گزارش کوتاه علمی

نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک
جلد بیستم، شماره سوم، ۱۳۹۲
http://jwsc.gau.ac.ir

شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه چهل‌چای استان گلستان با مدل SWAT

*حسین اکبری‌مجدر[۱]، عبدالرضا بهره‌مند[۲]، علی نجفی‌نژاد[۲] و واحدبردی شیخ[۳]

[۱]دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۲]دانشیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان،
[۳]استادیار گروه آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

تاریخ دریافت: ۹۰/۱۱/۱٤ ؛ تاریخ پذیرش: ۹۱/۹/۲۰

چکیده

در این پژوهش، جریان روزانه رودخانه چهل‌چای استان گلستان با استفاده از مدل ابزار ارزیابی آب و خاک (SWAT) شبیه‌سازی شده است. برای واسنجی موفق مدل، ابتدا یک مرحله تحلیل حساسیت انجام و سپس با کمک نتایج این مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل به‌صورت دستی و براساس آمار هیدرولوژیکی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۱ انجام شد که ٤ سال ابتدایی آن برای واسنجی و ۳ سال بعد برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. طبق نتایج تحلیل حساسیت، پارامترهای ضریب تبخیر از لایه‌های خاک، شماره منحنی، ظرفیت آب قابل دسترس خاک، نسبت نفوذ به سفره عمیق و چگالی توده خاک در بخش‌های مختلف بیش‌ترین حساسیت را داشتند. دقت شبیه‌سازی روزانه با استفاده از شاخص نش- ساتکلیف در دوره واسنجی ۰/۵۷ و با شاخص R^2 برابر ۰/٦۲ و در دوره اعتبارسنجی به‌ترتیب ۰/۳۲ و ۰/٤۲ به‌دست آمد. شبیه‌سازی‌ها در پایه زمانی ماهانه دقت بالاتری را نشان دادند.

واژه‌های کلیدی: جریان روزانه، واسنجی و اعتبارسنجی، SWAT، آب‌خیز چهل‌چای

* مسئول مکاتبه: akbary87@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir

مقدمه

محدود بودن روش‌های اندازه‌گیری در هیدرولوژی و نیاز به داشتن روشی برای تعمیم آمار موجود به حوزه‌های بدون آمار و یا مکان‌هایی که اندازه‌گیری در آن‌ها امکان‌پذیر نیست، همچنین شبیه‌سازی تغییرات هیدرولوژیکی آینده، از دلایل اصلی شبیه‌سازی هیدرولوژیکی است (بون، ۲۰۰۱). در این پژوهش کارایی مدل SWAT برای شبیه‌سازی جریان روزانه آب‌خیز چهل‌چای، به‌عنوان یک آب‌خیز در شرایط محیطی و اقلیمی شمال ایران ارزیابی می‌شود. در بیش‌تر پژوهش‌های مشابه (آلانسی و همکاران، ۲۰۰۹؛ ژو و همکاران، ۲۰۰۹؛ فرایسن و همکاران، ۲۰۰۷) مراحل تحلیل حساست، واسنجی و سپس اعتبارسنجی مدل در دوره آماری جدید، به‌ترتیب انجام شده است. پژوهش‌ها در مناطق با مساحت‌های متنوع از چند کیلومترمربع (دبل و همکاران، ۲۰۱۰؛ فرایسن و همکاران، ۲۰۰۷) تا بیش از هزار کیلومترمربع (آلانسی و همکاران، ۲۰۰۹؛ فرامرزی و همکاران، ۲۰۰۹) انجام شده و دقت این شبیه‌سازی‌ها در پایه زمانی روزانه در ارزیابی با شاخص نش ساتکلیف اکثراً کم‌تر از ۰/٦ و در معدود مواردی بیش‌تر از ۰/۷ (سینگ و همکاران، ۲۰۰۵) گزارش شده است. از پژوهش‌های مشابه انجام شده در ایران نیز می‌توان به پژوهش‌های فرامرزی و همکاران (۲۰۰۹)، عمانی و همکاران (۲۰۰٦) و امیری و همکاران (۲۰۰۹) اشاره کرد.

مواد و روش‌ها

حوزه آب‌خیز چهل‌چای با وسعت ۲۵٦۸۳ هکتار و حداقل و حداکثر ارتفاع ۱۹۰ و ۲۵۷۰ متر در استان گلستان واقع بوده و متوسط دبی جریان خروجی آن ۱/۷ مترمکعب در ثانیه است (اداره کل منابع طبیعی استان گلستان، ۲۰۰۵). مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیکی نیمه‌فیزیکی و نیمه‌توزیعی بوده و می‌تواند فرآیندهای متعدد هیدرولوژیکی مانند تولید رواناب، فرسایش و رسوب و کیفیت آب را شبیه‌سازی کند. کوچک‌ترین واحد کاری در این مدل، واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) بوده و از ترکیب نقشه‌های خاک، پوشش گیاهی و شیب به‌دست می‌آید (نیتچ، ۲۰۰۵).

داده‌های مختلف مورد نیاز برای این بررسی از شرکت آب منطقه‌ای، سازمان هواشناسی و اداره کل منابع طبیعی استان گلستان تهیه شد. نقشه زیرحوزه‌ها و شبکه آبراهه‌ای به‌صورت دستی و در ٦ زیرحوزه ترسیم و به مدل ارایه شد. تعریف HRU با حداقل مساحت ۲/۵ هکتار انجام شده و تعداد ۵٦ واحد

Archive of SID

www.SID.ir

HRU به‌دست آمد. پس از اجرای اولیه مدل، آنالیز حساسیت با استفاده از روش "یک پارامتر در هر بار" (OAT) انجام و طی آن در هر بار اجرای مدل با ثابت بودن سایر پارامترها، یک پارامتر تغییر کرده (در ۵ گام) و تغییرات خروجی مدل ثبت و با استفاده از شاخص S_r (رابطه ۱)، حساسیت نسبی پارامتر سنجیده شد.

$$S_r = \{(O_{p+\Delta p} - O_{p-\Delta p})/O_p\}/(2\Delta P/P) \quad (1)$$

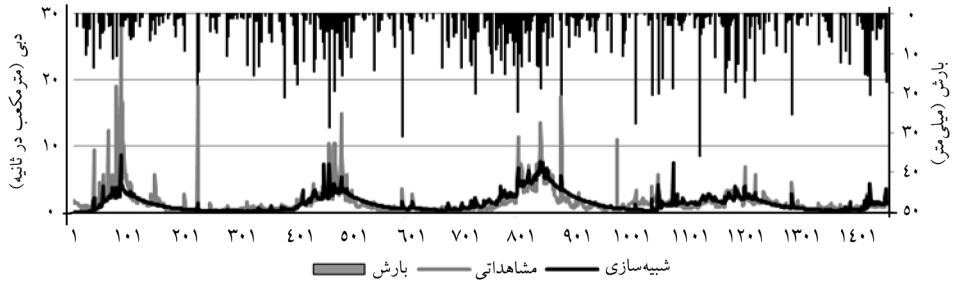
از سری داده‌های آب و هواشناسی سال‌های ۲۰۰۴-۲۰۰۱ در مرحله واسنجی و از آمار سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۵ برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. در واسنجی مدل مقدار هر پارامتر در دامنه کم‌تر از ۲۰ درصد نسبت به مقدار اندازه‌گیری شده آن (اداره کل منابع طبیعی استان گلستان، ۲۰۰۵) تغییر داده شد. دمای بارش برف به‌دلیل اختلاف دمایی زیاد محل ایستگاه سنجش دما با مناطق برف‌گیر در بالادست آب‌خیز، بیش‌تر از دمای بارش برف ثبت شده در ایستگاه، انتخاب شد. پارامترهایی که مقدار اندازه‌گیری شده آن‌ها در دسترس نبود (فاکتور تبخیر از خاک، نگهداشت تاج پوشش، زمان انتقال جریان جانبی، تاخیر آب زیرزمینی، حداکثر نرخ ذوب برف و حداقل نرخ ذوب برف)، با کمک راهنمای مدل و همچنین شناخت کاربر از خصوصیات منطقه تعیین شد. برای ارزیابی دقت شبیه‌سازی‌ها از شاخص‌های نش- ساتکلیف، ضریب تبیین و ریشه میانگین مربعات خطا استفاده شد.

نتایج

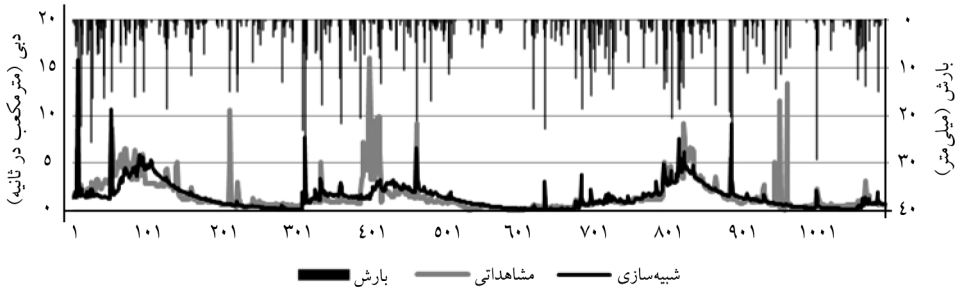
براساس نتایج آنالیز حساسیت، پارامترهای فاکتور تبخیر از خاک (esco)، شماره منحنی (CN)، ظرفیت آب قابل دسترس خاک (sol-awc)، درصد نفوذ به سفره عمیق (rchrg-dp)، چگالی توده خاک (sol-bd)، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (sol-k) و ضخامت لایه‌های خاک (Sol-z) به‌ترتیب بالاترین شاخص حساست را نشان دادند. هیدروگراف‌های شبیه‌سازی شده در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی مدل در مقایسه با هیدروگراف‌های مشاهداتی آن‌ها در شکل‌های ۱ و ۲ و نتایج شاخص‌های ارزیابی در جدول ۱ ارایه شده است.

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۱- هیدروگراف شبیه‌سازی شده پس از واسنجی مدل (۲۰۰٤-۲۰۰۱).



شکل ۲- هیدروگراف شبیه‌سازی شده در مرحله اعتبارسنجی مدل (۲۰۰۷-۲۰۵۵).

جدول ۱- نتایج شاخص‌های استفاده شده برای ارزیابی دقت شبیه‌سازی‌ها.

نام شاخص	واسنجی		اعتبارسنجی	
	روزانه	ماهانه	روزانه	ماهانه
نش- ساتکلیف (NS)	۰/۵۷	۰/۸	۰/۳۲	۰/٦۳
ضریب تبیین (R^2)	۰/٦۲	۰/۸۵	۰/٤۲	۰/٦۹
ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)	۰/۷۹	۰/۸٦	۱/۳٦	۱/٤

بحث و نتیجه‌گیری

در آب‌خیزهای با مساحت کم و دبی کم مانند آب‌خیز چهل‌چای (۱/۷ مترمکعب در ثانیه) به‌دلیل بالا بودن ضریب تغییرات جریان در زمان کوتاه، معمولاً شبیه‌سازی از دقت پایینی برخوردار است. به‌علاوه، در این آب‌خیز برف‌گیر بودن بخشی از منطقه در نتیجه اختلاف ارتفاع زیاد در یک فاصله مسافتی کم و نبود ایستگاه دماسنجی در مناطق برف‌گیر، شبیه‌سازی برف را با چالش روبرو کرده و اثر

Archive of SID
www.SID.ir

منفی بر دقت شبیه‌سازی گذاشته است. برداشت آب برای مصارف کشاورزی و نبود آمار دقیق آن نقش منفی در دقت شبیه‌سازی داشت. در این بررسی شبیه‌سازی جریان پایه بهتر از جریان‌های ناگهانی و زیاد صورت گرفته است. همچنین در شکل هیدروگراف مشاهداتی دوره اعتبارسنجی، برخی دوره‌های با جریان شدید در برابر بارش کم دیده می‌شود که می‌تواند بیانگر درست نبودن داده‌ها باشد. در جدول ۲ می‌توان نتایج این پژوهش را با برخی از پژوهش‌های مشابه مقایسه کرد.

جدول ۲- نتایج دقت شبیه‌سازی‌ها در پژوهش‌های مشابه انجام شده در نقاط مختلف دنیا.

محقق	شبیه‌سازی روزانه		شبیه‌سازی ماهانه	
	شاخص ENS	شاخص R^2	شاخص ENS	شاخص R^2
فرایسن، ۲۰۰۷	۰/٤۲	–	۰/۷۹	–
بنامن، ۲۰۰۵	۰/۲۱	۰/٤	۰/٦۳	۰/۷
ژا، ۲۰۰۷	۰/۵۸	۰/٦۷	۰/٦۹	۰/۷٤
آلانسی، ۲۰۰۹	–	–	۰/٦۲	۰/٦۵
سینگ، ۲۰۰۵	۰/۷۹	–	۰/۸۸	–
عمانی، ۲۰۰٦ (دو زیرحوضه)	–	–	۰/۸۸ و ۰/۸	۰/۸۹ و ۰/۸۱
امیری، ۲۰۰۸	–	۰/۱۹	–	۰/۳۵
این پژوهش (۲۰۱۰)	۰/۵۷	۰/٦۲	۰/۸	۰/۸۵

اگر شاخص نش- ساتکلیف بیش‌تر از ۰/۷۵ باشد مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۷۵-۰/۳٦ باشد، رضایت‌بخش و اگر کم‌تر از ۰/۳٦ باشد غیرقابل‌قبول است (ژو و همکاران، ۲۰۰۹ به نقل از نش و ساتکلیف، ۱۹۷۰). براساس این مطلب به سؤال اصلی پژوهش با عبارت "آیا مدل SWAT قابلیت شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه چهل‌چای با دقت مناسب را دارد؟" جواب داده شده و کارایی مدل تأیید می‌شود.

براساس نتایج این پژوهش پیشنهاد می‌شود اثرات اقدامات مدیریتی قابل اجرا در منطقه، به‌صورت سناریوهای مدیریتی به مدل ارایه و اثر هر یک از آن‌ها بر سیستم هیدرولوژیکی منطقه شبیه‌سازی شود. در نهایت باید گفت که مسأله نبود داده کافی و صحیح، چالش اصلی در مدل‌سازی هیدرولوژیکی در ایران است که این پژوهش نیز از این موضوع به‌شدت متأثر بوده است. در چنین شرایطی تا زمان تأمین نیازها و زیرساخت‌ها کافی، استفاده از مدل‌های ساده‌تر می‌تواند موفق‌تر باشد.

Archive of SID

www.SID.ir

منابع

1.Alansi, A.W., Amin, M.S.M., Abdul Halim, G., Shafri, H.Z.M., and Aimrun, W. 2009. Validation of SWAT model for stream flow simulation and forecasting in Upper Bernam humid tropical river basin. Hydrol. Earth Syst. 6: 7581-7609.

2.Amiri, M., Ghanbarpoor, M., Ziatabar, Kh., and Saravi, M. 2009. Calibration and evaluation of SWRRB model in simulation of runoff (Kasilian watershed). Iran. J. Natur. Resour. 61: 4. 797-808.

3.Benaman, J., Shoemaker, C.A., and Haith, D.A. 2005. Calibration and Validation of Soil and Water Assessment Tool on an Agricultural Watershed in Upstate New York. ASCE, J. Hydrol. Engine. 10: 5. 363-374.

4.Beven, K.J. 2001. Rainfall-runoff modeling, the primer. Wiley, Chichester, UK, 361p.

5.Debele, B., Raghavan S.R., and Gosain, A.K. 2010. Comparison of Process-Based and Temperature-Index Snowmelt Modeling in SWAT, Water Resource Management, 24: 1065-1088.

6.Faramarzi, M., Abbaspour, K.C., Schulin, R., and Yang, H. 2009. Modelling blue and green water resources availability in Iran. Hydrological Processes, 23: 486-501.

7.Feyereisen, G.W., Strickland, T.C., Bosch, D.D., and Sullivan, D.G. 2007. Evaluation of SWAT manual calibration and input parameter sensitivity in the Little river watershed. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50: 843-855.

8.Jha, M.K., Gassman, P.W., and Arnold, J.G. 2007. Water quality modeling for the raccon river watershed using SWAT. American Society of Agricultural and Biological Engineers, 50: 2. 479-493.

9.Natural Resource Office of Golestan Province. 2005. Integrated multi objective forestry plan of Chehelchai watershed, 6: 51.

10.Neitsch, S.L., Arnold, J.G., Kiniry, J.R., and Williams, J.R. 2005. Soil and water assessment tool documentation, (user's manual). 494p.

11.Omani, N., Tajrishy, M., and Abrishamchi, A. 2006. Modeling of a River Basin Using SWAT Model and SUFI-2. Book of abstracts of the 4th International SWAT Conference. The Netherlands. Delft: UNESCO-IHE. 21p.

12.Singh, J., Knapp, H.V., Arnold, J.G., and Demissie, M. 2005. Hydrological modeling of the Iroquois River watershed using HSPF and SWAT. J. Amer. Water Resour. Assoc. 41: 2. 343-360.

13.Xu, Z.X., Pang, J.P., Liu, C.M., and Li, J.Y. 2009. Assessment of runoff and sediment yield in the Miyun Reservoir catchment by using SWAT model. Hydrol. Process. DOI: 10.1002/hyp. 12p.

Archive of SID

www.SID.ir

Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources

J. of Water and Soil Conservation, Vol. 20(3), 2013
http://jwsc.gau.ac.ir

Daily flow simulation of Chehelchai river-Golestan province using SWAT model

***H. Akbari Mejdar[1], A.R. Bahremand[2], A. Najafinejad[2] and V.B. Sheikh[3]**

[1]M.Sc. Graduate, Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [2]Associate Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, [3]Assistant Prof., Dept. of Watershed Management, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources
Received: 02/03/2012; Accepted: 12/10/2012

Abstract

In this study, daily flow of the Chehelchai watershed was simulated using the Soil and Water Assessment Tool (SWAT) model. The main objective of this study was to evaluate the performance of SWAT model and the applicability of this model as a flow simulator at the Chehelchai watershed. In order to have a successful calibration, a process of parameters sensitivity analysis was performed and then calibration and validation of the model were performed using the recorded data of 7 years. The data from 2001 to 2004 was used for calibration and those of 2005 to 2007 for validation. The results of sensitivity analysis showed that soil evaporation compensation factor (esco), curve number (CN), soil available water capacity (sol-awc), deep aquifer percolation fraction (rchrg-dp) and soil bulk density (sol-bd) had the most influence on output of the model. During calibration, the simulated daily flow matched the observed values with a Nash-Sutcliffe coefficient of 0.57 and a coefficient of determination (R^2) 0.62. These values were 0.32 and 0.42 during the validation. The results of simulation bases of monthly flow showed beter accuracy and good correspondence.

Keywords: Daily flow, Calibration and validation, Sensitivity analysis, SWAT, Chehelchai watershed

* Corresponding Author; Email: akbary87@gmail.com

Archive of SID

www.SID.ir