز منشاد- استان یزد). *فضای جغرافیایی*، ۱۶(۵۳)، ۷۷-۹۶. . https://sid.ir/paper/356882/fa

ظهیری، جواد؛ آشناور، مهران. (۱۴۰۰). کارایی HEC-RAS و GIS در شبیه‌سازی یک‌بعدی هیدرودینامیک جریان در رودخانه. *نشریه مهندسی عمران و محیط‌زیست*، ۱۵(۲)، ۶۳- ۷۲. https://journals.tabrizu.ac.ir/article_9090.html

عرفانی پور قاسمی، وجیهه؛ دستورانی، محمدتقی؛ حاجی بیگلو، محبوبه (۱۳۹۸). بررسی تأثیر خصوصیات جریان در فرسایش کنارهای رودخانه (مطالعه موردی: بخش‌هایی از رودخانه کشف رود). چهاردهمین همایش ملی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران. آبخیزداری و مدیریت جامع منابع آب‌وخاک. chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/https://profdoc.um.ac.ir/articles/a/1075389.pdf

کیوانلو، مجتبی. (۱۳۹۲). ارزیابی اثرات برداشت شن و ماسه بر خصوصیات هیدرولیکی و سازه‌های انتقال با استفاده از مدل ریاضی (مطالعه مورد: رودخانه تالار). پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ایران.

گودرزی، احمد؛ یونسی، حجت اله؛ شاهینژاد، بابک؛ ترابی پوده، حسین. (۱۴۰۱) مدل‌سازی عددی انتقال رسوب و فرسایش کنار رودخانه‌ای در شرایط سیلابی مطالعه‌ی موردی: حوضه‌ی آبریز کشکان. *هیدروژئومورفولوژی*، ۳۱ (۹)، ۱۵۷- ۱۳۷.

محمدی، میرعلی؛ مهتدی، مهسا. (۱۴۰۱). شبیه‌سازی هیدرولیکی سیمینه‌رود با بهره‌گیری از نرم‌افزار Hec-RAS و ArcGis. *هیدروژئومورفولوژی*، ۰۳ (۹)، ۸۷-۱۰۳. https://hyd.tabrizu.ac.ir/article_14323.html

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

مرادی نژاد، امیر؛ حق یآبی، امیرحمزه؛ ترابی، حسن. (۱۳۹۳). انتخاب مناسب‌ترین معادلات انتقال رسوب با مدل عددی HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه قره چای استان مرکزی). *پژوهش‌های آبخیزداری*، ۱۰۴، ۱۲۳- ۱۳۱.

مرادی، ابوذر، سیدیان، سید مرتضی، کاهه، مهدی و حشمت پور، علی. (۱۳۹۷). مکان‌یابی برداشت مصالح رودخانه‌ای با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: رودخانه قورچای استان گلستان). *مهندسی آبیاری و آب ایران*، ۹(۳۳)، ۷۶-۸۸. https://sid.ir/paper/247233/fa

مطلبیان، محمد. ۱۳۹۲. ساماندهی تراز بستر با استفاده از مدل HEC-RAS در رودخانه سیستان. پایان‌نامه جهت اخذ درجه کارشناسی ارشد در رشته سازه‌های آبی. دانشگاه زابل.

مهرورزیلی، ارسلان؛ مددی، عقیل؛ اسفندیاری، فریبا؛ رحیمی مسعود. (۱۳۹۹). شبیه‌سازی سیلاب‌های رودخانه دره ائورت با استفاده از مدل هیدرولیکی HEC-RAS در محیط GIS (محدوده موردمطالعه: از روستای شورستان تا تلاقی رودخانه ارس). *پژوهش‌های ژئومورفولوژی کمّی*، ۸ (۴)، ۱۴۶ – ۱۳. https://www.geomorphologyjournal.ir/article_106426.html

مولودی، مریم؛ و محمدی، میرعلی. (۱۴۰۰). تعیین ضریب مقاومت جریان در رودخانه‌ها با بستر شنی (مطالعه موردی: رودخانه شهرچای-ارومیه). *دانش آب‌وخاک (دانش کشاورزی)*، ۳۱(۴)، ۲۵-۳۸.https://sid.ir/paper/961464/fa

یمانی، مجتبی؛ تورانی، مریم؛ و چزغه، سمیرا. (۱۳۹۱). تعیین پهنه‌های سیل گیر با استفاده از مدل HEC-RAS (مطالعه موردی: بالادست سد طالقان از پل گلینک تا پل وشته). *جغرافیا و مخاطرات محیطی*، ۱(۱)، ۱-۱۶. https://sid.ir/paper/482843/fa

Chang, H. (1998), Generalized Computer Program FLUVIAL-12 Mathematical Model for Erodible Channels. Users Manual. 10.4025/actascitechnol.v41i1.39539

Danish Hydraulic Institute (2003). “Mike11 version 3.01 user manual”, https://manuals.mikepoweredbydhi.help /2021/Water_Resources/Mike_11_ref.pdf

Gibson S., Comport B., Corum Z. (2017). Calibrating a Sediment Transport Model through a Gravel-Sand Transition: Avoiding Equifinality Errors in HEC-RAS Models of the Puyallup and White Rivers. U.S. Army Corps of Engineers. 10.1061/9780784480625.017

Joshi Neekita, Lamichhane Gaurav Raj, Mafuzur Rahaman Md., Kalra Ajay, Ahmad Sajjad .(2019). Application of HEC-RAS to Study the Sediment Transport Characteristics of Maumee - River in Ohio Southern Illinois Univ. 10.1061/9780784482353.024

Krishnappan, B.G. (1981). “programming for MOBED, an unsteady, nonuniform, mobile boundary flow model, “, Canada center for Inland waters, 107p.

Mohammad M. E., Al-Ansari N., Issa, I. E., and Knutsson S. (2016). Sediment in Mosul Dam reservoir using the HEC-RAS model. Lakes and Reservoirs: Research and Management: 21: 235–244. 10.1111/lre.12142

Olsen N.R.B. (1993). SSIIM - a three-dimensional numerical model for simulation of water and sediment flow. Transactions on Ecology and the Environment vol 8, © 1994 WIT Press, www.witpress.com, ISSN 1743-3541. https://www.witpress.com/Secure/elibrary/papers/HY94/HY94027FU2.pdf

U.S. Armay corps of Engineera, (1982). “Hec6 Users Manual”. https://www.scribd.com/document/318091722/HEC-RAS-5-0-Reference-Manual

U.S. Armay corps of Engineers, (1989), “sedimentation Investigation of Rivers. And Reservoirs, code: EM 1110-2-4000, PP 6.1-6.13. https://dots.el.erdc.dren.mil/guidance/sedimentation-investigations-of-rivers-and-reservoirs.pdf

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]

U.S. Department of Interior, (1998), "User manual for GSTARS2.0 ",Colorado. https://pubs.usgs.gov/misc/FISC_1947-2006/pdf/1st-7thFISCs-CD/7thFISC/7Fisc-V1/7FISC1-1.pdf

[Downloaded from system.khu.ac.ir on 2026-11-11]

[DOI: 10.61186/jgs.25.78.16]