



ISSN 2345 - 5012

Available online at: www.waterdevelop.com

Vol. (I)– No. 03- Winter 2014
17th Article– P. 184- 193

IBWRD

International Bulletin of
Water Resources & Development

Assesment of Physiographic Characteristics Effect on SWAT Model Performance: A Case Study of Haraz Catchment, Amol, Iran

Ataollah Kavian¹, Mohammad Golshan^{2*}, Hamed Rouhani³, Abazar Esmali Ouri⁴

¹ Department of Rangeland and Watershed, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran (a.kavian@sanru.ac.ir)

² Department of Rangeland and Watershed, Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (golshan.mohammad@yahoo.com)

³ Department of Rangeland and Watershed, Gonbad University, Gonbad Kavous, Iran (hamed.rouhani@gmail.com)

⁴ Department of Rangeland and Watershed, Mohaghegh Ardabili University, Ardabil, Iran, (esmaili.abzar@gmail.com)

*Corresponding Author (golshan.mohammad@yahoo.com)

Received: 1 January 2014

Accepted: 7 January 2014

ABSTRACT

SWAT model is used to predict the effects of management methods on water cycle, erosion simulation and agricultural chemicals transfer in vast and complex catchment areas. The main objective of this study was to test the SWAT model performance and usage in simulating the runoff flow in areas with different scales. In distributed and semi-distributed models such as SWAT, before calibration, it is necessary to identify parameters that are sensitive to obtain a better output. Therefore, sensitivity analysis was performed using SUFI2 method. In order to evaluate the performance of the model in simulating the runoff flows of different catchment scales, the calibration model was conducted for four stations: Karehsang, Razan, Chelav and Panjab from 1995 to 2004 and the model was evaluated from 2005 to 2009. To evaluate the ability of the SWAT model in simulating runoff, 3 indices, namely R2, NS, and MSE were used. The results of calibration and validation showed that Karehsang station with an area of 3285 km². and the coefficients of 0.80-0.87, 0.77-0.75 and 93.20-71.10 had the highest accuracy, respectively. Also, Panjab station, with an area of 130 km² and the coefficients of 0.68-0.75, 0.55-0.70 and 7.2-67.0 had the lowest accuracy, respectively. The overall results showed that the model has good performance for estimating the runoff.

Keywords: Haraz, Runoff Simulation, Scale, SWAT

ارزیابی تأثیر خصوصیات فیزیوگرافی حوزه آبخیز بر عملکرد مدل SWAT (مطالعه موردی: حوزه آبخیز هراز)

عطاالله کاویان^۱، محمد گلشن^۲، حامد روحانی^۳، ابازر اسمعیلی عوری^۴

^۱ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران (a.kavian@sanru.ac.ir)

^۲ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی، ساری، ایران، نگارنده رابط (golshan.mohammad@yahoo.com)

^۳ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه گنبد، گنبد کاووس، ایران (hamed.rouhani@gmail.com)

^۴ گروه مرتع و آبخیزداری، دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل، ایران (abazar.esmali@gmail.com)

تاریخ دریافت: ۱۳۹۲/۱۰/۱۱، تاریخ پذیرش: ۱۳۹۲/۱۰/۱۷

چکیده

مدل SWAT، مدلی جامع و کامل و از جمله روش‌های مدیریتی است که برای ارزیابی دبی جریان و رسوب در بسیاری از کشورها مورد استفاده قرار می‌گیرد. در این مطالعه به منظور ارزیابی تأثیر خصوصیات فیزیوگرافی حوزه بر عملکرد مدل از ۲ ایستگاه هیدرومتری موجود در حوزه آبخیز هراز با وسعت بالغ بر ۳۲۸۵۲۷ هکتار استفاده شد. در آنالیز حساسیت پارامترهای ورودی به مدل از روش SUFI2 استفاده شد. نتایج آنالیز حساسیت نشان داد که مدل حساسیت بیش‌تری نسبت به پارامترهای CN2، ALPHA_BNK و CH_K2 دارد. سپس واسنجی مدل به منظور شبیه‌سازی رواناب برای سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ انجام شد و با استفاده از نمایه‌های آماری ضریب همبستگی (R2)، نش-ساتکلیف (NS) و مجموع مربعات خطا (MSE) ارزیابی شد. نتایج نشان داد که مقادیر آماره‌ها در ایستگاه کره‌سنگ به ترتیب ۰/۸۰، ۰/۷۷ و ۲۰/۹۳ و در ایستگاه پنجاب ۰/۵۵، ۰/۷ و ۲/۷

می‌باشد. برای اعتبارسنجی نتایج حاصل، مدل برای سال‌های ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ اجرا شد. نتایج نشان داد که مقادیر آماره‌ها در ایستگاه کره‌سنگ به ترتیب ۰/۸۷، ۰/۷۵ و ۱۰/۱۷ و در ایستگاه پنجاب ۰/۷۵، ۰/۷۰ و ۰/۱۷ می‌باشد. در نهایت ارزیابی نتایج نشان داد که این مدل در مناطق دشتی نسبت به مناطق کوهستانی از کارایی بهتری برخوردار است.

واژه‌های کلیدی: شبیه‌سازی رواناب، خصوصیات فیزیوگرافی، هراز، SWAT

۱. مقدمه

کاربری اراضی و بارندگی استفاده می‌شوند (گوپتا^۶ و همکاران، ۱۹۹۶). وینگرادو^۷ و همکاران (۲۰۱۰) به منظور مقایسه دقت مدل در حوزه‌هایی با مساحت‌های مختلف از سیستم مدل‌سازی هیدرولوژیکی (DMHS) در شش حوزه رودخانه لنا^۸ برای سال‌های ۱۹۶۶ تا ۱۹۸۴ استفاده کردند که در این مطالعه کوچک‌ترین زیرحوزه مورد مطالعه با وسعت ۴۰/۲ کیلومتر مربع، با ضریب ناش-ساتکلیف (NS) ۶۴ درصد، ضریب تعیین (r) ۸۵ درصد و مجموع مربعات خطای (RMSE) ۳۳ درصد نسبت به بقیه حوزه‌ها دارای کم‌ترین دقت می‌باشد و بزرگ‌ترین حوزه با وسعت ۲۴۳۰۰۰۰ کیلومتر مربع، با ضریب ناش-ساتکلیف ۸۴ درصد، ضریب تعیین ۹۴ درصد و مجموع مربعات خطای ۸۴ درصد دارای بیش‌ترین دقت است. لسچن^۹ و همکاران (۲۰۰۹) با یک رویکرد چند مقیاسی از مدل LAPSUS به منظور شبیه‌سازی رواناب حوزه آبخیز کارکاوو در جنوب شرقی اسپانیا استفاده کردند. در مطالعه‌ای سومرلوت^{۱۰} و همکاران (۲۰۱۳) از سه مدل SWAT، HIT^{۱۱} و RUSLE2^{۱۲} در مقیاس حوزه به منظور شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی استفاده کردند. نتایج حاصله نشان داد که مدل SWAT از بالاترین دقت و مدل HIT از کم‌ترین دقت برخوردار می‌باشد. میرصانع و همکاران (۱۳۸۸) با استفاده از مدل SWAT اقدام به برآورد رواناب در حوزه آبخیز رودخانه کرخه کردند. ضرایب d-factor و p-factor، ضریب همبستگی (R²) و ضریب ناش-ساتکلیف به

تلاش دانشمندان و محققان، در جهت درک بهتر از پدیده‌های اساسی که رفتار فرآیندهای ژئوفیزیکی در پیش‌گویی وضعیت‌های آتی را کنترل می‌کنند و همچنین ترکیب این وضعیت‌های پیش‌بینی شده برای طراحی، از موارد قابل توجه است. از آنجایی که این فرآیندها همواره در طبیعت پیچیده و پویا^۱ هستند، مدل‌هایی با درجات مختلف ساده‌سازی برای پیش‌بینی رفتار سیستم توسعه یافتند. جهت حفاظت مناسب جامعه و محیط از اثرات وقوع سیلاب مانند: رواناب، فرسایش و آلودگی آب، انتخاب و کاربرد مدل‌های مناسب تجزیه و تحلیل مدیریت سیلاب لازم و ضروری است. این قبیل مدل‌ها بایستی ارائه مناسبی از رفتارهای هیدرولوژیکی و هیدرولیکی سیستم‌های زهکشی داشته باشند (آدامز و پاپا^۲، ۲۰۰۱ و بوگادیس و آداموویسکی^۳، ۲۰۰۶). مدل‌های شبیه‌سازی^۴ مبنای کامپیوتری دارند، که بخشی از معادلات چرخه آب را ارائه می‌دهند و برای پیش‌بینی میزان و عمق جریان آب، پتانسیل شستشو و بار رسوب استفاده می‌شوند. مدل‌های مذکور باید دربرگیرنده محاسبات زبری‌های سطحی، مقاومت جریان، حرکت آب، شیب‌های سطحی، عمق‌های رودخانه و خصوصیات خاک باشند (وسترولت^۵، ۲۰۰۱). معمولاً مدل‌های هیدرولوژیکی شامل تعداد زیادی از پارامترهایی است که برای بررسی رواناب سطحی و زیرسطحی، آب زیرزمینی، عمق نفوذ، تبخیر و تعرق، خصوصیات خاک،

6. Gupta
7. Vino grado
8. Lena
9. Lesschen
10. Sommerlot
11. High Impact Targeting
12. Revised Universal Soil Loss Equation

1. Non-Stationary
2. Adams and Papa
3. Bougadis and Adamowski
4. Simulation
5. Westervelt

حساسیت با استفاده از مدل SWAT2009 به علت در دسترس بودن ابزار آنالیز حساسیت در مدل صورت پذیرفت. در مرحله دوم، با استفاده از روش بهینه‌سازی SCE، ارزیابی عملکرد مدل SWAT2009 در واسنجی و اعتبارسنجی مورد بررسی قرار گرفت.

۲. مواد و روش‌ها

۲-۱. منطقه مورد مطالعه

منطقه مورد مطالعه بین $51^{\circ}43'$ تا $52^{\circ}36'$ طول شرقی و $35^{\circ}45'$ تا $36^{\circ}22'$ عرض شمالی واقع شده است (شکل ۱). از نظر تقسیمات سیاسی این منطقه جزء شهرستان آمل و حوزه آبخیز هراز می‌باشد. وسعت حوزه آبخیز هراز بالغ بر $328527/2$ هکتار است. محیط حوزه برابر با 391255 کیلومتر، حداقل ارتفاع حوزه 300 متر و حداکثر ارتفاع آن 5600 متر می‌باشد. متوسط میزان بارندگی سالانه از حداقل 302 میلی‌متر در در بخش تقریباً مرکزی منطقه تا حداکثر 1069 میلی‌متر در بخش شرقی منطقه در نوسان است. همچنین متوسط دمای منطقه از حداقل 5 درجه سانتی‌گراد تا حداکثر $23/1$ درجه سانتی‌گراد متغیر است. متوسط دمای سالانه منطقه حدود 8 درجه سانتی‌گراد محاسبه شده است. متوسط تبخیر سالانه منطقه حدود 1300 میلی‌متر می‌باشد. بیش‌ترین روزهای یخبندان ماهانه متعلق به دی ماه و حداکثر تعداد روز یخبندان ثبت شده در سال در منطقه به تعداد 165 روز است.

در مدل SWAT بر مبنای نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و شیب زیرحوضه‌ها، واحدهای هیدرولوژیک (HRU)^۱ مشخص شد. این واحدها بایستی تا حد امکان از نظر هیدرولوژیکی مشابه باشند (نیسچ^۲ و همکاران، ۲۰۰۵). موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی نسبت به حوزه

دست آمده برای دو ایستگاه کارضا و پل کشکان نشان داد که ایستگاه پل کشکان با قرار گرفتن در قسمت پایین دست حوزه و با دارا بودن موقعیت دشتی نسبت به ایستگاه کارضا که دارای ارتفاع بیشتری می‌باشد از دقت بیشتری برخوردار است. رستمیان و همکاران (۱۳۸۷) با استفاده از مدل SWAT اقدام به شبیه‌سازی رواناب در حوزه آبخیز بهشت‌آباد رودخانه کارون کردند که این مطالعات در ۶ زیرحوزه انجام گردید و کیفیت شبیه‌سازی مدل با استفاده از ضرایب p-factor، d-factor، ضریب همبستگی و ضریب ناش- ساتکلیف مورد ارزیابی قرار گرفت و نتایج حاصله نشان داد که ایستگاه بهشت‌آباد با بیش‌ترین مساحت و با موقعیت دشتی به ترتیب با ضرایب ۶۱ درصد، ۴۸ درصد، ۸۵ درصد و ۷۵ درصد، دارای بیش‌ترین دقت و ایستگاه دهنو با کم‌ترین مساحت و بیش‌ترین ارتفاع به ترتیب با ضرایب ۴۲ درصد، ۱/۰۴ درصد، ۵۷ درصد و ۴۷ درصد نسبت به بقیه ایستگاه‌ها دارای کم‌ترین دقت است. عمانی و همکاران (۱۳۸۵) با استفاده از مدل SWAT دبی جریان ماهانه رودخانه کارون را در دو زیرحوضه ماهی‌دشت و سنجایی شبیه‌سازی نمودند. در مرحله واسنجی مدل، مقدار ضریب R^2 برای زیرحوضه‌های مورد مطالعه به ترتیب ۸۹ و ۸۱ درصد و در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۹۰ و ۸۷ درصد به دست آمد. نتایج حاصل نشان می‌دهد که زیرحوضه ماهی‌دشت با دارا بودن موقعیت دشتی نسبت به ایستگاه سنجایی که یک ایستگاه کوهستانی است، دارای دقت بیشتری می‌باشد.

با توجه به مطالعات پیشین، هدف از تحقیق پیش رو، بررسی قابلیت مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوزه آبخیز هراز در محل ایستگاه‌های هیدرومتری با خصوصیات فیزیوگرافی متفاوت می‌باشد. بدین منظور داده‌های هیدرومتری حوزه مورد مطالعه از دو ایستگاه موجود در حوزه جمع‌آوری شد. بنابراین، ابتدا آنالیز

1. Hydrologic Response Unit

2. Neitsch

مدل SWAT یک برنامه الحاقی به نرم‌افزار ArcMap به نام Arc SWAT2005 دارد. در واقع این نرم‌افزار نمایش گرافیکی مدل است که بعد از آن که خروجی مدل شبیه‌سازی شد، آن را به صورت یک گرافیک و یا جدول نشان می‌دهد. در مدل SWAT چرخه هیدرولوژی بر اساس معادله بیلان آب شبیه‌سازی می‌شود (رابطه ۱):

$$SW_t = SW_0 + \sum (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (1)$$

در این رابطه SW_t مقدار نهایی آب خاک، SW_0 مقدار اولیه آب خاک، R_{day} مقدار بارندگی در روز نام، Q_{surf} مقدار رواناب در روز نام، E_a مقدار تبخیر و تعرق در روز نام، W_{seep} مقدار آب نفوذی به لایه فوقانی خاک در روز نام و Q_{gw} مقدار جریان برگشتی در روز نام است.

در مدل SWAT برای تخمین رواناب سطحی دو روش وجود دارد: الف) روش شماره منحنی و ب) رابطه نفوذ گرین-امپت (نیتچ و همکاران، ۲۰۰۵). در این تحقیق مقدار رواناب بر اساس روش پیشنهادی سازمان حفاظت خاک آمریکا (SCS) محاسبه شد:

$$Q_{surf} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} - 0.8S)} \quad (2)$$

در این رابطه Q_{surf} مقدار رواناب در روز نام، R_{day} مقدار بارندگی در روز نام و S پارامتر نگهداشت آب در داخل حوزه است که به صورت زیر محاسبه می‌شود:

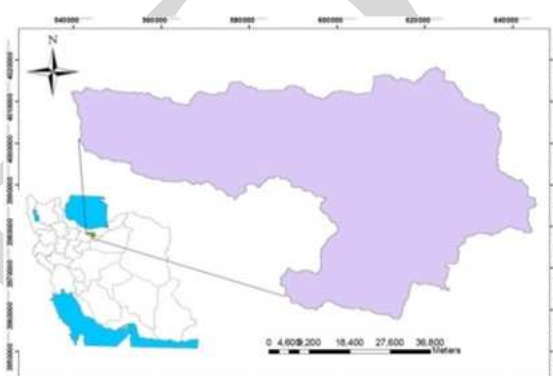
$$S = 25.4 \left(\frac{1000}{CN} - 10 \right) \quad (3)$$

CN پارامتر خصوصیات حوزه از نظر نفوذپذیری است.

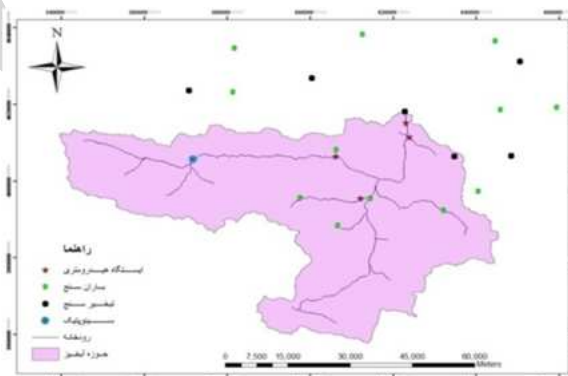
۲-۳. آنالیز حساسیت

تابع هدف انتخاب شده ضریب ناش - سانتکلیف می‌باشد. میزان کارایی یک مدل برای اهداف تعیین شده، از طریق آنالیز حساسیت، واسنجی و اعتبار سنجی بررسی می‌شود (عثمانی و همکاران، ۱۳۹۲). روش‌های به کار برده شده

مورد مطالعه همراه با موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل (۲) نشان داده شده است. از کل مساحت حوزه آبخیز هراز، ۷۵ درصد مربوط به اراضی مرتعی علفی، ۳ درصد اراضی مرتعی بوته‌ای، ۱۰ درصد جنگل‌های پهن برگ، ۳/۲۵ درصد جنگ سوزنی‌برگ، ۶ درصد زمین‌های کشاورزی، ۲/۵ درصد باغ و ۲۵ درصد زمین‌های مسکونی می‌باشد. تمامی رودخانه‌های حوزه به رودخانه هراز ختم می‌شوند.



شکل ۱. موقعیت منطقه مورد مطالعه.



شکل ۲. موقعیت ایستگاه‌ها نسبت به حوزه مورد مطالعه.

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری در حوزه آبخیز هراز.

نام ایستگاه	رودخانه	ارتفاع	تأسیس	مساحت	نوع ایستگاه
پنجاب	نمارستاق	۹۷۴	۱۹۷۳	۱۳۰	درجه ۳
کره‌سنگ	هراز	۳۳۶	۱۹۵۰	۳۲۸۵	درجه ۱

۲-۲. معرفی مدل

پاراسول^۸ (وان‌گرینسون و میکسنر، ۲۰۰۶) استفاده می‌شود. روش SCE-UA به طور وسیع در واسنجی مدل‌های آبخیز و دیگر عرصه‌های هیدرولوژی مانند مدل‌سازی فرسایش خاک، هیدرولوژی زیرسطحی، سنجش از دور و رواناب زمینی استفاده می‌شود (دان و همکاران، ۲۰۱۳). مزیتی که روش SCE-UA دارد آن است که به صورت کامپیوتری کار سخت جستجوی فاصله پارامتر را سریع‌تر از دیگر کاربرها انجام می‌دهد.

در این پژوهش با استفاده از مقادیر اندازه‌گیری شده شدت جریان متوسط ماهانه بین سال‌های ۱۹۹۵ تا ۲۰۰۴ در ۲ ایستگاه هیدرومتری به نام‌های کره‌سنگ و پنجاب اقدام به واسنجی مدل گردید. به منظور تحلیل کیفیت نتایج مدل از ۳ نمایه آماری ضریب همبستگی (R^2)، راندمان نش-ساتکلیف (NS) و میانگین مربعات خطا (MSE) استفاده شد. ضریب همبستگی نشان می‌دهد که خط رگرسیونی بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده تا چه میزان به بیش‌ترین مقدار هماهنگی بین این دو سری مقدار نزدیک است. مقدار ضریب یاد شده از صفر تا ۱ متغیر می‌باشد. راندمان (NS) به عنوان تابع هدف در هنگام واسنجی مدل مورد استفاده قرار گرفت. مقدار آن از منفی بی‌نهایت تا ۱ متغیر است و نشان می‌دهد که خط رگرسیونی بین مقادیر شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده تا چه مقدار به خط رگرسیونی با شیب ۱ (خط اریب با شیب ۱:۱) نزدیک است. مقادیر ضریب راندمان نیز بین صفر و یک متغیر می‌باشند. با استفاده از نمایه میانگین مربعات خطا، شبیه‌سازی که دارای کم‌ترین MSE باشد از دقت بیش‌تری برخوردار است. روابط مربوط به محاسبه این پارامترها به شرح زیر می‌باشند:

$$R^2 = \left\{ \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})(Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})}{[\sum_{i=1}^n (Q_{obs} - \bar{Q}_{obs})^2]^{0.5} [\sum_{i=1}^n (Q_{sim} - \bar{Q}_{sim})^2]^{0.5}} \right\} \quad (4)$$

برای انجام آنالیز حساسیت به طور کلی در دو گروه آنالیزهای حساسیت موضعی^۱ و سرتاسری^۲ قرار می‌گیرند (وان‌گرینسون و میکسنر^۳، ۲۰۰۶). آنالیز حساسیت به این خاطر حائز اهمیت است که پارامترهای ورودی بسیار زیادی در خروجی مدل دخیل هستند. بنابراین لازم است تا پارامترهایی که خروجی مدل به آن‌ها حساسیت بیش‌تری نشان می‌دهد، مشخص گردند و پارامترهایی که تأثیرگذاری چندانی در خروجی مدل ندارند کنار گذاشته شوند و برای واسنجی مدل تنها از پارامترهای حساس استفاده شود (سبین^۴ و همکاران، ۲۰۱۰). به همین منظور در این تحقیق بعد از اجرای اولیه مدل اقدام به تحلیل حساسیت تأثیر پارامترهای مختلف بر خروجی‌های مدل براساس تابع هدف شد. در این مطالعه بر اساس پژوهش‌های مختلف صورت پذیرفته در این زمینه مانند هولوت و همکاران (۲۰۰۵)، اتین^۵ و همکاران (۲۰۰۸) و رابرت^۶ و همکاران (۲۰۰۸)، ۲۰ پارامتر که بر جریان رودخانه مؤثرتر بودند، برای تحلیل حساسیت انتخاب شدند. محدوده تغییر این پارامترها بر اساس لیست تهیه شده در راهنمای SWAT2009 می‌باشد (نتیج و همکاران، ۲۰۰۵).

۲-۴. واسنجی و اعتبارسنجی مدل

رویکرد مدل SWAT2009 واسنجی شده و اعتبارسنجی شده بر اساس واسنجی دستی و اتوواسنجی است. هر دو این روش‌ها در نسخه SWAT2009 موجود است. رویکرد اتوماتیک بر اساس الگوریتم Shuffled Complex Evolution اجرا می‌شود (دان^۷ و همکاران، ۱۹۹۲) که الگوریتم جستجوی سرتاسری برای کاهش یک تابع ساده می‌باشد. در ابزار اتوواسنجی از روش

1. Local Sensitivity
2. Global Sensitivity
3. Van Griensven and Meixner
4. Cibin and Sudheer
5. Etienne
6. Robert
7. Duan

شامل ۹ نوع کاربری اراضی بود. لایه اطلاعات خاک منطقه به ۵۷ واحد خاک و لایه شیب نیز به ۵ واحد تقسیم‌بندی گردیدند. داده‌های عددی و کلیماتولوژی شامل داده‌های بارندگی، درجه حرارت حداقل و حداکثر، سرعت باد و رطوبت نسبی بر پایه زمانی روزانه، از ۲۱ ایستگاه موجود در داخل و اطراف منطقه مورد مطالعه می‌باشند (شکل ۲) که از سازمان هواشناسی و شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران تهیه شدند. داده‌های مربوط به دبی جریان برای سال‌های (۱۹۹۴ تا ۲۰۰۹) از شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران تهیه گردید.

۴. نتایج و بحث

حساسیت هیدرولوژیکی حوزه‌های آبخیز بر حسب شرایط و ویژگی‌های موجود در منطقه در برابر پارامترها مختلف، متفاوت است. لذا با توجه به شرایط موجود در منطقه و مطالعات انجام شده، ۲۰ پارامتر با ۱۰ فاصله نمونه‌برداری LH و ۵۰۰ تکرار برای انتخاب محدوده این پارامترها انجام گرفت. در نهایت هشت پارامتر به عنوان پارامترهایی با حساسیت نسبی بالا برای منطقه مورد مطالعه مشخص شدند که در جدول (۲) ذکر گردیده‌اند.

جدول ۲. رتبه‌بندی پارامترهای حساس مدل به مقدار رواناب.

رتبه	پارامتر	فایل	رتبه	پارامتر	فایل
۱	CN2	MGT	۵	EPCO	HRU
۲	ALPHA_BNK	GW	۶	SMFMX	MGT
۳	CH_K2	GW	۷	SOL_BD	SOL
۴	SMTMP	MGT	۸	ESCO	SOL

پاناکوپولوس^۱ و همکاران (۲۰۱۱) مطابقت دارد. همچنین پارامترهای فاکتور آلفا جریان پایه برای ذخیره کناری (ALPHA-BNK)، قابلیت هدایت هیدرولیکی مؤثر (CH-K2)، متوسط دمای هوا برای تبدیل باران به برف

$$E_{Ns} = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_{Obs} - Q_{Sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_{Obs} - \bar{Q}_{Obs})^2} \quad (5)$$

$$MSE = \frac{SSE}{n-k} \quad (6)$$

در این رابطه‌ها، Q_{Obs} دبی مشاهده‌ای، Q_{Sim} دبی شبیه‌سازی شده، \bar{Q}_{Obs} میانگین دبی مشاهده‌ای، \bar{Q}_{Sim} میانگین دبی شبیه‌سازی شده برحسب مترمکعب بر ثانیه می‌باشند. همچنین SSE تغییرات مربوط به داخل گروه‌ها یا واریانس خطا است که از رابطه زیر به دست می‌آید.

$$SSE = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n (X_{ij} - \bar{X}_i)^2 = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^n X_{ij}^2 - \sum_{i=1}^k \frac{X_i^2}{n_i} \quad (7)$$

در این رابطه، X_{ij} ، ژامین مشاهده است که در گروه i ام قرار دارد، X_i مجموع مشاهدات در گروه i ام و n_i تعداد مشاهدات در گروه i ام می‌باشد.

۳. جمع‌آوری اطلاعات و مدل‌سازی

۳-۱. لایه‌های اطلاعاتی مورد نیاز

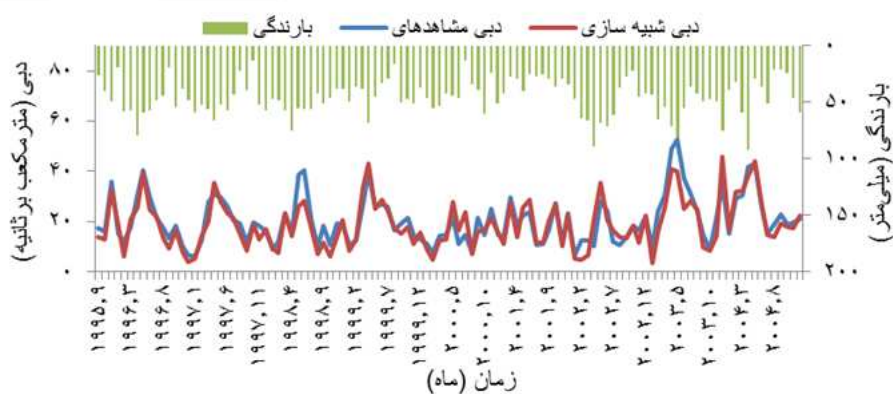
داده‌های مورد استفاده در این پژوهش شامل داده‌های مکانی و داده‌های عددی و هیدروکلیماتولوژی می‌باشد. لایه‌های مدل رقومی ارتفاع با قدرت تفکیک ۲۰ متر، لایه کاربری اراضی و لایه خاک منطقه از اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان مازندران و شرکت آب منطقه‌ای استان مازندران تهیه شدند. لایه کاربری اراضی

در کل، نتایج حاصل نشان داد که شماره منحنی (CN) به عنوان مؤثرترین پارامتر تأثیرگذار بر جریان رواناب منطقه مطرح می‌باشد. این نتیجه با نتایج حاصل از مطالعات سلمانی (۱۳۹۰)، سادات میرصانع و همکاران (۱۳۸۸) و

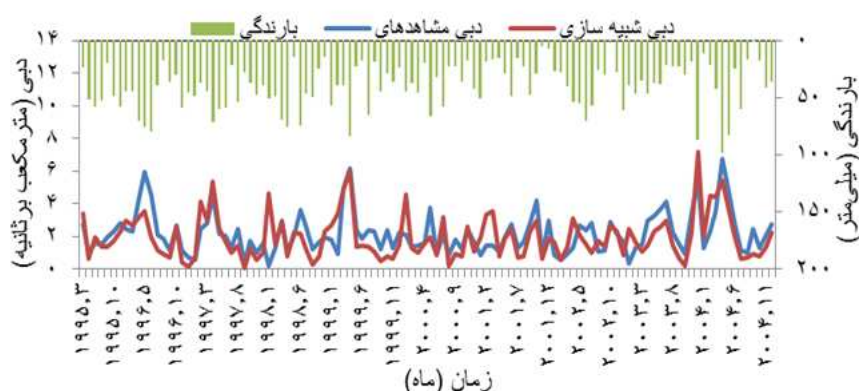
به نسبت خوبی با مقادیر اندازه‌گیری شده داشته‌اند؛ اما در بین ماه‌های مارس تا ژوئن (اوایل تا اواخر بهار) این انطباق چندان مشاهده نمی‌شود. این مسأله در ایستگاه‌ها پنجاب شدیدتر می‌باشد. دلیل این امر را می‌توان این‌گونه تشریح نمود که مدل، توانایی شبیه‌سازی دقیق دبی‌های اوج رودخانه را ندارد. این موضوع در کارهای محققان دیگر چون اسپرویل و همکاران (۲۰۰۰) و عثمانی و همکاران (۱۳۹۲) نیز ملاحظه می‌شود. برای این ضعف، دلایلی نیز ذکر شده است که از مهم‌ترین آن‌ها می‌توان به ضعف مدل در شبیه‌سازی فرآیند ذوب برف اشاره کرد (وانگ و ملس، ۲۰۰۵). عملکرد مدل در ایستگاه بالادست (پنجاب) دارای دقت کم‌تری می‌باشد و در ایستگاه کره‌سنگ که در خروجی حوزه آبخیز هراز است، دارای عملکرد بسیار بالایی می‌باشد. این موضوع خود می‌تواند تأکیدی بر ضعف مدل در شبیه‌سازی جریان‌های ناشی از ذوب برف باشد؛ چراکه با پیشروی به سمت پایین‌دست از سهم این جریان‌ها کاسته شده و به سهم زه‌آب‌های زمین‌های مجاور افزوده می‌شود و مدل، این جریان‌ها را بهتر شبیه‌سازی می‌کند.

(SMTMP) و فاکتور گیرش گیاهی (EPCO) به ترتیب جزء مهم‌ترین فاکتورهای کنترل‌کننده دبی جریان در حوزه آبخیز مورد مطالعه می‌باشند. بالا بودن حساسیت پارامتر (ALPHA- BNK) نشان‌دهنده اهمیت اراضی اطراف رودخانه هراز بر روی دبی جریان رودخانه می‌باشد. در این مطالعه از روش شماره منحنی (CN2) برای محاسبه رواناب استفاده شد، به همین دلیل پارامترهای (SMTMP، CH-K2 و SMFMX) به عنوان پارامترهای حساس مشخص گردیدند. از آن‌جا که ۱۳ درصد منطقه مورد مطالعه مربوط به اراضی جنگلی می‌باشد و سایر کاربری‌ها نیز از وضعیت مناسبی برخوردار هستند؛ لذا پارامتر گیرش گیاهی (EPCO) در منطقه مورد مطالعه از حساسیت بالایی برخوردار است. دیگر پارامترهای حساس که در این طبقه‌بندی قرار گرفتند مربوط به پارامتر خاک (SOL-BD و ESCO) می‌باشند.

نتایج واسنجی مدل، همبستگی مناسبی با داده‌های اندازه‌گیری شده شدت جریان در رودخانه هراز نشان می‌دهند (جدول ۳). در شکل (۳) که مربوط به ایستگاه کره سنگ است، نتایج مدل در اکثر ماه‌های سال انطباق



شکل ۳. نتایج حاصل از اجرای مدل در مرحله واسنجی برای شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه هیدرومتری کره‌سنگ.



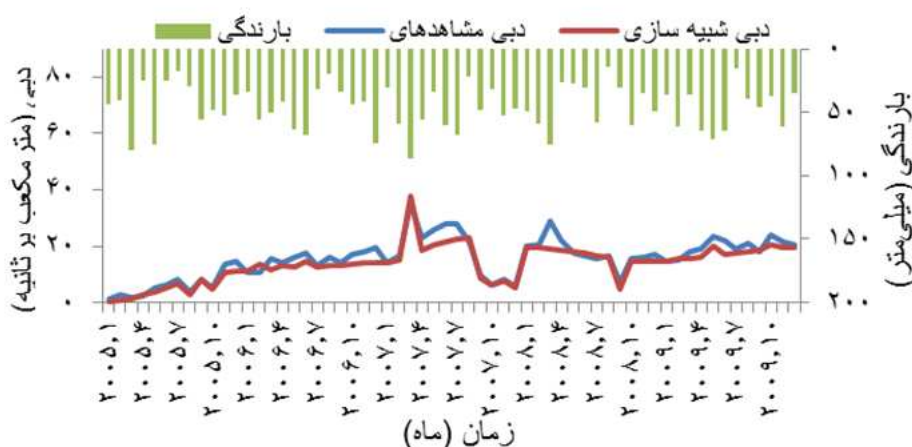
شکل ۴. نتایج حاصل از اجرای مدل در مرحله واسنجی برای شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه هیدرومتری پنجاب.

جدول ۳. خلاصه نتایج مدل در مرحله واسنجی.

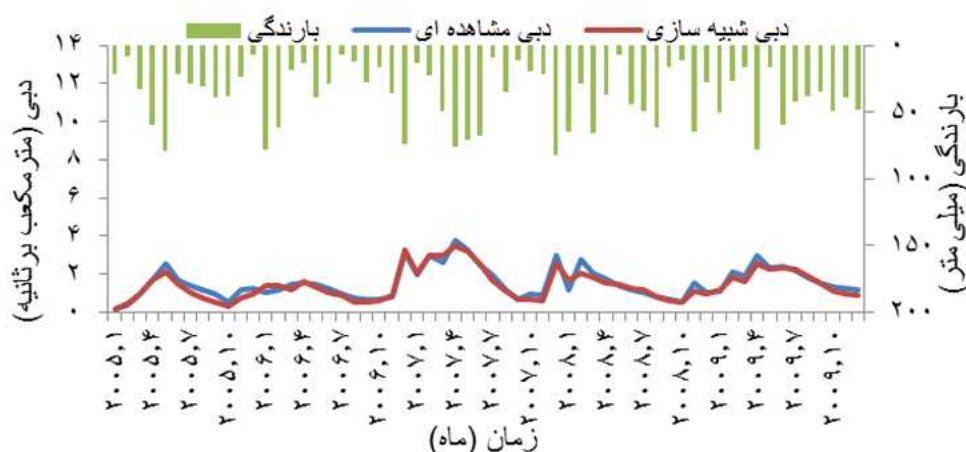
ایستگاه	طول دوره آماری	R^2	NS	MSE
کره‌سنگ	۱۰۸ ماه	۰/۸۰	۰/۷۷	۲۰/۹۳
پنجاب	۱۰۸ ماه	۰/۶۸	۰/۵۵	۲/۷۰

نه چندان قابل قبول مدل در فصل بهار یاد شد، در دوره اعتبارسنجی نیز مصداق دارد. شاخص‌های ارزیابی مدل در مرحله اعتبارسنجی در جدول (۴) آورده شده است. به طوری که در این مرحله نیز ایستگاه کره‌سنگ نسبت به ایستگاه پنجاب از دقت بیش‌تری برخوردار است.

اعتبارسنجی نتایج مدل برای افزایش سطح اعتماد کاربر در قابلیت پیش‌گویانه مدل ضروری است. بنابراین، مدل توسط داده‌های رواناب مشاهده‌ای در ایستگاه‌های اندازه‌گیری برای دوره ۵ ساله ۲۰۰۵ تا ۲۰۰۹ اعتبارسنجی گردید. نتایج این اعتبارسنجی در شکل‌های (۵) و (۶) ارائه شده است. آنچه در بخش گذشته در مورد عملکرد



شکل ۵. نتایج حاصل از اجرای مدل در مرحله اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه هیدرومتری کره‌سنگ.



شکل ۶. نتایج حاصل از اجرای مدل در مرحله اعتبارسنجی برای شبیه‌سازی رواناب در ایستگاه هیدرومتری پنجاب.

جدول ۴. خلاصه نتایج مدل در مرحله اعتبارسنجی.

ایستگاه	طول دوره آماری	R ^۲	NS	MSE
کره‌سنگ	۶۰ ماه	۰/۸۷	۰/۷۵	۱۰/۱۷
پنجاب	۶۰ ماه	۰/۷۵	۰/۷۰	۰/۶۷

۵. نتیجه‌گیری

پیش‌تر و ارتفاع کم‌تر از دقت بیش‌تری برخوردار است؛ به طوری که ایستگاه کره‌سنگ نسبت به ایستگاه پنجاب از دقت بیش‌تری برخوردار می‌باشد. استفاده از این مدل یا مدل‌های کامپیوتری دیگر به دلیل کاهش هزینه عملیات صحرایی و به ویژه به دلیل کاهش زمان مورد نیاز برای تحلیل مسائل، می‌تواند جزو راهکارهای ممکن به منظور ارتقای سطح مدیریت منابع آب و حفظ محیط زیست قلمداد گردد. علاوه بر این، با استفاده از ابزار یاد شده، این امکان برای پژوهشگران و مدیران اجرایی فراهم می‌شود تا سناریوهای مختلف مدیریتی را که امکان اجرای آن‌ها در زمان کوتاه و بدون صرف هزینه سنگین وجود ندارد، مورد ارزیابی قرار دهند و با تحلیل نتایج، بهترین تصمیم را اتخاذ نمایند.

منابع

رستمیان، ر.، موسوی، س. ف.، حیدرپور، م.، افیونی، م. و عباسپور، ک. (۱۳۸۷)، ارزیابی رواناب و رسوب در حوزه بهشت‌آباد کارون شمالی با استفاده از مدل SWAT 2000، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، دوره دوازدهم، شماره چهارم و ششم (ب).

بر اساس پیشنهاد بنامن و شومیکر^۱ (۲۰۰۵) شبیه‌سازی مدل موقعی می‌تواند رضایت‌بخش باشد که مقدار ضریب همبستگی موجود بین داده‌های مشاهداتی و داده‌های شبیه‌سازی شده بیش‌تر از ۶۰ درصد باشد و ضریب نش-ساتکلیف بیش‌تر از ۵۰ درصد باشد. نتایج حاصل از ایستگاه‌های مورد بررسی با این مقادیر مطابقت دارد. مقادیر برآورد شده برای متوسط دبی ماهانه به مقادیر مشاهداتی نزدیک می‌باشند و برای ماه‌هایی که درجه حرارت پایین دارند، مقدار دبی برآورد شده بیش‌تر از مقادیر مشاهداتی است. این موضوع اکثراً برای ماه‌های ژانویه، فوریه و مارس قابل ذکر می‌باشد که در آن‌ها مقدار دبی برآورد شده در اکثر سال‌ها بیش‌تر از مقدار دبی مشاهداتی می‌باشد. این مسأله در ایستگاه پنجاب به دلیل کوهستانی بودن، شبیه‌سازی دبی جریان را دچار اختلال کرده است. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد که مدل SWAT در حوزه‌هایی با مساحت

1. Benaman and Shoemaker

- Gupta, H. V., Yapo, P. O. and Sorooshian, S. (1996), Automatic Calibration of Conceptual Rainfall Runoff Models: Sensitivity to Calibration Data, *Journal of Hydrology*, 181 p.
- Holvoet, K., Van Griensven, A., Seuntjens, P. and Vanrolleghem, P. A. (2005), Sensitivity Analysis for Hydrology and Pesticide Supply towards the River in SWAT, *Physics and Chemistry of the Earth*, Vol. 30, No. 8-10, pp. 518- 526.
- Lesschen, J. P., Schoorl, J. M. and Cammeraat, L. H. (2009), Modelling Runoff and Erosion for a Semi-Arid Catchment using a Multi-Scale Approach based on Hydrological Connectivity, *Journal of Geomorphology*, Vol. 109, pp. 174– 183.
- Neitsch, S. L., Arnold, J. G., Kiniry, J. R. and Williams, J. R. (2005), Soil and Water Assessment Tool Theoretical Documentation- Version 2005, Grassland, Soil & Water Research Laboratory, Agricultural Research Service, and Blackland Agricultural Research Station, Temple, Texas. 494 p.
- Panagopoulos, Y., Makropoulos, C., Baltas, E., and Mimikou, M. (2011), SWAT Parameterization for the Identification of Critical Diffuse Pollution Source Areas under Data Limitations, *Journal of Ecological Modelling*, Vol. 222, pp. 3500– 3512.
- Robert, S. A., Scott W. W., and Hans, R. Z. (2008), Hydrologic Calibration and Validation of SWAT in a Snow Dominated Rocky Mountain Watershed, Montana, U.S.A. *Journal, the American Water Resources Association*, Vol. 44, pp. 1411- 1430.
- Sommerlot, A., Nejadhashemi, A., Woznicki, S., Giri, S. and Prohaska, M. (2013), Evaluating the Capabilities of Watershed-Scale Models in Estimating Sediment yield at Field-Scale, *Journal of Environmental Management*, Vol. 127, pp. 227- 236.
- Spruill, C. A., Workman, S. R., and Taraba, J. L. (2000), Simulation of Daily and Monthly Stream Discharge From Small Watersheds using the SWAT Model, *Journal of Transactions of the American Society of Agricultural Engineers*, Vol. 43, pp. 1431-1439.
- Van Griensven, A. and Meixner, T. (2006), Methods to Quantify and Identify the Sources of Uncertainty for River Basin Water Quality Models, *Journal of Water Science and Technology*, Vol. 53, pp. 51- 59.
- Vinogradov, Y. B., Semenova, O. M. and Vingaradova, T. V. (2010), An Approach to the Scaling Problem in Hydrological Modelling: the Deterministic Modelling Hydrological System, *Journal of Hydrological Processes*, Vol. 24, pp. 1- 19.
- سادات میرصانع، ز.، کاویانپور، م. و دلاور، م. (۱۳۸۸)، ارزیابی تأثیر پارامترهای مختلف هیدرولوژیکی بر رواناب حوضه‌های آبریز به وسیله مدل SWAT، هشتمین کنگره بین‌المللی مهندسی عمران، دانشگاه شیراز.
- سلمانی، ح. (۱۳۹۰)، بهینه‌سازی پارامترهای مؤثر در بارش- رواناب در مدل نیمه‌توزیعی SWAT (مطالعه موردی: زیرحوضه قزاقلی حوضه گرگانرود استان گلستان)، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشکده کشاورزی دانشگاه تهران، ۱۵۸ص.
- عثمانی، ه.، معتمدوزیری، ب. و معینی، ا. (۱۳۹۲)، شبیه‌سازی دبی، واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT، مطالعه موردی: حوضه بالادست سد لتیان تهران، نشریه مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۵، شماره ۲.
- عمانی، ن.، تجریشی، م. و ابریشم‌چی، ا. (۱۳۸۵)، شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل SWAT و GIS، هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران اهواز.
- Adams, B. J., and Papa, F. (2001), Urban Stormwater Management Planning with Analytical Probabilistic Models, *Canadian Journal of Civil Engineering*, Vol. 28, No. 3, pp. 545, doi:10.1139/101-008.
- Benaman, J. and Shoemaker, C. A. (2005), An Analysis of High-Flow Sediment Event Data for Evaluating Model Performance, *Hydrological Processes*, Vol. 19, No. 3, pp. 605– 620.
- Bougadis, J. and Adamowski, K. (2006), Scaling Model of a Rainfall Intensity-Duration-Frequency. *Hydrological Processes*, Vol. 20, pp. 3747– 3757.
- Cibin, R., and Sudheer, K. P. (2010), Sensitivity and Identifiability of Stream Flow Generation Parameters of the SWAT Model. *Hydrological Processes*, Vol. 24, No. 9, pp. 1133– 1148.
- Duan, Q., Sorooshian, S. and Gupta, V. (1992), Effective and Efficient Global Optimization for Conceptual Rainfall-Runoff Models, *Journal of Water Resources Research*, Vol. 28, pp. 1015- 1031.
- Duan, Q., Sorooshian, S., Gupta, H. V., Rousseau, A. N. and Turcotte, R. (2013), Advances in Automatic Calibration of Watershed Models, AGU, Washington. pp. 9- 28.
- Etienne, L., Anctil, F., Van Griensven, A. and Beauchamp, N. (2008), Evaluation of Stream Flow Simulation by SWAT Model for Two Small Watersheds under Snowmelt and Rainfall, *Journal of Hydrology*, Vol. 53, pp. 961- 976.

Wang, X., and Melesse, A. M. (2005), Evaluation of the SWAT Model's Snow Melt Hydrology in a Northwestern Minnesota Watershed, Journal of Transactions of the American Society of Agricultural Engineers (ASAE), Vol. 48, No.4, pp. 1- 18.

Westervelt, J. D. (2001), Simulation Modeling for Watershed Management (p. 190). U.S. Government Printing Office, Retrieved from <http://books.google.com/books?id=1u86gEblVUwC>.

IBWRD