

Research Paper

Evaluation of SWAT hydrological model, in climatic conditions, Tajen watershed

Rahman Ali Haqshana Getabi¹,Sadraddin Motavalli^{2*},Gholamreza Janbaz Ghobadi³Hadi razzagian⁴, babak momeni⁵

¹Ph.D. student of Hydrology and Meteorology, Islamic Azad University, Noor Branch - Noor - Iran

²Associate Professor, Department of Natural Geography, Islamic Azad University, Noor Branch - Noor - Iran

³Associate Professor, Department of Natural Geography, Islamic Azad University, Noor Branch - Noor - Ira

⁴Assistant Professor, Department of Agriculture and Natural Resources, Payam Noor University, Tehran, Iran

⁵Assistant Professor, Department of Water Sciences and Engineering - Water Structures, Payam Nursari University, Sari, Iran.



10.22125/IWE.2023.365708.1679

Received:

August 1, 2023

Accepted:

December 25, 2023

Available online:

May 5, 2024

Keywords:

SWAT hydrological model, climatic conditions, Tajen watershed.

Abstract

SWAT hydrological models are one of the methods of estimating runoff obtained from rainfall at points without hydrometric stations. In other words, by simulating the process of converting precipitation into runoff, these models are able to estimate the amount of runoff in watersheds without measuring stations with the least possible time and cost.

Based on this, the current study has been conducted with the aim of evaluating the power of the SWAT hydrological model in climatic conditions and simulating the outflow of rivers in the Tajen watershed and comparing it with observations. The most important data used in the research include vegetation, altitude classes, slope, climate data (wind, rain, maximum temperature, minimum temperature), climate changes and climate change conditions, etc.

The results of this study show that the error rate of the LARS-WG hydrological model in climate conditions and in the simulation of runoff and average daily discharge was very low, so that the Nash-Sutcliffe coefficient of the simulated daily discharge compared to the observed discharge in the period from 1998 to 2014, during calibration, was more than 0.50, which after re-optimization Soil parameters, this coefficient was obtained in the validation stage (2018-2014) above 0.74 for daily discharge. And this is an indication of the low level of model error in simulating the outflow of the watershed.

1. Introduction

Today, due to population growth, increase in demand and encroachment on floodplains, especially the banks of main rivers, the importance of studying the runoff, volume of water obtained, caused by climate changes and climate change conditions has increased. Since in watersheds, it is not possible that all the parameters and quantities can be used to check the response of the watershed, therefore, choosing a model that can

* **Corresponding Author:** Sadraddin motavalli

Islamic Azad University, Noor Branch -
Noor - Iran

Email: sadr_m1970@yahoo.com

Tel: Number

provide an acceptable prediction and evaluation while having a suitable structure, using the minimum required input information, seems essential. Iran, as one of the regions with special climatic conditions, has witnessed the severe effects of climate change and climate change conditions in recent decades, and in most cases these effects have been manifested in the form of drought and lack of water resources. Mazandaran province, as one of the regions with a pleasant climate in Iran, is among the regions that have been greatly affected by climate change and its consequences, including migration, in the last few decades, causing pressure on the water resources of this region and in some cases There is a lack of water resources, in between rainfall-runoff models, integrated hydrological models and IHECRAS, due to the little data required without spending a lot of time and money to prepare data, it can easily be used in many watersheds with different climatic and hydrological conditions. According to what was mentioned, the aim of the current study is to evaluate the climate change situation, climate change conditions, simulation and surface currents of the Tajen watershed.

2. Materials and Methods

Study area

Tajen watershed is located in Mazandaran province in the north of Iran. This basin is about 170 km long and the area of this watershed is about 4147 square kilometers. In terms of political divisions, except for Sari city, and in terms of geographical location, this basin is located at 36 degrees 14 minutes east longitude and 36 degrees 14 minutes latitude, from the north to the Caspian Sea, from the east to the Neka River basin, from the west to Siahroud river basin, and is limited from the south to the northern slopes of the Alborz Mountain range. In terms of physiographic characteristics, Tejn watershed has six sub-basins named Shirin Rood, Chahardange, Dodange Sefidrood, Zarmrood and Lajim. This area is mainly composed of waterways and rivers, of which the Tajen River is one of the most important

Research Methodology

The current research is applied in terms of purpose and based on the method of descriptive data collection and historical recorded data collection. In this research, the hydrological hydrological model and climate changes are used to estimate the outflow of Tajen watershed. The meteorological data used in this research are from the meteorological database of the Meteorological Organization in the period (1998 to 2020) on a daily basis. Other information used, such as vegetation, soil, are from the collection of the library. In order to calibrate the hydrological model and climate change conditions, the daily data recorded at the hydrometric station in each sub-catchment from 1998-2020 have been used. In this research, the Sutcliffe index and the coefficient of explanation have been used to investigate the performance of the hydrological model and climate change conditions in the simulation of runoff.

Hydrological model

ArcSWAT software is a graphical interface for the hydrological model, which as an auxiliary software has the ability to run in ArcMap software, which is one of the GIS software series. In fact, when working with the ArcSWAT model for simulation and modeling, all work steps will be done in the ArcMap software environment. Using the GIS environment for modeling by hydrological software provides the possibility of using maps and thematic data in a wide and appropriate manner.

3. Results

The calibration of the hydrological model for sub-basins indicates the high accuracy of this model in simulating surface runoff flows. To be more precise, the comparison of slope flows with the observed discharges of 8 stations shows that the Nash coefficient of the simulated discharges compared to the observed discharges, except for 2 stations (Vasta and Kercha), was more than 0.5. Meanwhile, the highest level of accuracy is assigned to Verand station with Nash coefficient (0.72) and explanation coefficient (0.89). Also, the two stations of Rigcheshme and Abad with Nash coefficients (0.66-0.67) and explanatory coefficients (0.76-0.8) are among the other stations with high coefficient of simulation accuracy in this basin. The lowest

simulation accuracy of the model is assigned to two stations (Vasta and Kercha) with Nash coefficients (0.49-0.48) and Tabbin coefficients (0.65-0.66).

Examining the output hydrographs from the validation of the model and climate changes shows that the selection of optimal values after model recalibration by the SUFI2 program had a significant effect on increasing the accuracy of the model outputs during validation, so that the Nash coefficient in most stations is more than 0.7. More precisely, the calculation of Nash coefficients and the explanation resulting from the validation of the model shows that Vasta station has the highest accuracy in model simulation with Nash coefficient (0.91) and explanation coefficient (0.97). Also, the lowest level of accuracy in the validation stage is assigned to the station (Rig Cheshme) with Nash and explanatory coefficients (0.69 and 0.72).

4. Discussion and Conclusion

The results of the investigations showed that the model has high accuracy in simulating the runoff exiting the watershed due to the use of many parameters that are effective on the surface flows, so that the Nash-Sutcliffe coefficient, which is one of the most important tests for verifying surface runoff It is more than 0.50 during recalibration, and after re-optimization of soil parameters, this coefficient was found to be above 0.74 for daily discharge in the verification stage. And this itself indicates the low level of model error in simulating the watershed's output runoff. Finally, it can be acknowledged that the hydrological model of changes and conditions of climate change by combining remote sensing and GIS techniques can provide a good view of the water resources situation in a basin in a different time frame.

5. Six important references

Conflict of Interest

- 1) Roozbahani, A., Ghased, H., Hashemy Shahedany, M. 2020. Inter-basin water transfer planning with grey COPRAS and fuzzy COPRAS techniques: A case study in Iranian Central Plateau
- 2) Maknoon, R., Kazem, M., Hasanzadeh, M. 2012. Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4, 750-758 doi:10.4236/jwarp.2012.49085 Published Online September 2012
- 3) Enze, Z., Xinan, Y., Zhihao, X., Zhifeng, Y. 2008. Bottom-up quantification of inter-basin water transfer vulnerability to climate change.
- 4) Ashidayan, M., Ziyatbar Ahmadi, M., Fazl Oli, R., Sha'bani, A., 2012. Investigating the effect of climate change on the water resources of Tajen plain watershed in Mazandaran province. The 5th Iran Water Resources Management Conference
- 5) (<http://www.SciRP.org/journal/jwarp>) Inter-Basin Water Transfer Projects and Climate Change: The Role of Allocation Protocols in Economic Efficiency of the Project. Case Study: Dez to Qomrood Inter-Basin Water Transmission Project (Iran)
- 6) Khazaei, M.R., Zahabiyoun, B., Saghafian B., 2011. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model, International Journal of Climatology, 10:1002-1012

Conflict of Interest

Authors declared no conflict of interest.

ارزیابی مدل هیدرولوژیکی SWAT، در شرایط اقلیم، حوزه آبخیز تجن

رحمان علی حق شناس کتابی^۱، صدراالدین متولی^{۲*}، غلامرضا جانباز قبادی^۳، هادی رزاقیان^۴، بابک مومنی^۵

تاریخ ارسال: ۱۴۰۲/۰۵/۱۰

تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۱۰/۰۴

مقاله پژوهشی

چکیده

مدل‌های هیدرولوژیکی SWAT، یک یاروش‌های برآورد رواناب به دست آمده از بارندگی در نقاط فاقد ایستگاه هیدرومتری می‌باشند. به بیان دیگر این مدل‌ها با شبیه‌سازی فرایند تبدیل بارش به رواناب قادر به تخمین میزان رواناب حوزه‌های آبریز فاقد ایستگاه اندازه‌گیری با کمترین زمان و هزینه ممکن می‌باشند. بر همین اساس مطالعه حاضر با هدف ارزیابی توان مدل هیدرولوژیکی SWAT در شرایط اقلیمی و در شبیه‌سازی رواناب خروجی رودخانه‌های حوزه آبخیز تجن و مقایسه آن با دبی مشاهداتی صورت گرفته است. مهمترین داده‌های مورد استفاده در پژوهش شامل، پوشش گیاهی، طبقات ارتفاعی، شیب، داده‌های اقلیمی (باد، بارش، بیشینه دما، کمینه دما)، تغییرات اقلیم و نیز شرایط تغییر اقلیم و... می‌باشد. نتایج بررسی هانشان می‌دهد که میزان خطای مدل هیدرولوژیکی LARS-WG در شرایط اقلیم و در شبیه‌سازی رواناب خروجی و میانگین دبی روزانه بسیار پایین بوده است به طوری که ضریب ضریب - ساتکلیف دبی شبیه‌سازی شده روزانه در برابر دبی مشاهداتی در بازه زمانی ۱۹۹۸ الی ۲۰۱۴، در هنگام واسنجی بیش از ۰/۵۰ بوده است که پس از بازبهبود سازی پارامترهای خاک این ضریب در مرحله صحت سنجی (۲۰۱۴ - ۲۰۱۸) بالای ۰/۷۴ برای دبی روزانه بدست آمد. و این خود نشانگر پایین بودن میزان خطای مدل در شبیه‌سازی رواناب خروجی حوزه آبخیز می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل هیدرولوژیکی SWAT، شرایط اقلیم، حوزه آبخیز تجن.

^۱ دانشجوی دوره دکترای رشته آب و هواشناسی دانشگاه آزاد اسلامی نور، نور، ایران. Email: Hrahmanli@yahoo.com

^۲ دانشیار گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران. Email: sadr_m1970@yahoo.com (نویسنده مسول)

^۳ استادیار گروه جغرافیای دانشگاه آزاد اسلامی واحد نور، نور، ایران. Email: gghobadi@yahoo.com

^۴ استادیار گروه علوم و مهندسی آبخیز دانشگاه پیام نور واحد مرکز ساری، ساری، ایران. Email: hrzazaghian@yahoo.com

^۵ استادیار گروه علوم و مهندسی آب - سازه‌های آبی دانشگاه پیام نور واحد مرکز ساری، ساری، ایران. Email: babakmoumeni@pnu.ac.ir



مقدمه

امروزه به دلیل رشد جمعیت، افزایش تقاضا و تجاوز به دشت های سیلابی بخصوص حاشیه رودخانه های اصلی اهمیت مطالعه در زمینه رواناب، حجم آب به دست آمده، ناشی از تغییرات اقلیم و نیز شرایط تغییر اقلیمی افزایش یافته است. در جهت بررسی این عوامل روش های مختلفی در راستای تجزیه و تحلیل بارندگی، رواناب و تغییر اقلیم و شرایط تغییرات اقلیمی ارائه شده است که با گذشت زمان، این روش ها بهبود یافته و نتایج دقیق تری را ارائه می دهند (داستیو همکاران، ۲۰۱۴). مدل سازی هیدرولوژی در جهت نمایش رفتار جریان بامدلهای بارش رواناب از محورهای اصلی علم هیدرولوژی است (رواسو کاوه همکاران، ۲۰۱۴). امروزه از نرم افزارها و روابط تجربی هیدرولوژیکی به طور گسترده و برای مقاصد مختلف (هرناندز و همکاران، ۲۰۱۳) از جمله استخراج و پیش بینی جریان آینده حوضه (کروکوه همکاران، ۲۰۰۵)، ارزیابی پاسخ حوضه به نوسانات اقلیمی (اکان و فیستیکوگلو، ۲۰۱۴). در چهار دهه گذشته به طور فزاینده ای توسعه داده شده و مورد استفاده قرار گرفته است (خزائی و همکاران، ۱۳۹۴). فرآیند تغییر اقلیم بویژه تغییرات دما و بارش مهم ترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می باشد. این پدیده بدلیل ابعاد علمی و کاربردی (اثرات محیطی و اقتصادی - اجتماعی) آن از اهمیت فزاینده ای برخوردار است؛ چراکه سیستم های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم طراحی شده و عمل می نمایند (خزانه داری و همکاران، ۱۳۹۱). که یکی از مهمترین اثرات آن تأثیر بر منابع آب سطحی می باشد. تا کنون مطالعات ملی و بین المللی در حیطه ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب و یا شبیه سازی جریانات سطحی صورت گرفته است که در ادامه به چند مورد به صورت خلاصه اشاره می شود؛ حسینی و خالقی (۲۰۲۰) عملکرد مدل ارزیاب آب و خاک (مدل هیدرولوژیکی) در شبیه سازی جریان

رسوب و همچنین عدم قطعیت مدل در مناطق حوضه آبریز خشک و نیمه خشک را بررسی کردند، نتایج بررسی ها نتایج نشان دهنده کارایی قابل قبول مدل هیدرولوژیکی در شبیه سازی بار رسوب منطقه مورد مطالعه است. چنان همکاران (۲۰۱۹)، در پژوهشی با عنوان کاربرد مدل تلفیقی MODFLOW - مدل هیدرولوژیکی برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییر اقلیم و شرایط تغییرات اقلیمی و برداشت آب بر روی تعاملات آبریز زمینی نتایج نشان داد که تبادل آب زیرزمینی و سطحی (gw - sw) در مناطق بالادست بیشترین نوسان را بین ماه های مرطوب و خشک تحت شرایط تاریخی داشته است. طالبی و همکاران (۲۰۱۹) در این تحقیق، معادله تعادل آب استفاده از مدل هیدرولوژیکی LARS-WG در حوضه آبخیز درونگار (شمال شرقی ایران)، شرایط تغییر اقلیم را شبیه سازی شد و مسیر جریان آبریز سطحی شناسایی شد. با ادامه دادن وزن به یک فرآیند شبکه تحلیلی ۱۱ لایه (ANP) پتانسیل مناسب برای ساخت سدهای زیرزمینی تعیین شد. نتایج مدل ANP نشان داد که این امر برای تعیین میزان جریان زیر سطحی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و تغییر اقلیم ضروری است. به علاوه حجم ذخایر و حجم رواناب به ترتیب با وزن ۰.۱۰۹ و ۰.۱۰۱ از عوامل دیگر مهم تر هستند. در نتیجه هرچه جریان زیر سطحی بالاتر باشد از اهمیت بیشتری برخوردار است. برزویی و همکاران (۲۰۱۸)، مدل سازی راهبردهای سازگاری پایدار برای کشاورزی هوشمند آب و هوادر حوضه مدیترانه تحت سناریوهای تغییر اقلیم و شرایط تغییر اقلیم طرح ریزی شده با استفاده از مدل هیدرولوژیکی و تغییر اقلیم را شبیه سازی نمودند. نتایج مطالعه نشان داد منطقه مطالعاتی کاهش مهم بارش و افزایش دما در دوره ۲۰۳۱ تا ۲۰۵۰ را تجربه خواهد کرد. در حدود ۲۶.۴ درصد (۲.۸۹±) کاهش بازدهی آب حوضه و بالاتر ۴۴.۷ درصد (۹.۰۳±) افت آب محصولات در پی آن پیش بینی شده بود. با توجه به تغییرات ذکر شده، امروزه استفاده از

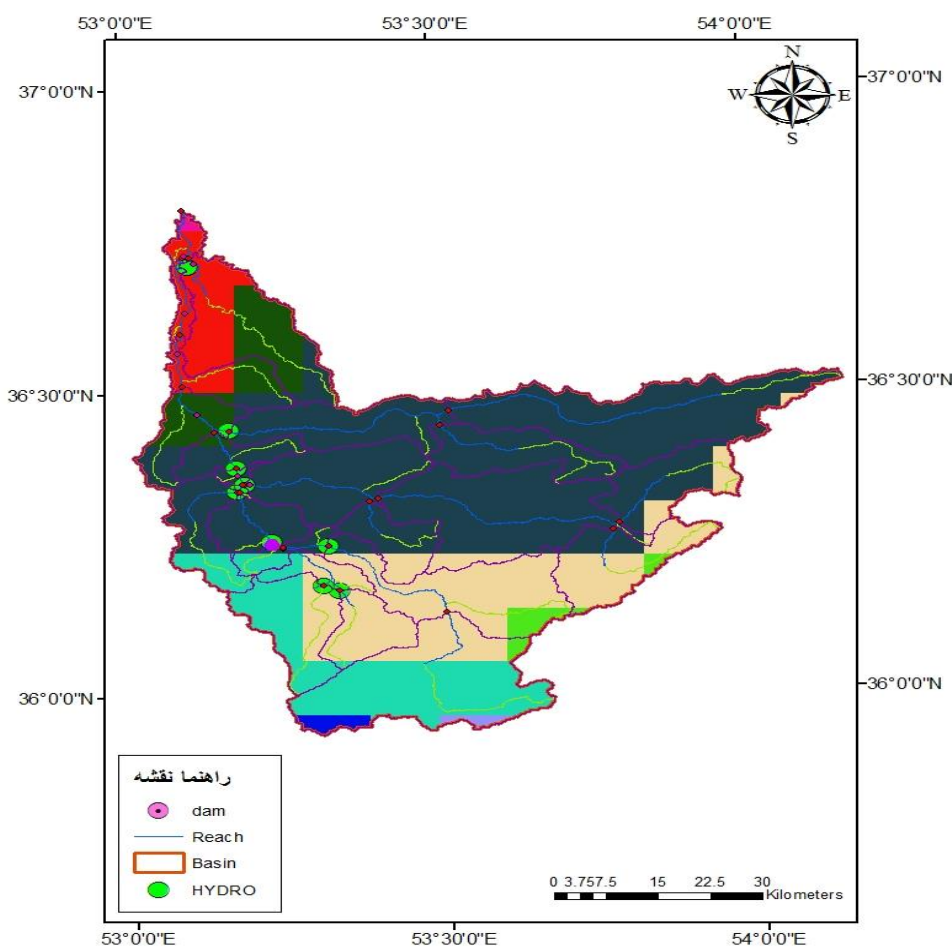
قابلیت‌های مدل‌های عددی در شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی و شرایط تغییر اقلیمی دارای اهمیت است. چنانچه قابلیت‌ها و کارایی این مدل‌ها برای منطقه مورد مطالعه تأیید قرار گیرد، می‌توان از آن‌ها به عنوان ابزاری برای مدیریت منابع آب و خاک استفاده کرد. در این بین مدل‌های بارش-رواناب مدل‌های یکپارچه هیدرولوژیکی و IHECRAS به دلیل داده‌های اندک مورد نیاز بدون صرف زمان و هزینه زیاد برای تهیه داده‌ها، به آسانی می‌تواند در بسیاری از حوزه‌های آبخیز با شرایط اقلیمی و هیدرولوژی مختلف به کار برده شوند (رواسوکا، ۲۰۱۴، هرناندز و همکاران، ۲۰۱۳، آرنولد، ۲۰۱۷). با توجه به آنچه ذکر گردید هدف مطالعه حاضر ارزیابی وضعیت تغییرات اقلیمی، شرایط تغییرات اقلیمی، شبیه‌سازی و جریانات سطحی حوزه آبخیز تجن می‌باشد.

مواد و روش

محدوده مورد مطالعه

حوزه آبخیز تجن در استان مازندران در شمال ایران واقع گردیده است. این حوضه در حدود ۱۷۰ کیلومتر طول دارد و مساحت این حوزه آبریز در حدود ۴۱۴۷ کیلومتر مربع می‌باشد. این حوضه از نظر تقسیمات سیاسی جز شهرستان ساری و از نظر موقعیت جغرافیایی در طول جغرافیایی ۳۶ درجه و ۱۴ دقیقه شرقی و عرض جغرافیایی ۵۳ درجه و ۱۴ دقیقه بوده است که از شمال به دریای خزر، از شرق به حوضه رودخانه نکا، از غرب به حوضه رودخانه سیاه‌رود، و از جنوب به دامنه‌های شمالی رشته کوه البرز محدود شده است. از لحاظ خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبریز تجن دارای شش زیر حوضه با نام‌های شیرین رود، چهاردانگه، دودانگه سفیدرود، زارم‌رود و لاجیم می‌باشد. این منطقه عمدتاً از آبراه‌ها و رودخانه‌ها تشکیل شده است که رودخانه تجن از مهم‌ترین آن‌هاست (شکل ۱).

مدل‌های گوناگون جهت شبیه‌سازی و مدیریت صحیح منابع آب بسیار متداول بوده و امری ضروری به نظر می‌رسد. از آنجاکه درحوزه‌های آبخیز، این امکان وجود ندارد که تمام پارامترها و کمیت‌های برای بررسی پاسخ حوضه میسر نیست لذا انتخاب مدلی که بتواند در عین ساختار مناسب، بهره‌گیری از حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز، پیش‌بینی و ارزیابی قابل قبول ارائه دهد امری ضروری به نظر می‌رسد. کشور ایران به عنوان یکی از مناطق با شرایط اقلیمی خاص، در دهه‌های اخیر شاهد اثرات شدید تغییرات اقلیمی و شرایط تغییر اقلیم بوده و در بیشتر موارد این اثرات به صورت خشکسالی و کمبود منابع آب نمایان گشته است. استان مازندران به عنوان یکی از مناطق خوش آب و هوای ایران، از جمله مناطقی می‌باشد که در چند دهه اخیر از تغییرات اقلیمی و پیامدهای ناشی از آن از جمله مهاجرت تأثیرات زیادی گرفته به طوریکه باعث ایجاد فشار بر منابع آبی این منطقه و در بعضی موارد کمبود منابع آب شده است. استان مازندران در بخش جنوبی دریای خزر، با وسعت ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع شامل حدود سی حوزه آبخیز کوچک و بزرگ می‌باشد. جلگه‌های ساحلی مازندران حدود ۳۰ درصد از مساحت آن را در برمی‌گیرد (سلیمانی، ۱۳۸۶). بخش عظیمی از رودخانه‌های استان از جمله رودخانه تجن در دیگر فصول سال جاری است که بدون استفاده به دریا می‌ریزد و از این راه بخش وسیعی از اراضی از کشت آبی محروم و یا اصلاً مجال کشت نمی‌یابند. نقش حیاتی آب و تأثیر چشمگیر آن در برنامه‌ریزی مدیریت منابع آب کشور موجب می‌شود تا منابع آب سطحی و زیرزمینی کنترل کیفی و کمی شده، ذخیره‌سازی شود. همانطور که قبلاً نیز ذکر گردید لزوم مدیریت صحیح این منابع آب، داشتن اطلاعات درست و کافی از میزان آب موجود و قابل دسترس می‌باشد، با توجه به نبود برنامه‌های پایش کافی و باکیفیت، استفاده از



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

سایر اطلاعات مورد استفاده از جمله پوشش گیاهی، خاک از مجموعه کتابخانه‌ای پوشش می‌باشند. به منظور واسنجی مدل هیدرولوژیکی و شرایط تغییرات اقلیمی از داده‌های روزانه ثبت شده ایستگاه هیدرومتری در هر زیرحوزه آبریز از بازه زمانی ۱۹۹۸ - ۲۰۲۰ استفاده شده است. در این پژوهش جهت بررسی عملکرد مدل هیدرولوژیکی و تغییرات اقلیم و شرایط تغییر اقلیم در شبیه‌سازی رواناب خروجی از شاخصش - ساتکلیف و ضریب تبیین استفاده شده است.

مدل هیدرولوژیکی

نرم‌افزار ArcSWAT یک رابط گرافیکی برای مدل هیدرولوژیکی می‌باشد که به عنوان یک نرم‌افزار کمکی

روش تحقیق

پژوهش حاضر از لحاظ هدف، کاربردی و براساس نحوه گردآوری داده‌های از نوع توصیفی و جمع آوری داده‌های ثبت شده تاریخی می‌باشد. در این تحقیق از مدل هیدرولوژیکی هیدرولوژیکی و تغییرات اقلیمی جهت برآورد رواناب خروجی حوزه آبخیز تجن استفاده می‌شود. داده‌های هواشناسی مورد استفاده در این پژوهش از پایگاه داده‌های هواشناسی سازمان هواشناسی در بازه زمانی (۱۹۹۸ الی ۲۰۲۰) به صورت روزانه می‌باشند.

SW_t : مقدار فعلی آب در خاک (برحسب میلی‌متر آب)

SW_0 : مقدار اولیه آب در خاک (برحسب میلی‌متر آب)

R_{day} : مقدار بارندگی در روز Δt (برحسب میلی‌متر آب)

Q_{surf} : مقدار رواناب در روز Δt (برحسب میلی‌متر آب)

E_a : مقدار تبخیر و تعرق در روز Δt (برحسب میلی‌متر آب)

E_a : مقدار تبخیر و تعرق روزانه در روز Δt (برحسب میلی‌متر آب)

W_{seep} : مقدار آب وارده شده از پروفیل خاک به ناحیه غیر اشباع در روز Δt (برحسب میلی‌متر آب)

Q_{gw} : مقدار جریان برگشتی در روز Δt (برحسب میلی‌متر آب)

مدل SWAT علاوه بر تعیین مقدار آب، آفت‌کش‌ها، رسوب و عناصر غذایی ورودی به آبراهه چگونگی حرکت آن‌ها در شبکه آبراهه‌ای حوزه آبخیز را نیز روندیابی می‌کند (بسالت‌پور و حسین‌زاده، ۱۳۹۴).

روندیابی جریان آب
جریان شبیه‌سازی شده و تغییرات اقلیمی و شرایط تغییر اقلیم در مدل برای هر زیر حوضه به وسیله شبکه رودخانه‌های حوضه اصلی روندیابی می‌گردد. مدل هیدرولوژیکی و شرایط تغییر اقلیم از معادله مانینگ برای تعریف شدت و سرعت جریان باد استفاده شده و آب در شبکه آبراهه به دو روش روندیابی ذخیره متغیر ۱ و روش ماسکینگ روندیابی می‌کند. هر دو روش تغییرات مدل موج جنبشی هستند (بسالت‌پور و حسین‌زاده، ۱۳۹۴).

مدل هیدرولوژیکی از روش‌های گرین - آمپ و شماره منحنی SCS رواناب سطحی را شبیه‌سازی می‌کند. در

توانایی اجرا شدن در نرم‌افزار ArcMap، که از سری نرم‌افزارهای GIS می‌باشد را دارد. در واقع هنگام کار با مدل ArcSWAT برای شبیه‌سازی و مدل‌سازی تمام مراحل انجام کار در محیط نرم‌افزار ArcMap انجام خواهد شد. استفاده از محیط GIS برای مدل‌سازی توسط نرم‌افزار هیدرولوژیکی امکان استفاده از نقشه‌ها و داده‌های موضوعی را به صورت گسترده و مناسبی فراهم می‌کند. این مدل هیدرولوژیکی قادر است که برای حوضه‌ها در مقیاس بزرگ و با صرف هزینه کم و زمان کوتاه، پارامترهای گوناگونی در شرایط تغییرات اقلیمی را با جزئیات زیاد شبیه‌سازی نماید. هیدرولوژیکی می‌تواند اثرات بلند مدت پارامترها را در حوضه و تحت سناریوهای مختلف اقلیمی RCP2.6، RCP4.5 و RCP8.5 در سال‌های ۲۰۳۰-۲۰۵۰ به خوبی شبیه‌سازی نماید. این مدل از نظر زمانی پیوسته و برای مدل‌سازی‌های بلند مدت می‌باشد و برای شبیه‌سازی رخداد‌های سیلابی منفرد طراحی نشده است (جباری و همکاران، ۱۳۹۱). برای معرفی حوضه در مدل هیدرولوژیکی نقشه رقوم ارتفاعی به صورت DEM وارد مدل می‌شود سپس مدل با تحلیل و ارزیابی این نقشه مسیر جریان را مشخص می‌کند و در ادامه زیرحوضه و مرزها تعیین می‌گردد. سپس بعداً از معرفی نقشه خاک، کاربری اراضی، کلاس‌بندی شیب مدل هیدرولوژیکی هر حوضه به چند زیر حوضه و هریک از این زیرحوضه‌ها به چند واحد واکنش که از نظر خصوصیات خاک و کاربری اراضی همگن می‌باشد، تقسیم می‌شود. واحدهای واکنش HRU (واحدهای واکنش هیدرولوژیک نام دارد (بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۳).

اساس چرخه هیدرولوژی در مدل هیدرولوژیکی تغییرات اقلیم و شرایط تغییر اقلیم معادله بیلانی آبی می‌باشد که این معادله به صورت شماره معادله بیان می‌گردد.

(۱)

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^t (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw})$$

در رابطه فوق:

¹Variable storage routing method



که در آن: n : تعداد مشاهدات، O_i : مقادیر مشاهده شده،
 P_i : مقادیر شبیه‌سازی شده، \bar{O} : میانگین مقادیر مشاهده
شده، \bar{P} : میانگین مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد.

ضریب ناش-ساتکلیف (NS)

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (y_i^{obs} - y_i^{mean})^2}$$

که در آن: y_i^{obs} : مقادیر مشاهده شده، y_i^{sim} : مقادیر
شبیه‌سازی شده، y_i^{mean} : میانگین مقادیر مشاهده شده
می‌باشد.

ضریب نش - ساتکلیف (NS) بیانگر (ناشوساتکلیف،
۱۹۷۰) اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده
می‌باشد. مقدار این فاکتور بین یک تا منفی بینهایت
متغیر می‌باشد. ضریب ناش - ساتکلیف تغییرات
مقادیر مشاهده‌ای را که در طول زمان رخ می‌دهد و مورد
توجه می‌کند (گرینوونگرینسون، ۲۰۰۷). دو حالت کلی
وجود دارد حالت اول: اگر ضریب منفی شود، تخمین مدل
بسیار بدتر از تخمینی است که با استفاده از میانگین کل
مقادیر مشاهده‌ای بدست می‌آید. حالت دوم: مقدار بیشتر از
۰/۵ ضریب ناش - ساتکلیف (NS) نشان‌دهنده شبیه‌سازی
خوب انجام شده توسط مدل می‌باشد. تفاوت اساسی بین
ضریب نش و R^2 در این است که ضریب ناش قادر است که
با تکرار داده‌های مشاهده‌ای عملکرد مدل را تفسیر نماید.
در صورتی که ضریب R^2 این توانایی را ندارد
(گرینوونگرینسون، ۲۰۰۷).

یافته‌های پژوهش

همان‌طور که در بخش روش تحقیق ذکر گردید ابتدا
داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی و بارانسنجی محدوده
مورد مطالعه جهت استفاده در مدل هیدرولوژیکی و
تغییر اقلیم نرمال‌سازی و تنظیم گردید، نوع داده و
پارامترهای اقلیمی (کمینه و بیشینه دما، بارندگی و تبخیریه
صورت روزانه) مورد استفاده در جدول (۱) ذکر شده است.

روش گرین - آمپ رواناب از تفاضل بین کل آب در
دسترس و آب نفوذ کرده در خاک به دست می‌آید. در
روش منحنی SCS از مقادیر پارامتر CN که تابعی از
رطوبت خاک، پوشش گیاهی و جنس زمین می‌باشد،
استفاده می‌شود. مدل هیدرولوژیکی تغییر اقلیم تبخیر و
تعرق را با سه روش هارگریوز، پرستلی-تیلور و پنمن-
مانتیت محاسبه می‌کند. همچنین برای شبیه‌سازی
فرسایش خاک ناشی از بارش و رواناب از فرم اصلاح شده
معادله جهانی فرسایش خاک MUSLE استفاده می‌گردد
(باقری، ۱۳۹۴).

شاخص‌های آماری ارزیابی مدل هیدرولوژیکی

زمانی می‌توان از مدل‌های هیدرولوژیکی و شرایط
تغییر اقلیم برای مطالعه سناریوهای تصمیم‌سازی در مدیریت
حوزه‌های آبخیز استفاده کرد که پس از فرایند واسنجی
مورد ارزیابی و صحت‌سنجی قرار گیرند. صحت‌سنجی
مدل عبارت است از فرآیندی که در آن قابلیت مدل برای
پیش‌بینی صحیح دوره‌های غیر از دوره استفاده شده در
مرحله واسنجی بررسی می‌شود. زمانی می‌توان بیان
کردیک مدل کارایی مناسبی دارد که صحت و قابلیت
پیش‌بینی آن در دوره صحت‌سنجی با مقدار خطای قابل
قبول به اثبات رسیده باشد. برای ارزیابی مدل‌ها نمی‌توان
تنها به یک روش آماری اکتفا کرد. برای ارزیابی مدل
هیدرولوژیکی روش‌های مختلفی به کار گرفته می‌شود که
ضریب تبیین (R^2) و ضریب ناش ساتکلیف (NS)
مهمترین آن‌ها می‌باشند (علیزاده، ۱۳۹۲).

ضریب تبیین (R^2)

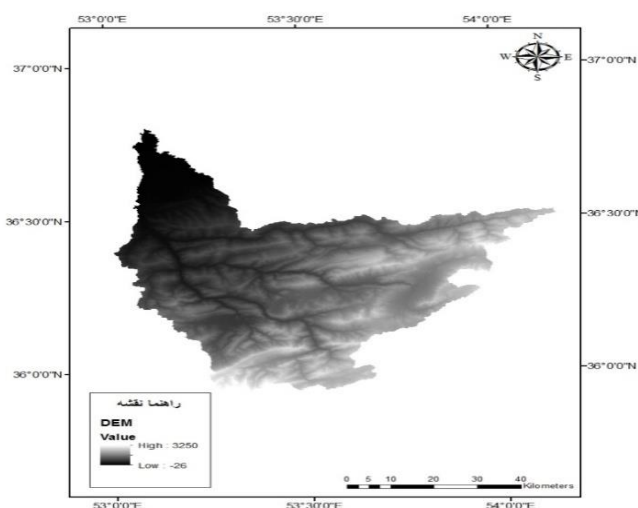
از این ضریب برای نشان دادن همخوانی بین مقادیر
مشاهده‌ای و شبیه‌سازی به کار بردن روش تجزیه
رگرسیون استفاده می‌شود.

$$R^2 = \left[\frac{(\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o}) \times (p_i - \bar{p}))}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \times \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \right]^2$$

جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و بارانسنجی محدوده مورد مطالعه

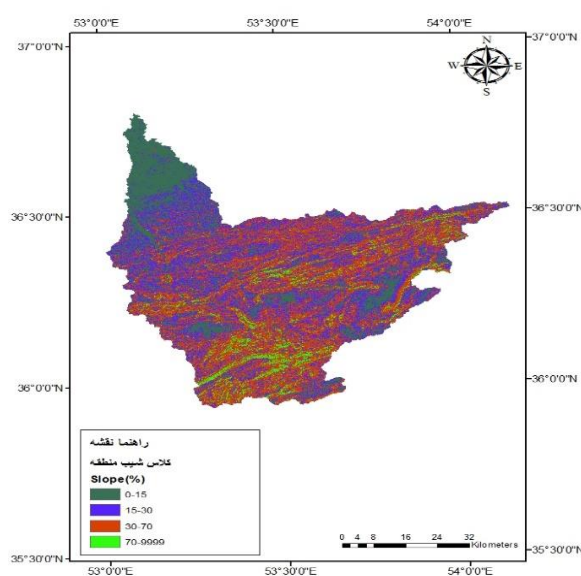
ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	تاسیس شمسی	تاسیس میلادی	ارتفاع (متر)
۱	ساری	سینوپتیک اصلی	۱۳۷۸	۱۹۹۹	۲۲۰۰۷
۲	قراخیل	تحقیقات هواشناسی کشاورزی/ اصلی	۱۳۶۳	۱۹۸۴	۱۴۰۷
۳	دشت ناز	سینوپتیک اصلی	۱۳۷۸	۱۹۹۹	۱۶
۴	داراب	سینوپتیک اصلی	۱۳۷۷	۱۹۹۸	۱۲۹۴
۵	نکا	باران سنج	۱۳۷۷	۱۹۹۸	۷۲۰
۶	تجن	باران سنج	۱۳۷۷	۱۹۹۸	۱۵۲۰
۷	ناز	باران سنج	۱۳۷۸	۱۹۹۹	۱۵-
۸	مهدشت	کیلیماتولوژی	۱۳۴۶	۱۹۶۷	۱۱۸
۹	نکا	بارانسنجی	۱۳۷۶	۱۹۹۷	۵
۱۰	ساری	بارانسنجی	۱۳۷۵	۱۹۹۶	۶۴۴
۱۱	سجادرود	بارانسنجی	۱۳۷۸	۱۹۹۹	-
۱۲	سنگ هاده	بارانسنجی	۱۳۷۷	۱۹۹۸	۱۳۰۰
۱۳	ریگ چشم	بارانسنجی	۱۳۷۷	۱۹۹۸	۱۳۰۰
۱۴	پل سفید	بارانسنجی	۱۳۷۸	۱۹۹۹	۱۳۰۰
۱۵	پل سفید	سینوپتیک	۱۳۷۸	۱۹۹۹	۱۳۰۰

منبع: سازمان هواشناسی و آب منطقه‌ای استان مازندران، ۱۴۰۱



شکل (۳): پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه

مهمترین داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز جهت اجرای مدل، شامل خصوصیات توپوگرافی و زمین شناسی منطقه می‌باشد، که بررسی نقشه دما منطقه حاکی از اختلاف



شکل (۲): طبقات ارتفاعی و شیب محدوده مورد مطالعه



می‌باشد. در ادامه ابتدا واسنجی مدل برای سالهای ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۴ بر اساس مقایسه با داده‌های مشاهداتی صورت پذیرفت. واسنجی مدل هیدرولوژیکی به دو صورت دستی و یا با استفاده از برنامه SUFI2 که در قالب نرم افزار CUP هیدرولوژیکی به مدل هیدرولوژیکی لینک شده است امکان‌پذیر است. واسنجی مدل بصورت ماهانه و با استفاده از برنامه SUFI2 انجام گردید. در ابتدا ۱۵ پارامتر در تولید رواناب حوضه آبریز موثر شناخته شد که این پارامترها به همراه محدوده مجاز تغییرات آنها به مدل وارد گردید. همان‌طور که ذکر گردید از آمار ۱۴ ساله اندازه‌گیری شده (۲۰۰۰ تا ۲۰۱۴) دبی روزانه برای واسنجی مدل استفاده شد. در این مرحله بایستی به دفعات مختلف اقدام به اجرای مدل نموده و هر بار با توجه به شاخص‌ها و معیارهای آماری، نتایج را مورد ارزیابی قرار داد. در صورت رضایت بخش نبودن نتایج شبیه‌سازی، بایستی پارامترهای موجود در مدل بهینه شده و مجدداً مدل را اجرا نمود تا جریان شبیه‌سازی شده از لحاظ آماری دارای دقت مناسب باشد. در تحقیق حاضر نیز بعد از اجرای مدل در دفعات متعدد، هر بار پارامترهای حساس تغییر داده شد و نهایتاً بعد از بهینه شدن پارامترها، مدل ۴۰۰۰ بار اجرا و برای منطقه مطالعاتی واسنجی شد. نتایج ارزیابی به صورت جدول (۲) ارائه گردید. همچنین مقایسه هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی با پایه زمانی ماهانه در شکل (۴) هیدروگراف شبیه‌سازی شده و هیدروگراف مشاهداتی ماهیانه در دوره واسنجی (۲۰۱۴-۲۰۰۰)، نشان داده شده است.

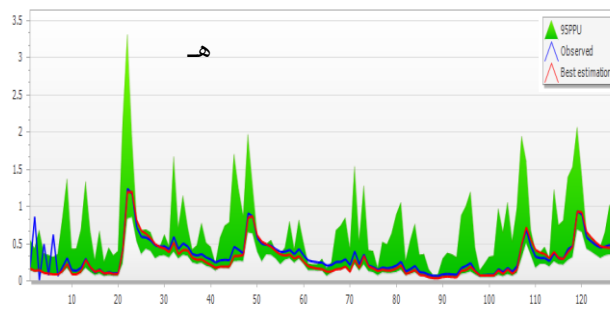
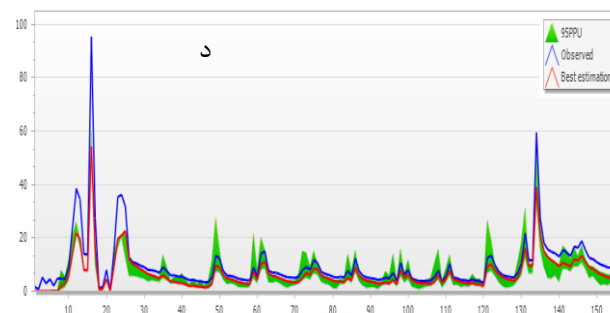
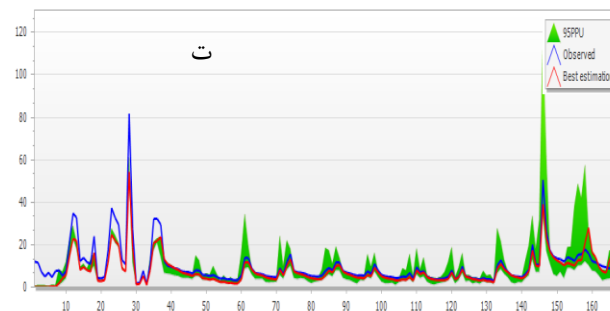
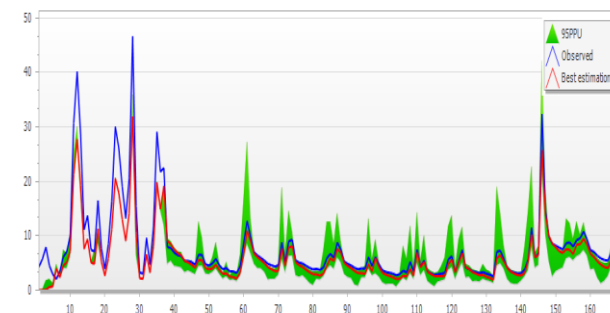
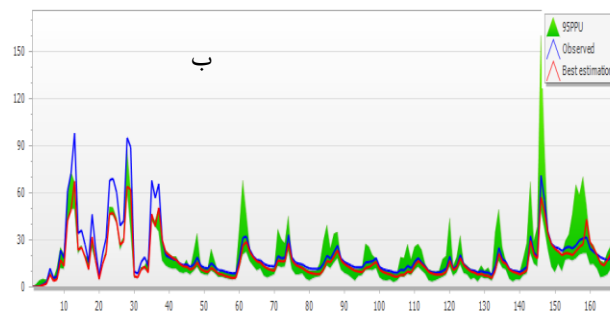
ارتفاع بیش از ۳۲۷۰ متری در این محدوده است. به بیان دقیق‌تر بلندترین و پایین‌ترین نفاط ارتفاعی حوضه مورد مطالعه به ترتیب کوه شاه دژ با ۳۲۵۰ متر و بند فرج آباد ۱ -۲۶ متر اختلاف از سطح آب‌های آزاد می‌باشد. همچنین درصد شیب منطقه نیز از ۱ تا ۷۰ درصد متغیر می‌باشد

از دیگر اطلاعات مورد نیاز جهت اجرای مدل، داده‌های پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه می‌باشد، یافته‌های حاصل از طبقه‌بندی اراضی حاکی از آن است که نظر فراروانی مناطق جنگلی به جنگل‌های انبوه با ۲۲۲ هزار هکتار (۸۲ درصد)، جنگل‌های نیمه انبوه با ۳۴ هزار هکتار (۱۳ درصد) و جنگل‌های تنکبا ۱۴ هزار هکتار (۵ درصد) تفکیک می‌شوند. گونه‌های درختی جنگل‌ها معمولاً پهن برگ بوده و شامل بلوط، راش، ممرز، افرا، توسکا، ملچ و غیره می‌باشد. لازم به ذکر است گونه‌های سوزنی برگ نیز به صورت پراکنده و محدود در منطقه مورد مطالعه مشاهده می‌شود. نواحی مرتعی با وسعت حدودی ۷۵ هزار هکتاری ۱۷ درصد وسعت حوضه آبخیز تجن راد بر گرفته می‌دهد. اراضی کشاورزی و باغات وسعتی برابر ۶۳ هزار هکتار معادل ۱۴ درصد وسعت حوضه تجن راد بر گرفته است. زمین‌های کشاورزی عموماً در دشت ساحلی خزر واقع هستند. البته محدوده‌های وسیع و حاصلخیزی در بخش‌های میانی حوضه، در دشت‌های مرتفع اطراف کیاسر و غرب سفیدرود (دودانگه) وجود دارند. نقشه کاربری و طبقه‌بندی آن در شکل (۳) آورده شده است

شبیه‌سازی هیدروگراف جریان خروجی از حوضه آبخیز

اولین اقدام جهت اجرای مدل و شبیه‌سازی هیدروگراف، تقسیم بندی حوضه آبخیز، به ۲۵ زیرحوضه

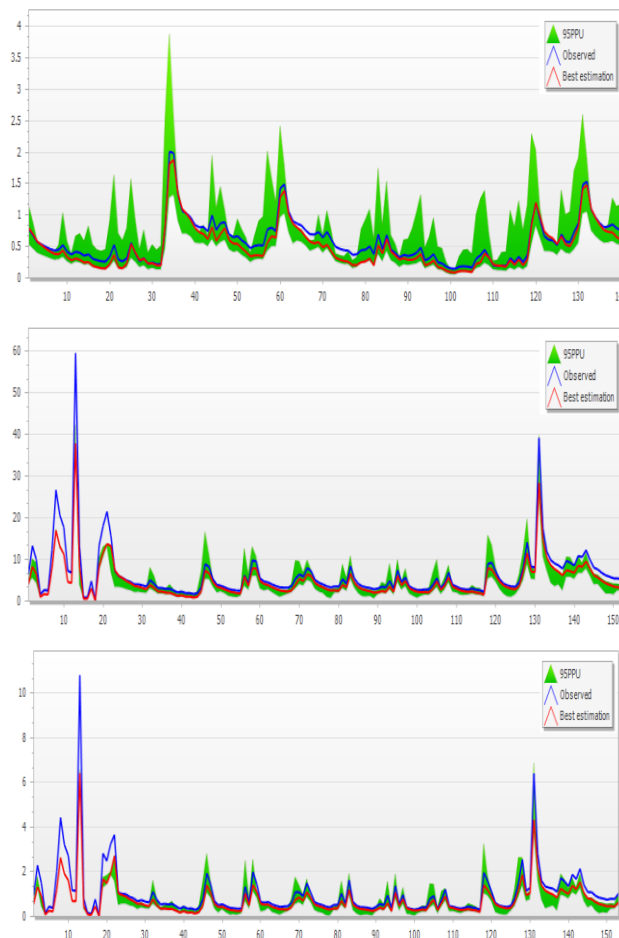
الف



ب

ج

د



شکل (۴): واسنجی هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی ایستگاه‌های (الف: کردخیل، ب: گرمرود، پ: ریگ چشمه، ت: ورنند، ج: واستا، د: کرچا، و: آباد، ه: علی آباد

جدول ۲: ارزیابی عملکرد SWAT در مرحله واسنجی

ردیف	نام ایستگاه	واسنجی		
		R-FACTOR	P-FACTOR	R2
۱	کردخیل	۰.۷	۰.۷۷	۰.۸
۲	گرمرود	۰.۵۲	۰.۷۲	۰.۷۸
۳	ریگ چشمه	۰.۷۲	۰.۶۹	۰.۸
۴	ورند	۰.۴۴	۰.۴۲	۰.۸۹
۵	کرچا	۰.۷۵	۰.۹۲	۰.۶۵
۶	واستا	۰.۸۵	۰.۹۱	۰.۶۶
۷	آباد	۰.۴۲۱	۰.۵۴	۰.۷۶
۸	علی آباد	۰.۳۸	۰.۴۵	۰.۷۲

منبع: محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۱

سطحی می‌باشد. به بیان دقیق‌تر، مقایسه جریانات شبیه‌سازی با دبی‌های مشاهداتی ۸ ایستگاه نشان

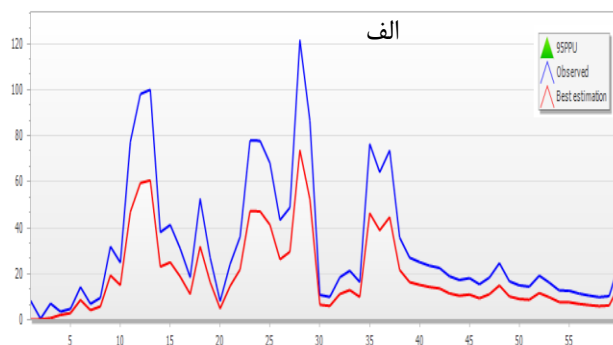
واسنجی مدل هیدرولوژیکی برای زیرحوضه‌ها حاکی از دقت بالای این مدل در شبیه‌سازی جریانات رواناب‌های

به پارامترهای کالیبراسیون بهینه شده برای منطقه مطالعاتی، در بازه زمانی ۲۰۱۴-۲۰۱۸ می‌باشد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که میانگین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در این دوره در تمامی ایستگاه‌های خروجی آبریز کمتر از میانگین کل دوره بوده و همچنین ضریب NSE در تمامی زیر حوضه‌ها نیز بالاتر رفته است (شکل ۵ و جدول ۳). بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که مدل زمان وقوع مقادیر دبی اوج و دبی‌های پایه را به خوبی مدل‌سازی نموده است که متوسط دبی ماهانه شبیه‌سازی شده در طول دوره‌های واسنجی و اعتبار سنجی نیز موید این مطلب است

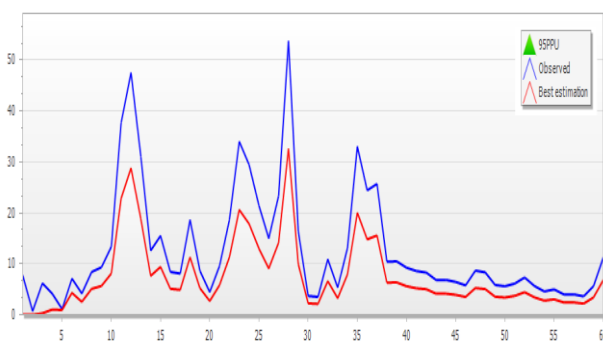
می‌دهد، ضریب نش دبی‌های شبیه‌سازی شده در در مقایسه با دبی‌ها مشاهداتی بجز در ۲ ایستگاه (واستا و کرچا)، بیشتر از ۰/۵ بوده است. در این بین بیشترین میزان دقت به ایستگاه ورنه، با ضریب نش (۰/۷۲) و همچنین ضریب تبیین (۰/۸۹) اختصاص دارد. همچنین دو ایستگاه ریگ‌چشمه و آباد با ضرایب نش (۰/۶۷) - (۰/۶۶) و ضرایب تبیین (۰/۸ - ۰/۷۶) از دیگر ایستگاه‌های با ضریب بالای دقت شبیه‌سازی در این حوضه می‌باشند. پایین‌ترین دقت شبیه‌سازی مدل نیز به دو ایستگاه (واستا و کرچا) با ضرایب نش (۰/۴۸ - ۰/۴۹) و ضرایب تبیین (۰/۶۶ - ۰/۶۵) تعلق گرفته است.

گام بعدی پژوهش صحت سنجی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده توسط مدل هیدرولوژیکی واقلیم باتوجه

ب

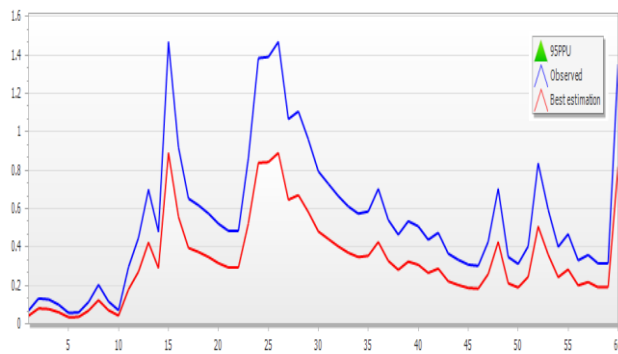
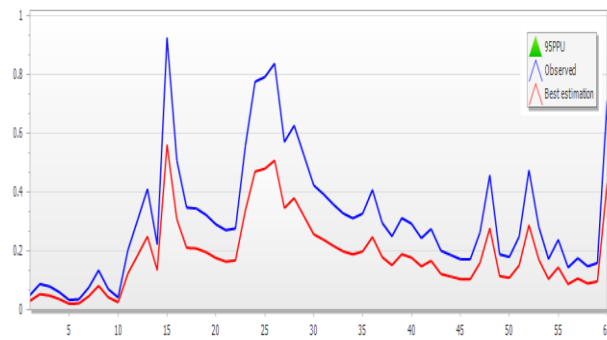
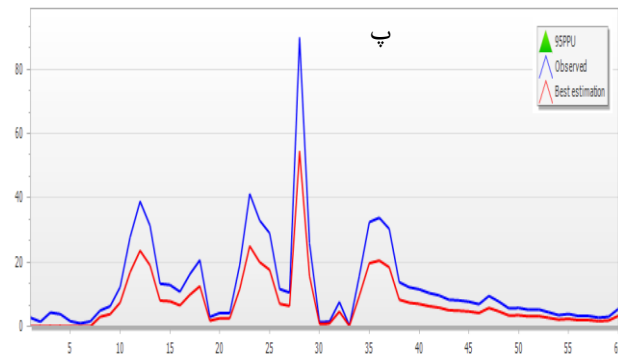
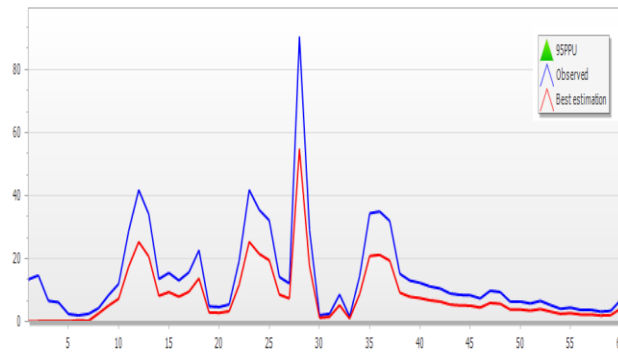


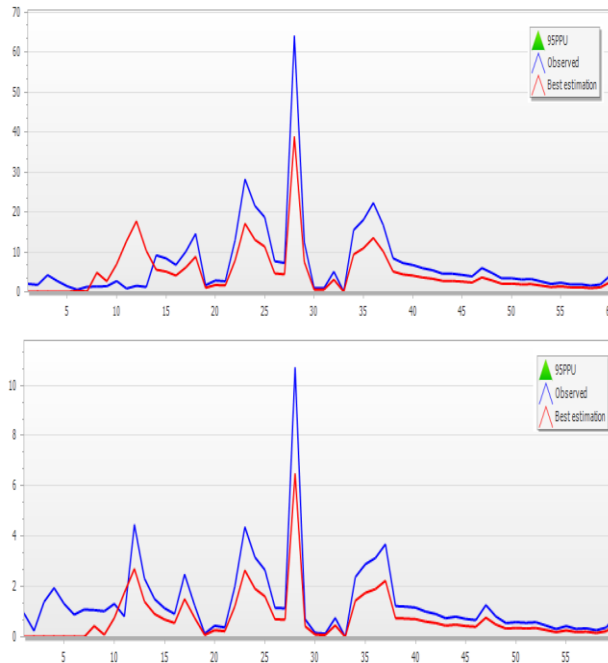
ت



د

ج





شکل (۵): صحت‌سنجی هیدروگراف جریان شبیه‌سازی شده و مشاهداتی ایستگاه‌های (الف: کردخیل، ب: گرمود، پ: ریگ‌چشمه، ت: ورنده، ج: واستا، د: کرچا، و: آباد، ه: علی‌آباد)

جدول (۳): ارزیابی عملکرد SWAT در مرحله صحت‌سنجی

ردیف	نام ایستگاه	صحت‌سنجی		R2	NSE
		R-FACTOR	P-FACTOR		
۱	کردخیل	۰	۰	۰.۹	۰.۸۱
۲	گرمود	۰	۰	۰.۹۵	۰.۸۲
۳	ریگ چشمه	۰	۰	۰.۷۲	۰.۶۹
۴	ورنده	۰	۰	۰.۹۶	۰.۷۴
۵	کرچا	۰	۰	۰.۸۴	۰.۸
۶	واستا	۰	۰	۰.۹۷	۰.۹۱
۷	آباد	۰	۰	۰.۹۷	۰.۸۲
۸	علی‌آباد	۰	۰	۰.۹۸	۰.۷۸

منبع: محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۱

مدل نشان می‌دهد ایستگاه واستا با ضریب نش (۰/۹۱) و ضریب تبیین (۰/۹۷) بالاترین دقت را در شبیه‌سازی مدل داشته است. همچنین پایین‌ترین سطح دقت در مرحله صحت‌سنجی به ایستگاه (ریگ‌چشمه) با ضرایب نش و تبیین (۰/۶۹ و ۰/۷۲) اختصاص دارد.

نتیجه‌گیری

بررسی هیدروگراف‌های خروجی از صحت‌سنجی مدل و تغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که انتخاب مقادیر بهینه بعد از واسنجی مدل توسط برنامه SUFI2 تأثیر بسزایی در بالا بردن دقت خروجی‌های مدل در زمان صحت‌سنجی داشته بطوریکه ضریب نش در اکثر ایستگاه‌ها بیش از ۰/۷ شده است. به بیان دقیق‌تر محاسبات ضرایب نش و تبیین منتج از صحت‌سنجی



است. نتایج بررسی ها نشان داد که مدل به علت استفاده از پارامترهای زیاد و موثر بر جریان های سطحی، دقت بالایی در شبیه سازی رواناب خروجی از حوزه آبخیز را دارد به طوریکه ضریب نش - ساتکلیف، که یکی از مهمترین آزمون های جهت صحت سنجی رواناب های سطحی می باشد، در هنگام واسنجی بیش از ۰/۵۰ بوده است که پس از بازبینی سازی پارامترهای خاک این ضریب در مرحله صحت سنجی بالای ۰/۷۴ برای دبی روزانه بدست آمد. و این خود نشانگر پایین بودن میزان خطای مدل در شبیه سازی رواناب خروجی حوزه آبخیز می باشد. در نهایت می توان اذعان نمود که مدل هیدرولوژیکی تغییرات و شرایط تغییر اقلیم با تلفیق تکنیک های سنجش از دور و GIS، می تواند دید مناسبی از وضعیت منابع آب در یک حوضه در بازه زمانی متفاوت ارائه نماید.

تلفیق کاربردی تکنیک های سنجش از دور و GIS با کمک قابلیت ها و انعطاف پذیری های مدل های هیدرولوژیکی و تغییر اقلیم و هیدرولوژیکی توزیعی و نیمه توزیعی در بالابردن قدرت شبیه سازی رواناب تأثیر بسزایی دارد. مدل هیدرولوژیکی و تغییرات اقلیمی به عنوان یکی از مدل های شبیه ساز رواناب، یکی از مدل های است که داده های ورودی آن به وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc-GIS) تهیه و تنظیم میگردد. به عبارتی دیگر، داده هایی از قبیل: پوشش گیاهی، خاک، طبقات ارتفاعی، شیب و در نهایت داده های هواشناسی از قبیل بارش و دما بعد از درون یابی و سلول بندی، به این مدل جهت پردازش وارد می شوند. در مطالعه حاضر سعی شد با استفاده از هیدرولوژیکی LARS-WG و اقلیمی و شرایط اقلیم دبی خروجی از ۸ ایستگاه رودخانه های حوزه آبخیز تجن شبیه سازی شده و با دبی مشاهداتی مقایسه گردد. بازه زمانی پژوهش حاضر سال ۱۹۹۸ الی ۲۰۱۸ بوده

منابع

- خزانه داری، ل.، م.، کوهی، ش.، قندهاری، و م.، آسیایی. ۱۳۹۱. تغییر اقلیم، علل، اثرات و راه حل ها. تالیف جان تی هاردی. انتشارات پاپلی. مشهد. ۳۶۲ص.
- اداشی تنکابنی، نوربخش، ۱۳۸۶، بررسی تغییرات ویژگی بارش در استان مازندران و تأثیر آن بر کشاورزی، پایان نامه دوره کارشناسی ارشد، دانشگاه آزاد اسلامی واحد تهران مرکز. ۱۰:۱۳۲
- دهقان منشادی، ح.، نیک سخن، م.، اردستانی، م.، بررسی برآورد آب مجازی حوضه ای آبخیز و نقش آن در سامانه های انتقال آب بین حوضه ای مجله مهندسی منابع آب/سال ششم /زمستان ۱۳۹۲
- رحیمی زاده، م.، بزرگ حداد، ۱۳۹۷، بررسی اثرهای انتقال آب بین حوضه ای بر منابع آب ایران، مجله پژوهشی راهبردی در علوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۳ شماره ۱ صص ۴۲ تا ۲۷
- رئوفی، ی.، شوریان، م.، عطاری، ج.، طراحی ایجاد سیستم انتقال آب بین حوضه ای بالحفاظ شاخص های تصمیم گیری در حوضه ای آبریز میدا، سال یازدهم، شماره ۱، بهار و تابستان ۱۳۹۴.
- سلیمانی، کریم، ۱۳۸۶، بررسی تغییرات اقلیم مازندران، پروژه تحقیقاتی، اداره کل هواشناسی استان مازندران.
- شیدائیان، م.، ضیاءتبار احمدی، م.، فضل اولی، ر.، شعبانی، آ.، ۱۳۹۲. بررسی اثر تغییر اقلیم بر منابع آبی حوضه آبریز دشت تجن در استان مازندران. پنجمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران
- ضرابی، ا.، حلیبان، ا.، شبانکاری، م.، برنامه ریزی انتقال بین حوضه ای آب از کارون به زاینده رود.
- کارآموز، م.، و ش.، عراقی نژاد. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران. ۴۶۴ص.
- موجرولوف، فضل اولی، ر.، عمادی، ع.، ۱۳۹۸. بررسی آثار تغییر اقلیم بر تخصیص منابع آب حوضه آبریز تجن. سومین همایش ملی مدیریت منابع آب نواحی ساحلی.



Enze, Z. Xinan, Y. Zhihao, X. Zhifeng, Y.2008. Bottom-up quantification of inter-basin water transfer vulnerability to climate change.

Khazaei, M.R., Zahabiyou, B., Saghafian B., 2011. Assessment of climate change impact on floods using weather generator and continuous rainfall-runoff model, International Journal of Climatology, 10:1002-1012.

MacCracken, M. C., 2008. Prospects for Future Climate Change and the Reasons for Early Action, Journal of the Air and Waste Management Association, 58, 735-786.

Hasanzadeh, M.2012. Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4, 750-758

doi:10.4236/jwarp.2012.49085 Published Online September 2012

(<http://www.SciRP.org/journal/jwarp>) Inter-Basin Water Transfer Projects and Climate Change: The Role of Allocation Protocols in Economic Efficiency of the Project. Case Study: Dez to Qomrood Inter-Basin Water Transmission Project (Iran)

Journal of Water Resource and Protection, 2012, 4, 750-758 doi:10.4236/jwarp.2012.49085

Published Online September 2012 (<http://www.SciRP.org/journal/jwarp>)

Roozbahani, A. Ghased , H. Hashemy Shahedany, M. 2020. Inter-basin water transfer planning with grey COPRAS and fuzzy COPRAS techniques: A case study in Iranian Central Plateau