Research Paper

Flow control and Sediment Transfer Using the Performance of Two Hydrological and Hydraulic Models in the Jajrud River Basin

Ali Asghari [1], Babak Aminnejad [2*], Hossien Ebrahimi [3]

10.22125/IWE.2022.345698.1641

Received:
June 5, 2022
Accepted:
January 16, 2023
Available online:
August 23, 2023

Keywords:
flow simulation, sediment particles, Jajrud River, SWAT, HEC-RAS, sediment control

Abstract

In the present research, using HEC RAS and SWAT models, the number of transferred sediments and sediment control strategies of Jajrud river basin were investigated. The hydrological behavior of the basin was investigated to estimate the amount of sediment and erodible areas of the basin using the SWAT model. The calibration of the model was done by swat cup software and sufi-2 algorithm. The R2 and Nash Sutcliffe (NS) indexes to evaluate the SWAT model's ability to simulate Mamlo station runoff for the calibration period of 2002 to 2013 are 0.77 and 0.89, respectively, and the validation period of 2014 to 2017 is 0.63 and 0.72, respectively. Came. The estimated sedimentation rate of SWAT model in the calibration interval was extracted based on the above indices equal to 0.67, 0.82 and validation equal to 0.58, 0.64. After the hydrological simulation, since the SWAT model does not have the ability to design the sediment control structure, the HEC-RAS two-dimensional hydraulic model was used. The HEC-RAS two-dimensional model has the ability to define multiple and variable Manning's coefficients, which have been effective on the flow and sediment behavior of the area. The results of the integration of two SWAT and HEC-RAS models in the direction of using structural and non-structural measures indicate a 17% reduction in transitional sediments compared to the previous state.

[1] Department of Civil Engineering, Kish International Branch, Islamic Azad University, Kish Island, Iran, Email: a.asghari@iaukishint.ac.ir

[2*] Department of Civil Engineering, Kish International Branch, Islamic Azad University, Kish Island, Iran, Email: babak.aminnejad@iau.ac.ir

[3] Department of Civil Engineering, Shahr-e-Qods Branch, Islamic Azad University, Tehran, Iran, Email: h.ebrahimi@qodsiau.ac.ir

1. Introduction

It is necessary to study the erosion of the basin, to investigate the sediments transferred to the river flow network, which were transported to the waterway network through the floods of the plain and the surrounding environment (Veihe et al, 2011). Therefore, it is very important to identify the behavior of water flow and sediment in order to investigate the functioning of Emeri river ecosystem (Baron et al, 2002). The use of hydraulic models helps in this direction, so that in the two-dimensional version of HEC-RAS, in addition to the flow behavior it simulates, it also shows the uncertainty of flood events well (Bhandari et al. 2017; Chen et al., 2017; Nyaupane et al. 2018; Thakali et al. 2018). On the other hand, determining the amount of basin sediment and its spatial distribution with field measurements in practice faces a serious challenge. For example, in a watershed in West Africa, using the SWAT model, they showed that the change of areas with forest, pasture, and bushland to agricultural lands or urban areas changes the natural hydrological conditions in a watershed, and the result of these changes is The reason for the increase in the volume of surface runoff is the decrease in the supply of underground water sources and the base water of the rivers, and the change in the amount and intensity of erosion and sedimentation (Li, 2007). The main purpose of this research is to investigate the amount of runoff, erosion and sediment transport in the Jajroud River watershed, in the middle of the downstream of the Karaj Dam and the upstream of the Mamlo Dam. Is.

2. Materials and Methods

In this study, SWAT and HEC RAS software were used in order to investigate the hydrological behavior, sediment transport and hydraulics of Jajroud watershed, so that we can identify sensitive and erodible areas and the effect of structural and non-structural measures. to identify it well in the region because conducting field and laboratory studies has been costly. In this research, by using these two simulation models to control the erosion and flow of the basin, great help has been provided to the engineers in the direction of providing the strategy and management of the basin.

3. Results

The results obtained from the output of SWAT model are not reliable and it is necessary to extract the parameters affecting runoff and sediment. Due to the potential and high efficiency of the SUFI-2 program, the optimization of the range of parameters is implemented in the direction of sensitivity analysis, model calibration and validation, and uncertainty analysis in the SWAT-CUP program. Uncertainty is calculated by two factors called R_factor and P_factor (Abbaspour et al. 2007, Shamshirband et al. 2019, (Khalid et al. 2016). During the SWAT model adjustment and calibration process, the first 3 years from 2000 to 2002 as The model preparation period (warm up) was considered, then using SUFI2 algorithm and SWAT CUP software, monthly calibration was done for the period of 2003 to 2013 and validation was done for the period of 2014 to 2018. In the HEC-RAS software, it is calibrated to the measured total sediment load by fitting the most appropriate sediment transport equation, sorting, grading and fall rate methods and by adjusting the density of sediments. This software consists of 6 equations from Ackers and White, COPELAND'S FROM LAURSEN, MEYER PETER MULLER, TOFFALETI, YANG, WILCOK, each of the equations was used depending on the type of simulation process (USACE, 2010. Brunner, 2020) . Bed elevation change and sediment distribution are calculated at each node from all river sections, enabling a clear picture of erosion and sedimentation over time (USACE, 2010). Regarding the simulation process in this study, the grid that was chosen to create the mesh was used in 12 x 12 dimensions.

4. Discussion and Conclusion

The results of this research show that SWAT is a suitable model to investigate the flow and sediment control of the basin, so that by changing the area of land use and management practices in each of the sub-basins, how much effect can it have on the flow control. and basin erosion. In addition, in this research, by applying the management policy of structural and non-structural flow control with the integration of two SWAT/HEC-RAS models, it was a great help in applying policies and providing a suitable and low-cost strategy to the engineering community.

5) Six important references

1) Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., and Williams J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. Journal of the American Water Resource Association, 34 (1): 73–89.
2) Abbaspour K.C., Rouholahnejad E., Vaghefi S., Srinivasan R., Yang H., and Klve B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. Journal of Hydrology, 524: 733–752.
3) Brunner, G.W.; CEIWR-HEC. HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User's Manual. Version 5.0. 2016. Available online: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation (accessed on 2 February 2020).
4) Hosseini SH, Khaleghi MR (2020) Application of SWAT model and SWAT-CUP software in simulation and analysis of sediment uncertainty in arid and semi-arid watersheds (case study: the Zoshk-Abardeh watershed). Model Earth Syst Environ. https ://doi.org/10.1007/s40808-020-00846-2
5) Pathan AI, Agnihotri PG (2020) Application of new HEC-RAS version 5 for 1D hydrodynamic food modeling with special reference through geospatial techniques: a case of River Purna at Navsari, Gujarat, India. Model Earth Syst Environ. https://doi. org/10.1007/s40808-020-00961-0
6) Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS river analysis system 2D modeling user's manual. US Army Corps of Engineers—Hydrologic Engineering Center, 1-171.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال سیزدهم. ویژه نامه .تابستان ۱۴۰۲

کنترل جریان و انتقال رسوب با استفاده از عملکرد دو مدل هیدرولوژیکی و هیدرولیکی در حوضه رودخانه جاجرود

علی اصغری[۱]، بابک امین‌نژاد[۲*]،حسین ابراهیمی[۳]

تاریخ ارسال:۱۴۰۱/۰۳/۱۵
تاریخ پذیرش:۱۴۰۱/۱۰/۲۶

مقاله پژوهشی

چکیده:

در این تحقیق، با استفاده از دو مدل HEC RAS و SWAT میزان رسوبات انتقالی و راهکارهای کنترل رسوب حوضه رودخانه جاجرود بررسی شد. رفتار هیدرولوژیکی حوضه برای برآورد میزان رسوب و مناطق فرسایش پذیر حوضه با استفاده از مدل SWAT بررسی شد. واسنجی مدل توسط نرم افزار swat cup و الگوریتم sufi-2 انجام پذیرفت. شاخص های R^2 و ناش ساتکلیف (NS) به منظور ارزیابی توانایی مدل SWAT در شبیه سازی رواناب ایستگاه ماملو برای بازه کالیبراسیون ۲۰۰۲ تا ۲۰۱۳ به‌ترتیب برابر ۰.۷۷ و ۰.۸۹ و همچنین بازه صحت سنجی ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۷ به ترتیب برابر ۰.۶۳و ۰.۷۲ به دست آمد. میزان رسوب برآوردی مدل SWAT در بازه کالیبراسیون براساس شاخص های فوق برابر ۰.۶۷، ۰.۸۲ و صحت سنجی برابر ۰.۵۸، ۰.۶۴ استخراج شد. پس از شبیه سازی هیدرولوژیکی از آنجا که مدل SWAT قابلیت طراحی سازه کنترل رسوب نداشته از مدل هیدرولیکی دو بعدی HEC-RAS استفاده گردید. مدل دو بعدی HEC-RAS قابلیت تعریف ضریب مانینگ متغییر و متعدد را دارد که بر رفتار جریان و رسوب منطقه موثر بوده است. نتایج حاصل از تلفیق دو مدل SWAT و HEC-RAS در جهت بهره گیری اقدامات سازه ای و غیرسازه ای بیانگر کاهش ۱۷ درصدی رسوبات انتقالی نسبت به حالت قبل است.

واژه‌های کلیدی: شبیه سازی جریان، ذرات رسوبی، رودخانه جاجرود ، SWAT، HEC-RAS، کنترل رسوب

[۱] گروه مهندسی عمران، واحد بین الملل کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران، پست الکترونیکی: a.asghari@iaukishint.ac.ir

[۲*] گروه مهندسی عمران، واحد بین الملل کیش، دانشگاه آزاد اسلامی، جزیره کیش، ایران، پست الکترونیکی: babak.aminnejad@iau.ac.ir

[۳] گروه مهندسی عمران، واحد شهرقدس، دانشگاه آزاد اسلامی، تهران، ایران، پست الکترونیکی: h.ebrahimi@qodsiau.ac.ir

مقدمه

مطالعه فرسایش حوضه، بررسی رسوبات انتقالی به شبکه جریان رودخانه که از طریق سیلاب دشت و محیط پیرامون به شبکه آبراهه حمل گردیده امری ضروری است (Veihe et al,2011). چرا که این انتقال حجم بالای رسوبات به شبکه آبراهه، باعث مشکلات جدی در مخازن سد می‌شود. مانند رشد جلبک های سمی، کاهش اکسیژن آب و به دنبال آن نامناسب شدن آب برای مصرف شرب، صنعت و کشاورزی در منطقه(Carpenter et al,1998 , Niraulaet al 2013). اقداماتی که در جهت کاهش رسوبات و انتقال آن بکار برده می شوند، عبارتند از شخم حفاظتی، تراس بندی اراضی، کاهش تعداد دام، احیای تالاب ها که برای کاهش جریان مواد مغذی صورت می گیرد (Scavia et al,2014). چرا که انتقال جریان و رسوبات حمل شده از حوضه های آبریز تا شبکه جریان رودخانه به هم مرتبط هستند (Uri,2000). از این رو شناسایی رفتار جریان آب و رسوب در جهت بررسی عملکرد اکوسیستم رودخانه امری بسیار مهم است (Baron et al,2002). استفاده از مدل های هیدرولیکی کمک شایانی در این راستا می کند، به نحوی که در نسخه دو بعدی HEC-RAS علاوه بر رفتار جریان که شبیه سازی می کند، عدم قطعیت رویدادهای سیلابی را نیز به خوبی نمایان می سازد (Bhandari et al. 2017; Chen et al., 2017; Nyaupane et al. 2018; Thakali et al. 2018). علاوه بر این HEC RAS ابزاری مناسب در جهت مطالعات مورفولوژی رودخانه می باشد (Thakur et al. 2017). در نسخه های تک بعدی مانند HEC RAS ورژن ۴، شبیه سازی انتقال رسوب بسیار بکار برده می شد اما امروزه با پیشرفت این نرم افزار و ارائه نسخه دوبعدی آن در ورژن ۶ و بالاتر این امکان فراهم است که به صورت دو بعدی رفتار جریان و انتقال رسوب را شاهد باشیم (Brunner and Gibson 2005, USER MANULA 2021). عنصر اصلی انتقال رسوبات در کانال رودخانه خاک می باشد. خاک جزء مهمی است که با اجزای مختلف جوی، بیولوژیکی، هیدرولوژیکی و ژئومورفولوژیکی در ارتباط و تاثیر پذیر است. به نحوی که زارع‌دشت و همکاران در مطالعه ای با بکار گیری مدل تک بعدی HEC RAS توانستند نقاط بحرانی، مناطق مستعد رسوب و فرسایش پذیر را شناسایی کنند (Ford et al. 2018 وZaredehdasht et al 2012). در پژوهشی در رودخانه تالار در جهت بررسی اثرات برداشت مصالح از بستر رودخانه تحت جریان هیدرولیکی و در نظر گرفتن سازهای متقاطع در مسیر جریان در مدل HEC RAS استفاده از معادلات انتقال رسوب میر-پیتر مولر پیشنهاد شد (کیوانلو،۲۰۱۳). از طرفی دیگر در رودخانه چهل چای استان گلستان در جهت برآورد بار بستر اندازه گیره شده معادلات ایکرز-ایت و میر-پیتر مناسب تشخیص داده شد (حدادچی،۲۰۱۱). اما در مطالعه صورت گرفته شده در دو حوضه طالقان و جاجرود ، معادله شوکلیچ بهترین تخمین را برای بار بستر و همچنین برای بار معلق معادلات انیشتین و بگنولد به ترتیب بهترین تخمین را برای رودخانه جاجرود ارائه دادند (کاظمی و همکاران،۲۰۱۱). برای این که یک شبیه‌سازی جامع از جریان آب و رسوب در یک حوضه را داشته باشیم باید از روش ترکیبی مسیریابی هیدرولوژیکی و هیدرولیکی که رویکردی برای بهبود تلاش مدل‌سازی در مطالعات هیدرولوژیکی است استفاده گردد تا مقیاس درستی از رخداد منطقه نشان داده شود(Jens et al, 2013). مدل های هیدرولوژیکی برای شبیه سازی رابطه بارش-رواناب تحت مقیاس های مکانی و زمانی متفاوت بکار برده می شوند. تعدادی از این مدل ها توانایی بکار گیری مدل رقومی ارتفاعی، کاربری، خاک، بارش بصورت متناوب را نداشته اما در مدل هیدرولوژیکی SWAT که مدلی نیمه توزیعی بوده این امکان برای کاربر فراهم می‌شود که نقشه خاک، کاربری، مدل رقومی ارتفاع، شیب منطقه و تعدادی بسیاری از ایستگاه‌های هیدرومتری و هواشناسی معرفی گردد. مدل swat نقش اصلی در تجزیه و تحلیل اثر تغییرات مدیریتی زمین بر منابع آب در حوضه را دارد

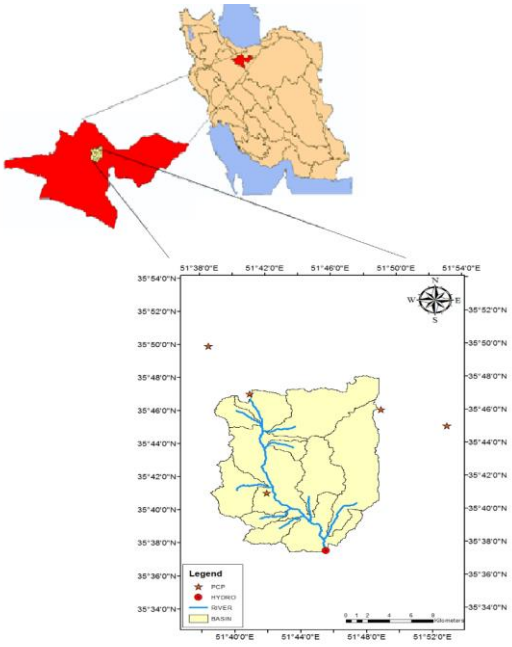
(Shimelis et al,2010). این مدل، شبیه سازی فرسایش خاک و بار رسوب را با استفاده از معادله اصلاح شده جهانی فرسایش خاک (MUSLE) انجام می دهد. همچنین SWAT قابلیت ارائه نتایج بازه زمانی سالانه، ماهانه، روزانه را دارا می باشد (Kavian et al,2014., Arnold,1998). مدل SWAT با تلفیق GIS، امکان تحلیل مکانی تولید رسوب و تعیین مناطق بحرانی را فراهم می کند، از این رو می توان در تعیین اثرات تصمیم مدیریت منابع آب و اقدامات کنترلی در حوضه، حتی در بحث منابع غیرنقطه ای از آن بهره جست (Abbaspour et al,2015). اما با این وجود کارایی مدل SWAT در شبیه سازی رسوب در مقایسه با رواناب، در بعضی مناطق، ضعیف عنوان شده است. به طوری که رستمیان در پژوهشی در حوزه آبخیز بهشت، علت ضعف را در تعداد کم داده ها و عدم پیوستگی اطلاعات رسوب بیان داشت (Rostamian et al,2008). اما، دان و همکارانش در منطقه‌ای واقع در چین برروی رودخانه chaohe میزان رواناب و رسوب را با استفاده از مدل SWAT بررسی کردند. نتایج حاکی از دقت بالای مدل در برآورد جریان و رسوب بوده است (Duan et al,2009). مدل سازی انتقال رسوب به صورت هیدرولوژیکی در جهت شناسایی مناطق فرسایشی و انتقال آن به پایین دست حوضه قبلاً در آثار مختلف مورد بحث قرار گرفته است. مدل‌هایی مانند SWAT (Hosseini et al,2020)، GeoWEPP با کمک سنجش از دور و GIS نشان می‌دهند که چگونه انتقال رسوب از زمین به رودخانه توسعه می‌یابد (Singh et al,2020). از طرفی نیز انتقال رسوب از طریق رودخانه و شناسایی تغییرات بستر آن نیز توسط مدل هایی مانند MIKE11، CCHE1D شبیه سازی شده است (Isaac et al,2016., Ochiere et al,2015., Pathan et al,2020). همانطور که در مطالعات صورت گرفته توسط محقیقن نشان داده شد که با تبدیل اراضی مرتعی به جنگلی در مدل swat میزان رواناب سالانه افزایش یافته و میزان نفوذ به آب زیرزمینی بر اثر کاهش نفوذپذیری خاک و کاهش تعرق حوضه کاهش می یابد (Wang,2008). از طرفی دیگر تعیین مقدار رسوب حوضه و توزیع مکانی آن با اندازه گیری های میدانی در عمل با چالش جدی مواجه است. به عنوان مثال در حوضه ای در غرب آفریقا با استفاده از مدل swat نشان دادند که تغییر مناطق با کاربری جنگل، مرتع و بوته زار به اراضی کشاورزی و یا مناطق شهری سبب تغییر شرایط هیدرولوژی طبیعی در یک حوزه آبخیز می شود و نتیجه این تغییرات به صورت افزایش حجم رواناب سطحی، کاهش تغذیه منابع آب زیرزمینی و آب پایه رودخانه ها و تغییر در مقدار و شدت فرسایش و رسوب است(Li,2007). هدف اصلی این پژوهش بررسی میزان رواناب، فرسایش و انتقال رسوب حوزه آبخیز رودخانه جاجرود حد واسط پایین دست سد کرج و بالادست سد ماملو می باشد که در این بررسی جهت ارزیابی یکپارچه و مدیریت کنترل رسوب حوضه جاجرود از دو مدل هیدرولوژی و هیدرولیکی بهره گرفته شده است. در این مطالعه سعی گردید ابتدا وضعیت کنونی در شرایط حاکم بررسی شود. از نسخه HEC RAS ورژن ۶.۱ جریان، انتقال رسوب، تغییرات در بستر رودخانه بررسی گردد، همچنین از SWAT ورژن ۲۰۱۲ نیز در جهت استخراج رفتار هیدرولوژیکی و مناطق فرسایش پذیر استفاده شد که در اثر تخریب یا تجمع رسوب در مناطق باعث بحران منابع آب، شرایط زیستی و اختلال در مدیریت مخزن سد ماملو شده است.

مواد و روش‌ها

محدوده مورد پژوهش

حوزه آبخیز مورد مطالعاتی واقع در محدوده جاجرود حد فاصل بین، پایین دست سد لتیان و ورودی مخزن سد ماملو می باشد. رودخانه جاجرود از ارتفاعات شمالی، شمال شرقی دشت تهران مربوط به دامنه‌های جنوبی البرز مرکزی سرچشمه می‌گیرد. این منطقه از درجه اهمیت بالایی برخوردار می باشد چرا که وظیفه سد ماملو تأمین

آب کشاورزی، شرب و برق شهرستان پاکدشت ورامین در جنوب تهران است. از طرفی سد ماملو و مخزن آن می بایست در برابر رسوبات انتقالی که که حاصل فعالیت های روستایی، کارگاه ها و زمین های کشاورزی می باشد بررسی و کنترل گردد. از آمار ایستگاه هیدرومتری ماملو مطابق شکل(۱) نیز برای بررسی خروجی مدلسازی هیدرولوژی و هیدرولیکی استفاده شد.



شکل(۱): موقعیت محدوده مورد مطالعاتی و ایستگاه‌های هیدرومتری

روش پژوهش

ارتباط بین فرآیندهای فرسایشی، رفتار جریان و رسوبات انتقالی در حوضه آبریز و شبکه جریان نیاز به تصویر کشیدن ترکیبی، فعالیت مشترک در بین این رخدادها می باشد (Ijam et al,2012). استفاده از مدل مناسب بهترین راهکار در جهت درک فرایند و رفتار فرسایش و انتقال رسوبات است (Deasy et al,2011). از این رو در این مطالعه با بهره گیری از نرم افزار SWAT و HEC RAS باتوجه به قابلیت هریک در جهت بررسی رفتار هیدرولوژی، انتقال رسوب و هیدرولیک حوزه آبخیز جاجرود استفاده گردید تا بتوانیم مناطق حساس و فرسایش پذیر را شناسایی کنیم و تاثیر اقدامات سازه ای و غیر سازه ای را در منطقه بخوبی شناسایی کنیم چرا که انجام مطالعات صحرایی و آزمایشگاهی هزینه بر بوده است. در این تحقیق با استفاده از این دو مدل شبیه سازی در جهت کنترل فرسایش و جریان حوضه، کمک شایانی در جهت ارائه راهبرد و مدیریت حوضه به مهندسین ارائه شده است.

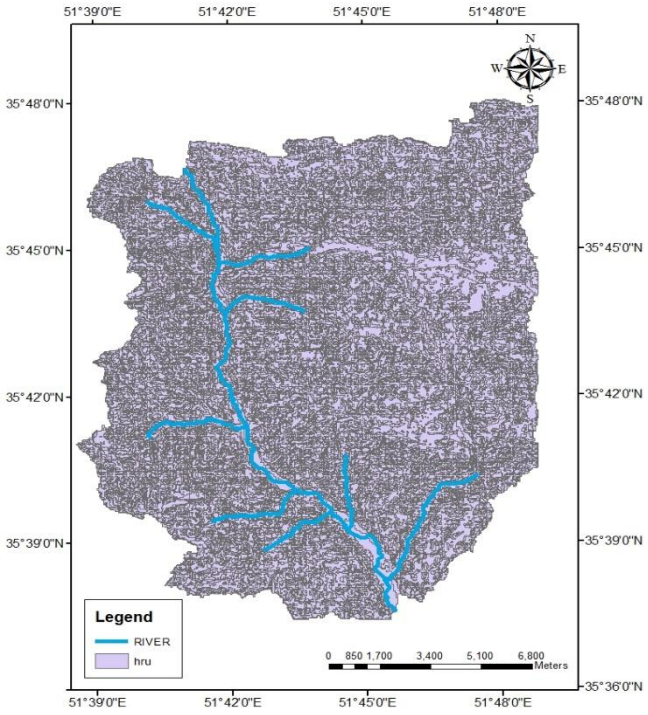
مدل شبیه ساز SWAT و داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه شروع فرایند شبیه سازی ابتدا با استفاده از ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) در جهت بررسی رفتار جریان، فرسایش حوزه آبخیز جاجرود بکار گرفته شد. این مدل توسط آژانس حفاظت از محیط زیست ایالات متحده، وزارت کشاورزی ایالات متحده و همچنین توسط دانشگاه ها و مشاوران در سراسر جهان استفاده قرار می گیرد (Gassman et al., 2007، آرنولد و همکاران، ۲۰۰۲). شبیه سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز درک بهتری از نقش فرایندهای هیدرولوژی می دهد. انتخاب یک مدل مناسب وابسته به فاکتورهایی از قبیل توانایی شبیه سازی متغیرهایی (رواناب، رسوب، آب زیرزمینی و غیره) بوده که وابسته به داده های در دسترس و مقیاس مکانی و زمانی می‌باشد (Singh,1995). اطلاعات لازم برای شبیه سازی مدل SWAT شامل، مدل رقومی ارتفاع (DEM) ، نقشه آبراهه، پوشش گیاهی و کاربری، اطلاعات خاک شناسی و آمار هواشناسی برای محدوده مطالعاتی استفاده می شود. آمار هواشناسی در این مدل به پنج قسمت شامل: بارندگی، حداقل و حداکثر دما، رطوبت نسبی، تابش خورشید و سرعت باد روزانه برای ایستگاه های داخل و اطراف حوضه دسته بندی شده است (Neitsch et al.2005). از این رو برای منطقه مورد مطالعاتی از نقشه DEM با دقت ۳۰ متر، نقشه کاربری اراضی و پوشش گیاهی تهیه شده از سازمان جنگلها، مراتع و آبخیزداری، نقشه خاک شناسی FAO براساس محدوده مطالعاتی و اطلاعات بارش و دما روزانه برای حوضه جاجرود در طی بازه ۲۰۰۰ تا ۲۰۱۸ استفاده شد. لازم به ذکر است که

این مدل برای شبیه سازی وقایع منفرد با جزئیات زیاد طراحی نشده است.

مدل SWAT رواناب سطحی را با استفاده از دو روش برآورد می‌کند: روش شماره منحنی (CN) سرویس حفاظت خاک (SCS) و روش Green و Ampt. (Wischmeier et al,1978) که در این تحقیق از روش شماره منحنی (CN) سرویس حفاظت خاک (SCS) استفاده شده است.

مدل SWAT میزان فرسایش ناشی از بارندگی و رواناب را از رابطه اصلاح شده معادله جهانی تلفات خاک (MUSLE) محاسبه می کند(Wischmeier et al,1978). مناسب ترین روش شبیه سازی، در جهت کاهش خطای محاسباتی و برآوردی در میزان افزایش دقت خروجی مدل تقسیم کردن حوضه به تعدادی گروه پاسخ گویی هیدرولوژیکی (HRU) می باشد(Di Luzio and Arnold 2004). در این شبیه سازی حوضه آبریز جاجرود به ۹ زیرحوضه تقسیم شده است، به طوری که تمام شاخه های فرعی به کانال اصلی رودخانه جاجرود نشان داده شده است. حداقل سطح آستانه برای تعیین HRU در جهت حذف کاربری‌ها، خاک‌ها و شیب در هر زیرحوضه به میزان کمتر از ۱۰ درصد از آستانه ها برای هر شیب، خاک و طبقه کاربری زمین تعیین شد تا بیشترین جزئیات را شامل شود. نقشه حوضه شبیه سازی شده توسط مدل SWAT و تعدادی واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) در جهت تعیین رواناب، انتقال رسوب و مناطق مستعد فرسایش حوضه رودخانه جاجرود مطابق شکل (2) استخراج گردید.



شکل(۲)واحد پاسخ هیدرولوژی حوضه جاجرود

نتایج و بحث

کالیبراسیون، صحت سنجی و آنالیزعدم قطعیت مدل SWAT

نتایج حاصل از خروجی مدل swat قابل اطمینان نبوده و نیازمند استخراج پارامترهای موثر بر رواناب و رسوب بوده است. بهینه سازی مقدار رنج پارامترها به دلیل پتانسیل و کارایی بالای برنامه SUFI-2 در جهت تحلیل حساسیت، کالیبراسیون و اعتبارسنجی مدل و تحلیل عدم قطعیت در برنامه SWAT-CUP اجرا می شود. عدم قطعیت توسط دو فاکتور به نام های R_factor وP_factor محاسبه می شود (Abbaspour et al. 2007، Shamshirband et al. 2019، Khalid et al. 2016). در طول فرآیند تنظیم و کالیبراسیون مدل SWAT، ۳ سال اول ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۲ به عنوان بازه آماده سازی مدل (warm up) در نظر گرفته شد، سپس با بهره گیری از الگوریتم SUFI-2 و نرم افزار SWAT CUP کالیبراسیون ماهانه برای بازه ۲۰۰۳ تا ۲۰۱۳ و صحت سنجی در بازه ۲۰۱۴ تا ۲۰۱۸ صورت گرفت. مطابق

جدول (۱) تعداد پارامترهای موثری که در این حوضه تاثیر بالقوه و موثر در برآورد جریان و رسوب داشت ۲۳ عدد می باشد.

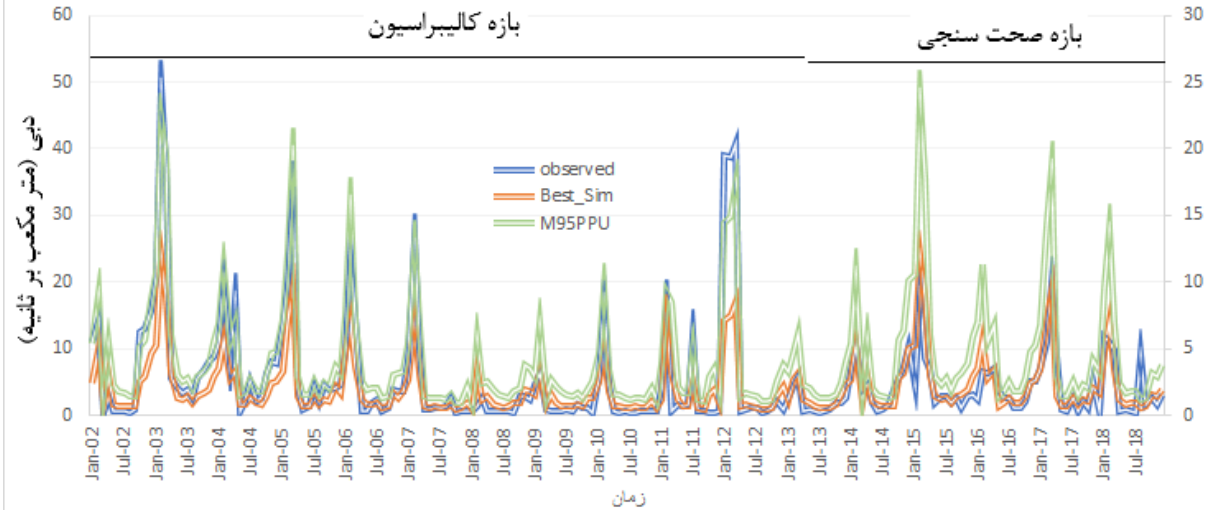
جدول (۱): پارامترهای موثر و مقادیر رنج شبیه سازی شده حوضه جاجرود

نام پارامتر	حداقل	حداکثر	t-Stat	P-Value
r__CN2.mgt	-۰.۱۲۵	-۰.۰۴۷	-۲.۰۵	۰.۰۴۹
v__ALPHA_BF.gw	۰.۳۴۶	۰.۴۵۶	-۰.۴۰۱	۰.۶۹۰
v__GW_DELAY.gw	۳۱۵.۵۶۷۱	۳۶۱.۰۲۶	۰.۴۷۳۹	۰.۶۳۹
v__GWQMN.gw	۰.۳۶۰۸	۰.۵۱۲	۱.۲۰۱	۰.۲۴
v__PLAPS.sub	۵.۶۹۸	۶.۶۲۷	۱.۰۱۶۳	۰.۳۱۸۴
v__ESCO.hru	۰.۹۷۲۸	۰.۹۸۷۶	-۰.۲۵۴	۰.۸۰۱
v__CH_N۲.rte	۰.۰۶۷۲	۰.۰۹۲۵	-۱.۷۴۴	۰.۰۹۲۳
v__CH_K۲.rte	۱.۸۲۳۲	۲۴.۳۷۸	-۱.۴۱۴	۰.۱۶۸۶
v__GW_REVAP.gw	۰.۱۶۵۴	۰.۲۴۴۰	۱.۴۰۲۸	۰.۱۷۲۰
v__ALPHA_BNK.rte	۰.۱۴۷۱	۰.۴۰۳۸	-۰.۴۰۱	۰.۶۹۰۸
r__SOL_AWC(۱).sol	-۰.۱۱۳۵	۰.۰۲۰۰	۰.۲۲۱	۰.۸۲۶
r__SOL_K(۱).sol	۰.۳۳۴۲	۰.۵۰۷۴	-۲.۲۵۳	۰.۰۳۲
r__SOL_BD(۱).sol	۰.۰۷۲۳	۰.۱۸۶	-۳.۰۱۴	۰.۰۰۵۶
v__SFTMP.bsn	-۱.۴۶۸۴	۱.۰۶۲	-۵.۲۷۸	۰.۰۰۰۰۱
v__SMTMP.bsn	-۱۳.۱۴۸۳	-۶.۷۸۱۴	-۰.۴۷۸	۰.۶۳۵۸
v__SMFMX.bsn	۴.۰۷۰	۵.۷۲۱۷	-۰.۰۷۰	۰.۹۴۴۵
v__SMFMN.bsn	۰.۵۰۹۳	۱.۶۶۱	۱.۳۵۷	۰.۱۸۵۸
v__SURLAG.bsn	۰.۷۵۳۶۴۱	۱.۰۳۴۴۴۹	-۱.۶۶۷	۰.۱۰۷
v__DEEPST.gw	۲۹۲.۷۸۰	۷۵۸.۴۴۴	۱.۱۰۱۶	۰.۲۸
v__GWHT.gw	۰	۵.۸۱۶۴	-۱.۷۲۸	۰.۰۹۵۳
v__RCHRG_DP.gw	۰.۳۳۰۱	۰.۵۴۸۸	۱.۴۶۳۵	۰.۱۵۴۸
v__LAT_TTIME.hru	۰	۴۳.۲۹۳	۰.۶۴۷۹	۰.۵۲۲۴
V__ SOL_K .sol	۰	۱۵۰	۰.۷۴	۰.۶۵
v__ CH_COV۱.rte	-۰.۰۵	۰. ۶	۰.۴۵	۰.۳۲
v__ CH_BNK_KD.rt	۰.۵	۲.۵	۰.۶۵	۰.۴۵
v__ CH_BNK_D۵۰.rte	۲۰	۷۵	۱.۵۸	۰.۳۵
v__ CH_EQN.rte	۰	۲	۰.۲۵	۰.۷۵
v__ LAT_SED.hru	۲۰	۱۸۰	۰.۶۵	۰.۵۲

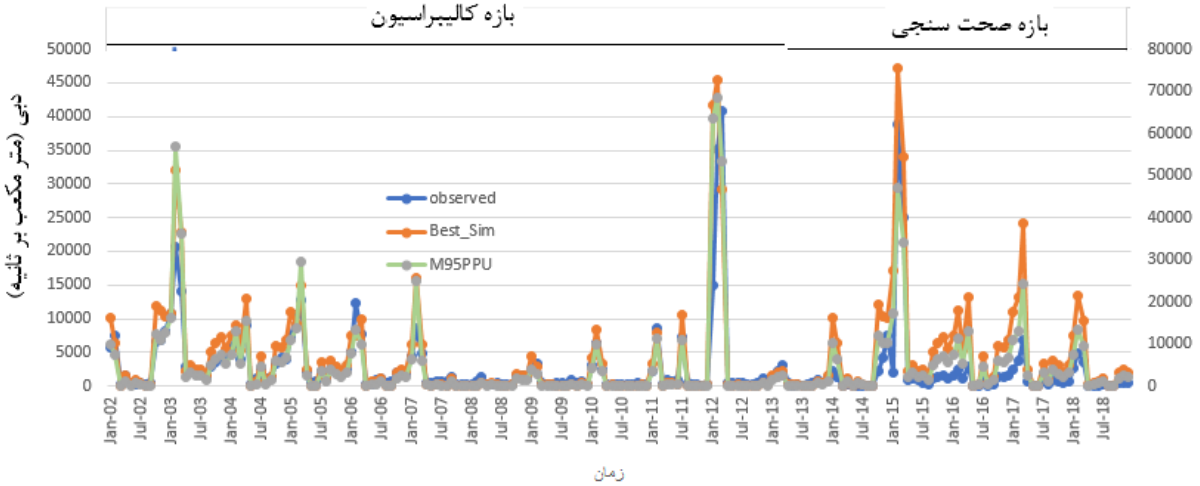
همانطور که در جدول (۱) مشاهده می شود برای هر یک از این پارامترها مقدار t-stat توسط برنامه SUFI2 ارائه شد و بر اساس آنها پارامترهای حساس تعیین شدند. هر چه مقادیر t-stat بالاتر باشد، حساسیت نسبی بیشتر است. از مقادیر P برای تعیین اهمیت حساسیت استفاده می شود، به طوری که هر چه مقادیر P به صفر نزدیکتر شوند، پارامترها اهمیت بیشتری پیدا می کنند (Abbaspour et al. 2007). نتایج تحلیل عدم قطعیت، کالیبراسیون و صحت سنجی همانطور که در جدول (۲) و بر اساس شاخص ارزیابی آماری R^2 و NS مطابق شکل (۳ و۴) به نمایش گذاشته شده است قابل قبول بوده و نشان دهنده کارایی مدل SWAT در شبیه سازی جریان و بار رسوبی منطقه مورد مطالعه است.

جدول(۲): نتایج کالیبراسیون و صحت سنجی دبی و رسوب ایستگاه ماملو

	شاخص مورد ارزیابی			
نوع کالیبراسیون	NS	R^2	p-factor	r-factor
کالیبراسیون جریان	۰/۷۷	۰/۸۹	۰/۲۲	۰/۱۶
صحت سنجی جریان	۰/۶۳	۰/۷۲	۰/۲۳	۰
کالیبراسیون رسوب	۰/۶۷	۰/۸۲	۰/۶۵	۰/۴۲
صحت سنجی رسوب	۰/۵۸	۰/۶۴	۰/۴۲	۰



شکل(۳): نتایج بررسی جریان رودخانه جاجرود براساس آمار ایستگاه ماملو

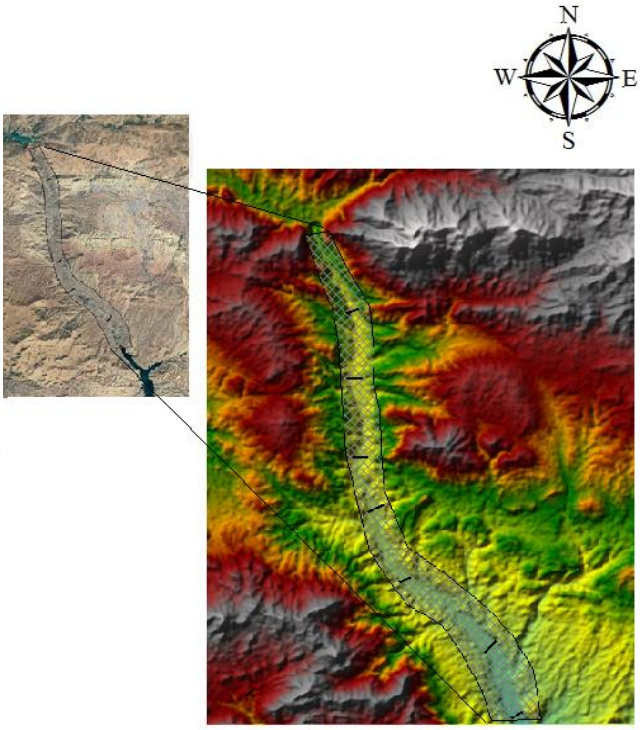


شکل(۴): نتایج بررسی رسوب رودخانه جاجرود براساس آمار ایستگاه ماملو

مدلسازی هیدرولیکی HEC-RAS

در جهت شبیه سازی هیدرولیکی دو بعدی در نرم افزار HEC-RAS ورژن۶ کاربر می بایست اطلاعات دقیقی از تغییرات تراز ارتفاعی DEM، ضریب زبری، نقشه پوشش گیاهی، آمار هیدرولوژیکی به مدل معرفی کند تا بتواند نتایج دقیقی را دریافت نماید (Brunner,2020). مزیت استفاده از مدل‌سازی دو بعدی این است که در هر شبکه ایجاد شده توسط کاربر تغییرات ارتفاع آب را محاسبه نماید (Prestininzi et al,2011. Patel et al,2017). در واقع شبکه ایجاد شده در مدل، یک شبکه چند ضلعی را نشان می‌دهند که در آن هر سلول اطلاعاتی در مورد توپوگرافی زمین ارائه می دهد که هر سلول محاسباتی مشابه هر مقطعی از مدل ۱ بعدی است و برای هر سلول یک جدول خصوصیات شبیه سازی ایجاد می شود (Brunner,2020). نرم افزار HEC-RAS جریان ناپایدار را قادر است به صورت دو بعدی به وسیله دو معادله متمایز شبیه سازی کند: معادله (۱) دو بعدی سنت ونانت، معادلات (۲) و (۳)، معادله موج انتشار (که به عنوان پیش فرض در نرم افزار HEC-RAS تنظیم شده است) استفاده نماید (Mihu-Pintilie et al,2019. Brunner,2020. Patel,2017). انتخاب معادله مناسب برای سناریوی شبیه سازی جریان و پلان هیدرولیکی مختلف، این امکان وجود دارد که کاربر با هر یک از روش ها شروع به شبیه سازی نمایید و نتایج تفسیر کند که براساس آن معادله مناسب انتخاب گردد. اگر تفاوت قابل توجهی بین دو مدل وجود نداشته باشد، کاربر می تواند معادله موج انتشار را ادامه دهد.

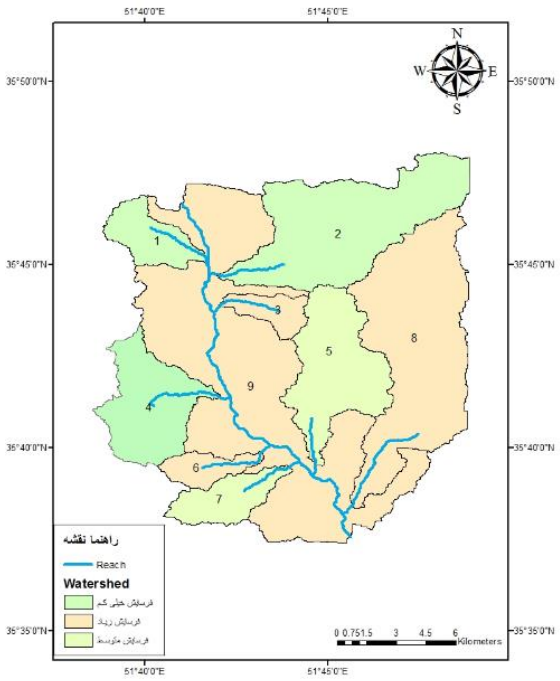
(Brunner,2020). در نرم افزار HEC-RAS با برازش مناسب‌ترین معادله انتقال رسوب، مرتب‌سازی، دانه بندی و روش‌های سرعت سقوط و با تنظیم چگالی رسوب‌ها، به بار رسوب کل اندازه‌گیری شده کالیبره می‌شود. این نرم افزار از ۶ معادله Ackers and White، COPELAND'S FROM OF LAURSEN، MEYER PETER MULLER، TOFFALETI، YANG، WILCOK تشکیل شده است که هر کدام از معادلات بسته به نوع فرایند شبیه سازی کاربرد داشته است. (Brunner,2020.USACE,2010) تغییر ارتفاع بستر و توزیع رسوب در هر گره از تمام مقاطع رودخانه محاسبه می‌شود، که تصویری واضح از فرسایش و رسوب در طول زمان را ممکن می‌سازد (USACE, 2010). در مورد فرایند شبیه سازی در این مطالعه، شبکه‌ای که در جهت ایجاد مش بندی انتخاب گردید در ابعاد ۱۲ در ۱۲ بکار برده شد مطابق شکل (۷) و در جهت تجزیه و تحلیل نتایج تصمیم گرفته شده با استفاده از معادله پیش فرض (معادله موج انتشار دو بعدی) ادامه بدهیم چرا که ویژگی پایداری بیشتر و زمان محاسباتی سریع‌تر را تضمین می‌کند.



شکل(۷) شبکه جریان محدوده مطالعاتی در RAS MAPER

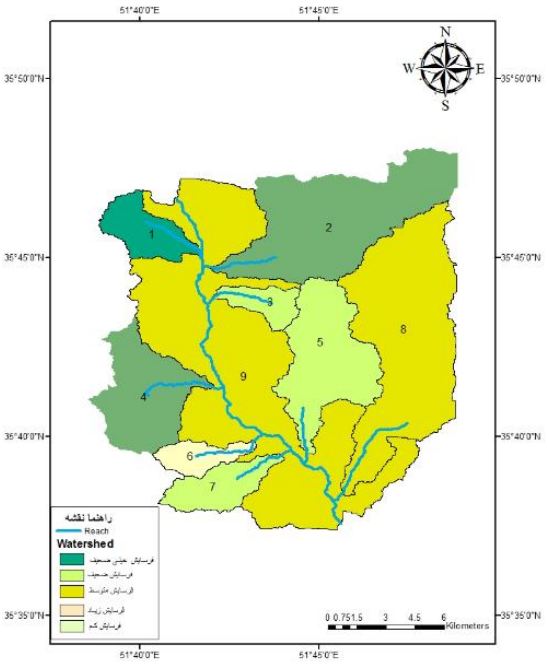
تاثیر اقدامات غیرسازه ای در کاهش فرسایش حوضه با SWAT

در جهت استخراج زیر حوضه های بحرانی منطقه مورد مطالعی در نرم افزار SWAT می بایست ابتدا کالیبراسیون و تحلیل عدم قطعیت مدل SWAT صورت گیرد تا بتوان مناطق حساس به فرسایش پذیری و نقاط بحرانی استخراج گردد. از این رو در جهت بهبود روند کنترل جریان و انتقال رسوب در مدل SWAT اقدامات اصلاح پوشش گیاهی، شخم ردیفی و شیاری در منطقه صورت گرفت تا بتوانیم میزان فرسایش و انتقال رسوب را به شبکه آبراهه رودخانه جاجرود کاهش دهیم. از این رو باتوجه به مطالعات صورت گرفته و نوع پوشش گیاهی حاکم در این منطقه سعی گردید سطح زیر کشت مراتع و بوته زار تبدیل به جنگل با تراکم بالا گردد و همچنین نوع شخم زدن در زمین زراعی تبدیل به شخم های ردیفی و در جهت خلاف جریان تبدیل گردد تا میزان انتقال رسوب کاهش گردد. نتایج حاصل از این تغییرات در شکل (۵ و ۶) در حالت قبل و بعد از اعمال تغییرات ارائه شده است.



شکل(۵): مناطق فرسایش پذیر محدوده مطالعاتی

همانطور که در شکل (۵) مشاهده می شود تعدای از زیر حوضه محدوده مورد مطالعاتی در وضعیت بحرانی قرار داشته اند که به خاطر آسیب پذیر بودن خاک منطقه تراکم کم پوشش گیاهی در این مناطق سبب آسیب پذیر شدن خاک می گردد که این خود یکی از دلیل فرسایش پذیری و انتقال راحت رسوبات به شبکه رودخانه می گردد. در جهت بهبود شرایط و کنترل ذرات رسوبی و مانع از فرسایش پذیری مستقیم خاک در این منطقه سعی گردید در مدل SWAT لایه مرتع، زمین بایر و بوته زار تبدیل به کاربری جنگل و چمنزار گردد که تاثیر تراکم پوشش گیاهی بر کاهش شدت این منطقه نمایان گردد. همانطور که در شکل(۶) مشخص است این فرایند تاثیر مثبت در منطقه داشته است.



شکل(۶) اقدامات پیشگیرانه کنترل فرسایش محدوده مورد مطالعاتی

تجزیه و تحلیل خروجی HEC RAS

در فرایند شبیه سازی سیستم جریان داخل کانال رودخانه، تعداد زیادی از پارامترها می بایست به شکل مناسبی تعریف گردد. مقادیر این پارامترها اغلب فاقد صحت و درستی بوده چرا که نیازمند بررسی و تجزیه تحلیل در مدلسازی است (Brunner,2016). یکی از پارامترهای موثر در این شبیه سازی ضریب زبری مانینگ می باشد که مهم ترین ضریب هیدرولیکی در انواع مطالعات هیدرولیک رودخانه بوده است (Wu et al,2013). در جهت برآورد میزان رنج این ضریب، روابط و جداولی توسط محققین ارائه شده است. به عنوان مثال چاو براساس نوع پوشش گیاهی و وضعیت کانال، بستر و سواحل مقادیر رنج مختلفی را برای ضریب زبری مانینگ در مناطق مختلف ارائه کرده است (chow, 1959).

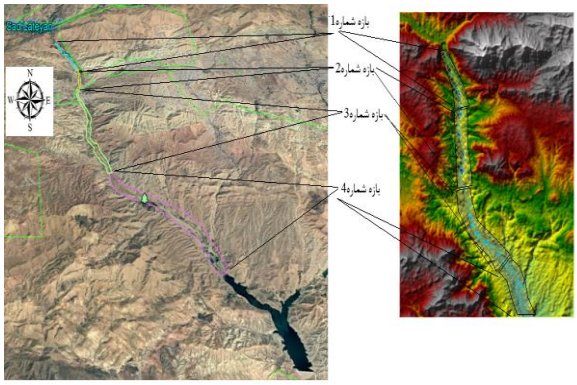
نرم افزار دو بعدی HEC-RAS این قابلیت را دارا می باشد که با استفاده از نقشه تغییرات مقادیر ضریب زبری مانینگ که برگرفته از شیپ فایل پوشش گیاهی در منطقه است در محاسبات جریان و رسوب لحاظ کند (USER MANUAL). نسخه دو بعدی hec ras بر خلاف نسخه های قبل ۵ این قابلیت را دارد که در پنجره ras mapper میزان جریان و پهنه جریان و حتی سیلاب را نمایش بدهد این در حالی بود که در نسخه های دو بعدی قبلا با استفاده از gis وhec geo ras می بایست پهنه سیلاب را در رودخانه جاجرود و سایر رودخانه مشابه استفاده می گردد.

به منظور انجام واسنجی ضریب زبری، باتوجه به قابلیت برنامه HEC RAS در انتخاب شرایط مرزی مختلف، با داشتن دبی جریان در ایستگاه ماملو، مدل با ضرایب زبری و دبی مختلف در حالت غیر ماندگار اجرا شد. سرانجاممطابق جدول (۳) با استخراج میزان جریان دبی در موقعیت محل ایستگاه ماملو در شبکه ایجاد شده مدل، میزان خطای استاندارد شاخص آماری شبیه سازی و مشاهداتی برآورد گردید در بخش واسنجی رسوب، معادلات زیادی برای محاسبه انتقال رسوب ارائه شده است. بسیاری از این معادلات فقط بار بستر، برخی فقط بار معلق و برخی دیگر مجموع بار بستر و بار معلق را تخمین می زنند که به آن بار رسوب می گویند. اکثر این روش ها مبتنی بر عملیات آزمایشگاهی بوده و همواره صحت آنها مورد تردید بوده است. در این تحقیق از معادلات شوکلیچ برای تخمین بار بستر و از معادله اینشتین برای تخمین بار معلق استفاده شد.

جدول(۳): ارزیابی نتایج جریان و رسوب ایستگاه ماملو

شاخص	کالیبراسیون شاخصها			صحت سنجی شاخصها		
مورد ارزیابی	NS	R^2	RMSE	NS	R^2	RMSE
جریان	۰.۷۲	۰.۸۵	۰.۳۲	۰.۶۰	۰.۷۵	۰.۳۷
رسوب	۰.۵۸	۰.۶۸	۰.۴۵	۰.۴۸	۰.۶۱	۰.۵۶

در ادامه باتوجه به هدف این تحقیق و بازدید میدانی از منطقه مطالعاتی براساس نقاط حساس رسوب گذاری و رسوب برداری، منطقه را به ۴ قسمت دسته بندی کردیم. مطابق شکل (۸) چرا که می بایست در راهبرد اقدامات سازه ای تاثیر اقدامات به خوبی نمایان گردد و با این روش بازه زمانی اجرای مدل نیز کاهش می یافت



شکل(۸): بازه بندی منطقه در جهت ارائه راهکارهای سازه ای کنترل رسوب

در جهت دسته بندی با استفاده از نرم‌افزار ArcGIS، محدوده های فرسایش پذیر براساس خروجی swat به۴ قسمت تقسیم شدند تا بتوانیم ضریب زبری مانینگ مرتبط با هر زیرحوضه را مشخص کنیم و به محیط یک شبکه محاسباتی دوبعدی تعریف گردد. با توجه به جدول (۴) و ویژگی‌های n Manning، مجموعه داده استفاده شده n مقدار مانینگ مرتبط با چاو بکاربرده شد. با توجه به مش محاسباتی، RASmapper برای ترسیم یک مش محاسباتی در وضوح فضایی ۱۲×۱۲ متر هر محدوده حوضه در مقیاس بین ۹۸۲۱ تا ۲۱۷۱۷ سلول استفاده شد. نکته پر اهمیت تعریف شرایط مرزی شامل یک مرز ورودی و یک مرز خروجی واقع در خروجی حوضه می باشد. در این مطالعه از آنجایی که می بایست با استفاده از نرم افزار HEC RAS براساس موقعیت محل های بحرانی استخراج شده از نرم افزار SWAT، اقدام به طراحی سازه های کنترل جریان و رسوب می بایست صورت گیرد از این رو قبل از اقدام سازه ای بازه مطالعاتی یکبار بصورت کامل اجرا گشت زیرا می بایست میزان جریان و آورد رسوبی ابتدا کنترل و کالیبره گردد. سپس براساس موقعیت محل های بحرانی بازه مورد مطالعاتی در نرم افزار HEC RAS به چند بخش تقسیم گردید مطابق شکل(۸). که در بازه های مشخص میزان تغییرات جریان و رسوب در محیط HEC RAS استخراج گشته تا بتوانیم میزان دقیق آورد جریان و رسوب به شبکه آبراهه را در هر بخش به درست وارد مدل کنیم و تاثیر سازه طراحی شده را بسنجیم. منظور از طراحی سازه حوضچه های رسوبی بود که بصورت دو سرریز کوتاه در فاصله ۵متری از هم قرار گرفته بودند که آورد ذرات معلق رسوبی به خاطر کند شدن شدت جریان ته نشین می گردد، در بین سرریزها و مانع انتقال آن به پایین دست شد.

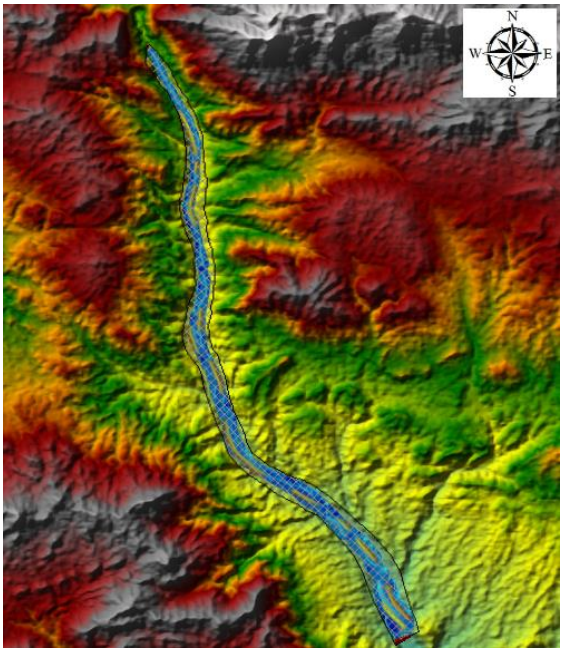
جدول(۴): مقادیر مانینگ مرتبط با کاربری زمین در دوحالت واقعی و پیشنهادی براساس swat

نوع کاربری	ضریب زبری مانینگ					
	پوشش طبیعی			اصلاح پوشش گیاهی		
	حداقل	حداکثر	منتخب	حداقل	حداکثر	
مرتع	۰.۰۲۵	۰.۰۳۵	۰.۰۳	۰.۰۳	۰.۰۳۵	
بایر	۰.۰۲	۰.۰۴	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۴	
زراعی	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۴۵	۰.۰۴۵	۰.۰۵	
جنگل	۰.۱۱	۰.۲	۰.۱۵	۰.۱۵	۰.۲	
بستر رودخانه	۰.۰۲۵	۰.۰۶	۰.۰۳۵	۰.۰۳۵	۰.۰۶	
علفزار	۰.۰۳	۰.۰۵	۰.۰۳۸	۰.۰۳۸	۰.۰۵	

کاربرد راهبردهای سازه ای و غیر سازه ای در اثر تلفیق دو مدل در حوضه جاجرود

یک رویکرد مدل‌سازی یکپارچه SWAT/HEC-RAS می‌تواند بررسی پیوندهای اکوهیدرولوژیکی مکانیکی مبتنی بر رویداد بین سیستم‌های زمینی، دشت سیلابی و کانال را تسهیل کند. درک پیوندهای اکوهیدرولوژیکی مکانیکی مبتنی بر رویداد برای ارزیابی جریان های زیست محیطی معاصر مهم است (Poff, 2018). استفاده از خروجی جریان و رسوب، مدل SWAT کالیبره شده درجهت تخمین داده های ورودی بارندگی موثر در جهت شبیه سازی رفتار جریان و انتقال رسوب در HEC-RAS در محیط شبکه دوبعدی در کار فعلی استفاده شد. از آنجایی که شاخه های فرعی و فصلی در بازه مورد مطالعاتی قرار داشت و هیچ اطلاعاتی از رفتار جریان و رسوبات انتقالی در دسترس نبود از مدل SWAT که یک انتخاب مناسب برای کار فعلی بود استفاده شد، زیرا این مدل برای در نظر گرفتن تمام ورودی‌ها و خروجی‌های اصلی اجزای تعادل آب، از جمله اجزای محدود و نامحدود مربوط به ذخیره‌سازی آب خاک

طراحی شده است (Neitsch et al., 2011). اکنون که HEC-RAS دارای عملکرد مرحله و سرعت دوبعدی است، نقشه‌های تناسب زیستگاه و منطقه قابل استفاده وزنی را می‌توان با استفاده از رویکرد مدل‌سازی یکپارچه SWAT/HEC-RAS در این مطالعه ارزیابی و تخمین زد. همانطور که مشاهده می شود در شکل (۹) تاثیر این راهبرد تلفیق دو مدل هیدرولوژی و هیدرولیکی در محدوده رودخانه جاجرود نشان داد که می توانیم مدیریت صحیح در منطقه داشته باشیم و بتوانیم کنترل جریان و رسوبات انتقالی را انجام بدهیم.



شکل(۹): وضعیت رسوب گذاری در منطقه

نتیجه گیری

نتایج حاصل از این تحقیق نشان می‌دهد که SWAT، یک مدل مناسب در جهت بررسی کنترل جریان و رسوب حوضه بوده به نحوی که با تغییر دادن سطح زیر کشت کاربری اراضی و شیوه‌های مدیریتی در هر یک از زیرحوضه می تواند چه میزان اثر گذاری بر کنترل جریان و فرسایش حوضه داشته باشد. علاوه بر این، در این تحقیق با اعمال سیاست مدیریتی کنترل جریان سازه ای و غیر سازه ای با تلفیق دو مدل SWAT/HEC-RAS کمک شایانی در جهت اعمال سیاست ها و ارائه راهبردی مناسب و کم هزینه به جامعه مهندسین گشت. در حوضه های آبریز ترکیب این دو مدل می‌تواند تلاش‌های سناریوی مدل‌سازی را برای ردیابی اثرات بهترین شیوه‌های مدیریت و همچنین تغییر کاربری اراضی و همچنین تغییر آب و هوا در واکنش‌های جریان‌های زیست‌محیطی مبتنی بر رویداد را فعال کند. در نهایت، مدیران باید مزایای اطلاعات دقیق‌تر (یعنی جریان‌های هیدرودینامیکی دوبعدی مبتنی بر رویداد) را با محدودیت‌های مدل‌سازی ارائه‌شده در این تحقیق به دقت در نظر بگیرند نتایج شبیه سازی شده در مقایسه با داده‌های مشاهده شده و جمع‌آوری شده از محدوده مطالعاتی حوضه در مقیاس تودرتو، تأیید مقیاس‌پذیری مدل را با یک ارزیابی دقیق عملکرد مدل در مقیاس‌های فضایی چندگانه از سرآب تا خروجی حوضه امکان‌پذیر کرد. علاوه بر این، حوضه آبریز مورد مطالعه با شیب،کاربری اراضی زمین که شامل، مرتع، زمین کشاورزی، زمین بایر، مناطق شهری و غیره است و در نتیجه عملکرد مدل در یک حوزه آبخیز با کاربری مخلوط را تأیید کرد. در حالی که HEC-RAS نسخه ۶.۱ برای شبیه سازی جریان ۲ بعدی و رسوب مجهز شده بود که در مطالعات قبل بصورت تک بعدی گاها در مقالات دیده می شد. ماژول های اضافی برای تعیین کمیت مسیریابی جریان و رسوب به ارزیابی های دقیق عملکرد مدل کمیت و کیفیت آب نیاز دارند. راه اندازی و اجرای یک مدل ۲ بعدی HEC-RAS در مقیاس بزرگ در این تحقیق زمان بر بود. در ابتدا، شبیه‌سازی‌های اولیه جریان و رسوب برروی شبکه نشان داد که رسوبات در پشت پل‌ها، پیچ ها رودخانه و دیگر زیرساخت‌های ساخته شده توسط انسان جمع شده است که علت آن بخاطر کاهش سرعت جریان بوده است .

منابع

Arnold J.G., Srinivasan R., Muttiah R.S., and Williams J.R. 1998. Large area hydrologic modeling and assessment part I: model development. Journal of the American Water Resource Association, 34 (1): 73–89.

Abbaspour K.C., Rouholahnejad E., Vaghefi S., Srinivasan R., Yang H., and Klve B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. Journal of Hydrology, 524: 733–752.

Abebe Tadesse.,2021. Assessment of Discharge and Sediment Flows in a River Through a Combined Hydraulic and Hydrologic Routing Technique. research square. 10.21203/rs.3.rs-459084/v2

Arnab Ghosh, Malabika Biswas Roy, Pankaj Kumar Roy, Sanchayan Mukherjee., 2020. Assessing the nature of sediment transport with bridge scour by 1D sediment transport model in the sub-catchment basin of Bhagirathi–Hooghly river. Modeling Earth Systems and Environment.

Abbaspour KC (2007) User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration, and uncertainty analysis programs. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Dübendorf, Switzerland

Brunner, G. W. (2016). HEC-RAS river analysis system 2D modeling user's manual. US Army Corps of Engineers—Hydrologic Engineering Center, 1-171.

Baron, J.S., Poff, N.L., Angermeier, P.L., Dahm, C.N., Gleick, P.H., Hairston, N.G., Jackson, R.B., Johnston, C.A., Richter, B.D., Steinman, A.D., 2002. Meeting ecological and societal needs for freshwater. Ecological Applications, 12(5), 1247– 1260.

Brunner, G.W. Using HEC-RAS for Dam Break Studies. 2014 Available online: https://www.hec.usace.army.mil/publications (accessed on 2 February 2020).

Brunner, G.W.; CEIWR-HEC. HEC-RAS River Analysis System, 2D Modeling User's Manual. Version 5.0. 2016. Available online: https://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/documentation (accessed on 2 February 2020).

Chow.v.t.(1959). Open channel hydraulics, mcgraw-hill, new York,pp.110-113

Carpenter, S.R., Caraco, N.F., Correll, D.L., Howarth, R.W., Sharpley, A.N. and Smith V.H. (1998). Nonpoint pollution of surface waters with phosphorus and nitrogen. Journal of Ecological Applications, 8 (3), 559–560 Deasy,

C., Baxendale, S.A., Heathwaite, A.L., Ridall, G., Hodgkinson, R., Brazier, R.E., 2011. Advancing understanding of runoff and sediment transfers in agricultural catchments through simultaneous observations across scales. Earth Surf. Process. Landforms, 36, 1749–1760.

Duan Z., Song X., and Liu J. 2009. Application of SWAT for sediment yield estimation in a mountainous agricultural basin, In Geoinformatics, 2009 17th International Conference on IEEE. (pp. 1-5).

Guchhait SK, Islam A, Ghosh S, Das BC, Maji NK (2016) Role of hydrological regime and foodplain sediments in channel instability of the Bhagirathi River, Ganga-Brahmaputra Delta, India. Phys Geogr. https://doi.org/10.1080/02723646.2016.1230986

Hosseini SH, Khaleghi MR (2020) Application of SWAT model and SWAT-CUP software in simulation and analysis of sediment uncertainty in arid and semi-arid watersheds (case study: the Zoshk-Abardeh watershed). Model Earth Syst Environ. https ://doi.org/10.1007/s40808-020-00846-2

Haddadchi, A., M.H. Omid and A.A. Dehghani. 2011. Evaluation of Bed Load Discharge Formulas in Alpine Gravel Bed Rivers (Case study: Chehel Chai river in Golestan province). Journal of Water and Soil Conservation, 18: 149-165 (In Persian).

Ijam,A.Z & E.R. Tarawneh (2012). Assessment of sediment yield for Wala dam catchment area in Jordan. European Water. 38: 43-58.

Isaac N, Eldho TI (2016) Sediment management studies of a run-ofthe-river hydroelectric project using numerical and physical model simulation. Int J River Basin Manag 14(2):165–175. https://doi.org/10.1080/15715124.2015.1105234

Jens Kiesel, Britta Schmalz, Gary L. Brown, Nicola Fohrer(2013) Application of a hydrological-hydraulic modelling cascade in lowlands for investigating water and sediment fluxes in catchment, channel and reach. Hydrol. Hydromech., 61, 4, 334–346

Kavian A., Bahrami M., and Rouhani H. 2014. Evaluation of the Efficiency of SWAT Model in Estimating Surface Runoff in kachik Watershed of Golestan Province. Watershed Research (Research and construction). 103. (In Persian)

Keivanlou, M. 2013. Investigation the Impacts of Mining River Materials on Hydraulic Characteristics and Transverse Structures Using a Mathematical Model (Case Study: Talar River). M.Sc. Thesis, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, 120 pp (In Persian).

Khalid K, Ali MF, Abd Rahman NF, Mispan MR, Haron SH, Othman Z, Bachok MF (2016) Sensitivity analysis in the watershed model using SUFI-2 algorithm. International conference on efcient & sustainable water systems management toward worth living development, 2nd EWaS 2016. Procedia Eng 162:441– 447. https://doi.org/10.1016/j.proeng.2016.11.086

Mihu-Pintilie, A.; Cîmpianu, C.I.; Stoleriu, C.C.; Pérez, M.N.; Paveluc, L.E. Using High-Density LiDAR Data and 2D Streamflow Hydraulic Modeling to Improve Urban Flood Hazard Maps: A HEC-RAS Multi-Scenario Approach. Water 2019, 11, 1832. [CrossRef]

Niraula, R., Kalin, L., Srivastava, P. and Anderson Ch. (2013). Identifying critical source areas of nonpoint source pollution with SWAT and GWLF. Journal of Ecological Modelling, 268, 123– 133.

Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry, J. R. Williams and K. W. King. 2002. Soil and water assessment tool: Theoretical documentation. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station

Neitsch SL, Arnold JG, Kiniry JR, Williams JR, King KW (2005) Soil and water assessment tool theoretical documentation—version 2005.In: Soil and Water Research Laboratory, Agricultural Research Service. US Department of Agriculture, Temple

Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., Williams, J. R., 2011. Soil and water assessment tool theoretical documentation version 2009. Texas Water Resources InstituteOchiere HO, Onyando JO, Kamau DN (2015) Simulation of sediment transport in the canal using the hec-ras (hydrologic engineering centre–river analysis system). In an Underground Canal in Southwest Kano Irrigation Scheme–Kenya. Int J Eng Sci Invent 4(9):15–31

Pathan AI, Agnihotri PG (2020) Application of new HEC-RAS version 5 for 1D hydrodynamic food modeling with special reference through geospatial techniques: a case of River Purna at Navsari, Gujarat, India. Model Earth Syst Environ. https://doi. org/10.1007/s40808-020-00961-0

Patel, D.P.; Ramirez, J.A.; Srivastava, P.K.; Bray, M.; Han, D. Assessment of flood inundation mapping of Surat city by coupled 1D/2D hydrodynamic modeling: A case application of the new HEC-RAS 5. Nat. Hazards 2017, 89, 93–130. [CrossRef]

Prestininzi, P.; Di Baldassarre, G.; Schumann, G.; Bates, P. Selecting the appropriate hydraulic model structure using low-resolution satellite imagery. Adv. Water Resour. 2011, 34, 38–46. [CrossRef]

Patel, D.P.; Ramirez, J.A.; Srivastava, P.K.; Bray, M.; Han, D. Assessment of flood inundation mapping of Surat city by coupled 1D/2D hydrodynamic modeling: A case application of the new HEC-RAS 5. Nat. Hazards 2017, 89, 93–130. [CrossRef]

Rostamian R., Jaleh A., Afyuni M., Mousavi S. F., Heidarpour M., Jalalian A., and Abbaspour K. C. 2008. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. Hydrological Sciences Journal, 53 (5): 977-988.

Shen, Z.Y., Liao, Q., Hong, Q. and Gong, Y.W. (2012). An overview of research on agriculture non-point source pollution modeling in china. Purif. Journal of Technology ,84, 104-111.

Singh, V.P., 1995. Watershed modeling. Singh, V.P. ed., Computer Models of Watershed Hydrology (1st Edition), 1-22. Highlands Ranch, Colorado: Water Resources Publications.

Shimelis, G., Setegn, R., Srinivasan, A., Melesse, M., Bijan, D., 2010. SWAT model application and prediction uncertainty analysis in the Lake Tana Basin, Ethiopia, Hydrol. Process. 24, 357–367.

Scavia, D., Allan, J. D., Arend, K.K., Bartell, S., Beletsky, D., Bosch, N., Brandt, S. B., Briland, R .D., Daloğlu, I., DePinto, J. V., Dolan, D. M., Anne Evans, M., Farmer, T.M., Goto, D., Han, H., Höök, T.O., Knight, R., Ludsin, S. A., Mason, D., Michalak, A. M., Richards, R. P., Roberts, J.J., Rucinski, D. K., Rutherford, E., Schwab, D. J., Sesterhenn, T. M., Zhang, H. and Zhou, Y. (2014). Assessing and addressing the reeutrophication of Lake Erie: Central basin hypoxia. Journal of Great Lakes Research, 40, 226-246.

Singh AK, Kumar S, Naithani S (2020) Modelling runof and sediment yield using GeoWEPP: a study in a watershed of lesser Himalayan landscape, India. Model Earth Syst Environ. https:// doi.org/10.1007/s40808-020-00964-x

Shamshirband S, Jafari Nodoushan E, Adolf J, Abdul Manaf A (2019) Ensemble models with uncertainty analysis for multiday ahead forecasting of chlorophyll a concentration in coastal waters. Eng Appl Comput Fluid Mech 13(1):91–101. https:// doi.org/10.1080/19942060.2018.1553742

Tolson, B. A. and C. A. Shoemaker. 2004. Watershed modeling of the Cannonsville basin using SWAT2000: Model development, calibration and validation for the prediction of flow, sediment and phosphorus transport to the Cannonsville reservoir. Technical Report, School of Civil and Environmental Engineering, Cornell Univ., Ithaca, N. Y.

Uri, N.D., 2000. Agriculture and the environment – the problem of soil erosion. Journal of Sustainable Agriculture, 16(4), 71–94.

Veihe, A., Jensen, N.H., Schiotz, I.G., Nielsen, S.L., 2011. Magnitude and processes of bank erosion at a small stream in Denmark. Hydrological Processes, 25, 1597–1613.

Wu, Y. and Chen, J.(2013). Investigating the effects of point source and nonpoint source pollution on the water quality of the East River (Dongjiang) in South China. Journal of Ecological Indicators, 32, 294– 304.

Wischmeier WH, Smith DD (1978) Predicting rainfall erosion losses—a guide for conservation planning. U.S. Department of Agriculture, Agriculture Handbook, vol 537

YOUNES KAZEMI, ALI SALAJEGHEH, MOHAMMAD MAHDAVI, NOREDIN ROSTAMI.2011. ESTIMATING THE BED LOAD TO SUSPENDED LOAD RATIO IN CENTRAL ALBORZ RIVERS; IRAN (CASE STUDY: TALEGHAN AND JAJROUD RIVERS). International Journal of Agriculture: Research and Review. Vol., 1 (1), 44-47, 2011