Research Paper

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

Rahman Ali Haqshana Getabi[1], Sadraddin Motavlli[2*], Gholamreza Janbaz Ghobadi[3]

Hadi razzagian[4], babak momeni[5]

[1]Ph.D. student of Hydrology and Meteorology, Islamic Azad University, Noor Branch - Noor - Iran
[2]Associate Professor, Department of Natural Geography, Islamic Azad University, Noor Branch - Noor - Iran
[3]Associate Professor, Department of Natural Geography, Islamic Azad University, Noor Branch - Noor – Ira
[4] Assistant 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 53 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 COPRAStechniques: 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 toclimate 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.

نشریه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب ایران
سال چهاردهم. شماره پنجاه و پنج .بهار ۱۴۰۳

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

رحمان علی حق شناس گتابی [۱]، صدرالدین 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 هیدرولوژیکیSWAT، یک یاروش‌های برآوردرواناب به‌دست آمده ازبارندگی درنقاط فاقدایستگاه هیدرومتری می‌باشند. به بیان دیگراین مدل‌ها با شبیه‌سازی فرایندتبدیل بارش به رواناب قادربه تخمین میزان رواناب حوزه‌های آبریزفاقدایستگاه اندازه‌گیری باکمترین زمان وهزینه ممکن می‌باشند. برهمین اساس مطالعه حاضرباهدف ارزیابی توان مدل هیدرولوژیکیSWAT درشرایط اقلیمی و درشبیه‌سازی رواناب خروجی رودخانه‌های حوزه آبخیز تجن ومقایسه آن بادبی مشاهداتی صورت گرفته است. مهمترین داده های مورداستفاده درپژوهش شامل،پوشش گیاهی،طبقات ارتفاعی،شیب،داده های اقلیمی (باد،بارش،بیشینه دما،کمینه دما)،تغییرات اقلیم و نیزشرایط تغییراقلیم و... میباشد. نتایج بررسی هانشان میدهدکه میزان خطای مدل هیدرولوژیکیLARS-WG در شرایط اقلیم و درشبیه‌سازی رواناب خروجی ومیانگین دبی روزانه بسیارپایین بوده است به طوریکه ضریبنش- ساتکلیف دبی شبیه سازی شده روزانه دربرابردبی مشاهداتی دربازه زمانی۱۹۹۸الی۲۰۱۴،درهنگام واسنجی بیش از ۰/۵۰ بوده است که پس ازبازبهینه سازی پارامترهای خاک این ضریب درمرحله صحت سنجیز(۲۰۱۴ – ۲۰۱۸)بالای ۰/۷۴ برای دبی روزانه بدست آمد. واین خودنشانگرپایین بودن میزان خطای مدل درشبیه‌سازی رواناب خروجی حوزه آبخیزمی‌باشد.

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 ومهندسی آبخیز دانشگاه پیام نور واحد مرکزساری ،ساری ، ایران.Email: hrazzaghian@yahoo.com
[۵] استادیار گروه علوم و مهندسی آب- سازه های آبی دانشگاه پیام نور واحد مرکزساری ،ساری ، ایران.Email:babakmoumeni@pnu.ac.ir

مقدمه

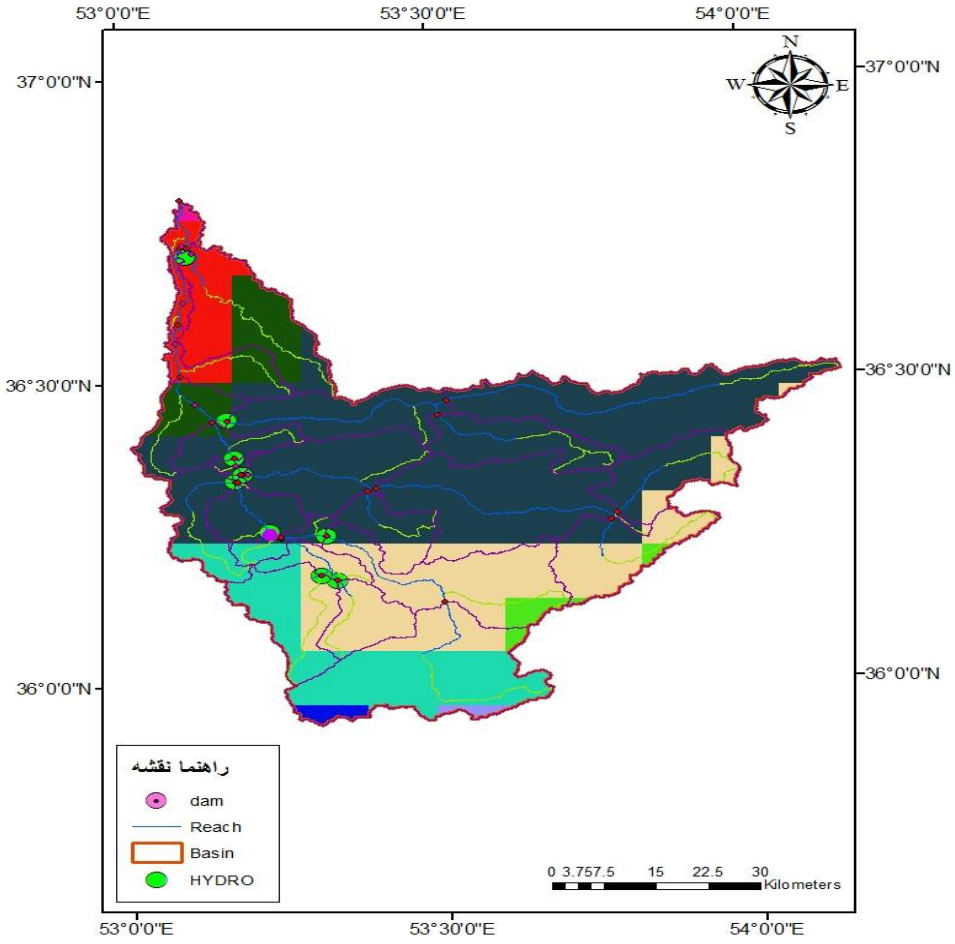
امروزه به دلیل رشدجمعیت،افزایش تقاضاوتجاوزبه دشت های سیلابی بخصوص حاشیه رودخانه های اصلی اهمیت مطالعه درزمینه رواناب،حجم آب به دست آمده،ناشی ازتغییرات اقلیم ونیز شرایط تغییراقلیمی افزایش یافته است. درجهت بررسی این عوامل روش های مختلفی درراستای تجزیه وتحلیل بارندگی،رواناب وتغییراقلیم وشرایط تغییرات اقلیمی ارائه شده است که باگذشت زمان،این روش هابهبودیافته ونتایج دقیق تری راارایه میدهند (داستیوهمکاران، ۲۰۱۴). مدلسازی هیدرولوژی درجهت نمایش رفتارجریان بامدلهای بارش رواناب ازمحورهای اصلی علم هیدرولوژی است (رواسوکاوهمکاران، ۲۰۱۴). امروزه ازنرم افزارهاوروابط تجربی هیدرولوژیکی به طورگسترده وبرای مقاصدمختلف (هرناندزوهمکاران،۲۰۱۳) ازجمله استخراج وپیش-بینی جریان آینده حوضه (کروکوهمکاران، ۲۰۰۵)،ارزیابی پاسخ حوضه به نوسانات اقلیمی (اکان وفیستیکوگلو، ۲۰۱۴). درچهاردهه گذشته به طورفزاینده‌ای توسعه دادهشده ومورداستفاده قرارگرفته است (خزائی وهمکاران، ۱۳۹۴).فرآیندتغییراقلیم بویژه تغییرات دماوبارش مهم-ترین بحث مطرحدرقلمروعلوم محیطی می‌باشد.این پدیده بدلیل ابعادعلمی وکاربردی (اثرات محیطی واقتصادی-اجتماعی) آن ازاهمیت فزاینده ای برخورداراست؛چراکه سیستم‌های انسانی وابسته به عناصراقلیمی مانندکشاورزی،صنایع وامثال آن برمبنای ثبات وپایداری اقلیم طراحی شده وعمل می‌نمایند(خزانه داری وهمکاران، ۱۳۹۱). که یکی از مهمترین اثرات آن تأثیر بر منابع آب سطحی می‌باشد. تا کنون مطالعات ملی و بین‌المللی 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 می‌شود؛ حسینی و خالقی (۲۰۲۰) عملکردمدل ارزیاب آب وخاک (مدل هیدرولوژیکی) درشبیه‌سازی جریان رسوب وهمچنین عدم قطعیت مدل درمناطق حوضه آبریزخشک ونیمه‌خشک را بررسی کردند، نتایج بررسی‌ها نتایج نشان‌دهنده کارایی قابل‌قبول مدل هیدرولوژیکی درشبیه‌سازی باررسوب منطقه موردمطالعه است.چان وهمکاران (۲۰۱۹)،درپژوهشی باعنوان کاربردمدل تلفیقیMODFLOW – مدل هیدرولوژیکی برای ارزیابی اثرات بالقوه تغییراقلیم وشرایط تغییرات اقلیمی وبرداشت آب‌برروی تعاملات آبزیرزمینی نتایج نشان دادکه تبادل آب زیزمینی وسطحی(gw – sw) درمناطق بالادست بیش‌ترین نوسان رابین ماه‌های مرطوب وخشک تحت شرایط تاریخی داشته‌است.طالبی وهمکاران(۲۰۱۹) دراین تحقیق،معادله تعادل آب ااستفاده از مدل هیدرولوژیکیLARS-WG درحوزه آبخیزدرونگار (شمالشرقی ایران)،شرایط تغییراقلیم را شبیه‌سازی شدومسیرجریان آبزیرسطحی شناسایی شد. باادامه دادن وزن به یک فرآیندشبکه تحلیلی۱۱لایه (ANP)پتانسیل مناسب برای ساخت سدهای زیرزمینی تعیین شدنتایج مدل ANP نشان داد که این امر برای تعیین میزان جریان زیر سطحی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی وتغییراقلیم ضروری است. به علاوه حجم ذخایر و حجم رواناب به ترتیب با وزن ۰.۱۰۹ و ۰.۱۰۱ از عوامل دیگر مهم‌تر هستند. در نتیجه هرچه جریان زیر سطحی بالاتر باشد از اهمیت بیشتری برخوردار است.برزوییني و همکاران (۲۰۱۸)،مدل‌سازی راهبردهای سازگاری پایداربرای کشاورزی هوشمندآب وهوادرحوزه مدیترانه تحت سناریوهای تغییراقلیم وشرایط تغییراقلیم طرح‌ریزی‌شده بااستفاده ازمدل هیدرولوژیکی وتغییراقلیم را شبیه‌سازی نمودند. نتایج مطالعه نشان دادمنطقه مطالعاتی کاهش مهم بارش وافزایش دمادردوره۲۰۳۱تا۲۰۵۰راتجربه خواهدکرد. درحدود۲۶.۴ ٪ (±۲.۸۹) کاهش بازدهی آب حوضه وبالاتا۴۴.۷درصد (± ۹.۰۳) افت آب محصولات درپی آن پیش‌بینی شده‌بود. با توجه به تغییرات ذکر شده، امروزه استفاده از

مدل‌های گوناگون جهت شبیه‌سازی و مدیریت صحیح منابع آب بسیار متداول بوده و امری ضروری به نظر می‌رسد. ازآنجاکه درحوزه‌های آبخیز، این امکان وجودنداردکه تمام پارامترهاوکمیت های برای بررسی پاسخ حوضه میسرنیست لذا انتخاب مدلی که بتوانددرعین ساختارمناسب،بهره گیری ازحداقل اطلاعات ورودی موردنیاز،پیش بینی وارزیابی قابل قبول راارائه دهدامری ضروری به نظرمی‌رسد. کشور ایران به عنوان یکی از مناطق با شرایط اقلیمی خاص، در دهه‌های اخیر شاهد اثرات شدید تغییرات اقلیمی وشرایط تغییراقلیم بوده و در بیشتر موارد این اثرات به صورت خشکسالی و کمبود منابع آب نمایان گشته است. استان مازندارن 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 مازندراندر 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 اصلا مجال کشت نمی‌یابند. نقش حیاتی آب و تاثیر 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 قبلا 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 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 حوزه های 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 عمدتا از آبراهه‌ها و رودخانه‌ها تشکیل شده است که رودخانه تجن از مهم‌ترین آن‌هاست (شکل ۱).



شکل (۱): موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه

روش تحقیق

پژوهش حاضرازلحاظ هدف،کاربردی وبراساس نحوه گردآوری داده‌های ازنوع توصیفی وجمع آوری دادههای ثبت شده تاریخی میباشد. دراین تحقیق ازمدل هیدرولوژیک هیدرولوژیکی وتغییرات اقلیمی جهت برآوردرواناب خروجی حوزه آبخیز تجن استفاده می‌شود. داده‌های هواشناسی مورداستفاده دراین پژوهش ازپایگاه داده‌های هواشناسی سازمان هواشناسی دربازه زمانی (۱۹۹۸الی ۲۰۲۰) به صورت روزانه می‌باشند. سایراطلاعات مورداستفاده ازجمله پوشش گیاهی،خاک ازمجموعه کتابخانه‌ای پوشش می‌باشند. به‌منظورواسنجی مدل هیدرولوژیکی وشرایط تغییرات اقلیمی ازداده‌های روزانه ثبت‌شده ایستگاه هیدرومتری درهرزیرحوزه آبریزبازه زمانی ۱۹۹۸- ۲۰۲۰استفاده‌شده است.دراین پژوهش جهت بررسی عملکردمدل هیدرولوژیکی وتغییرات اقلیم وشرایط تغییراقلیم درشبیه‌سازی رواناب خروجی ازشاخصنش – ساتکلیف و ضریب تبیین استفاده‌شده است.

مدل هیدرولوژیکی

نرم‌افزارArcSWATیک رابط گرافیکی برای مدل هیدرولوژیکی می‌باشد که به‌عنوان یک نرم‌افزار کمکی

توانایی اجرا شدن در نرم‌افزارArcMap، که از سری نرم‌افزارهایGISمی‌باشد را دارد. در واقع هنگام کار با مدلArcSWATبرای شبیه‌سازی و مدل‌سازی تمام مراحل انجام کار در محیط نرم افزارArcMapانجام خواهد شد.استفاده از محیطGIS برای مدل‌سازی توسط نرم‌افزار هیدرولوژیکی امکان استفاده از نقشه‌ها و داده‌های موضوعی را به‌صورت 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 درشرایط تغییرات اقلیمی را با جزئیات زیاد شبیه‌سازی نماید. هیدرولوژیکی می‌تواند اثرات بلند مدت پارامترها را در حوضه و تحت سناریوهای مختلف اقلیمی RCP2.6، RCP4.5وRCP8.5در سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۳۰ به خوبی شبیه‌سازی نماید. این مدل از نظر زمانی پیوسته و برای مدل سازی‌های بلند مدت می‌باشد و برای شبیه‌سازی رخدادهای سیلابی منفرد طراحی نشده‌است (جباری و همکاران، ۱۳۹۱).برای معرفی حوضه در مدل هیدرولوژیکی تقشه 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 بعدا 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 وکاربری ازاضی همگن می‌باشد، تقسیم می‌شود. واحدهای واکنش HRU (واحدهای واکنش هیدرولوژیک نام دارد (بیرانوند و همکاران، ۱۳۹۳).

اساس چرخه هیدرولوژی در مدل هیدرولوژیکی تغییرات اقلیم وشرایط تغییراقلیم معادله بیلانی آبی می‌باشد که این معادله به صورت شماره معدله بیان می‌گردد.

(۱)

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

در رابطه فوق:

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 iام (برحسب میلی‌متر آب)

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

E_a : مقدار تبخیر وتعرق در روز iام (برحسب میلی‌متر آب)

E_a : مقدار تبخیر وتعرق روزانه در روز iام (برحسب میلی‌متر آب)

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

Q_{gw} : مقدار جریان برگشتی در روز iام (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 شبیه سازی شده وتغییرات اقلیمی وشرایط تغییراقلیم در مدل برای هر زیر حوضه به وسیله شبکه رودخانه‌های حوضه ا صلی روندیابی می‌گردد.مدل هیدرولوژیکی وشرایط تغییراقلیم از معادله مانینگ برای تعریف شدت و سرعت جریان باد اسفتاده شده و آب در شبکه آبراهه به دو روش روندیابی ذخیره متغیر[1] و روش ماسکینگام روندیابی می‌کند. هردو روش تغییرات مدل موج جنبیشی هستند (بسالت‌پور و حسین‌زاده،۱۳۹۴).

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

[1]Variable storage routing method

روش گرین – آمپ رواناب از تفاضل بین کل آب در دسترس و اب 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 تغییراقلیم تبخیر و تعرق را با سه روش هارگریوز، پریستلی-تیلور وپنمن-مانتیث محاسبه می‌کند. همچنین برای شبیه‌سازی فرسایش خاک ناشی از بارش و رواناب ازفرم اصلاح شده معادله جهانی فرسایش خاک MUSLEاستفاده می‌گردد (باقری، ۱۳۹۴).

شاخص‌های آماری ارزیابی مدل هیدرولوژیکی

زمانی می‌توان از مدل‌های هیدرولوژیک وشرایط تغییراقلیم برای مطالعه سناریوهاوتصمیم‌سازیدرمدیریت حوزه‌های آبخیزاستفاده کرد که پس از فرایند واسنجی مورد ارزیابی و صحت سنجی قرار گیرند. صحت‌سنجی مدل عبارت است ازفرآیندی که درآن قابلیت مدل برای پیش‌بینی صحیح دوره‌ای غیر ازدوره استفاده شده در مرحله واسنجی بررسی می‌شود. زمانی می‌توان بیان کردیک مدل کارایی مناسبی دارد که صحت وقابلیت پیش‌بینی آن دردوره صحت‌سنجی بامقدارخطای قابل قبول به اثبات رسیده باشد. برای ارزیابی مدل‌ها نمی‌توان تنهابه یک روش آماری اکتفا کرد. برای ارزیابی مـدل هیدرولوژیکی روش‌های مختلفی به کارگرفته می‌شودکه ضریبتبیـین(R2)وضـریب نـاش سـاتکلیف(NS) مهمترین آن‌هامی‌باشند(علیزاده، ۱۳۹۲).

ضریب تبیین (*R2*)

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

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

که در آن:n: تعداد مشاهدات، oi: مقادیر مشاهده شده، pi:مقادیر شبیه‌سازی شده، $\bar{o}$: میانگین مقادیر مشاهد شده، $\bar{p}$: میانگین مقادیر پیش‌بینی شده می‌باشد.

ضریب‌ناش–ساتکلیف(*NS*)

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

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 مقادیرمشاهده‌ای وشبیه‌سازی شده می‌باشد. مقداراین فاکتوربین یک تامنفی بینهایت متغیرمی‌باشد. ضریبناش – ساتکلیف تغییرات مقادیرمشاهداتی را که درطول زمان رخ می‌دهد و مورد توجه می‌کند(گرینوونگرینسون، ۲۰۰۷). دو حالت کلی وجود دارد حالت اول: اگرضریب منفی شود،تخمین مدل بسیاربدترازتخمینی است که بااستفاده ازمیانگین کل مقادیرمشاهداتی بدست می‌آید. حالت دوم: مقداربیشتراز ۰/۵ ضریبناش - ساتکلیف (NS) نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب انجام شده توسط مدل می‌باشد. تفاوت اساسی بین ضریب نش وR2دراین است که ضریب ناش قادر است که با تکرار داده‌های مشاهداتی عملکرد مدل را تفسیر نماید. در صورتی که ضریب R2 این توانایی را ندارد (گرینوونگرینسون، ۲۰۰۷).

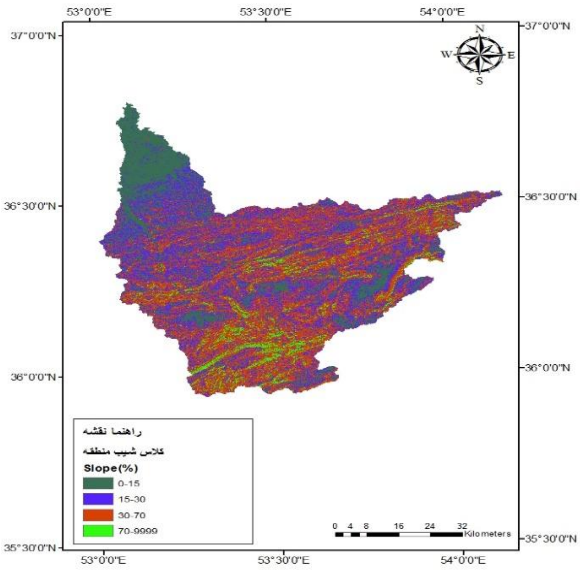
یافته‌های پژوهش

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

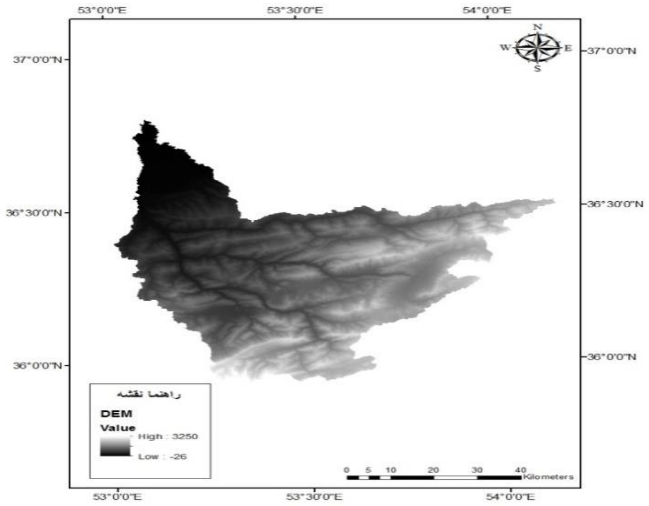
جدول (۱):: مشخصات ایستگاه‌های هواشناسی و بارانسجی محدوده مورد مطالعه

ردیف	نام ایستگاه	نوع ایستگاه	تاسیس شمسی	تاسیس میلادی	ارتفاع (متر)
۱	ساری	سینوپتیک اصلی	۱۳۷۸	۱۹۹۹	۲۲.۰۷
۲	قراخیل	تحقیقات هواشناسی کشاورزی/ اصلی	۱۳۶۳	۱۹۸۴	۱۴.۷
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 (۲): طبقات ارتفاعی و شیب محدوده مورد مطالعه



شکل (۳): پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه

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

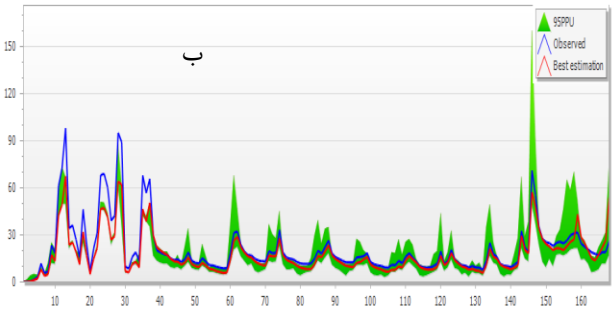
ارتفاع بیش از ۳۲۷۰ متری در این محدوده است. به بیان دقیق‌تر بلندترین وپایین‌ترین نقاط ارتفاعی حوضه موردمطالعه به ترتیب کوه شاه دژبا ۳۲۵۰ متروبندفرح آبادب ا -۲۶ متراختلاف ازسطح آب‌های آزادمی‌باشد.همچنین درصد شیب منطقه نیز از ۱ تا ۷۰ درصد متغیر می‌باشد

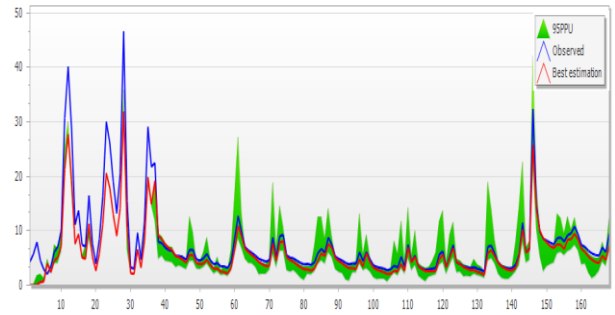
از دیگر اطلاعات مورد نیاز جهت اجرای مدل، داده‌های پوشش اراضی محدوده مورد مطالعه می‌باشد، یافته‌های حاصل از طبقه بندی اراضی حاکی از آن استازنظرفراروانی مناطق جنگلی به جنگل‌های انبوه با ۲۲۲ هزارهکتار (۸۲ درصد)،جنگل‌های نیمه انبوه با ۳۴ هزارهکتار (۱۳درصد) وجنگل‌هایتنکبا ۱۴ هزارهکتار (۵ درصد) تفکیک می‌شوند. گونه‌های درختی جنگل‌هامعمولا پهن برگ بوده وشامل بلوط، راش،ممرز،افرا، توسکا ،ملچ وغیره می‌باشد. لازم به ذکراست گونه‌های سوزنی برگ نیزبه صورت پراکنده ومحدوددرمنطقه موردمطالعه مشاهده می‌شود. نواحی مرتعی باوسعت حدودی ۷۵ هزارهکتاری ۱۷ درصدوسعت حوضه آبخیزتجن راتشکیل می‌دهد. اراضی کشاورزی وباغات وسعتی برابر ۶۳ هزارهکتارمعادل ۱۴ درصدوسعت حوضه تجن رادربرگفته است. زمین‌های کشاورزی عمومادردشت ساحلی خزرواقع هستند. البته محدوده‌های وسیع وحاصلخیزی دربخش‌های میانی حوضه،دردشت‌های مرتفع اطراف کیاسروغرب سفیدرود (دودانگه) وجوددارند.نقشه کاربری وطبقه‌بندی آن درشکل(۳) آورده شده است

شبیه‌سازی هیدروگراف جریان خروجی ازحوزه آبخیز

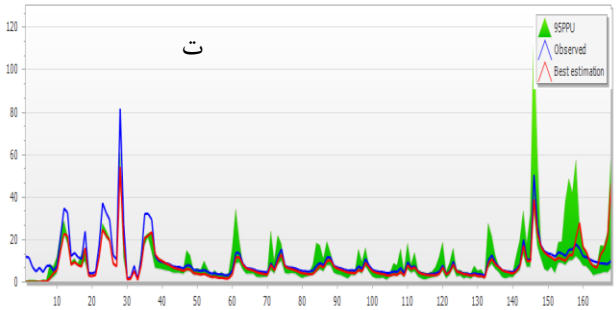
اولین اقدام جهت اجرای مدل و شبیه‌سازی هیدروگراف، تقسیم بندی حوضه آبخیز، به ۲۵ زیرحوضه می‌باشد. در ادامه ابتدا واسنجی مدل برای سالهای ۲۰۰۰ الی ۲۰۱۴ بر اساس مقایسه با داده‌های مشاهداتی صورت پذیرفت. واسنجی مدل هیدرولوژیکی به دو صورت دستی و یا با استفاده از برنامه SUFI2 که در قالب نرم افزار _ CUP هیدرولوژیکی 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 اندازه گیری 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 شبیه سازی، بایستی پارامترهای موجود در مدل بهینه شده و مجددا مدل را اجرا نمود تا جریان شبیه سازی 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 نهایتا 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 شبیه سازی شده و مشاهداتی در دوره واسنجی با پایه زمانی ماهانه در شکل (۴) هیدروگراف شبیه سازی شده و هیدروگراف مشاهداتی ماهیانه در دوره واسنجی (۲۰۱۴-۲۰۰۰)، نشان داده شده است.

الف

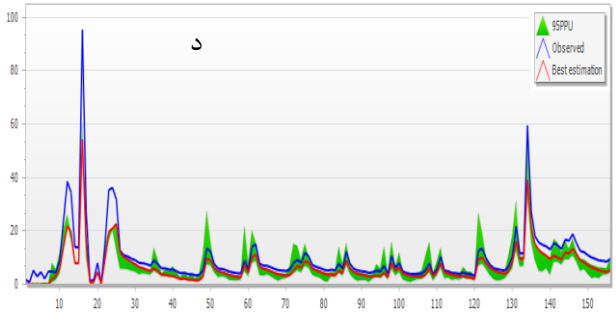

ب
95PPU
Observed
Best estimation


95PPU
Observed
Best estimation

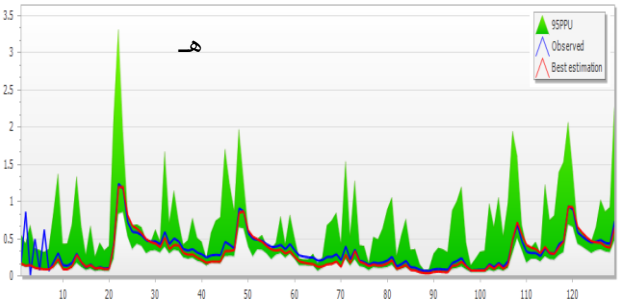
پ

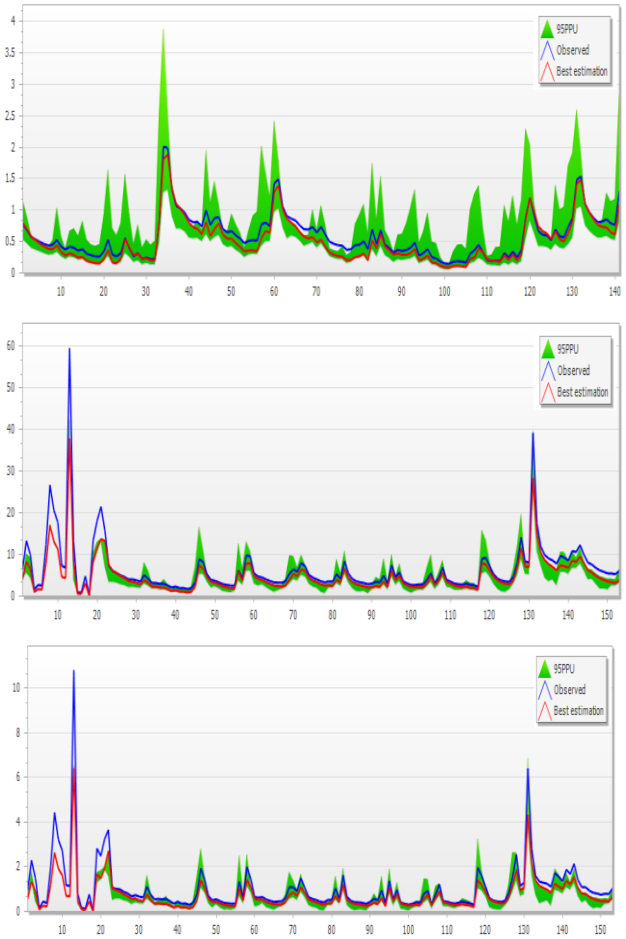

ت
95PPU
Observed
Best estimation

ج


د
95PPU
Observed
Best estimation

و


هـ
95PPU
Observed
Best estimation



شکل (۴):: واسنجی هیدروگراف شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی ایستگاه‌های (الف: کردخیل، ب: گرمرود، پ: ریگ‌چشمه، ت: ورند، ج:واستا، د: کرچا، و: آباد، هـ : علی‌آباد

جدول ۲: ارزیابی عملکرد SWAT در مرحله واسنجی

ردیف	نام ایستگاه	واسنجی			
		NSE	R2	P-FACTOR	R-FACTOR
۱	کردخیل	۰.۶۴	۰.۸	۰.۷۷	۰.۷
۲	گرمرود	۰.۶۳	۰.۷۸	۰.۷۲	۰.۵۲
۳	ریگ چشمه	۰.۶۷	۰.۸	۰.۶۹	۰.۷۲
۴	ورند	۰.۷۲	۰.۸۹	۰.۴۲	۰.۴۴
۵	کرچا	۰.۴۹	۰.۶۵	۰.۹۲	۰.۷۵
۶	واستا	۰.۴۸	۰.۶۶	۰.۹۱	۰.۸۵
۷	آباد	۰.۶۶	۰.۷۶	۰.۵۴	۰.۴۲۱
۸	علی آباد	۰.۶۶	۰.۷۲	۰.۴۵	۰.۳۸

منبع: محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۱

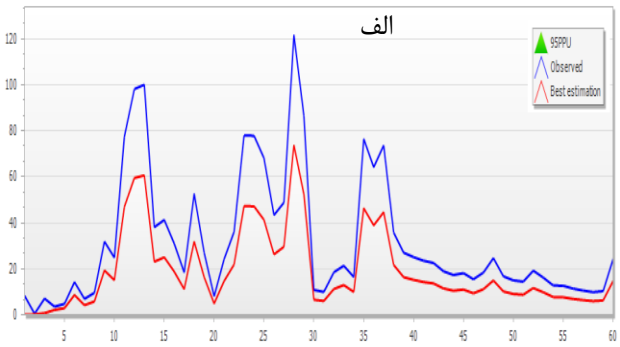
واسنجی مدل هیدرولوژیکی برای زیرحوضه ها حاکی از دقت بالای این مدل در شبیه‌سازی جریانات رواناب‌های سطحی می‌باشد. به بیان دقیق‌تر، مقایسه جریانات شبیه‌سازی با دبی‌های مشاهداتی ۸ ایستگاه نشان

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 ورند، 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. پایین ترین 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 به پارامترهای کالیبراسیون بهینه شده برای منطقه مطالعاتی،در بازه زمانی ۲۰۱۴– ۲۰۱۸می‌باشد. نتایج بررسی‌ها نشان می‌دهد که میانگین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده 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

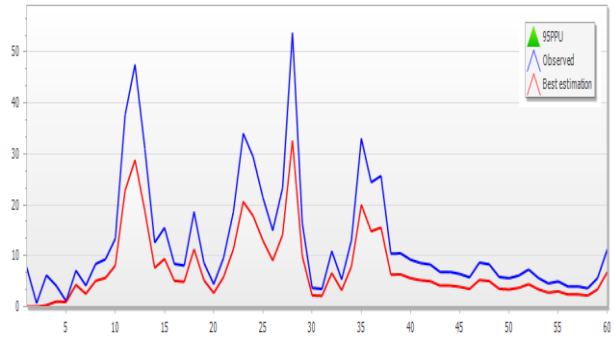
.

الف



ب

ت

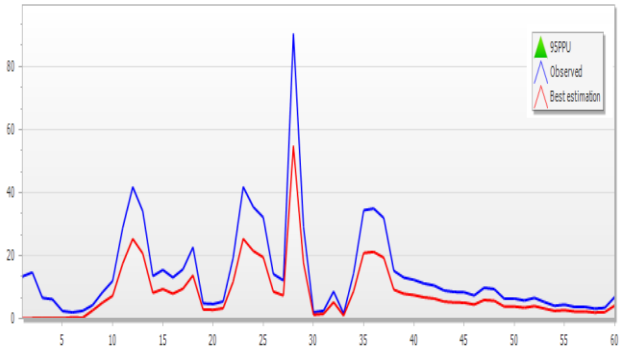


ج

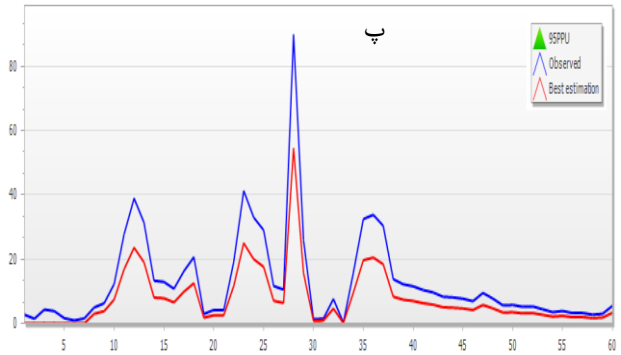
د

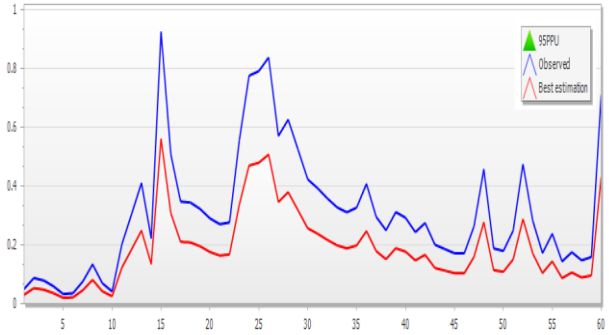
و

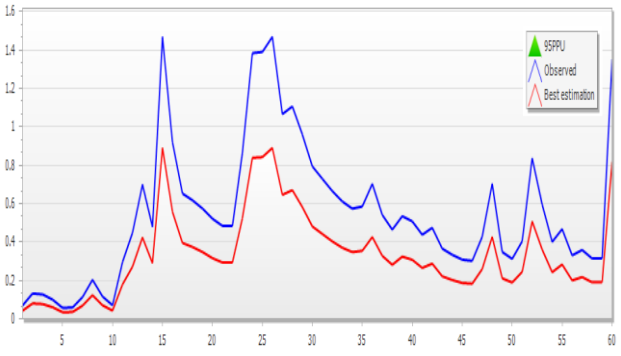
هـ

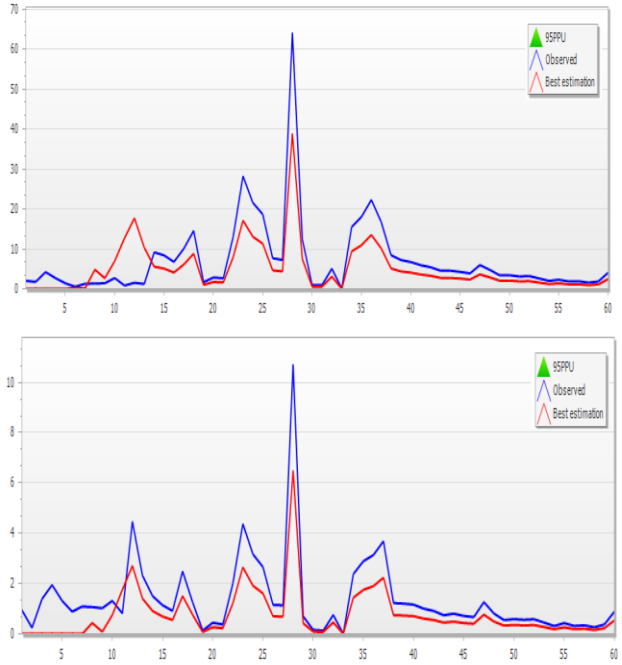

95PPU
Observed
Best estimation

پ


95PPU
Observed
Best estimation


95PPU
Observed
Best estimation


95PPU
Observed
Best estimation



شکل (۵)::صحت‌سنجی هیدروگراف جریان شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی ایستگاه‌های (الف: کردخیل، ب: گرمرود، پ: ریگ‌چشمه، ت: ورند، ج:واستا، د: کرچا، و: آباد، هـ : علی‌آباد)

جدول (۳):: ارزیابی عملکرد SWAT در مرحله صحت‌سنجی

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

منبع: محاسبات نگارندگان، ۱۴۰۱

بررسی هیدروگراف‌های خروجی از صحت سنجی مدل وتغییرات اقلیمی نشان می‌دهد که انتخاب مقادیر بهینه بعد از واسنجی مدل توسط برنامه SUFI2 تأثیر بسزایی در بالا بردن دقت خروجی های 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 صحت سنجی مدل نشان می‌دهد ایستگاه واستا با ضریب نش (۰/۹۱) و ضریب تبیین (۰/۹۷) بالاترین دقت را در شبیه‌سازی مدل داشته است. همچنین پایین ترین سطح دقت در مرحله صحت‌سنجی به ایستگاه (ریگ‌چشمه) با ضرایب نش و تبیین (۰/۶۹ و ۰/۷۲) اختصاص دارد.

نتیجه گیری

تلفیق کاربردی تکنیک های سنجش از دور و GIS با کمک قابلیت‌ها و انعطاف پذیری‌های مدل‌های هیدرولیکی و تغییراقلیم و هیدرولوژیکی توزیعی و نیمه توزیعی در بالابردن قدرت شبیه سازی رواناب تأثیر بسزایی دارد. مدل هیدرولوژیکی وتغییرات اقلیمی به عنوان یکی از مدل های شبیه ساز رواناب، یکی از مدل‌هایی است که داده‌های ورودی آن به وسیله سیستم اطلاعات جغرافیایی (Arc-GIS) تهیه و تنظیم میگردد. به عبارتی دیگر، داده‌هایی از قبیل: پوشش گیاهی، خاک، طبقات ارتفاعی، شیب و در نهایت داده‌های هواشناسی از قبیل بارش و دما بعد از درون‌یابی و سلول بندی، به این مدل جهت پردازش وارد می شوند. در مطالعه حاضر سعی شد با استفاده از هیدرولوژیکیLARS-WG و اقلیمی و شرایط اقلیم دبی خروجی از ۸ ایستگاه رودخانه‌های حوزه آبخیز تجن شبیه سازی شده و با دبی مشاهداتی مقایسه گردد. بازه زمانی پژوهش حاضر سال ۱۹۹۸ الی ۲۰۱۸ بوده است. نتایج بررسی ها نشان داد که مدل به علت استفاده از پارامترهای زیاد و موثر بر جریان های سطحی، دقت بالایی در شبیه‌سازی 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 بازبهینه 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 شبیه‌سازی رواناب خروجی حوزه آبخیز می‌باشد. در نهایت می‌توان اذعان نمود که مدل هیدرولوژیکی تغییرات وشرایط تغییراقلیم 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.

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. ۱۳۲:۱۰

دهقان منشادی،ح،نیک سخن،م،اردستانی،م، بررسی برآورد آب مجازی حوضه ای آبخیزونقش آن درسامانه های انتقال آب بین حوضه ای مجلهِ مهندسی منابع آب/سال ششم /زمستان۱۳۹۲

رحیمی زاده،م،بزرگ حداد،ا،۱۳۹۷، بررسی اثرهای انتقال آب بین حوضه ای بر منابع آب ایران، مجله پژوهشی راهبردی درعلوم کشاورزی و منابع طبیعی جلد ۳شماره ۱صص ۲۷تا۴۲

رئوفی،ی،شوریان،م،عطاری،ج، طراحی ایجاد سیستم انتقال آب بین حوضه ای بالحاظ شاخص های تصمیم گیری درحوضه ای آبریزمبدا ،سال یازدهم،شماره۱،بهاروتابستان۱۳۹۴.

سلیمانی، کریم، ۱۳۸۶، بررسی تغییرات اقلیم مازندران، پروژه تحقیقاتی، اداره کل هواشناسی استان مازندران.

شیدائیان،م،ضیاتبار 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،حلبیان،ا،شبانکاری،م، برنامه ریزی انتقال بین حوضه ای آب ازکارون به زاینده رود.

کارآموز، م.، و ش.، عراقی نژاد. ۱۳۸۴. هیدرولوژی پیشرفته. انتشارات دانشگاه صنعتی امیرکبیر. تهران. ۴۶۴ص.

موجرلو،ف،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 toclimate change.

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.

MacCracken, M. C., 2008. Prospects for Future Climate Change and the Reasons for Early Action, Journal of the Air and Waste Management Association, 58, 735-786.١٤Maknoon,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 (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)

ournal 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)١٧Roozbahani,A. Ghased , H. Hashemy Shahedany,M. 2020.Inter-basin water transfer planning with grey COPRAS and fuzzy COPRAStechniques: A case study in Iranian Central Plateau