استفاده از مدل SWAT و نرم افزار SWAT-CUP در شبیه سازی و آنالیز عدم قطعیت هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زشک شهرستان طرقبه- شاندیز)

هدی معماریان[۱] سید هاشم حسینی*[۲] هادی معماریان[۳]

۱- دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه منابع طبیعی و کشاورزی، واحد تربت جام، دانشگاه آزاد اسلامی، تربت جام، ایران

۲- استادیار، گروه منابع طبیعی و کشاورزی، واحد تربت جام، دانشگاه آزاد اسلامی، تربت جام، ایران

۳- استادیار، گروه منابع طبیعی و کشاورزی، دانشگاه بیرجند، بیرجند، ایران

تاریخ دریافت: ۹۷/۰۹

تاریخ پذیرش: ۹۸/۰۳

چکیده

هدف از این پژوهش ارزیابی کارایی مدل SWAT و نرم افزار SWAT-CUP در شبیه سازی هیدرولوژیک و همچنین بررسی عدم قطعیت مدل SWAT در برآورد رواناب در حوضه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه خشک می‌باشد. در این تحقیق جهت آنالیز عدم قطعیت و واسنجی مدل از الگوریتم SUFI-2 استفاده شد. در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی رواناب از ضرایب R^2، bR^2 وNS بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده برای صحت سنجی استفاده شد. نتایج تحقیق نشان داد که در مرحله واسنجی مقادیر ضرایب R^2، bR^2 و NSبه ترتیب ۰/۷۵، ۰/۵۹ و ۰/۶۷ برای رواناب و برای مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۴۶، ۰/۲۴ و ۰/۴۲ می‌باشد. مقایسه این شاخص ها نشان می‌دهد که مدل در مرحله اعتبارسنجی ضعیف‌تر عمل کرده است. به طور کلی نتایج بدست آمده قابل قبول و کارایی مدل در شبیه سازی دبی رواناب ماهانه حوضه زشک – ابرده رضایت بخش نبوده بلکه در مرز قبولی است. این امر ناشی از عدم صحت و دقت در آمار موجود در منطقه بوده و آماری از میزان آب برداشتی در باغات بالادست حوضه و همچنین چشمه‌های موجود در دسترس نمی‌باشد.

واژه‌های کلیدی: SWAT، SUFI-2، واسنجی، تحلیل عدم قطعیت، حوضه زشک- ابرده

مقدمه

برای شناخت و درک بهتر نقش فرآیندهای هیدرولوژی حوضه‌های آبخیز از مدل‌های شبیه سازی استفاده می‌شود. مدل‌های مذکور به دسته‌های مختلفی اعم از مدل‌های تجربی در برابر مدل‌های فیزیکی، مدل‌های واقعه منفرد در برابر مدل‌های پیوسته و مدل‌های یکپارچه در برابر مدل‌های توزیعی تقسیم بندی می‌شوند (شفیعی و قراری، ۱۳۹۶). مدل‌های هیدرولوژیکی اولیه به خاطر محدودیت در منابع محاسباتی و فقدان تشریح مکانی خصوصیات فیزیکی حوضه آبخیز و همچنین محدودیت اندازه‌گیری پارامترها ضرورتا به صورت یکپارچه استفاده می‌شدند. امروزه هر چند با توجه به افزایش ظرفیت و سرعت کامپیوتر تمایل به استفاده از مدل‌های توزیعی افزایش یافته است ولی اغلب به واسطه فاکتورهایی از قبیل توانایی شبیه سازی متغیرهای طراحی (رواناب، آب‌های زیرزمینی، رسوب و غیره)، داده‌های قابل دسترس و مقیاس مکانی و زمانی مورد مطالعه مدل‌های هیدرولوژیکی مورد استفاده نیمه توزیعی هستند (WMO, 2011). مدل ارزیابی آب و خاک (SWAT) یکی از مدل‌های نیمه توزیعی حوضه آبخیز می‌باشد که نقش اصلی در تجزیه و تحلیل اثر تغییرات مدیریتی زمین بر آب در حوضه آبخیز را بازی می‌کند. در این مدل تغییرات مکانی خصوصیات حوضه آبخیز در مقیاس واحد هیدرولوژیکی (کاربری اراضی، ارتفاع و خاک) لحاظ می‌شود. این مدل که در

*نویسنده مسئول: سیدهاشم حسینی seyedhashemh@gmail.com

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.2.1.1]

سال ۱۹۹۰ توسط آرنولد توسعه یافته، به طور وسیع در سطح دنیا مورد استفاده قرار گرفته است (Abbaspour et al., 2006, Birhanu et al., 2007, Changbin et al., 2010, Cibin et al., 2010., Kigobe, 2009, Memarian et al., 2013a,). در ایران و در سال‌های اخیر این مدل به طور گسترده جهت شبیه سازی رواناب و رسوب و همچنین آنالیز عدم قطعیت و بهینه سازی پارامترهای مدل مورد استفاده قرار گرفته و مشخص شده است که در مقایسه با سایر مدل‌ها نتایج بهتری در برآورد رواناب و رسوب دارد (اخوان و همکاران، ۱۳۸۹؛ بابایی و سهرابی، ۱۳۸۸؛ ایزدی و همکاران، ۱۳۹۲؛ جیرانی و همکاران، ۱۳۹۰؛ سروری و باقری، ۱۳۹۱؛ شایگان و همکاران، ۱۳۹۰؛ حسینی و همکاران، ۱۳۹۱؛ معماریان و همکاران، ۱۳۹۴). در این مدل برای آنالیز حساسیت، واسنجی و آنالیز عدم قطعیت از الگوریتم SUFI-2 (Abbaspour et al., 2006) استفاده می‌شود. در این الگوریتم عدم قطعیت پارامترها در برگیرنده تمام منابع عدم قطعیت ورودی‌ها، مدل مفهومی و پارامترهای موجود در بحث مدل سازی است. تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد در سطوح ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد از تابع توزیع تجمعی متغیر خروجی محاسبه می‌گردد (Memarian et al., 2013a). محاسبات در الگوریتم SUFI-2 تا زمانی ادامه می‌یابد که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵٪ واقع شوند و ضخامت باند تا حد ممکن کوچک شود. از ضرایب R^2 و NS به عنوان تابع هدف در تعیین نیکویی برازش نیز استفاده شده است (Memarian et al., 2013b). هدف از پژوهش حاضر بررسی کارایی مدل SWAT در برآورد و شبیه سازی رواناب و بررسی عدم قطعیت پارامترهای هیدرولوژیک در مناطق خشک و نیمه خشک است.

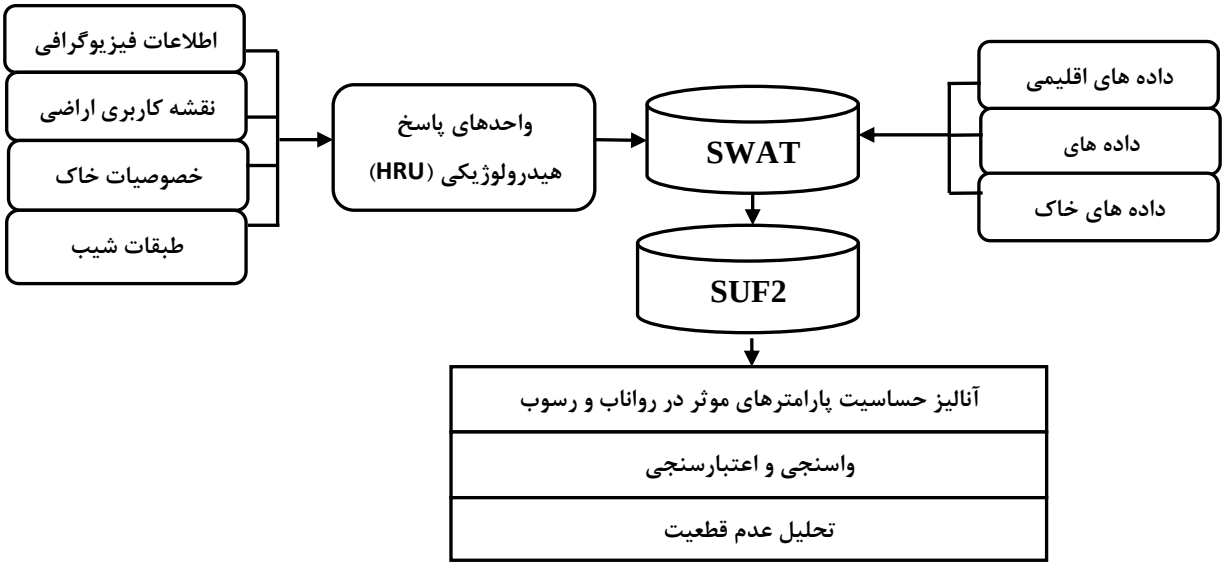
مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوضه زشک– ابرده با مساحتی در حدود ۹۲۲۵/۹ هکتار در محدوده شهرستان طرقبه- شاندیز، بخش شاندیز واقع شده است. این منطقه دارای آب و هوای معتدل با تابستان‌های خنک و زمستان‌هایی بسیار سرد است. میزان متوسط بارندگی سالیانه حدود ۳۴۸ میلی‌متر در سال و اقلیم منطقه بر اساس روش آمبرژه از نوع نیمه مرطوب سرد و بر اساس دومارتن از نوع، مدیترانه‌ای است. ضریب رواناب برای حوضه ۴۸/۹۴ درصد و حجم رواناب ۱۸/۲۴ میلیون متر مکعب می‌باشد (معماریان و همکاران، ۱۳۹۴).

روش مطالعه

در این تحقیق مدل SWAT به عنوان یک مدل فیزیکی نیمه توزیعی و پیوسته در شبیه سازی اثرات سناریوهای مختلف تغییر اقلیم به کار گرفته شد. شکل (۱) فلوچارت و روش مطالعه با مدل را نشان می‌دهد.



شکل (۱): فلوچارت و مراحل تحقیق با استفاده از مدل SWAT

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.2.1.1]

شبیه سازی هیدرولوژیک در مدل SWAT به دو فاز اصلی تقسیم بندی می‌شود. فاز زمین کنترل کننده میزان ورودی آب، رسوب، عناصر غذایی و آلودگی‌های شیمیایی به کانال اصلی در هر زیر حوضه می‌باشد. فاز آب یا فاز روندیابی کنترل کننده حرکت آب، رسوب و عناصر غذایی و شیمیایی درون شبکه آبراهه اصلی زیر حوضه تا خروجی هر زیر حوضه است. هر زیر حوضه در مدل به زیر مجموعه‌هایی به نام واحد پاسخ هیدرولوژیک (HRU) تقسیم بندی می‌شود که در واقع واحدهای همگن از لحاظ پارامترهای خاک، کاربری و شیب می‌باشند. در هر واحد پاسخ هیدرولوژیک بیلان آب از رابطه (۱) محاسبه می‌گردد:

$$SW_t = SW_0 + \sum_{i=1}^{t} (R_{day} - Q_{surf} - E_a - W_{seep} - Q_{gw}) \quad (۱)$$

در این رابطه SWt: مقدار نهایی آب در خاک (میلی‌متر)، t: زمان (روز)، SW_0: مقدار آب اولیه موجود در خاک (میلی‌متر)، Rday: مقدار بارش در روز i ام (میلی‌متر)، Qsurf: مقدار رواناب سطحی در روز i ام (میلی‌متر)، Ea: مقدار تبخیر و تعرق در روز i ام (میلی‌متر)، Wseep: مقدار آب نفوذ کرده به منطقه قشری در پروفیل خاک (میلی‌متر) و Qgw: مقدار جریان برگشتی در روز i ام (میلی‌متر) می‌باشد.

نقشه‌های پایه مورد نیاز شامل نقشه مدل ارتفاعی رقومی (DEM)، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک می‌باشند که هر سه در قالب رستری به مدل معرفی شدند. سایر اطلاعات مربوط به داده‌های جامع هواشناسی، کیفیت آب، عوامل موثر بر جریان سطحی و کانال، آب زیرزمینی، برداشت آب، مدیریت اراضی، اطلاعات جامع مربوط به کیفیت آب، مخازن، و برخی زمینه‌های دیگر می‌باشد (Nitsche et.al, 2005).

در SWAT دو روش شماره منحنی و فرمول نفوذ گرین و امپت برای تخمین رواناب سطحی وجود دارد. در این مطالعه رواناب سطحی با استفاده از روش شماره منحنی محاسبه شد. شماره منحنی تابعی از نفوذپذیری، کاربری اراضی و شرایط رطوبتی خاک می‌باشد.

شاخص‌های آماری ارزیابی مدل

برای ارزیابی مدل از ضریب تبیین (R^2)، ضریب bR^2 و ضریب ناش- ساتکلیف (ENS) به کار رفته است:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(Simulated_i - Simulated_{avg})(Measured_i - Measured_{avg})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(Simulated_i - Simulated_{avg})^2 \sum_{i=1}^{n}(Measured_i - Measured_{avg})^2} \quad (۲)$$

$$bR^2 = \begin{cases} |b|R^2 & if\ |b| \le 1 \\ |b|^{-1}R^2 & if\ |b| > 1 \end{cases} \quad (۳)$$

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Measured_i - Simulated_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}[Measured_i - {}^1/_n \sum_{i=1}^{n} Measured_i]^2} \quad (۴)$$

که در آن، $Simulated_{avg}$: متوسط مقادیر شبیه‌سازی شده، $Measured_{avg}$: متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد.

واسنجی، اعتبار سنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل SWAT

در این تحقیق الگوریتم SUFI-2 (Abbaspour et al., 2006) در آنالیز حساسیت، واسنجی و آنالیز عدم قطعیت مدل SWAT مورد استفاده قرار گرفت. در این الگوریتم عدم قطعیت پارامترها در برگیرنده تمام منابع عدم قطعیت ورودی‌ها، مدل مفهومی و پارامترهای موجود در بحث مدل سازی است. درجه عدم قطعیت توسط دو فاکتور به نام‌های R-Factor و P-Factor محاسبه می‌شود. P-factor عبارت است از درصد داده‌های مشاهده‌ای که در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵٪ قرار گرفته‌اند. تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد در سطوح ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد از تابع توزیع تجمعی متغیر خروجی که با روش نمونه برداریLatin Hypercube به دست آمده محاسبه می‌گردد (Memarian et al., 2013a). R-

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.2.1.1]

Factor عبارت است از تقسیم میانگین باند تخمین عدم قطعیت ۹۵٪ بر انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای. SUFI-2 به دنبال طیفی از پارامترها است که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵٪ واقع شوند (یعنی P-Factor بزرگ، حداکثر ۱۰۰٪، با کوچکترین مقدار R-Factor ممکنه، حداقل صفر). محاسبات در الگوریتم SUFI-2 تا زمانی ادامه می‌یابد که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵٪ واقع شوند و ضخامت باند تا حد ممکن کوچک شود (Memarian et al., 2013b).

نتایج و بحث

ویژگی‌های فیزیکی حوضه مورد مطالعه

در گام نخست آمار و اطلاعات تهیه شده به فرمت‌های ویژه مدل تبدیل و به مدل SWAT معرفی شد. این مدل با پردازش نقشه‌های ورودی، به منظور شبیه سازی جزئیات مکانی، حوضه را به چند زیرحوضه و هر یک از زیرحوضه‌ها را به چند واحد عکس‌العمل هیدرولوژیکی که از نظر کاربری اراضی و خصوصیات خاک همگن هستند، تقسیم نمود. بر اساس نتایج بدست آمده، حوضه مورد مطالعه دارای مساحت ۹۱/۴۰ کیلومتر مربع و ۱۲ زیر حوضه و ۲۹۴ واحد عکس-العمل هیدرولوژیکی می‌باشد (جدول ۱).

جدول (۱): مساحت و تعداد واحدهای هیدرولوژیکی زیرحوضه‌های حوضه زشک- ابرده حاصل از مدل SWAT

شماره زیر حوضه	مساحت (هکتار)	تعداد HRU
۱	۳/۰۵	۱۲
۲	۴۰۸/۶	۲۶
۳	۳۰۵/۵۸	۱۹
۴	۱۰۰۱/۶	۲۸
۵	۹۵۵/۲۸	۲۸
۶	۸۵۱/۷۶	۲۵
۷	۰/۶۱	۴
۸	۶۱۹/۴۵	۲۰
۹	۱۶۵۲/۴	۳۵
۱۰	۱۴۵۴/۵	۲۹
۱۱	۶۸۸/۹۸	۲۷
۱۲	۱۱۹۸/۷۸	۴۱
جمع	۹۱۴۰/۶۱	۲۹۴

آنالیز حساسیت پارامترهای موثر بر رواناب

جهت آنالیز حساسیت از برنامه SUFI-2 استفاده گردید. در ابتدا ۲۲ پارامتر در تولید رواناب و رسوب حوضه آبخیز موثر شناخته شد که این پارامترها به همراه محدوده مجاز تغییرات آن‌ها را در مدل وارد نموده و جهت بهینه‌سازی خروجی‌های مدل، ۳۰۰ شبیه‌سازی انجام گرفت. برنامه SUFI-2 برای هر یک از آن‌ها یک مقدار t-Stat ارائه داده و سپس پارامترهای حساس مشخص شد (جدول ۲). پارامترهای با مقدار t-stat بیشتر، دارای حساسیت نسبی بالاتری می‌باشند. مقادیر t-stat و p-value را برای پارامترهای مختلف موثر در رواناب و رسوب خروجی حوضه را نشان می‌دهد. بررسی و مقایسه مقادیر t-statهای بدست آمده برای هر پارامتر نشان می‌دهد که پارامترهای, SOL_BD , CN2 USLE_P از بیشترین میزان حساسیت نسبی برخوردار هستند و پارامترهای SLSUBBSN، GW_DELAY و ESCO دارای کمترین میزان حساسیت نسبی می‌باشند.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.2.1.1]

جدول (۲): پارامترهای وارد شده به مدل و مقادیرحداقل، حداکثر و نتایج t-stat و p-value پس از آنالیز حساسیت

ردیف	پارامترها	علامت اختصاری پارامتر	حداقل	حداکثر	t-Stat	P-value
۱	شماره منحنی	r__CN2.mgt	-۰/۲	۱	-۰/۰۱	۰/۹۹
۲	ضریب عکس العمل جریان آب زیر زمینی	v__ALPHA_BF.gw	۰	۱	۱/۴۱	۰/۱۶
۳	زمان تاخیر جریان تغذیه آب زیر زمینی	v__GW_DELAY.gw	۰	۵۰۰	-۲/۱	۰/۰۴
۴	فاکتر جبران تبخیر از خاک	v__ESCO.bsn	۰	۱	-۱/۲۸	۰/۲
۵	فاکتر جریان برداشت آب گیاه	v__EPCO.bsn	۰	۱	۰/۷۱	۰/۴۸
۶	هدایت هیدرولیکی خاک در حالت اشباع mm/h	r__SOL_K ().sol	-۰/۵	۰/۵	۳/۱۹	۰/۰۰
۷	ظرفیت آب قابل دسترس در لایه خاک	r__SOL_AWC ().sol	-۰/۵	۰/۵	-۰/۲	۰/۸۴
۸	چگالی توده خاک	r__SOL_BD ().sol	-۰/۵	۰/۵	۵/۷۳	۰/۰۰
۹	ضریب آلبدوی خاک مرطوب	r__SOL_ALB ().sol	-۰/۵	۰/۵	۰/۱۲	۰/۹
۱۰	متوسط طول شیب m	r__SLSUBBSN.hru	-۰/۵	۰/۵	۲/۴۲	۰/۰۲
۱۱	ضریب زبری دامنه	r__OV_N.hru	-۰/۵	۰/۵	۱/۶۵	۰/۱
۱۲	درجه حرارات ریزش برف (سانتیگراد)	v__SFTMP.bsn	-۰/۵	۵	۰/۹۴	-۰/۳۵
۱۳	درجه حرارات ذوب برف (درجه سانتیگراد)	v__SMFMX.bsn	۰	۱۰	۰/۰۹	۰/۹۳
۱۴	درجه حرارات ذوب برف (درجه سانتیگراد)	v__SMFMN.bsn	۰	۱۰	۰/۷۴	۰/۴۶
۱۵	ضریب تاخیر دمای توده برف	v__TIMP.bsn	۰	۱۰	۰/۹۵	۰/۳۴
۱۶	ضریب تاخیر جریان سطحی	v__SURLAG.bsn	۰	۲۴	۱/۰۲	۰/۳۱
۱۷	ضریب مانینگ در کانال اصلی	r__CH_N2.rte	-۰/۵	۰/۵	۱/۹۵	۰/۰۵
۱۸	هدایت هیدرولیکی در کانال اصلی	v__CH_K2.rte	۰	۱۵۰	۰/۰۱	۰/۹۹
۱۹	عامل مربوط به عملیات حفاظت خاک در معادله USLE	v__USLE_P.mgt	۰	۱	۴/۷۹	۰/۰۰
۲۰	عامل تنظیم نرخ اوج برای مسیریابی رسوب در زیر حوضه	v__ADJ_PKR.bsn	۰/۵	۲	۰/۴۵	۰/۶۵
۲۱	ضریب فرسایش پذیری کانال	v__CH_ERODMO ().rte	۰	۱	۰/۴	۰/۶۹
۲۲	ضریب re-entrainment نمایی برای روندیابی رسوب کانال	v__SPEXP.bsn	۱	۱/۵	-۰/۱۲	۰/۹۱

*نکته: v به معنی جایگزینی مقادیر موجود پارامتر با مقدار داده شده و r به معنی ضرب کردن مقادیر موجود پارامتر در (۱+ مقدار داده شده) است.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل

با هدف بهبود نتایج شبیه‌سازی دبی حوضه آبخیز زشک-ابرده، مدل SWATواسنجی و اعتبارسنجی شد. واسنجی با استفاده از آمار ۷ ساله دبی ماهانه (۲۰۰۶-۲۰۰۰) و اعتبارسنجی آن با استفاده از آمار ۳ ساله دبی ماهانه (۲۰۱۰-۲۰۰۷) انجام گرفت (جدول ۳).

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-07-31]

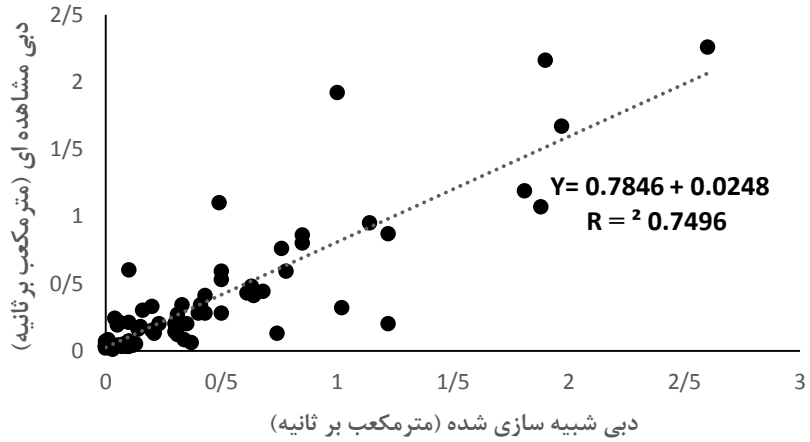
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.2.1.1]

جدول (۳): پارامترهای موثر در رواناب و مقادیر بهینه، t-stat و p-value آن‌ها پس از عملیات واسنجی

ردیف	نام پارامتر	مقدار بهینه	حداقل	حداکثر	t-Stat	P-Value
۱	R__CN2.mgt	۰/۶۰۲	-۰/۲	۰۱/۷	۵۸/۵۶	۰/۰۰۰
۲	V__ALPHA_BF.gw	۰/۲۸۴	۰/۰۰	۵۰۰	۳/۳۵۵	۰/۰۰۱
۳	V__GW_DELAY.gw	۱۸۸/۲۵	۰/۰۰	۱	-۰/۴۲۴	۰/۶۷۲
۴	V__ESCO.bsn	۰/۷۷۵	۰/۰۱	۱	-۰/۲۵۲	۰/۸۰۱
۵	V__EPCO.bsn	۰/۲۳۴	۰/۰۱	۵	-۰/۲۶۳	۰/۷۹۳
۶	R__SOL_K (..).sol	۰/۳۴۴	-۰/۵	۰/۵	۷/۵۴۳	۰/۰۰۰
۷	R__SOL_AWC (..).sol	۰/۳۶۲	-۰/۵	۰/۵	-۰/۹۶۵	۰/۳۳۵
۸	R__SOL_BD (..).sol	-۰/۱۵۸	-۰/۵	۰/۵	۱۵/۰۷	۰/۰۰۰
۹	R__SOL_ALB (..).sol	-۰/۴۸۴	-۰/۵	۰/۵	-۰/۳۹۵	۰/۶۹۳
۱۰	R__SLSUBBSN.hru	۰/۰۷۸	-۰/۵	۰/۵	-۲/۱۳۵	۰/۰۳۳
۱۱	R__OV_N.hru	۰/۰۱۱	-۰/۵	۰/۵	-۰/۰۲۸	۰/۹۷۸
۱۲	V__SFTMP.bsn	۳/۲۳۵	-۵	۵	۱/۱۸۴	۰/۲۳۲
۱۳	V__SMFMX.bsn	۱/۶۳۵	۰/۰۰	۱۰	۰/۶۴۰	۰/۵۲۲
۱۴	V__SMFMN.bsn	۵/۱۵۵	۰/۰۰	۱۰	-۰/۸۳۸	۰/۴۰۲
۱۵	V__TIMP.bsn	۳/۶۸۵	۰/۰۰	۱۰	۰/۰۷۱	۰/۹۴۴
۱۶	V__SURLAG.bsn	۱۸/۵۱۵	۱	۲۴	۰/۱۰۴	۰/۹۱۷
۱۷	R__CH_N2.rte	۰/۳۹۶	-۰/۵	۰/۵	۲/۰۵۴	۰/۰۴۰
۱۸	V__CH_K2.rte	۱۰۷/۴۷	۰/۰۰	۱۵۰	۱/۴۷۰	۰/۱۴۲
۱۹	V__USLE_P.mgt	۰/۶۹۳	۰/۰۰	۱	۵/۰۱۸	۰/۰۰۰
۲۰	V__ADJ_PKR.bsn	۱/۴۸۲	۰/۵	۲	۱/۳۱۶	۰/۱۸۸
۲۱	V__CH_ERODMO (..).rte	۰/۴۴۲	۰/۰۰	۱	۱/۸۲۶	۰/۰۶۸
۲۲	V__SPEXP.bsn	۱/۰۰۳	۱	۱/۵	-۱/۳۲۸	۰/۱۸۴

واسنجی و اعتبار سنجی رواناب

ارزیابی کارایی مدل با استفاده از ضرایب R^2، bR^2 و NS صورت گرفت. شکل (۲) نمودار همبستگی و مقدار ضریب تعیین بین مقادیر شبیه‌سازی و مشاهداتی را در مراحل واسنجی نشان می‌دهد.



شکل (۲): نمودار همبستگی بین داده‌های شبیه سازی شده و مشاهداتی در مرحله واسنجی

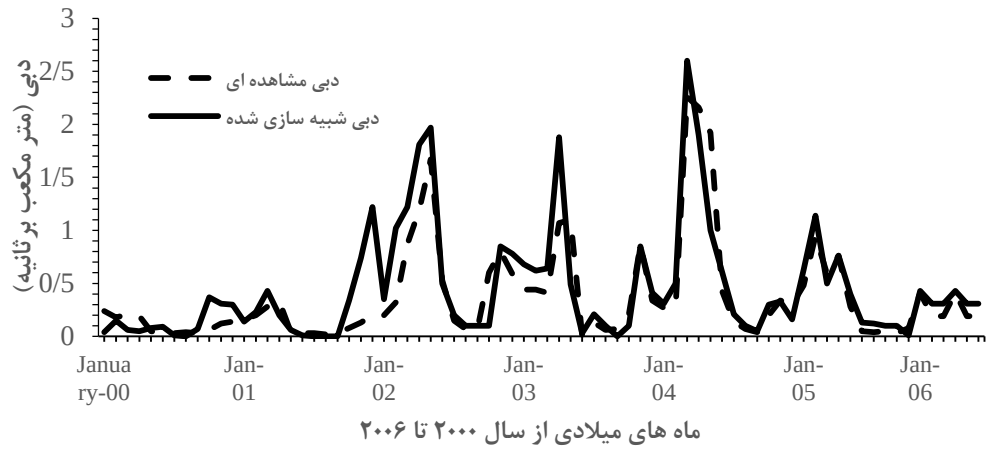
جدول (۴) مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل را در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.2.1.1]

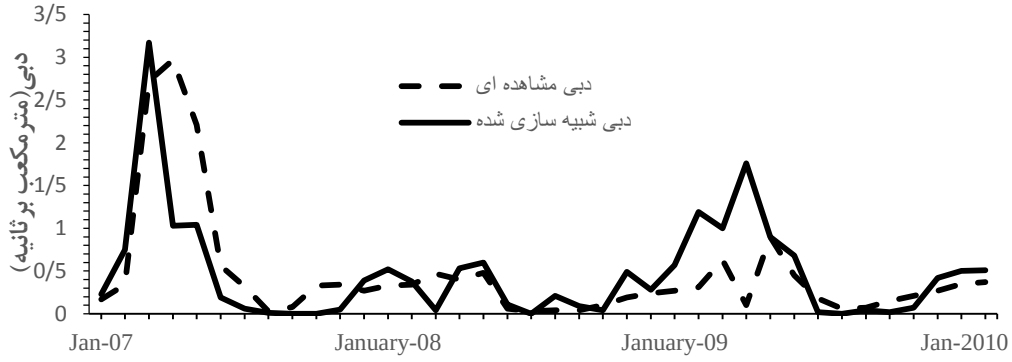
جدول (۴): مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل را در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی

شاخص‌های ارزیابی و مراحل اجرای مدل	مرحله واسنجی	مرحله اعتبار سنجی
ضریب تبیین (R^2)	۰/۷۵	۰/۴۶
ضریب نش- ساتکلیف (NS)	۰/۶۷	۰/۴۲
ضریب bR^2	۰/۵۹	۰/۲۴
p-factor	۰/۶۵	-
r-factor	۰/۵۴	-

به منظور ارزیابی کارایی مدل در شبیه‌سازی دبی پایه و دبی اوج و همچنین بررسی انطباق زمانی آن‌ها با داده‌های واقعی، از نمودارهای مربوط به مقادیر دبی ماهانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده، در طی دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی استفاده شد. بررسی این نمودارها نشان می‌دهد که مدل زمان وقوع مقادیر دبی اوج و دبی‌های پایه را به خوبی مدل‌سازی نموده است اما مقادیر دبی اوج را بیشتر از مقادیر واقعی برآورد نموده است، که متوسط دبی ماهانه شبیه‌سازی شده در طول دوره‌های واسنجی و اعتبار سنجی نیز موید این مطلب است (شکل‌های ۳ و ۴).



شکل (۳): مقایسه مقادیر ماهانه رواناب مشاهده شده و شبیه سازی شده پس از واسنجی

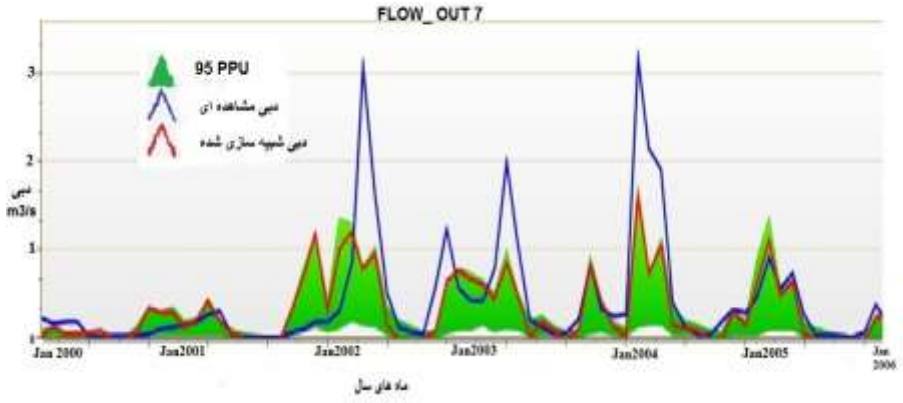


شکل (۴): مقایسه مقادیر ماهانه رواناب مشاهده شده و شبیه سازی شده پس از اعتبار سنجی

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.2.1.1]

عدم قطعیت در شبیه سازی جریان آب

در این تحقیق پس از عملیات واسنجی، احتمال قطعیت داده‌ها بین ۹۲/۵٪ تا ۹۷/۵٪ تعیین شد (شکل ۵). مقدار P-Factor که یکی از معیارهای مقایسه برای تطابق بهتر داده‌های شبیه سازی شده با داده‌های مشاهداتی است (مقدار برابر با ۰/۶۵) نشان دهنده ۶۵ درصد حضور داده‌های مشاهداتی در باند عدم قطعیت (95PPU) است و لذا مقدار آن در حد قابل قبول بوده ولی مطلوب نمی‌باشد. یکی از دلایل این امر عدم صحت و دقت کافی در آمار دبی موجود می‌باشد. زیرا اطلاعات درستی از میزان آب برداشتی در باغات بالادست حوضه و همچنین سایر کاربری‌های مختلف وجود ندارد. همچنین در خط الراس حوضه تعدادی چشمه وجود دارد که آمار دقیقی از میزان آبدهی آنها در فصول مختلف سال در دسترس نمی‌باشد و تنها یک عدد تقریبی دبی از آن چشمه‌ها موجود می‌باشد (معماریان و همکاران، ۱۳۹۴). همچنین پرسش و پاسخ کارشناسان با تجربه در آب منطقه ای نیز تایید کننده وجود خطا در داده‌های مشاهداتی است.



شکل (۵): باند عدم قطعیت رواناب حوضه زشک – ابرده پس از واسنجی

به طور کلی نتایج حاصل از اولین اجرای مدل SWAT و بررسی شاخص‌های ارزیابی دقت شبیه‌سازی این مدل نشان می‌دهند که مدل SWAT در اولین اجرا و با مقادیر پیش‌فرض پارامترها، توانسته است زمان وقوع دبی‌های اوج را به درستی مدل‌سازی کند. بدست آمدن مقادیر پایین شاخص‌های ارزیابی، دارای دقت مطلوبی برای شبیه‌سازی دبی رواناب نمی‌باشد و واسنجی و آنالیز عدم قطعیت پارامترهای این مدل می‌تواند به بهبود نتایج و افزایش دقت شبیه‌سازی آن کمک کند. بنابراین پس از این مرحله، اقدام به واسنجی مدل به منظور بهبود دقت شبیه‌سازی دبی رواناب در حوضه زشک- ابرده گردید.

نتیجه گیری

بررسی شاخص‌ها و نمودارهای بدست آمده در مرحله واسنجی و اعتبار سنجی مدل برای شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانه، نشان می‌دهد که مدل در مرحله اعتبار سنجی ضعیف عمل کرده است. به طور کلی نتایج بدست آمده نشان-دهنده توانایی و دقت قابل قبول نه مطلوب مدل SWAT در شبیه‌سازی دبی رواناب ماهانه حوضه زشک-ابرده می‌باشد و این امر بواسطه‌ی اطلاعات نادرست از میزان آب برداشتی در باغات بالادست حوضه و همچنین عدم وجود آمار دقیق از میزان آبدهی چشمه‌ها در فصول مختلف سال است.

بر اساس نتایج آنالیز حساسیت ۲۲ پارامتر موثر بر رواناب در مدل SWAT، سه پارامتر: عامل مربوط به عملیات حفاظت خاک USLE_P، چگالی خاک در حالت مرطوب (SOL_BD) و شماره منحنی رواناب(CN) scs از پارامترهای بسیار مهم در تعین میزان دبی رواناب خروجی از حوضه شناخته شدند که از بین آن‌ها عامل شماره منحنی رواناب scs (CN)، به عنوان حساس‌ترین پارامتر تشخیص داده شد. بر اساس نتایج تحقیق مدل SWAT قادر است دبی رواناب

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.2.1.1]

حوضه زشک- ابرده را با دقت قابل قبولی شبیه‌سازی کند و فاکتور شماره منحنی (CN) حساس‌ترین عامل موثر بر دبی رواناب می‌باشد.

به طور کلی عوامل متعددی در دقت نتایج مدل‌سازی دخالت دارند. دسته‌ای از این عوامل در ارتباط با شرایط اقلیمی و زمین‌شناسی حوضه و اطلاعات جمع‌آوری شده از جمله عدم صحت و همگنی داده‌های دبی مشاهداتی بود.

منابع

۱- اخوان، س.، ج. عابدی کوپایی.، س. موسوی.، ک. عباسپور.، م. افیونی و س. اسلامیان (۱۳۸۹). تخمین "آب آبی" و "آب سبز" در حوضه آبریز همدان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک، سال چهاردهم، شماره ۵۳.

۲- ایزدی، م.، خ. اژدری.، س. اخوان و ص. امامقلی زاده (۱۳۹۲). کاربرد مدل SWAT۲۰۰۹ در شبیه سازی دبی رودخانه شیرین دره، اولین همایش ملی چالش های منابع آب و کشاورزی، انجمن آبیاری و زهکشی ایران، دانشگاه آزاد اسلامی واحد خوراسگان، اصفهان 24 - بهمن ۱۳۹۲.

۳- بابایی، ب. و ت. سهرابی (۱۳۸۸). ارزیابی عملکرد مدل SWAT در حوضه آبریز زاینده رود، پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد شانزدهم، شماره سوم.

۴- جیرانی، ف.، س. مرید و ع. مریدی (۱۳۹۰). اثر دقت مکانی نقشه رقومی ارتفاع در واسنجی و برآورد رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT-CUP، مجله پژوهش های حفاظت آب و خاک، جلد هجدهم، شماره چهارم.

۵- سروری، م. و م. باقری (۱۳۹۱). ارزیابی قابلیت استفاده از مدل‌های HSPF و SWAT در شبیه سازی رواناب (مطالعه موردی حوضه آبریز آزاد رود)، نهمین کنگره بین المللی مهندسی عمران، دانشگاه صنعتی اصفهان.

۶- شایگان، م.، ع. علیمحمدی و ح. روحانی (۱۳۹۰). مدل سازی هیدرولوژیک حوضه آبخیز طالقان در محیط GIS با استفاده از مدل SWAT، انجمن سنجش از دور و GIS ایران، سال سوم، شماره دوم.

۷- شفیعی، م. و ش. قراری (۱۳۹۶). مروری بر مفاهیم مدلسازی هیدرولوژی: بخش اول، معرفی فرآیند مدلسازی، نشریه آب و توسعه پایدار، ۹۶ (۳): ۹۵-۱۰۳.

۸- حسینی، ر.، م. غفوری، م. طباطبایی، م. گودرزی و ا. حجازی (۱۳۹۱). ارزیابی مؤلفه‌های جریان با استفاده از مدلSWAT در حوضه آبخیز طالقان، نشریه علمی پژوهشی جغرافیا و برنامه ریزی، ۱۷ (۴۵): ۲۷-۴۱.

۹- معماریان، ه.، س. ه. حسینی و ه. معماریان (۱۳۹۴). استفاده از مدل SWAT و نرم افزار SWAT-CUP در شبیه سازی و آنالیز عدم قطعیت هیدرولوژیک حوضه‌های آبخیز مناطق خشک و نیمه خشک (مطالعه موردی: حوضه آبخیز زشک شهرستان طرقبه-شاندیز)، پایان نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه آزاد اسلامی واحد تربت جام.

10. Abbaspour K.C., Yang J., Maximov I., Siber R., Bogner K., Mieleitner J., Zobrist J. and Srinivasan R. *(2006). Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT*. J. Hydrol. *333:2-4.413-430*.
11. Birhanu B.Z., Ndomba P.M and Mtalo F.W. *(2007). Aplication of SWAT model for montanious catchment*. Journal of Water for Arba Minch, 30:182-187.
12. Changbin L., Jiaguo Q., Zhaodong F., Runsheng Y., Songbing Z and Feng Zh. *(2010). Parameters optimization based on the combination of localization and auto-calibration of SWAT model in a small watershed in Chinese Loess Plateau*. Front. Earth Sci. China, *4 (3): 296–310.*
13. Cibin R., Sudheer K.P. and Chaubey I. *(2010). Sensitivity and identifiability of stream flow generation parameters of the SWAT model.* Hydrological Processes. Hydrol. Process. *24, 1133–1148.*
14. Kigobe M. *(2009). Application of a semi-distributed SWAT model to estimate groundwater recharge in the Lake Kyoga basin of Uganda*. Groundwater and Climate in Africa (Proceedings of the Kampala Conference, June 2008) IAHS Publ. *334:143-152*
15. Memarian H., Balasundram S.K., Abbaspour K.C., Talib J., Alias S. and Teh C.B.S. *(2013a). SWAT-based hydrological modeling of tropical land use scenarios*. Hydrological Sciences Journal. DOI:10.1080/02626667.2014.892598.

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.2.1.1]

16. Memarian H., Tajbakhsh M. and Balasundram S.K. *(2013b). Application of swat for impact assessment of land use/cover change and best management practices: a review*. International Journal of Advancement in Earth and Environmental Sciences, 1 (1).
17. Neitsch S.L., Arnold J.G., Kiniry J.R. and Williams J.R. *(2005). Soil and Water Assessment Tool Theoretical documentation version 2005*. Agricultural Research Service.
18. World Meteorological Organization *(2011). Manual of Flood Forecasting and Warning*, wmo-No, *1072*.

Using SWAT and SWAT-CUP for hydrological simulation and uncertainty analysis in arid and semi-arid watersheds (Case study: Zoshk Watershed, Shandiz, Iran)

Hoda Memarian[1], Seyed Hashem Hoseini[2], Hadi Memarian[3]
1- Graduate student, Department of Natural Resources and Agriculture, Islamic Azad University, Torbat e Jam, Iran
2- Assisstant Professor, Department of Natural Resources, Islamic Azad University, Torbat e Jam, Iran
3- Department of Natural Resources and Agriculture, University of Birjand, Birjand, Iran
Received: 2018/12
Accepted: 2019/08

Abstract

The aims of this project was to assess the capability of SWAT model and SWAT-CUP software in hydrological simulation and to evaluate the uncertainty of SWAT model in estimating runoff in arid and semi-arid watersheds. Model calibration and uncertainty analysis were performed using the Sequential Uncertainty Fitting (SUFI2) algorithm. In the stage of calibration and validation of water flow, performance of SWAT model was evaluated using R^2, bR^2 and NS coefficients between observed and simulated records. Based on the results, R^2, bR^2 and NS were estimated to be respectively 0.75, 0.59 and 0.67 in the calibration stage, and 0.46, 0.24 and 0.42 in the validation stage. The results showed that the performance of the model is weak during calibration. Also output of the model is acceptable but performance is not significantly high in general. The most important reasons behind the poor accuracy are lack of data on water diversion for agriculture, irrigation use, and cropping pattern within the watershed.
Keywords: SWAT, SUFI2, Calibration, Uncertainty Analysis, Zoshk-Abardeh basin

[Downloaded from jircsa.ir on 2025-07-31]
[DOR: 20.1001.1.24235970.1398.7.2.1.1]