Archive of SID

Environment and Water Engineering
ISSN: 2476-3683

محیط زیست و مهندسی آب
شاپک : ۲۴۷۶-۳۶۸۳

کاربرد مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه، حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان

زانیار فاتحی و سید وحید شاهویی

دوره ۶، شماره ۳، پاییز ۱۳۹۹، صفحات ۳۰۳- ۲۹۳

Vol. 6(3), Autumn 2020, 293 – 303

DOI: 10.22034/jewe.2020.218842.1346

Application of SWAT Model for Simulating Monthly Runoff, Lake Urmia Watershed in Kurdistan Province, Iran

Fatehi Z. and Shahoei S. V.

www.jewe.ir

OPEN ACCESS

ارجاع به این مقاله:

فاتحی ز. و شاهوئی س. و. (۱۳۹۹). کاربرد مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه، حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان. محیط‌زیست و مهندسی آب، دوره ۶، شماره ۳، صفحات: ۳۰۳-۲۹۳.

Citing this paper: Fatehi Z. and Shahoei S. V. (2020). Application of SWAT model for simulating monthly runoff, Lake Urmia Watershed in Kurdistan Province, Iran. Environ. Water Eng., 6(3), 293–303. DOI: 10.22034/jewe.2020.218842.1346.

www.SID.ir

Archive of SID

کاربرد مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه، حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان

زانیار فاتحی [۱*] و سید وحید شاهویی [۲]

[۱] دانشجوی کارشناسی ارشد، گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، موسسه غیرانتفاعی توسعه دانش سنندج، سنندج، ایران
[۲] استادیار، گروه مهندسی و مدیریت منابع آب، موسسه غیرانتفاعی توسعه دانش سنندج، سنندج، ایران

***نویسنده مسئول**: zaniar.f35@gmail.com

یادداشت فنی

تاریخ دریافت: [۱۳۹۸/۱۱/۱۸] **تاریخ بازنگری:** [۱۳۹۹/۰۱/۱۴] **تاریخ پذیرش:** [۱۳۹۹/۰۲/۰۲]

چکیده

مدل ارزیابی خاک و آب (SWAT) یک مدل پیوسته و نیمه توزیعی می‌باشد. مدل SWAT قابلیت اتصال به سیستم اطلاعات جغرافیایی (GIS) را دارد. این مدل با استفاده از طیف وسیعی از اطلاعات همانند اطلاعات فیزیکی حوضه‌ها (خاک، کاربری اراضی و شیب) و همچنین، اطلاعات هواشناسی همانند بارندگی، درجه حرارت، باد، رطوبت نسبی و تابش خورشیدی می‌تواند فرایندهای هیدرولوژیکی را در حوزه‌های آبریز در مقیاس زمانی روزانه، ماهانه و سالانه شبیه‌سازی کند. شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوزه‌های آبخیز برای پیش‌بینی اتفاقات آینده در آن حوضه‌ها و تعیین راهکارهای مقابله با آن‌ها امری ضروری می‌باشد. در این پژوهش با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT اقدام به شبیه‌سازی رواناب خروجی در محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان در ایران با مساحت ۵۳۰۶ km^2 شد. شبیه‌سازی رواناب در یک دوره آماری هفت ساله ۲۰۰۷-۲۰۱۳ انجام شد. پنج سال ابتدایی این دوره ۲۰۰۷-۲۰۱۱ برای واسنجی مدل با استفاده از ۲۱ پارامتر مختلف و دو سال انتهایی آن ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ جهت اعتبارسنجی با استفاده از دو شاخص آماری ضریب ناش‌ساتکلیف (NSE) و ضریب تعیین (R^2) مورد بررسی قرار گرفت. با توجه به هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب ماهانه، شاخص‌های آماری محاسبه شده مدل SWAT در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی در مقیاس زمانی ماهانه دارای نتایج قابل قبولی در شبیه‌سازی رواناب می‌باشد، به‌طوری که مقادیر ضریب NSE و R^2 در دوره واسنجی به‌ترتیب معادل ۰/۷۸ و ۰/۸۲ و برای دوره اعتبارسنجی ۰/۹ و ۰/۹۱ محاسبه شد.

واژه‌های کلیدی: اعتبارسنجی؛ ضریب تعیین؛ ضریب ناش‌ساتکلیف؛ مدل هیدرولوژیکی؛ واسنجی.

www.SID.ir

Archive of SID

۱- مقدمه

امروزه به دلایل مختلفی در نقاط بسیاری از جهان انسان‌ها با کمبود و تنش آبی مواجه هستند. در همین راستا تلاش‌های زیادی در کل دنیا برای مدیریت صحیح منابع آب صورت گرفته است. در رابطه با همین موضوع سعی بر آموزش الگوی مصرف صحیح در تمام بخش‌ها و افزایش سطح آگاهی آحاد جامعه از کمبود آب و تجدیدناپذیری منابع آب می‌باشد. استفاده از فنّاوری‌های روز دنیا و مدل‌های هیدرولوژیکی برای شبیه‌سازی منابع آب و مؤلفه‌های آبی و سایر مؤلفه‌ها جز روش‌های کاهش در بخش تقاضا و کاهش تنش‌های آبی می‌باشند. پیش‌بینی مناسب و مطمئن جریان برای مدیریت منابع آب و تخصیص برنامه‌ریزی برای آن بسیار مهم است چونکه صحت و مهارت در الگوی پیش‌بینی جریان تأثیر مستقیم در تصمیمات مربوط به مدیریت منابع آب دارد (Marques et al. 2006). اندازه‌گیری کلیه داده‌های مربوط به سیستم‌ها و فرایندهای هیدرولوژیکی به دلایل مختلفی امکان پذیر نیست، از جمله این دلایل می‌تواند ناهمگونی مکانی و زمانی باشد. این یک واقعیت است که روش‌های اندازه‌گیری پرزحمت، پرهزینه و زمان‌بر برای اجرا هستند. مدل‌های هیدرولوژیکی این امکان را به ما می‌دهند که با استفاده از ویرایش متغیرها و پارامترهای سیستم، درک بهتری از تعامل بین آن‌ها با سیستم داشته باشیم (Sokolowski and Banks 2010 و Sokolowski and Banks 2011). مدل‌های هیدرولوژیکی کاربران را قادر می‌سازند که تا هر دو اطلاعات مکانی و زمانی را از منطقه مورد نظر استخراج نمایند (Pechlivanidis et al. 2011). مدل‌های هیدرولوژیکی برای کمک به سیاست‌گذاران و برنامه‌ریزان در راستای تصمیم‌گیری بهتر و آگاهانه و پیش‌بینی جریان ایجاد و توسعه داده شده‌اند، که یکی از این مدل‌ها SWAT می‌باشد که این مدل، یک مدل مفهومی است و یکی از محبوب‌ترین مدل‌های هیدرولوژیکی است که به‌طور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی جریان در سری‌های زمانی مختلف مورد استفاده قرار می‌گیرد (Arnold et al. 2012). مدل SWAT می‌تواند برای برنامه‌ریزی و ساخت و ساز در آینده برای مدیریت خطرات ناشی از سیلاب‌ها مورد استفاده قرار بگیرد، بنابراین برای توسعه پایدار نیز مفید است (Vilaysane et al. 2015). همچنین مدل SWAT به‌دلیل توانایی شبیه‌سازی متغیرهای هیدرولوژیکی در بازه‌های زمانی طولانی‌مدت، جزو یکی از برجسته‌ترین مدل‌های هیدرولوژیکی محسوب می‌شود (Sudjarit et al. 2015).

به‌طور خلاصه مدل هیدرولوژیکی به‌طور گسترده مورد استفاده قرار می‌گیرد تا اثرات اختلالات طبیعی و انسانی بر چرخه آب و مواد مغذی آن را مورد بررسی قرار بدهد (Yang and Zhang. 2016).

برای مدیریت منابع آب در مناطق خشک و نیمه‌خشک آگاهی دقیق از مؤلفه‌های بیلان آبی امری ضروری می‌باشد (Porhemmat et al. 2018). فرآیند ارزیابی کارایی مدل نه تنها در جریان توسعه مدل و فرآیند واسنجی بلکه در زمان ارائه نتایج به سایر محققین و پژوهشگران نیز از اهمیت اساسی برخوردار است (Habibi and Goodarzi. 2019).

امروزه در سراسر دنیا مطالعات زیادی با استفاده از مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) انجام شده است که در ادامه تعدادی از آن‌ها بیان می‌شود. Hosseini et al. (2016) اقدام به ارزیابی مدل هیدرولوژیکی SWAT برای شبیه‌سازی بیلان هیدرولوژیکی شش حوزه آبخیز خلیج‌فارس در کشور ایران نمودند. نتیجه پژوهش آن‌ها نشان داد که مدل SWAT توانایی خوبی در شبیه‌سازی بیلان آبی در این حوضه‌ها در مقیاس‌های زمانی سالانه و ماهانه را دارد.

Shahoei et al. (2018) با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT اقدام به شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه در حوضه روانسر سنجابی با مساحت ۱۲۶۰ km^2 استان کرمانشاه در ایران نمودند. Zarezadeh Mehrizi et al. (2018) اقدام به ارزیابی مدل SWAT شبیه‌سازی رواناب حوزه آبخیز گاماسیاب در کشور ایران نمودند. بر اساس نتایج این پژوهش مشخص شد که مدل هیدرولوژیکی SWAT توانایی شبیه‌سازی جریان رودخانه گاماسیاب که یکی از پنج شاخه اصلی رودخانه کرخه در کشور ایران است، را به‌خوبی دارا می‌باشد.

Mengistu et al. (2019) در حوضه ساتلوپ، کیپ شمالی در کشور آفریقای جنوبی با مساحت ۶۷۶۹,۷ km^2

www.SID.ir

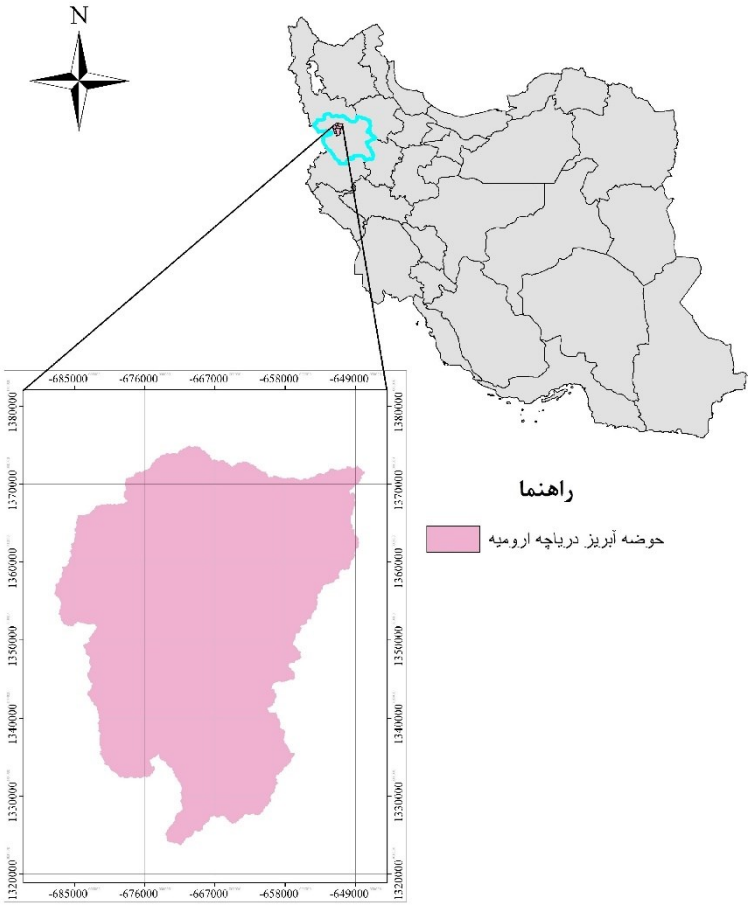
Archive of SID

و اقلیم خشک و نیمه‌خشک اقدام به ارزیابی مدل SWAT نمودند. در این پژوهش واسنجی و اعتبارسنجی اصلی خارج از حوضه مورد نظر انجام شد. فرض بر این بود که هردو حوضه مبنا و شاهد دارای مشخصات مشابهی هستند با این حال ارزیابی عملکرد مدل از مطلوبیت قابل قبولی برخوردار بود. هدف از این پژوهش شبیه‌سازی رواناب در محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT و همچنین ارزیابی و بررسی نتایج با استفاده از شاخص‌های آماری منتخب در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی تعیین شده در مطالعه می‌باشد. سپس با بررسی نتایج و شاخص‌های آماری میزان توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب ماهانه محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان مشخص شد.

۲- مواد و روش‌ها

۲-۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه مورد بررسی در این مطالعه واقع در شمال استان کردستان و به مساحت ۵۳۰۶ km^2 می‌باشد. این حوضه یکی از حوضه‌های اصلی آبخیز دریاچه ارومیه است. موقعیت جغرافیایی محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان در شکل (۱) نشان داده شده است.



شکل ۱- شکل و موقعیت جغرافیایی محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوضه دریاچه ارومیه در استان کردستان
Fig.1 Form and geographical location of the upstream area of Santeh hydrometric station in Lake Urmia basin in Kurdistan province

۲-۲- آمار و اطلاعات و داده‌های مورد استفاده

در این مطالعه از یک دوره آماری هفت ساله ۲۰۰۷ الی ۲۰۱۳ استفاده شد. پنج سال ابتدایی آن برای واسنجی و دو سال انتهایی آن به‌عنوان اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. این داده‌ها شامل داده‌های رواناب خروجی از حوضه دریاچه ارومیه در استان کردستان و مربوط به ایستگاه هیدرومتری سنته و همچنین داده‌های درجه حرارت، بارندگی و سایر اطلاعات هواشناسی روزانه و

www.SID.ir

Archive of SID

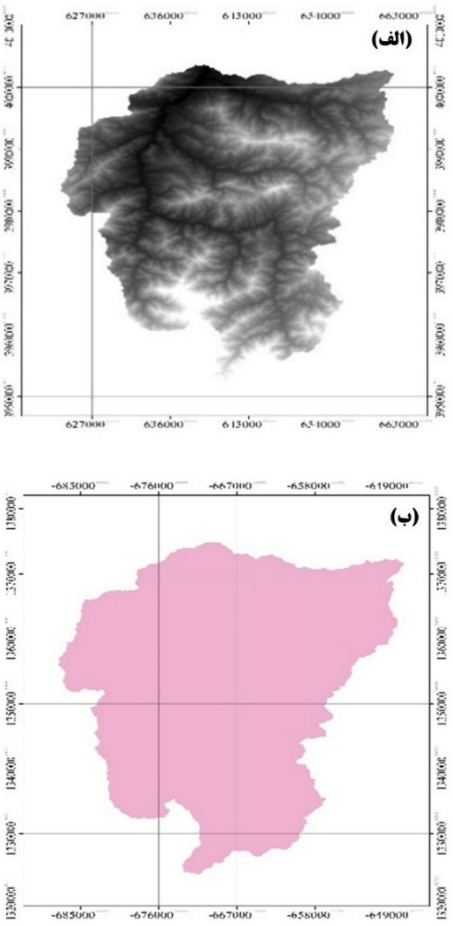
ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک انتخابی در حوضه مورد بررسی، می‌باشد. مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده در این پژوهش در جدول (۱) آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده
Table 1 Specifications of stations used

Station name	Type of station	Latitude	Longitude	Higth (m)
سقز	سینوپتیک	46.311111	36.221667	1522.8
قبقبلو	باران‌سنج	46.170000	36.173333	1500
وزمله	باران‌سنج	45.9845	36.171389	1800
سنته	هیدرومتری و باران‌سنج	46.561944	36.164444	1436
پنبه‌دان	هیدرومتری	46.323333	36.278056	1470
میرده	هیدرومتری و هواشناسی	46.057222	36.145233	1607
آدینان	هیدرومتری و هواشناسی	46.424722	36.208611	1460

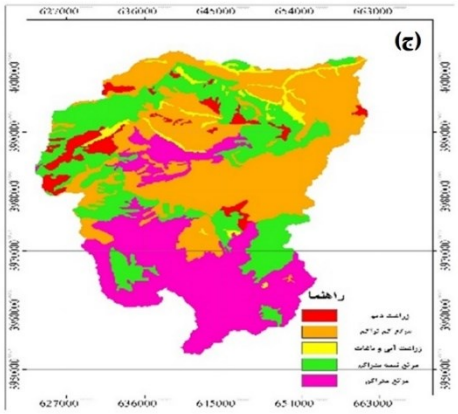
۲-۳- مدل SWAT

این مدل فیزیکی و نیمه توزیعی به‌وسیله سازمان تحقیقات کشاورزی ایالات متحده آمریکا برای ارزیابی فعالیت‌های مدیریت اراضی و تاثیراقلیم بر جریان آب، مواد مغذی، جابه‌جایی میزان رسوبات و همچنین تعادل بین مواد شیمیایی در حوزه‌های آبخیز پیچیده و بزرگ با نوع خاک و کاربری‌های اراضی و انواع مختلف شرایط مدیریتی در بازه‌های زمانی روزانه توسعه یافته است. این مدل همچنین در حوضه‌هایی با داده‌های ناقص و نامنظم نیز قابل استفاده می‌باشد (Abbaspour 2007). نرم افزار ArcSwat که یک رابط گرافیکی برای مدل SWAT می‌باشد .به‌عنوان یک نرم‌افزار کمکی توانایی اجرا شدن در نرم افزار 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 نرم افزار ArcMap انجام خواهد شد. در این پژوهش نقشه رقوم ارتفاعی (DEM) منطقه مورد مطالعه با استفاده از ماهواره (SRTM 1 Arc-Second Global) استخراج شد، که در شکل (۲) نشان داده شده است. با توجه به نقشه رقوم ارتفاعی (DEM) منطقه مورد مطالعه بیش‌ترین و کم‌ترین ارتفاع به‌ترتیب ۳۱۵۹ و ۱۴۶۹ m می‌باشد.



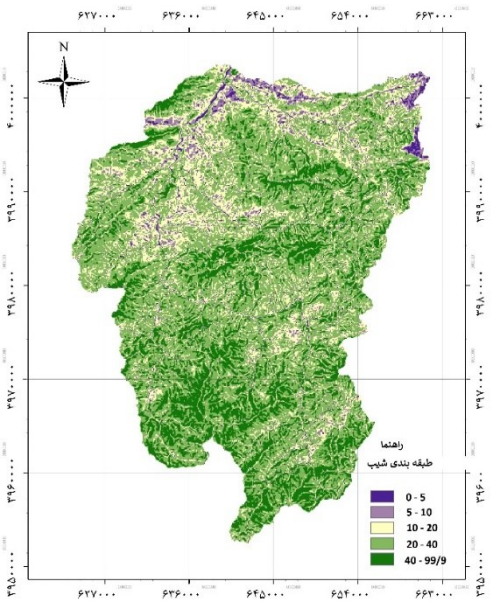
www.SID.ir

Archive of SID



شکل ۲- نقشه‌های (الف)- رقوم ارتفاعی، (ب)- رسترشده خاک، و (ج) رسترشده کاربری اراضی منطقه مورد مطالعه

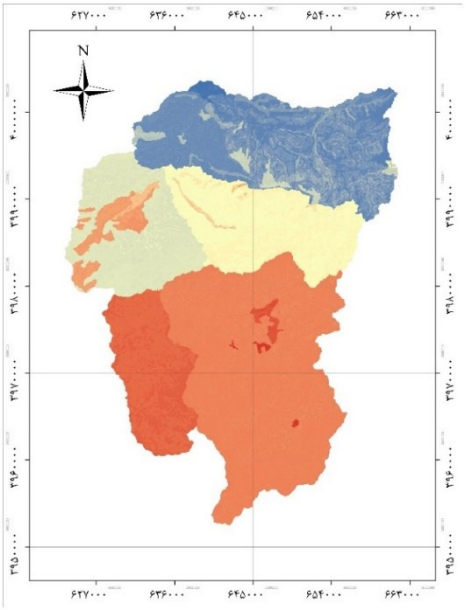
Fig. 2 Maps of: a) altitude, b) distilled soil, and c) restricted land use of the study area



شکل ۳- نقشه شیب منطقه موردمطابعه

Fig. 3 Slope map of the study area

همچنین نقشه‌های رستر شده خاک منطقه و کاربری اراضی حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان نیز از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کردستان تهیه شد. با توجه به نقشه خاک منطقه، یک نوع خاک برای حوزه آبخیز مورد بررسی استخراج شد در این حوضه با استفاده از نقشه کاربری اراضی تهیه شده از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان کردستان تعداد ۵ نوع کاربری اراضی برای حوضه مورد مطالعه استخراج شد. این اطلاعات مربوط به کاربری اراضی به‌صورت دستی در مدل SWAT وارد شد. با توجه به شکل (۲) در محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه ۱ نوع خاک و همچنین ۵ نوع کاربری اراضی وجود دارد. در این پژوهش نقشه شیب منطقه با توجه به شیب حوضه مورد بررسی در پنج طبقه، ۰-۵، ۵-۱۰، ۱۰-۲۰، ۲۰-۴۰ و ۴۰-۹۹/۹ طبقه‌بندی شد که در شکل (۳) نشان داده شده است.



نقشه ۴- واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) تعیین شده توسط مدل SWAT در منطقه موردمطالعه با استفاده از همپوشانی نقشه‌های کاربری اراضی، رقوم ارتفاعی (DEM)، خاک و شیب منطقه تعیین شد.

Fig. 4 Hydrological response units (HRUs) determined by SWAT model the study area determined by overlaying land use maps, altitude diagram (DEM), soil and slope of the area

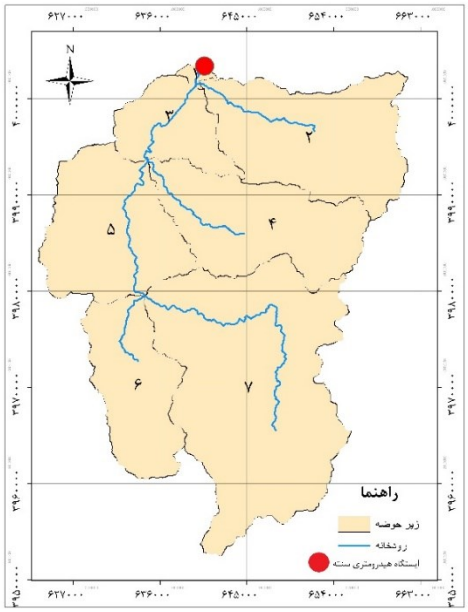
در مدل SWAT ابتدا از روی نقشه‌ی مدل رقومی ارتفاع، حوزه‌ی آبخیز اصلی به تعدادی زیر حوضه تقسیم می‌شود سپس با ترکیب سه نقشه کاربری اراضی، نوع خاک و نقشه رقوم ارتفاعی (DEM) و طبقه‌بندی شیب، زیر حوضه‌ها نیز به واحدهای کوچکتری تقسیم می‌شوند که به هرکدام از این واحدها یک واحد پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) گفته می‌شود. واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) در محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه

www.SID.ir

Archive of SID

ارومیه در استان کردستان تعیین شد که در شکل (۴) نشان داده شده است.

بعد از تهیه نقشه واحدهای پاسخ هیدرولوژیک، داده‌های هواشناسی به مدل معرفی شدند، ابتدا برای ساخت فایل WGN از مشخصات و پارامترهای بلند مدت که شامل ۱۴ پارامتر است استفاده شد و سپس برای ادامه فرایند شبیه‌سازی از داده‌های بارندگی، دمای حداکثری و حداقلی، سرعت متوسط باد، تابش خورشیدی و رطوبت نسبی ایستگاه‌های مورد استفاده در تحقیق استفاده شد این داده‌ها در بازه زمانی ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۳ و به‌صورت روزانه وارد مدل شد. تعیین نقطه تمرکز و زیر حوزه‌های آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان: پس از آماده نمودن نقشه‌ها و داده‌های لازم برای مدل هیدرولوژیکی SWAT، هفت زیر حوضه توسط مدل برای محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان تعیین شد که نحوه تقسیم‌بندی و همچنین نقطه خروجی حوضه در شکل (۵) نشان داده شده است.



شکل ۵- شبکه رودخانه و موقعیت نقطه خروج و نحوه تقسیم زیر حوضه‌ها در منطقه موردمطالعه

Fig. 5 River network and outlet point position and subdivision type of study area

جدول ۲- پارامترهای مورد استفاده در واسنجی مدل SWAT در منطقه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان

Table. 2 Parameters used in calibration of SWAT model in Urmia Lake watershed in Kurdistan province

Optimim	Parameter	Sl	Optimum	Parameter	Sl
0.375490	SOL_BD(1)	12	0.265650	CN2	1
-1.792111	SFTMP	13	0.132	ALPHA_BF	2
8.019445	GWQMN	14	355.019348	GW_DELAY	3
-0.129887	GW_REVAP	15	4.7352374	GWQMN	4
4.503013	REVAPMN	16	0.005516	GW_REVAP	5
0.113647	A__ESCO	17	0.936412	V__ESCO	6
0.161811	HRU_SLP	18	-0.038109	CH_N2	7
-0.136487	OV_N	19	81.445999	CH_K2	8
0.024828	SLSUBBSN	20	0.354599	ALPHA_BNK	9
0.073142	ALPHA_BNK	21	-0.106259	SOL_AWC(1)	10
			0.377616	SOL_K(1)	11

www.SID.ir

Archive of SID

با در نظر گرفتن مختصات جغرافیایی ایستگاه سنته، زیر حوضه شماره ۱ به‌عنوان خروجی حوضه در نظر گرفته شد که آمار رودخانه در این ایستگاه نشانگر میزان رواناب خروجی از محدود بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان می‌باشد. بعد از ساختن جدول‌ها و وارد کردن داده‌ها و اطلاعات مربوطه به مدل، اجرای آن به‌صورت ماهانه صورت گرفت. واسنجی و اعتبارسنجی: برای واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT از نرم‌افزار (SWAT CUP 2019) و الگوریتم SUFI2 استفاده شد. دوره واسنجی و اعتبارسنجی داده‌های رواناب ماهانه، به ترتیب برای سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ و برای سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ انتخاب شد. برای واسنجی و اعتبارسنجی در این تحقیق از ۲۱ پارامتر مختلف استفاده شد که اسامی و مشخصات مربوط به آن‌ها در جدول (۲) آورده شده است. بعد از به دست آوردن پارامترهای بهینه در مرحله‌ی واسنجی، اقدام به اعتبارسنجی مدل در شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه در محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان شد.

جدول ۳- محدوده ارزیابی شاخص ناش‌ساتکلیف(NSE)
Table 3 NSE assessment range

نتیجه ارزیابی	ضریب ناش‌ساتکلیف (NSE)
عالی	$0.75 < NSE \leq 1$
خوب	$0.65 < NSE \leq 0.75$
رضایت بخش	$0.5 < NSE \leq 0.65$
غیر قابل‌قبول	$NSE \leq 0.5$

۴-۲- معیارهای آماری در ارزیابی

برای ارزیابی کارایی مدل در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی از دو شاخص آماری ناش‌ساتکلیف (NSE) و ضریب تعیین (R^2) استفاده شد. ضریب R^2 یکی از معیارهای سنجش نیکویی برازش مدل است. مقادیر نزدیک به یک این شاخص حاکی از نتایج مطلوب در شبیه‌سازی صورت گرفته توسط مدل می‌باشد.ضریب NSE، ضریب ناش‌ساتکلیف ضریبی است که میزان اختلاف نسبی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را نشان می‌دهد (Romanowici et al. 2005). رابطه محاسبه این شاخص مطابق با رابطه (۱) می‌باشد.

$$NSE = 1 - \frac{\sum i(Qm.i - Qs)^2}{\sum i(Qm.i - Qm)^2} \qquad (۱)$$

در این رابطه Qm.i مقادیر مشاهداتی دبی در طول دوره شبیه‌سازی شده و Qs نشان‌دهنده میزان دبی محاسباتی و Qm نیز میانگین دبی مشاهداتی را نشان می‌دهد. هر سه پارامتر موجود در رابطه بر حسب m^3/s می‌باشند. در جدول (۳) محدوده عملکرد ضریب ناش‌ساتکلیف که توسط Kult et al. (2014) بیان شده، آورده شده است.

۳- یافته‌ها و بحث

پس از اجرای اولیه مدل و حاصل شدن نتایج شبیه‌سازی رواناب در محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان، از ۲۱ پارامتر مختلف یاد شده در جدول (۲) برای واسنجی مدل در دوره ماهانه استفاده شد. با توجه به پارامترهای بهینه و معیارهای آماری مورد استفاده در مدل SWAT برای این پژوهش در مرحله‌ی واسنجی برای داده‌های رواناب در مقیاس زمانی ماهانه برای سال‌ها ۲۰۰۷ الی ۲۰۱۱ مقادیر شاخص‌های آماری NSE و R^2 به‌ترتیب برابر ۰/۷۸ و ۰/۸۲ محاسبه شد. همچنین با توجه به جدول (۴) ضرایب NSE و R^2 برای مرحله اعتبارسنجی ۰/۹ و ۰/۹۱ تعیین شد.

جدول ۴- مقادیر محاسبه شده شاخص‌های آماری مدل SWAT در مرحله اعتبارسنجی برای بازه زمانی (۲۰۱۳-۲۰۱۲) در مقیاس ماهانه
Table. 4 Calculated values of statistical indicators of SWAT model in the validation phase for the period (2013-2012) on monthly basis

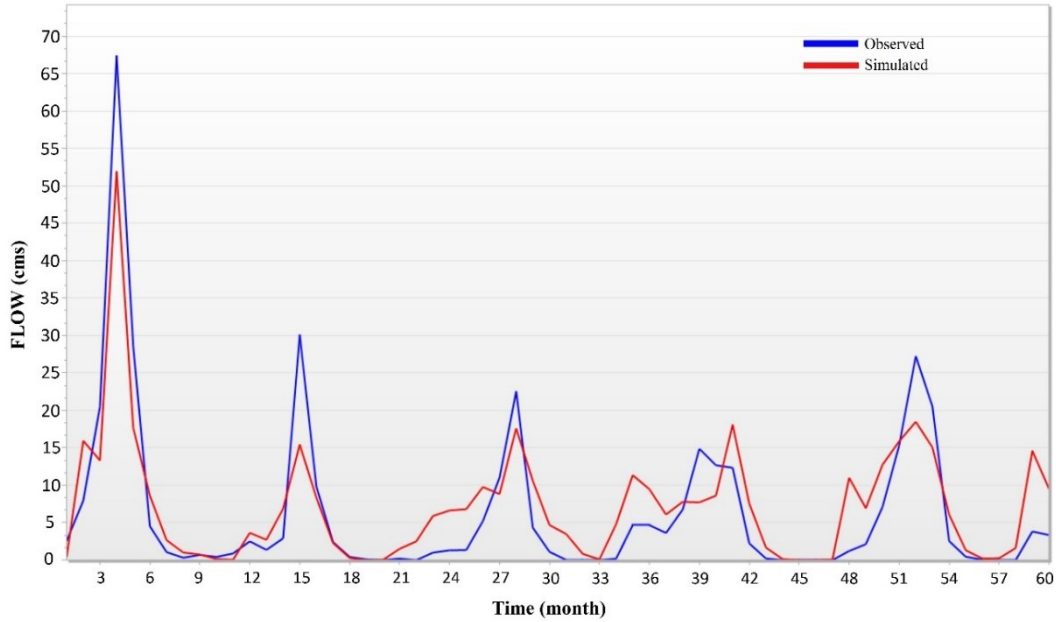
شاخص ارزیابی	مقدار محاسبه شده
ضریب NSE	0.9
ضریب R^2	0.91

همان‌طور که در شکل‌های (۶) و (۷) مشخص است مدل SWAT در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی دارای نتایج عالی می‌باشد به‌طوری که در دارای تطابق نسبتاً کاملی برای هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب است. با توجه به نمودار شکل (۶) که مربوط به دوره واسنجی مدل برای سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ است. بازوهای بالارونده و پایین‌رونده هیدروگراف‌های شبیه‌سازی تا ماه ۲۱ام دارای تطابق خوبی با هم می‌باشند. اما، از ماه ۲۱ام به بعد میزان شبیه‌سازی در اکثر ماه‌ها

www.SID.ir

Archive of SID

بیشتر از مقدار مشاهداتی است و به عبارتی شیب بازوهای بالارونده و پایین‌رونده‌ی شبیه‌سازی شده کمتر از مشاهداتی است و این بدین معنی است که مدت‌زمان بیشتری برای خروج رواناب از حوضه در این دوره به‌وسیله مدل شبیه‌سازی شده است. میزان خطاهای موجود می‌تواند به دلیل عدم ناهمگن بودن حوضه و عدم یکنواخت بودن بارش در حوضه و خطاهای انسانی در برداشت داده‌ها باشد.



شکل ۶- نمودار داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب ماهانه در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ (مرحله واسنجی مدل)

Fig. 6 Diagram of simulated data and monthly runoff observations for 2007-2011 (model calibration step)

با توجه به جدول (۶) نتایج مدل SWAT در دوره اعتبارسنجی دارای نتایج خیلی خوبی می‌باشد که شکل (۷) میزان تطابق هیدروگراف شبیه‌سازی و مشاهداتی رواناب برای دوره اعتبارسنجی را نشان می‌دهد.

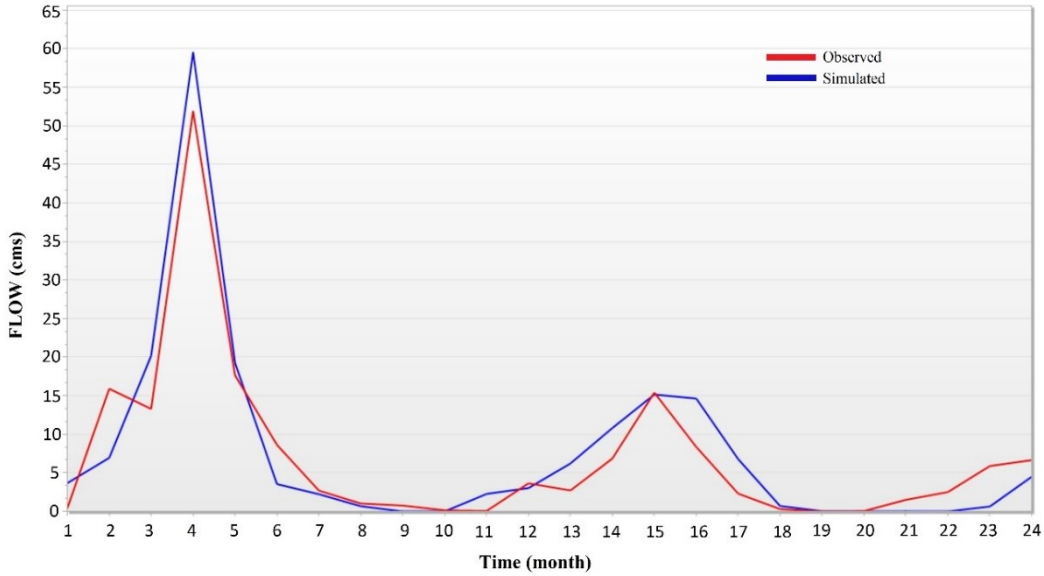
دوره اعتبارسنجی برای سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ انجام شد که با توجه به شکل (۷) تا ماه ۲۰ام بازوهای بالارونده و بازوهای پایین‌رونده هیدروگراف شبیه‌سازی کمی کمتر از هیدروگراف مشاهداتی است ولی از ماه ۲۰ام به بعد میزان هیدروگراف شبیه‌سازی بیشتر از هیدروگراف مشاهداتی است.

Mishra et al. (2007) با استفاده از مدل SWAT در حوضه کوچکی در کشور هند اقدام به شبیه‌سازی رواناب و رسوب در مقیاس زمانی روزانه و ماهانه نمودند و برای این پژوهش از دو شاخص آماری ضریب R^2 و ضریب NSE استفاده نمودند. که این ضرایب برای رواناب روزانه در دوره واسنجی مدل به ترتیب ۰/۹۳ و ۰/۷ و برای اعتبارسنجی مدل ۰/۷۸ و ۰/۶ محاسبه شد. برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب در مقیاس زمانی ماهانه نیز از شاخص‌های آماری ضریب R^2 و ضریب NSE استفاده شد که برای واسنجی مدل این ضرایب هردو ۰/۹۹ محاسبه شدند و برای اعتبارسنجی مدل نیز به‌ترتیب ۰/۹۲ و ۰/۸۸ تعیین شد. Shahoei et al. (2018) با استفاده از مدل SWAT اقدام به شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه در حوضه روانسر سنجابی کرمانشاه در کشور ایران نمودند و برای این تحقیق از دو شاخص آماری ضریب ناش‌ساتکلیف (NSE) و ضریب R^2 استفاده نمودند که این ضرایب را برای دوره واسنجی به‌ترتیب برابر ۰/۷ و ۰/۸ و برای دوره اعتبارسنجی ۰/۸۱ و ۰/۹ محاسبه نمودند. Santra and Das. (2013) اقدام به شبیه‌سازی رواناب در مقیاس زمانی ماهانه با استفاده از مدل SWAT در حوضه چیلیکا واقع در کشور هند نمودند و برای ارزیابی کارایی مدل در این پژوهش از ضرایب NSE و R^2 استفاده نمودند که این ضرایب برای دوره واسنجی به‌ترتیب برابر ۰/۷۲ و ۰/۵۴۵ و برای اعتبارسنجی مدل ۰/۸۸ و ۰/۶۶۱ محاسبه نمودند. با توجه به شاخص‌های آماری ضرایب NSE و R^2 به‌دست آمده در این پژوهش مشخص شد که مدل هیدرولوژیکی SWAT توانایی شبیه‌سازی رواناب در محدوده بالادست ایستگاه

www.SID.ir

Archive of SID

هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه را با دقت بسیار خوبی دارد. با توجه به این پژوهش و مطالعات قبلی صورت گرفته در رابطه با توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب، در حوضه‌های مختلف می‌توان نتیجه گرفت که این مدل توانایی شبیه‌سازی حوزه‌های آبخیز مختلف در شرایط اقلیمی متفاوت را دارد.



شکل ۷- نمودار داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی رواناب ماهانه در سال‌های ۲۰۱۱ و ۲۰۱۲ (مرحله اعتبارسنجی مدل)

Fig. 7 Simulated data diagram and monthly runoff observations for 2011 and 2012 (Model Validation Stage)

۴- نتیجه‌گیری

در این پژوهش با استفاده از مدل SWAT اقدام به شبیه‌سازی رواناب در مقیاس ماهانه در محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان شد. دوره آماری استفاده شده در این تحقیق یک دوره هفت ساله که از سال‌های ۲۰۰۷ الی ۲۰۱۳ استفاده شد. که ۵ سال اول این دوره ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۱ برای واسنجی با استفاده از ۲۱ پارامتر مختلف و دو سال پایانی یعنی سال‌های ۲۰۱۲ و ۲۰۱۳ برای اعتبارسنجی مدل استفاده شد. برای بررسی نتایج شبیه‌سازی از دو شاخص آماری R^2 و ضریب NSE استفاده شد که نتایج آن به‌صورت زیر قابل بیان است:

۱- در مرحله واسنجی ضریب NSE برابر ۰/۷۸ و R^2 برابر ۰/۸۲ محاسبه شد.

۲- در مرحله اعتبارسنجی ضریب آماری NSE و R^2 به‌ترتیب برابر با ۰/۹ و ۰/۹۱ محاسبه شد.

۳- با توجه به ضرایب به دست آمده برای هر دو شاخص در هر دو دوره واسنجی و اعتبارسنجی مشخص شد که مدل هیدرولوژیکی SWAT دارای نتایج مناسبی در شبیه‌سازی رواناب ماهانه در محدوده بالادست ایستگاه هیدرومتری سنته در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در استان کردستان می‌باشد.

References

Abbaspour K. C. (2007). User manual for SWAT-CUP, SWAT calibration and uncertainty analysis programs. Eawag: Swiss Fed. Inst. Aquat. Sci. Technol. Du¨bendorf, Switzerland.

Mengistu A. G., Remsburg L. D. v. L. and Woyessa Y. E. (2019). Techniques for calibration and validation of SWAT model in data scarce arid and semi-arid catchments in South Africa. J. Hydrol. Region. Studies, 25, 100621.

www.SID.ir

Archive of SID

Arnold J. G., Moriasi D. N., Gassman P. W., Abbaspour K. C., White M. J., Srinivasan R., Santhi C., Hammel D., Grienswen A. V., Liew M. W. W., Kannan N. and Jha M. K. (2012). SWAT: model use, calibration, and validation. Trans ASABE, 55(4), 1491–1508.

Habibi A. and Goodarzi M. (2019). Application of Semi-Distributed SWAT Model to Simulate Runoff of Hablehroud Basin. Iran J. Watershed Manage. Sci. Eng., 12(43), 40-49 [In Persian].

Hosseini M., Ghafouri M., Tabatabaei M., Goodarzi M. and Mokarian Z. (2016). Estimating hydrologic budgets for six Persian Gulf watersheds, Iran. Appl. Water Sci., 7, 3323-3332.

Kult J., Choi W. and Choi J. (2014). Sensitivity of the snowmelt runoff model to snow covered area and temperature inputs. Appl. Geogr., 55, 30–38.

Marques C. A. F., Ferreira J. A., Rocha A., Castanheira J. M., Melo-Goncalves P., Vaz N. and Dias J. M. (2006). Singular spectrum analysis and forecasting of hydrological time series. Phys. Chem. Earth A/B/C., 31(18), 1172–1179.

Mishra A., Froebrich J. and Gassman P.W. (2007). Evaluation of the SWAT model for assessing sediment control structures in a small watershed in India. Trans. ASABE, 50(2), 469−477.

Pechlivanidis I., Jackson B., McIntyre N. and Wheater H. (2011). Catchment scale hydrological modelling: a review of model types, calibration approaches and uncertainty analysis methods in the context of recent developments in technology and applications. Global NEST J. 13(3), 193–214.

Porhemmat J., Nakhaei M., Dadgar M. A. and Biswas A. (2018). Investigating the effects of irrigation methods on potential groundwater recharge, case study: semiarid regions in Iran. J. Hydrol., 565, 455-466.

Santra P. and Das B. S. (2013). Modeling Runoff from an Agricultural Watershed of Western Catchment of Chilika Lake through Arc SWAT. J. Hydro- Environ. Res., 7, 261-269.

Shahoei S. V., Porhemmat J., Sedghi H., Hosseini M. and Saremi A., (2018). Monthly runoff simulation through SWAT hydrological model and evaluation of model in calibration and validation periods, case study: Ravansar Sanjabi Basin in Kermanshah Province, Iran. Watershed Eng. Manage., 10(3), 464-477 [In Persian].

Sokolowski J. and Banks C. (2010). Modeling and simulation fundamentals: theoretical underpinnings and practical domains. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, USA.

Sokolowski J. and Banks C. (2011). Principles of modeling and simulation: a multidisciplinary approach. John Wiley and Sons, Hoboken, New Jersey, USA.

Sudjarit W., Pukngam S. and Tangtham N. (2015). Application of SWAT model for assessing effect on main functions of watershed ecosystem in headwater, Thailand. In: Zhang, W. (Ed.), Proceedings of the International Academy of Ecology and Environmental Sciences, pp. 57–69.

Vilaysane B., Takara K., Luo P., Akkharath I. and Duan W. (2015). Hydrological stream flow modelling for calibration and uncertainty analysis using SWAT model in the Xedone river basin, Lao PDR. Proced. Environ. Sci., 28, 380–390.

Yang Q. and Zhang X. (2016). Improving SWAT for simulating water and carbon fluxes of forest ecosystems. Agri. Ecosyst. Environ., 569, 1478–1488.

Zarezadeh Mehrizi S., Khoorani A., Bazrafshan. J. and Bazrafshan O. (2018). Assessing the efficiency of SWAT model for runoff simulation in Gamasiyab basin. J. Range Watershed Manage., 70(4), 881-893.

Zhang Y., Zhang L., Hou J., Gu J. and Huang C. (2017). Development of an evapotranspiration data assimilation technique for streamflow estimates: a case study in a semi-arid region. Sustain., 9(10), 1658.

www.SID.ir

Archive of SID

SWAT Model Application for Simulating Monthly Runoff, Lake Urmia Watershed, Kurdistan Province, Iran

Zaniar Fatehi*[1] and Seyyed Vahid Shahoei[2]

[1]M.Sc. Student, Department of Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Tauseh Danesh of Higher Education, Sanandaj, Iran
[2]Assist. Professor, Department of Water Resources Engineering and Management, Faculty of Civil Engineering, Tauseh Danesh of Higher Education, Sanandaj, Iran

*Corresponding author: zaniar.f35@gmail.com

Technical Note
Received: Febraury 07, 2020 **Revised:** April 02, 2020 **Accepted:** April 21, 2020

Abstract
The Soil and Water Assessment Model (SWAT) is a continuous and semi-distributed model. The SWAT model is capable of being connected to the Geographic Information System (GIS). Using a range of information such as basin physical information (soil, land use and slope) as well as meteorological information such as rainfall, temperature, wind, relative humidity and solar radiation, this model can monitor hydrological processes in catchments on a daily time scale., Monthly and yearly. Simulation of hydrological processes in watersheds is essential for predicting future events in those basins and identifying ways to deal with them. In this study, using SWAT hydrological model, the runoff outflow of Santeh hydrometric station in the watershed of Lake Urmia in Kurdistan province in Iran with an area of 5306 km^2. Runoff simulation was performed over a seven-year statistical period 2007-2013. The first five years of this period 2007-2011 for model calibration using 21 different parameters and the final two years of 2011 and 2012 for validation using two statistical indices (NSE) and coefficient of determination (R^2). it placed. According to the simulated hydrograph and the monthly runoff observations, the calculated statistical indices of SWAT model in the calibration period and in the monthly time scale validation period have acceptable results in the runoff simulation, with coefficient values (NSE) and (R^2) in the calibration period were 0.78 and 0.82 respectively and for the validation period 0.9 and 0.91 respectively.

Keywords: Calibration; Determination Coefficient; Hydrological Model; Nash Sutcliffe Coefficient; Validation.

www.SID.ir