نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره5، جلد9، آذر - دی 1394، ص. 690-678

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 9, Dec.-Jan. 2015, p. 678-690

مدل‌سازی رواناب حوضه آبخیز اترک با استفاده از الگوریتم SUFI-2 مدل SWAT

محمدرضا اکبرزاده[1]، سعید رضا خداشناس[2*]، کاظم اسماعیلی[3]

تاریخ دریافت: 1394/2/6 تاریخ پذیرش: 1394/6/25

چکیده

فرسایش خاک و تولید رواناب سطحی یک تهدید زیست محیطی جدی برای توسعه پایدار و کشاورزی است که می‌تواند منجر به کاهش حاصل-خیزی خاک، هدررفت عناصر غذایی و کاهش عملکرد گیاهی در زمین‌های کشاورزی شود. در سال‌های اخیر، استفاده از مدل‌سازی به عنوان راهکار ارزیابی اقدامات کاهش فرسایش مطرح شده است. مدل SWAT یک مدل مفهومی و توزیعی است که برای پیش‌بینی و برآورد رواناب سطحی، آورد رسوب، خصوصیات کیفی آب و نیز برای پیش‌بینی اثر انجام اقدامات مدیریتی مختلف در سطح حوضه گسترش داده شده است. هدف مطالعه حاضر بررسی کارایی مدل SWAT در برآورد دبی متوسط روزانه و واسنجی و اعتبارسنجی این مدل در حوضه آبخیز اترک واقع در استان خراسان رضوی و شمالی است. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل با استفاده از برنامه SUFI-2 انجام پذیرفت. شاخص‌های P-factor، R-factor، br^2 و r^2 به‌منظور ارزیابی توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب در حوضه آبخیز اترک به کار برده شد. آمار رواناب شش ایستگاه هیدرومتری در سال‌های 1975-1991 برای واسنجی و اعتبارسنجی این حوضه به کار برده شد. نتایج نشان داد که در مرحله واسنجی رواناب ماهانه، ضرایب P-factor، R-factor، br^2 و r^2 در خروجی حوضه به ترتیب 0/73، 1/15، 0/53 و 0/56 و در مرحله اعتبارسنجی 0/77، 1/3، 0/48 و 0/58 به دست آمد. بهترین نتایج در ایستگاه شیرآباد و ضعیف‌ترین نتایج در ایستگاه قره‌خان‌بندی به دست آمد. نتایج کلی واسنجی نشان می‌دهد که مدل SWAT می‌تواند ابزار مناسبی در رابطه با شبیه‌سازی شدت جریان رودخانه باشد.

واژه‌های کلیدی: مدل SWAT، الگوریتم SUFI-2، اعتبارسنجی، واسنجی، رواناب ماهانه، رودخانه اترک

مقدمه

فرسایش خاک به عنوان خطری جدی برای سلامت انسان و سایر موجودات زنده محسوب می‌شود و در مناطقی که کنترل نمی-شود نه تنها سبب وارد شدن خسارت‌های جبران‌ناپذیر به اراضی منابع‌طبیعی و کشاورزی می‌شود بلکه با رسوب مواد در آبراهه‌ها، مخازن، دریاچه سدها و بنادر سبب کاهش ظرفیت آبگیری آن‌ها و بنابراین زیان‌های فراوان می‌شود (Morgan and Nearing., 2011). تخریب و هدررفت خاک سطحی از اراضی منابع‌طبیعی و کشاورزی سبب ورود رسوب، عناصر غذیی و آفت‌کش‌ها به منابع آب‌های سطحی و زیرزمینی و بنابراین کاهش کیفیت این منابع آب و نیز خطر سمیت برای انسان و دیگر موجودات زنده می‌شود (Yang et al., 2009). فرسایش خاک از جمله چالش‌های مهم زیست محیطی است که تأثیر به‌سزایی بر توسعه پایدار در دنیا دارد (Bakker et al., 2004). از آنجا که تولید رواناب و پدیده فرسایش خاک حوضه در ارتباط مستقیم با هم هستند، بایستی بتوان با اندازه‌گیری این دو پارامتر شرایط مدیریت حوضه را فراهم نمود (آبابایی و سهرابی، 1388). از جمله مدل‌هایی که اخیراً به شکل وسیعی در سرتاسر دنیا در پژوهش‌های میزان تولید رواناب، فرسایش و رسوب و مدیریت حوضه‌های آبخیز استفاده می‌شود، می‌توان به مدل SWAT[4] اشاره نمود (Coffey et al., ؛ Strauch et al., 2011 ؛ Oeurng et al., 2010؛ Ndomba et al., 2008 ؛ Huang et al., 2009).

مدل SWAT یک مدل جامع و کامل در مقیاس حوضه آبخیز است که توسط سرویس پژوهش اداره کشاورزی ایالات متحده برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مدیریتی مختلف بر جریان آب، رسوب، عناصر غذایی و تعادل مواد شیمیایی در حوضه‌های آبخیز بزرگ و پیچیده با کاربری‌های اراضی، خاک و شرایط مدیریتی گوناگون برای دوره‌های زمانی طولانی مدت تهیه و ارائه شده است (بسالت پور و همکارن، 1393). این مدل دارای اساس فیزیکی بوده و در حوضه-های آبخیزی که بدون آماربرداری منظم هستند، قابل استفاده است. شبیه‌سازی حوضه‌های خیلی بزرگ یا راه‌کارهای مدیریتی مختلف،

1- دانشجوی دوره دکتری سازه‌های آبی، پردیس بین الملل دانشگاه فردوسی مشهد
2- دانشیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
3- دانشیارگروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد
(* نویسنده مسئول: Email:khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)

4- Soil and Water Assessment Tool, SWAT

می‌تواند با این مدل بدون سرمایه‌گذاری‌های زیاد زمانی و مالی انجام شوند و کاربر قادر خواهد بود که اثرات طولانی‌مدت را نیز مطالعه کند (Neitsch et al., 2011).

در پژوهش‌های بسیاری از مدل SWAT به عنوان مدلی کارآمد و مناسب برای مطالعات رواناب، فرسایش، رسوب، آفت کش‌ها و مواد مغزی استفاده گردیده است. چو و شیر محمدی با به کاربردن مدل SWAT برای یک حوضه 340 هکتاری در ناحیه کوهپایه‌ای مریلند[1] و استفاده از آمار 6 ساله هیدرولوژیک و غلظت کودهای موجود در آب، مدل را واسنجی نمودند. نتایج نشان داد که مدل SWAT قادر به شبیه‌سازی شرایط هیدرولوژیکی بسیار مرطوب نیست اما در مجموع یک مدل حوضه‌ای مناسب برای شبیه‌سازی درازمدت اهداف مدیریتی است (Chu and Shirmohammadi., 2004). سان و کورنیش با استفاده از مدل SWAT مطالعه‌ای را روی دبی رودخانه در دشت‌های لیورپول در کشور استرالیا انجام دادند که نتایج این مطالعه نشان داد مدل SWAT به خوبی دبی رودخانه را پیش‌بینی کرده و در مقایسه با روش‌های مدل‌سازی منابع نقطه‌ای، نتایج بهتری را نشان داد (Sun and Cornish., 2005). رستمیان در حوضه بهشت آباد (واقع در کارون شمالی) با استفاده از مدل اقدام به برآورد مقادیر دبی و بار رسوب کرده و دریافت که مدل SWAT در برآورد دبی رودخانه عملکرد مناسبی داشته، اما در شبیه‌سازی دبی‌های اوج رودخانه موفقیتی نداشته است. هم‌چنین توانایی مدل در برآورد بار رسوب را در حد متوسط ارزیابی نمود (رستمیان، 1385). ائرینگ و همکاران گزارش کردند که داده‌های شبیه‌سازی شده روزانه رواناب و رسوب با استفاده از مدل SWAT در یک حوضه آبخیز وسیع (1110 کیلومتر مربع) در جنوب غربی فرانسه، هم‌خوانی خوبی با داده‌های مشاهده‌ای داشتند (Oeurng et al., 2011). عباسپور و همکاران در تحقیقی با عنوان کالیبراسیون و عدم قطعیت مدل SWAT در مقیاس بزرگ بر روی پارامترهای هیدرولوژیکی و کیفیت منابع آب زیرزمینی برای اروپا میزان عملکرد محصول و کیفیت آب در سطح HRU[2] ها را در فواصل زمانی ماهانه بررسی کردند، کالیبراسیون و تجزیه و تحلیل عدم قطعیت‌های مدل کالیبره شده نشان از تغییرات شدید آب و هوایی بر منابع آب زیرزمینی و کیفیت آب بود (Abbaspour et al., 2015).

در این پژوهش نیز امکان استفاده از مدل SWAT برای برآورد رواناب در حوضه آبخیز اترک با داده‌های اقلیمی ثبت شده مربوط به شش ایستگاه باران‌سنجی بررسی شد. هم‌چنین بررسی کارایی الگوریتم SUFI-2 در واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT از دیگر اهداف این پژوهش بود.

1- Maryland
2- Hydrological response unit

مواد و روش‌ها

حوضه آبخیز اترک بخشی از حوضه دریای مازندران محسوب شده که وسعت آن در داخل استان خراسان شمالی بالغ بر 14913/24 کیلومتر مربع می‌باشد.

این حوضه در شمال شرق ایران و در محدوده طول‌های ''32 ´01 °56 الی ''15 ´25 °56 طول‌شرقی و عرض های ''16 ´56 °36 الی ''42 ´14 °38 عرض شمالی واقع گردیده است. از آنجا که دوره آماری ایستگاه‌های مورد استفاده در پایگاه داده‌های اقلیمی مدل SWAT بایستی یکسان باشد در این مطالعه از اطلاعات مربوط به ایستگاه‌های هواشناسی استفاده شد که موقعیت این ایستگاه‌ها در شکل 1 آورده شده است، تعداد سال‌های مشترک دوره آماری ایستگاه‌های منتخب 25 سال می‌باشد. این اطلاعات شامل بارندگی روزانه، حداقل و حداکثر دمای روزانه هوا، برای دوره زمانی 2010 -1985 می باشد. ایستگاه‌های مرجع مورد استفاده شامل ایستگاه سینوپتیک قوچان با 26 سال آمار (سال 1984 الی 2010) و ایستگاه سینوپتیک بجنورد با 32 سال آمار (سال 1977 الی 2010) می‌باشدکه در پایگاه داده‌های اقلیمی مدل SWAT استفاده گردیده است. در شکل زیر موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در این تحقیق نشان داده شده است.

داده‌های ورودی مدل

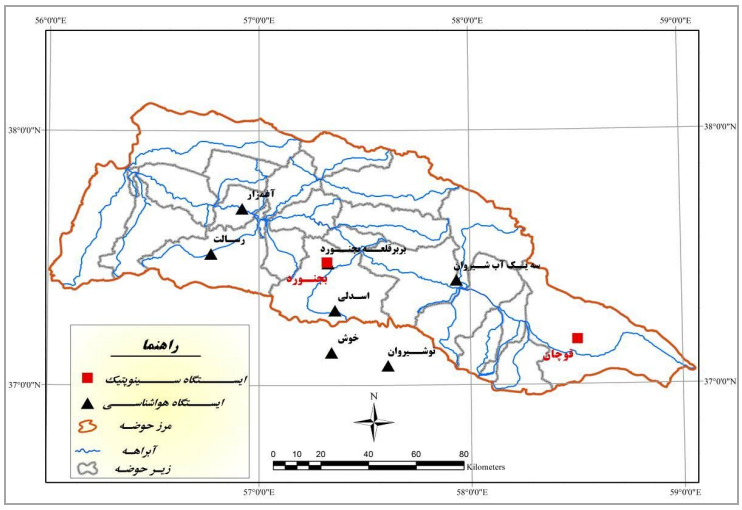
نقشه‌های مورد نیاز شامل نقشه مدل ارتفاع رقومی یا DEM، نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک می‌باشند که هر سه باید در قالب رستری به مدل ارائه شوند، سایر اطلاعات مورد نیاز شامل داده‌های هواشناسی از قبیل بارندگی روزانه، حداکثر و حداقل دمای روزانه، عوامل مؤثر بر جریان سطحی و کانال، برداشت آب، مدیریت اراضی، مخازن و برخی زمینه‌های دیگر با توجه به هدف تحقیق باید در مدل وارد شوند (Fassio et al., 2005). داده‌های ورودی مدل SWAT در جدول 1 آورده شده است.

در شکل 2 نقشه‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز در مدل SWAT برای حوضه آبخیز اترک آورده شده است.

به‌طور کلی بخش هیدرولوژی فاز زمینی در مدل SWAT شامل چندین قسمت به شرح ذیل می‌باشد:

الف- ذخیره تاجی: آب به‌صورت برگاب در سطوح گیاهی (تاج پوشش) حفظ می شود و امکان تبخیر نیز در آن میسر است. کاربر با مشخص کردن حداکثر شاخص سطح برگ، پوشش و کاربری اراضی، مقدار آب ذخیره تاج پوشش را مشخص می‌کند.

ب- رواناب سطحی: مدل SWAT از دو روش شماره منحنی SCS اصلاحی و روش نفوذ Green&Ampt برای تخمین حجم رواناب استفاده می‌کند. به‌منظور محاسبه حجم رواناب از روش شماره منحنی (SCS) استفاده می‌شود.



شکل 1- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک مورد استفاده در پایگاه داده‌های اقلیمی در مدل SWAT

جدول 1- داده‌های ورودی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز اترک

داده	نوع داده	منبع	سال و دقت
نقشه DEM	رستری	ESRI-SRTM	50m × 50M
نقشه کاربری اراضی	وکتوری	مرکز تحقیقات منابع طبیعی استان خراسان شمالی	1:250000
نقشه خاک	رستری	سازمان خوارو بار جهانی (FAO)	10km × 10km
داده‌هواشناسی	نقطه‌ای (7 ایستگاه)	سازمان هواشناسی کشور	1985 -2010 (روزانه)
داده‌های هیدرومتری	نقطه‌ای (8 ایستگاه)	وزارت نیرو	1968 -2011 (روزانه)

$$Q_{SURF} = \frac{(R_{day} - I_a)^2}{(R_{day} - I_a + S)} \quad (1)$$

در این رابطه Q_{surf} مقدار رواناب یا بارش مازاد، R_{day} مقدار بارش در روز مورد نظر، I_a جذب اولیه (که شامل ذخیره سطحی، ذخیره لاشبرگ و نفوذ قبل از شروع رواناب می‌باشد) و S پارامتر نگه‌داشت سطحی خاک می‌باشد که همگی واحد یکسانی از مقدار آب دارند. پارامتر S خود تابعی از متغیرهای مکانی شامل خصوصیات خاک، کاربری اراضی، مدیریت و شیب زمین، و متغیر وابسته به زمان یعنی محتوای آب قابل دسترس خاک است. این پارامتر بر اساس رابطه زیر به دست می‌آید:

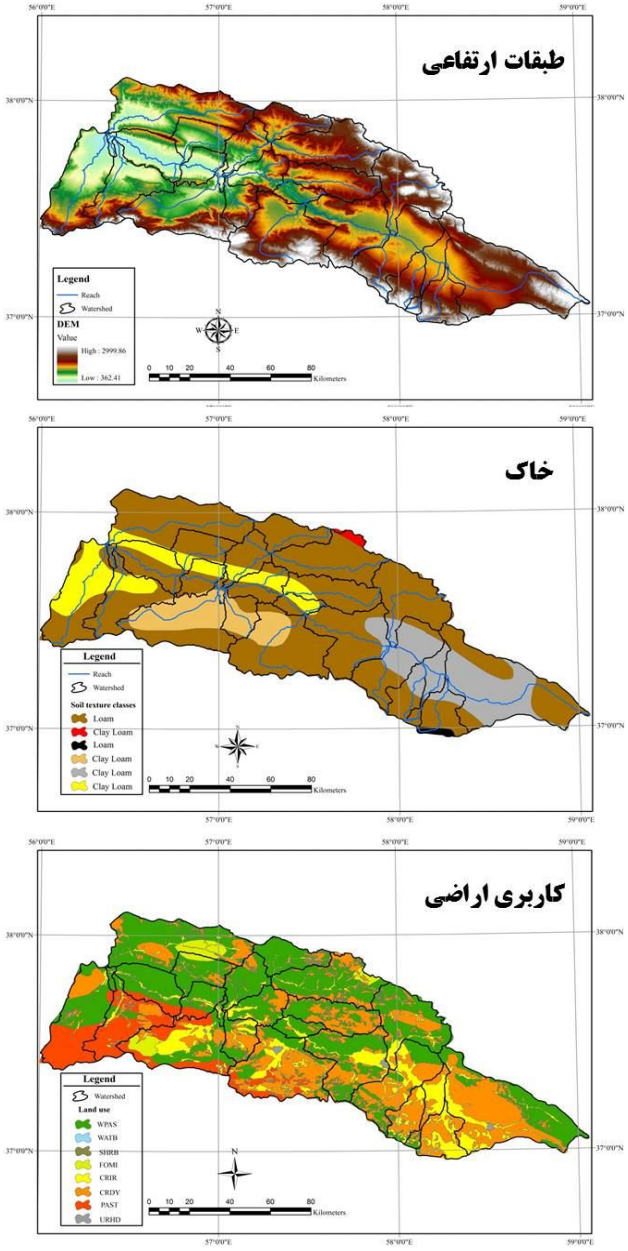
$$s = 25.4\left[\frac{1000}{CN} - 10\right] \quad (2)$$

CN شماره منحنی در روز مورد نظر می‌باشد. مقدار جذب اولیه معمولا 0/2 مقدار S در نظر گرفته می شود در نتیجه معادله نهایی به صورت زیر در می‌آید.

$$Q_{SURF} = \frac{(R_{day} - 0.2S)^2}{(R_{day} - 0.8S)^2} \quad (3)$$

رواناب تنها زمانی اتفاق می‌افتد که مقدار R_{day} بزرگ‌تر از I_a باشد.

ج- نفوذ: وابسته به رطوبت اولیه خاک و هدایت هیدرولیکی اشباع خاک می‌باشد. در مدل SWAT به دو روش می‌توان نفوذ را محاسبه کرد. در روش معمول‌تر ابتدا با روش شماره منحنی SCS، مقدار رواناب محاسبه می شود. سپس از تفاوت کل بارندگی و برگاب میزان نفوذ به خاک برآورد می‌شود.



شکل2- ورودی‌های مدل SWAT در تحقیق حاضر

در مدل SWAT برای معرفی مرز حوضه آبخیز، زیر حوضه‌ها و شبکه آبراهه‌ای از دو روش می‌توان استفاده کرد. یا باید موارد گفته شده توسط خود مدل و با استفاده از مدل ارتفاع رقومی منطقه ترسیم شود و یا اینکه به صورت دستی آماده شده و به مدل ارائه گردد. در این مطالعه از روش اول با توجه به اصلاحاتی که بر روی نقشه DEM صورت گرفت استفاده گردید. با در نظر گرفتن حدآستانه 11000 هکتار به عنوان حداقل سطح زهکشی در حوضه، 27 زیرحوضه در کل حوضه مرزبندی گردید.

در مرحله بعد با ترکیب نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و طبقات شیب که با استفاده از نقشه DEM و در پنج طبقه شیب 5-0، 12-5، 30-12، 60-30 و بالاتر از 60 درصد با استفاده از مدل قابل محاسبه است، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی بدست آمد. سپس با فرض مقادیر غالب خاک، شیب و کاربری اراضی در هر زیر حوضه، تعداد واحدهایHRU، 829 واحد بدست آمد. پس از معرفی مشخصات ایستگاه های مرجع که پارامترهای آماری از داده‌های بلند مدت آن قبلاً محاسبه و در پایگاه داده مدل وارد شده است، به همراه آمار

موجود ایستگاهای هواشناسی به مدل معرفی شد.

با توجه به موضوع تحقیق، شبیه‌سازی در بازه زمانی 1975 تا 1991 صورت گرفت. سپس اعتبارسنجی در بازه زمانی 1987 تا 1991 صورت گرفت.

نتایج و بحث

واسنجی و اعتبارسنجی مدل های آبخیز قبل از اینکه به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب قرار گیرند، لازم و ضروری می‌باشند. از آنجایی که صدها پارامتر فیزیکی در فرآیندهای هیدرولوژیکی در حال اندرکنش می‌باشند، بهینه‌سازی این پارامترها خصوصاً در حوضه‌های بزرگ بسیار دشوار و احتیاج به محاسبات پیشرفته و زمان‌بر دارد. به‌منظور ساده‌سازی فرایند واسنجی، "تحلیل حساسیت" برای شناسایی پارامتر هایی که در تغییرپذیری خروجی های مدل مؤثرتر هستند، مفید می باشد. در مدل SWAT پارامترهای متعددی در شبیه‌سازی مؤلفه‌های هیدرولوژیک حوضه نقش دارند و بسیاری از آن‌ها بر یکدیگر اثر متقابل دارند.

فرامرزی و همکاران (2009) پس از تحلیل حساسیت جامعی که در مقیاس ملی برای ایران انجام دادند، مجموع 22 پارامتر را در تولید رواناب به عنوان پارامترهای اصلی و حساس معرفی کردند. در این مطالعه از پارامترهای پیشنهادی ایشان در شبیه‌سازی جریان رودخانه استفاده شد. جدول 2 پارامترهای منتخب برای واسنجی در این مطالعه را نشان می‌دهد.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT با استفاده از الگوریتم SUFI-2

اندازه‌گیری پارامترهای ورودی مدل به‌طور مستقیم دشوار و در حوضه‌های بزرگ بسیار هزینه براست (Abbaspour et al., 2007). بنابراین پارامترهای ورودی مدل باید تحت فرآیند واسنجی، بهینه-سازی شوند (Abbaspour et al., 2007). بنابراین منظور از واسنجی مدل، بهینه‌سازی پارامترهای تأثیرگذار مدل است به‌طوری‌که خروجی‌های شبیه‌سازی شده بتوانند روند و تغییرات داده‌های مشاهداتی را در بازه مورد نظر توجیه کند. اعتبار سنجی بررسی صحت مدل واسنجی شده در بازه زمانی دیگر می باشد به‌طوری‌که در آن متغیرهای شبیه سازی شده و مشاهداتی بدون تصحیح هیچ پارامتری مقایسه شوند. به عبارت دیگر، اعتبارسنجی، اعتماد پذیر بودن مدل واسنجی شده را برای استفاده در هر بازه زمانی دیگری تعیین می‌کند. واسنجی احتیاج به تغییر مکرر مقدار پارامترها دارد که با افزایش تعداد پارامترها در مقیاس‌های بزرگ بسیار زمان‌بر خواهد بود.

جدول 2- پارامترهای منتخب برای کالیبراسیون پس از تحلیل حساسیت

نام پارامتر	شرح پارامتر
SURLAG.bsn	ضریب تاخیر رواناب سطحی
SMTM. bsn	دمای آستانه ذوب برف
SFTMP.bsn	دمای آستانه وقوع بارندگی به صورت برف
SMFMX.bsn	فاکتور ذوب برف در تاریخ 21 ژوئن
SMFMN.bsn	فاکتور ذوب برف در تاریخ 21 دسامبر
TIMP.bsn	فاکتور تاخیر دما در برف پشته
CN2.bsn	شماره منحنی SCS برای شرایط رطوبتی متوسط
REVAPMN.gw	حداقل میزان ذخیره آب در آبخوان سطحی برای روی دادن revap
GW_DELAY.gw	ضریب تاخیر آب زیرزمینی (روز)
GW_REVAP.gw	ضریب تعیین نفوذ به آبخوان عمیق از آبخوان سطحی یا صعود مویینگی از آبخوان سطحی
GWQMN.gw	حداقل عمق مورد نیاز سطح ایستابی در سفره های کم عمق برای وقوع جریان بازگشتی
RCHRG_DP.gw	درصد تغذیه آبخوان عمیق
ESCO.hru	فاکتور جبران جذب آب توسط گیاه
SOL_AWC. Sol	رطوبت قابل استفاده لایه های خاک
SOL_K.sol	هدایت هیدرولیکی اشباع لایه های خاک
SOL_BD.sol	جرم مخصوص ظاهری لایه های خاک
SOL_ALB.sol	ضریب بازتاب لایه های خاک (آلبیدو)
OV_N. hru	ضریب مانینگ جریان سطحی
CH_K2. Rte	ضریب هیدرولیکی در کانال اصلی
CH_N2. Rte	ضریب مانینگ برای آبراههٔ اصلی زیرحوضه
ALPHA_BF.gw	پارامتر آلفا در جریان بازگشتی
EPCO.hru	فاکتور جبران برداشت آب گیاه

برنامه هایی بدین منظور توسعه پیدا کرده‌اند که می توانند به طور اتوماتیک این عمل را در حوضه‌های بسیار بزرگ انجام دهند. الگوریتمSUFI-2[1] در بسته نرم‌افزاری SWAT-CUP یکی از این برنامه ها می باشد که در منابع بسیاری از آن استفاده شده است (Abbaspour., 2011).

برنامه SUFI-2 علاوه بر اینکه زمینه مناسبی برای واسنجی و بهینه‌سازی پارامترهای ورودی فراهم می کند، تحلیل عدم قطعیت در پیش‌بینی متغیرهای خروجی از مدل را نیز امکان پذیر می‌سازد. با استفاده از این الگوریتم، تمام عدم قطعیت‌های موجود در خروجی از قبیل عدم قطعیت ورودی ها، مدل مفهومی، پارامترها و داده های اندازه‌گیری شده با ارائه بازه‌ای از پارامترهای ورودی تعریف می‌شوند. واسنجی و تعیین میزان عدم قطعیت، توسط معیارهایی به نام P-factor و R-factor بررسی می‌شود (Abbaspour et al., 2011).

P-Factor شاخصی است که بیان گر درصد داده‌های مشاهداتی که درون بازه عدم قطعیت (پیش‌بینی شده) قرار می‌گیرند، است. از آنجایی که اثر تمام عوامل عدم قطعیت در متغییر اندازه‌گیری شده منعکس می شوند، P-Factor معیار مناسبی برای سنجش قدرت تحلیل عدم قطعیت انجام شده نیز می‌باشد (Bekiaris et al., 2005). در شرایط ایده‌آل سعی بر این است که مقدار P-factor به 100 درصد برسد. R-factor شاخصی است که از تقسیم میانگین ضخامت بازه عدم قطعیت پیش‌بینی شده بر انحراف معیار داده‌های مشاهداتی حاصل می شود. بنابراین در SUFI-2 هدف، کاهش هر چه بیش‌تر R-factor و در شرایط ایده‌آل رساندن آن به صفر می‌باشد. برای مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده با مشاهده شده شاخص‌های مختلفی ارائه شده و در SUSI-2 مورد استفاده قرار می‌گیرد که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود:

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^{n} (o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n} (o_i - \bar{o})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (p_i - \bar{p})^2}} \right)^2 \quad (4)$$

که r^2 ضریب تبیین، n تعداد مشاهدات، o_i و p_i مقادیر متناظر مشاهده شده و پیش‌بینی شده می باشند. ضریب تبیین نشان می دهد که خط رگرسیون بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهده شده تا چه میزان به حداکثر مقدار هماهنگی بین این دو سری نزدیک است و از 0 تا 1 تغییر می‌کند.

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n} (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^{n} (o_i - \bar{o})^2} \quad (5)$$

NS ضریب نش ساتکلیف[2] پارامتر های آن همانند ضریب r^2 می‌باشد، مقدار آن از منفی بی‌نهایت تا 1 متغییر است و نشان می‌دهد که خط رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و پیش بینی شده تا چه مقدار به خط رگرسیون با شیب خط 1 (خط با شیب 1:1) هماهنگی دارد. ضریب br^2 جهت مقایسه بین جریان اندازه‌گیری شده و تخمین زده می‌باشد. این معیار راندمان توسط مولتا و همکاران (Muleta et al., 2005) ارائه شده است:

$$\varphi = \begin{cases} |b| R^2 & for \quad |b| \le 1 \\ |b|^{-1} R^2 & for \quad |b| > 1 \end{cases} \quad (6)$$

که r^2 ضریب تبیین بین دو سیگنال اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد و b شیب خط رگرسیون است. در شرایط وجود چندین ایستگاه رواناب، تابع هدف، میانگین Ø برای تمام ایستگاه‌هاست:

$$g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} \phi_i \quad (7)$$

مقدار تابع Ø بین 0 و 1 تغییر می‌کند البته این دامنه برای تعداد بسیار کمی از داده‌ها که خوب شبیه‌سازی نشده‌اند، معتبر نیست.

پس از تعیین شاخص عملکرد بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده، فرآیندهای فوق (از نمونه‌برداری تا تعیین شاخص عملکرد) مجدداً تکرار می‌شود تا زمانی که نتایج مطلوب حاصل شود.

در این مطالعه معیارهای P-factor و R-factor برای تحلیل عدم قطعیت ضریب br^2 به عنوان تابع هدف در نظر گرفته شده است. اثر طرح‌های مختلف مدیریت آب بر روی رژیم طبیعی جریان رودخانه حوضه در دوره زمانی سال‌های 1975 تا 1991 با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT بررسی می شود. بدین منظور مدل ایجاد شده، با استفاده از داده‌های روزانه دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری در دوره زمانی 1975 تا 1991 واسنجی و اعتبار-سنجی گردید. واسنجی و اعتبارسنجی در ایستگاه‌های آغمزار، باباامان، دربند سملقان، درکش، قلعه بربر، قره‌خان‌بندی، قتلش و شیر آباد صورت گرفت.

پس از تهیه اطلاعات لازم، مدل هیدرولوژیکی ایجاد شده برای مدت 17 سال از 1975 تا 1991، ضمن لحاظ کردن 3 سال از 1972 تا 1975 برای آموزش (دوره گرم کردن مدل) با استفاده از دبی های

1- Sequential Uncertainty Fitting Procedure Version 2

2- Nash-Sutcliffe

اندازه‌گیری شده ماهیانه در 6 ایستگاه قتلش، آغمزار، باباامان، قره-خان‌بندی، دربند سملقان، شیرآباد بدون لحاظ کردن آب‌های انتقالی به حوضه واسنجی گردید. نتایج حاصل از واسنجی مدل در این دوره به صورت جدول (3) می باشد بر اساس نتایج فوق متوسط مقادیر P-factor، R-factor، br^2، r^2، در کل حوضه به ترتیب 0/55، 1/9، 0/50 و 0/57 برای دوره واسنجی بدست آمد که این مقادیر از ایستگاهی به ایستگاه دیگر متغیر بود. شکل 3 نمودار دبی‌های اندازه‌گیری شده و بازه عدم قطعیت مربوط به دبی‌های شبیه‌سازی شده را برای 6 ایستگاه منتخب نشان می‌دهد. با توجه به شکل 3 روند تغییرات دبی با عدم قطعیت بالایی پیش‌بینی شده است. هم-چنین جریان پایه و دبی اوج در بیش‌تر اوقات به ترتیب کم‌تر و بیش-تر از دبی واقعی برآورد شده است. همانطور که قبلاً نیز اشاره شد، یکی از اهدافی که در فرآیند واسنجی توسط ابزار SUFI-2 دنبال می‌شود، کاهش عدم قطعیت می‌باشد به‌طوری که اکثر داده‌های مشاهداتی در سطح 95ppu قرارگیرند. عباس پور و همکاران اعلام کردند اگر داده های اندازه گیری شده از کیفیت خوبی برخوردار بوده و مدل هیدرولوژیکی نیز بسیاری از فرآیندهای مدیریتی و تغییرات در حوضه را در نظر گرفته باشد، معمولاً 80 تا 100 درصد آن ها در سطح 95ppu قرار می‌گیرند. اما در بعضی مناطق که داده‌ها از کیفیت مناسبی برخوردار نیستند و یا به دلیل عدم وجود اطلاعات کافی از تغییرات مدیریتی در بازه زمانی مورد مطالعه مدل هیدرولوژیکی با ساده‌سازی بیش‌تری ایجاد شده باشد، 50 درصد P-factor نیز رقم مناسبی برای توجیه کیفیت واسنجی می‌باشد (Abbaspour et al., 2007).

با توجه به موارد مذکور، هدف کاهش عدم قطعیت توأم با بهبود سایر شاخص‌های واسنجی دنبال شد. بدین منظور اطلاعات آب ورودی به حوضه بدون درنظر گرفتن میزان آب برداشتی در پایین دست، در مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه لحاظ گردید.

سپس سعی بر این شد که با بهینه‌سازی و کاهش حدود اولیه پارامترهای حساس، سایر شاخص‌های واسنجی نیز در حین کاهش عدم قطعیت خروجی‌های مدل، بهبود یابند. در بهینه‌سازی حدود اولیه پارامترهای ورودی، با فرض یکنواخت بودن توزیع آماری پارامترها در آن حدود و با استفاده از روش نمونه برداری لاتیین هایپرکیوب، 200 نمونه از هر بازه انتخاب شد. سپس با ترکیب 200 نمونه از هر 46 پارامتر، مدل SWAT اجرا شده و شاخص‌های واسنجی محاسبه گردید. این فرآیند پس از 5 گام واسنجی و با اجرای 200 بار تکرار در هر گام به نتایج مطلوبی رسید که در جدول 4 نشان داده شده است.

همانطور که ملاحظه می‌شود، متوسط مقادیر P-factor، R-factor، br^2، r^2، درکل حوضه به ترتیب 0/73، 1/15، 0/53، 0/56، می‌باشد که نسبت به مدل‌سازی اولیه (جدول3) در کل حوضه بهبود یافته است. اگرچه درصدهای فوق از ایستگاهی به ایستگاه دیگر متفاوت بود. شکل 4 دبی‌های مشاهداتی و پیش‌بینی شده را در ایستگاه‌های مختلف نشان می‌دهد. از مقایسه شکل 3 با 4 می‌توان نتیجه گرفت که با وارد کردن داده‌های تونل شیرین دره شماره 1 به مدل، جریان پایه‌ی شبیه‌سازی شده که قبلاً کم‌تر از مقادیر اندازه-گیری شده بود (شکل 3) اصلاح گردید. اما جریان‌های حداکثر شبیه-سازی شده در بیش‌تر ایستگاه‌ها بیش از مقادیر اندازه‌گیری شده می‌باشد. این موضوع می‌تواند شامل عدم لحاظ کردن برداشت‌های احتمالی در مدل هیدرولوژیکی این دوره، به دلیل عدم توانایی مدل در شبیه‌سازی دقیق برف و یخ در حوضه باشد.

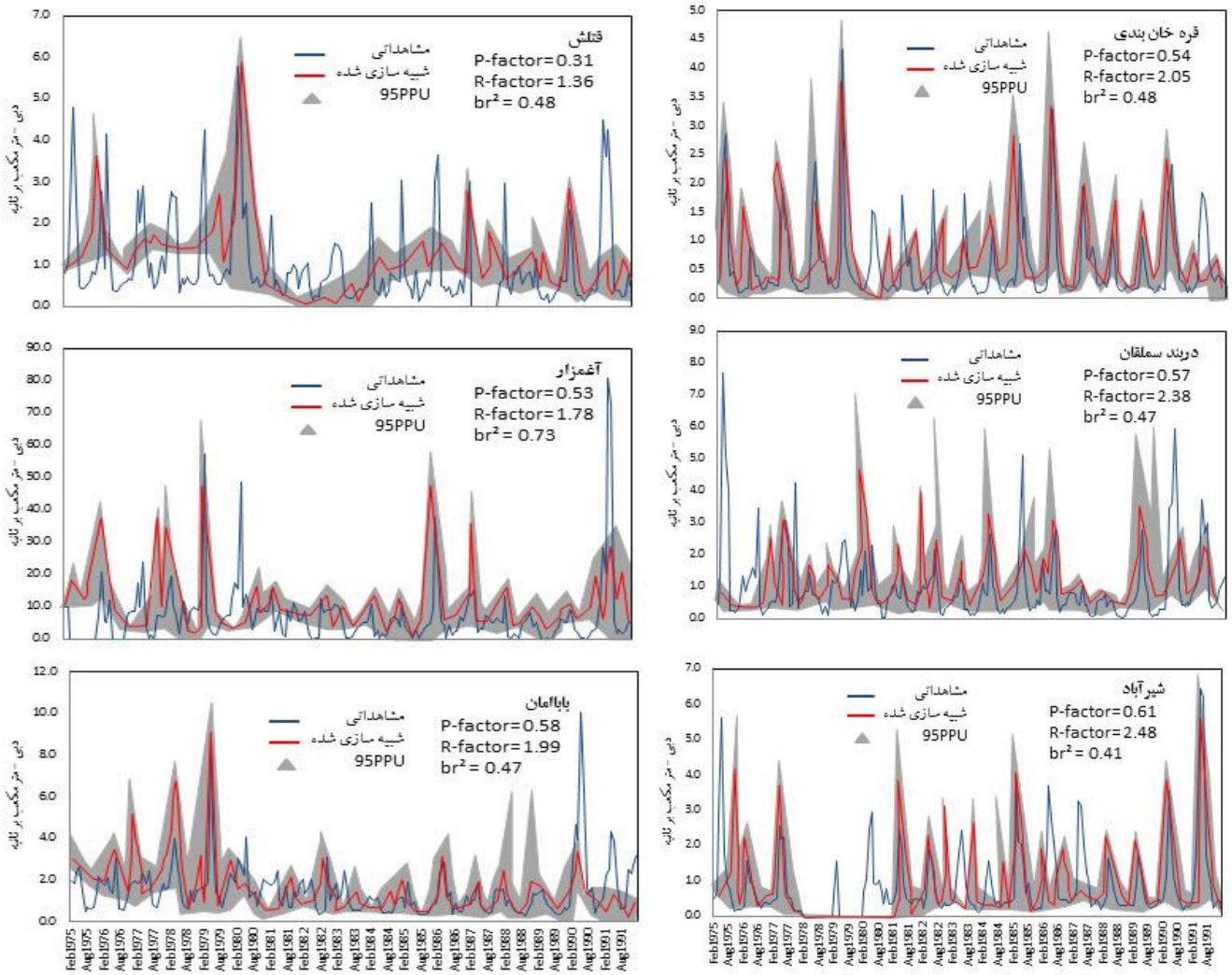
فصل بارندگی در حوضه اترک عمدتاً از مهر تا خرداد می‌باشد که حداکثر رواناب در سرشاخه‌ها از آبان تا دی بر اثر بارندگی و از اسفند تا اوایل خرداد بر اثر ذوب برف رخ می‌دهد.

در مدل SWAT شبیه‌سازی برف بر اساس دمای متوسط حوضه و میزان بارندگی می‌باشد. میزان ذوب برف بر اساس تعدادی پارامتر شبیه‌سازی می‌شود که این پارامترها برای کل حوضه یکسان در نظر گرفته شده و تغییرات مکانی و زمانی آن‌ها در نظر گرفته نمی‌شود.

این موضوع احتمالاً باعث شده است که بارندگی در مدل مستقیماً به رواناب تبدیل شده و با شرایط واقعی که مقداری از بارندگی از طریق تبدیل شدن آن به برف و سپس ذوب آن در ماه‌های آتی با تأخیر به رواناب تبدیل می‌شود، مطابقت زیادی نداشته باشد. همین امر باعث شبیه‌سازی بیش از حد دبی‌های پیک در حوضه شده است. نتایج مشابهی در فایرسن و همکاران (Feyereisen et al., 2007)، رستمیان (1385)، اخوان و همکاران (1388) گزارش شده است.

جدول3- نتایج اولیه واسنجی داده‌های رواناب در دوره آماری مورد مطالعه

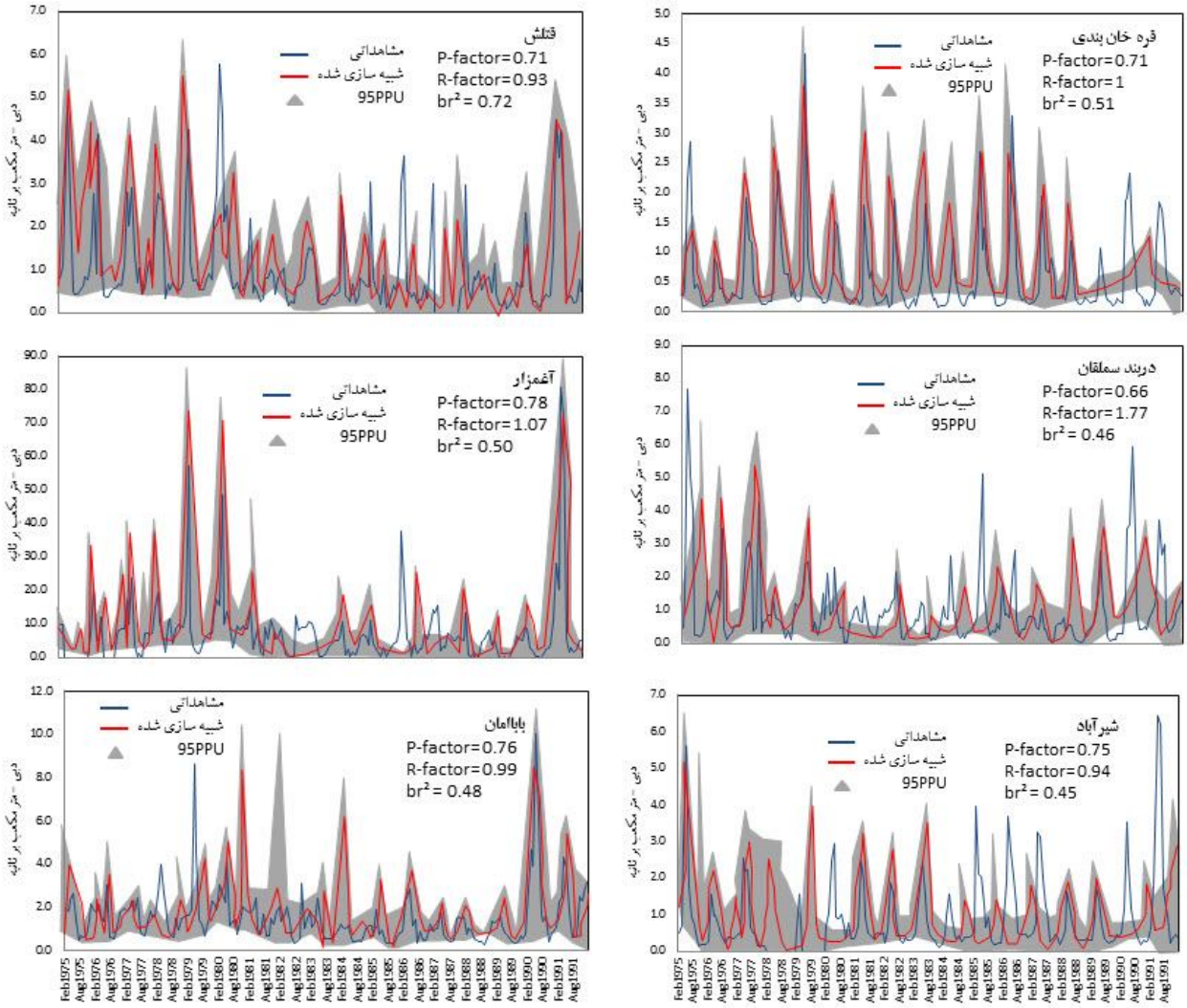
ایستگاه	*P-factor*	*R- factor*	ضریب br^2	ضریب r^2	ضریب *NS*
قتلش	0/31	1/36	0/48	0/41	0/29
آغمزار	0/53	1/78	0/73	0/49	-0/04
باباامان	0/58	1/99	0/47	0/5	-0/14
قره خان بندی	0/54	2/05	0/48	0/55	-0/07
دربند سملقان	0/57	2/38	0/47	0/58	-0/18
شیرآباد	0/61	2/48	0/41	0/65	-0/20



شکل 3- مقایسه دبی‌های ماهیانه اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده حاصل از واسنجی مدل در دوره زمانی 1972 تا 1987 برای شش ایستگاه منتخب در حوضه اترک

جدول4- نتایج نهایی واسنجی داده‌های رواناب در دوره آماری مورد مطالعه

ایستگاه	*P-factor*	*R- factor*	ضریب br^2	ضریب r^2	ضریب *NS*
قتلش	۰/۷۱	۰/۹۳	۰/۷۲	۰/۷۹	۰/۷۵
آغمزار	۰/۷۸	۱/۰۷	۰/۵۰	۰/۵۳	۰/۱۷
بابا‌امان	۰/۷۶	۰/۹۹	۰/٤۸	۰/۵	-۰/۱٤
قره خان بندی	۰/۷۱	۱	۰/۵۱	۰/۵۲	-۰/۰۱
دربند سملقان	۰/٦٦	۱/۷۷	۰/٤٦	۰/٤۷	-۰/۲۷
شی‌رآباد	۰/۷۵	۰/۹٤	۰/٤۵	۰/۵۸	۰/۱٤

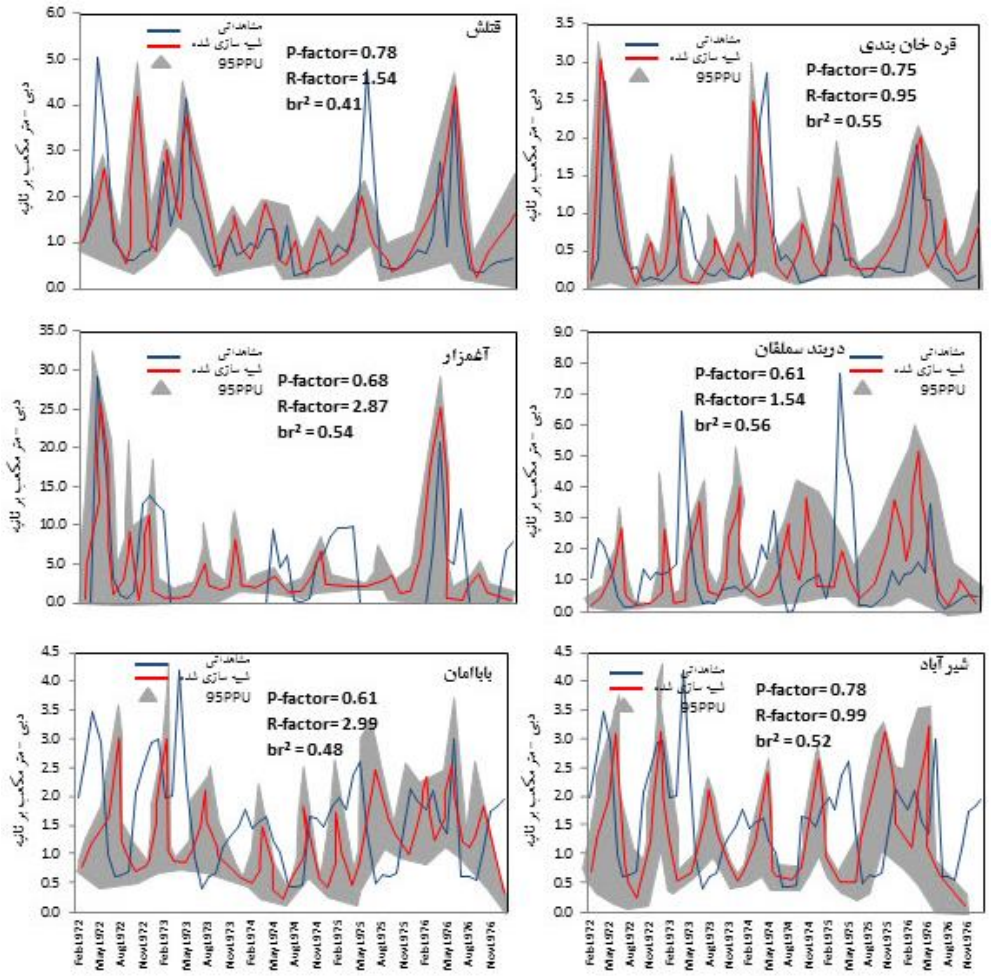


شکل 4- مقایسه دبی‌های ماهیانه اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده حاصل از واسنجی نهایی مدل در دوره زمانی 1972 تا 1987 برای ایستگاه‌های منتخب در حوضه اترک

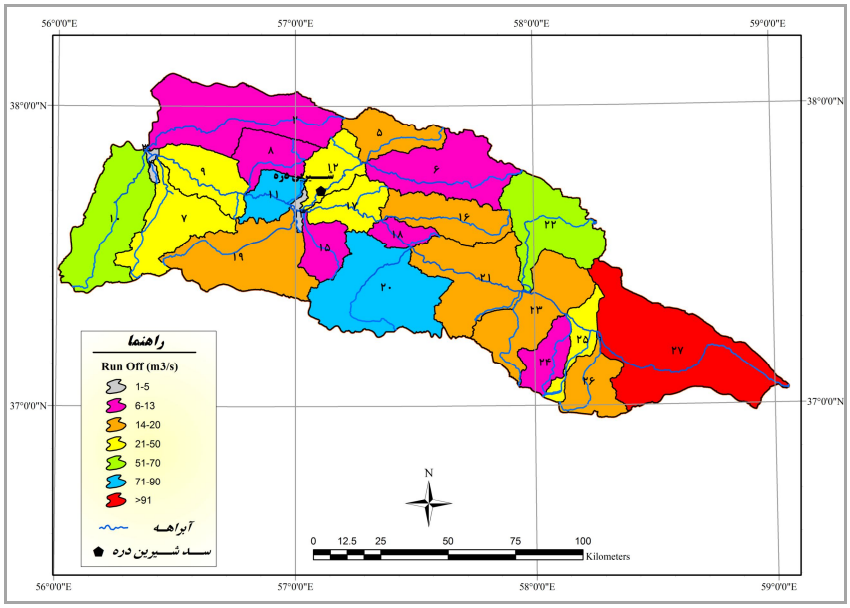
اعتبار سنجی مدل در دوره آماری 1987 تا 1991 با لحاظ کردن 3 سال (1985 تا 1987) برای آموزش مدل با تکرار فرآیندی همانند واسنجی انجام گردید. با این تفاوت که در اعتبار سنجی پارامترهای ورودی بهینه نشدند بلکه از پارامترهای بهینه شده مرحله واسنجی استفاده گردید. هم‌چنین از آمار دبی های اندازه‌گیری شده بازه‌ی جدید (1985 تا 1991) برای مقایسه مقادیر پیش بینی شده و اندازه گیری شده استفاده شد. ایستگاه های هیدرومتری مورد استفاده بدین منظور شامل قتلش، آغمزار، قره‌خان‌بندی، باباامان، دربندسملقان و شیرآباد بودند. نتایج اعتبارسنجی در شکل 5 آورده شده است. همانطور که در شکل دیده می‌شود، نتایج شبیه‌سازی با نتایج مرحله واسنجی همخوانی مطلوبی نشان می‌دهند. متوسط مقادیر P-factor، R-factor، br^2، r^2 به ترتیب 0/77، 1/3، 0/48 و 0/58 برای کل حوضه به دست آمد.

براساس نتایج خروجی از شبیه‌سازی رواناب در مدل SWAT میزان دبی در هر ماه نسبت به ماه دیگر متغیر می‌باشد. در شکل 6 میزان آبدهی رودخانه در هر یک از زیر حوضه‌ها نشان داده شده است. افزایش آبدهی با افزایش میزان بارندگی محاسبه شده برای هریک از زیرحوضه‌ها هماهنگی دارد و در زیرحوضه‌هایی که افزایش بارندگی وجود داشت، افزایش آبدهی نیز مشاهده گردید.

بیشترین میزان آبدهی رودخانه مربوط به زیرحوضه شماره 27 در پایین‌دست حوضه و در قسمت شرقی حوضه بود و کم‌ترین میزان آبدهی مربوط به زیرحوضه‌های مربوط به قسمت شمالی و مرکزی حوضه بذست آمد. (زیرحوضه شماره 6، 8، 15 و 18)



شکل 5- مقایسه دبی‌های ماهیانه اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده حاصل از صحت‌سنجی مدل در دوره زمانی 1987 تا 1991 برای شش ایستگاه منتخب در حوضه اترک



شکل 6- میزان رواناب خروجی محاسبه شده برای هر یک از زیر حوضه‌ها با استفاده از مدل ARC SWAT

نتیجه گیری

نتایج این مدل نشان داد که واسنجی مدل ارتباط مستقیمی با شناخت کاربر از وضعیت کلی حوضه از نظر اقلیمی، هیدرولوژیک، کاربری اراضی، و شرایط مدیریتی و غیره دارد. با توجه به نتایج شبیه-سازی شده جریان رودخانه، تغییرات میان‌سالی و بین‌سالی در زیرحوضه‌های بالادست و پایین‌دست حوضه تحت تأثیر شرایط اقلیمی و اقدامات مدیریتی می باشد. پیش‌بینی نتایج به صورت بازه عدم قطعیت 95ppu در مدل‌سازی حوضه‌های بزرگ و پیچیده که تحت اقدامات شدید مدیریتی هستند، می‌تواند در برنامه‌ریزی‌ها و تصمیم-گیری‌های مدیریتی مفیدتر از پیش‌بینی‌های قطعی باشد. این تحقیق توانایی بالای مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز بزرگ مقیاس را نشان داد. این مهم در صورتی اجرایی می گردد که منابع عدم قطعیت مدل در شبیه‌سازی به درستی شناسایی گردند تا بتوان بهترین نتایج خروجی را به همراه داشته باشند. از طرفی با استفاده از این مدل میزان کارایی مدل به کار برده شده برای بحث‌های مدیریت منابع آب در حوضه‌ها مشخص می‌گردد تا دید کاربر نسبت به استفاده از این مدل برای مدیریت جامع حوضه‌های آبخیز روشن گردد.

تغییر کاربری اراضی، افزایش جمعیت و در نتیجه ایجاد صنایع مختلف کوچک و بزرگ در حواشی حوضه به دلیل افزایش سطح اعتماد در جهت تولید و تأمین منابع آب مورد نیاز می‌باشد. که این عوامل همراه با خشکسالی در دهه‌های اخیر سبب خشک شدن رودخانه در پایین‌دست همراه با عواقب اجتماعی- اقتصادی و زیست محیطی، گردیده است. این تحقیق می تواند در مطالعات پیشرفته تر جهت بررسی تولیدات غذایی، امکان افزایش کارایی مصرف آب در حوضه و یا در مطالعات تجارت آب مجازی بین حوضه‌ای به‌عنوان راهکاری احتمالی جهت کاهش بحران آب و هم‌چنین در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر منابع آب و تولیدات غذایی و راهکارهای سازگاری با آن در جهت ایجاد امنیت آب و غذا در حوضه اترک مورد استفاده قرار گیرد.

آمار رواناب شش ایستگاه هیدرومتری در سال‌های 1975-1991 برای واسنجی و اعتبارسنجی این حوضه به کار برده شد. نتایج نشان داد که در مرحله واسنجی رواناب ماهانه، ضرایب P-factor، R-factor، br^2 و r^2 در خروجی حوضه به ترتیب 0/73، 1/15، 0/53 و 0/56 و در مرحله اعتبارسنجی 0/77، 1/3، 0/48 و 0/58 به دست آمد. بهترین نتایج در ایستگاه شیرآباد و ضعیف‌ترین نتایج در ایستگاه قره‌خان‌بندی به دست آمد. نتایج کلی واسنجی نشان می‌دهد که مدل SWAT می‌تواند ابزار مناسبی در رابطه با شبیه‌سازی شدت جریان رودخانه باشد.

منابع

آبابایی،ب و سهرابی،ت. 1388. ارزیابی عملکرد مدل SWAT در حوضه آبریز زاینده رود، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک دانشگاه گرگان. 16. 3: 41-58.

اخوان،س.، عابدی کوپایی،ج.، موسوی،ف. ، عباسپور،ک.، افیونی،م و اسلامیان،س. 1388. تخمین آب آبی و آب سبز با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز همدان، مجله علوم و فنون کشاورزی و منابع طبیعی، علوم آب و خاک.53: 23-9.

بسالت پور،ع.ا.، ایوبی،ش.، حاج عباسی،م.ع و جلالیان،ا. 1393. واسنجی و اعتبارسنجی مدل SWAT با استفاده از الگوریتم پرندگان برای شبیه‌سازی رواناب و رسوب در یک حوضه آبخیز کوهستانی، مجله پژوهش‌های حفاظت آب و خاک دانشگاه گرگان.4,4: 295-312.

رستمیان،ر. 1385، تخمین رواناب و رسوب در حوضه بهشت آباد در کارون شمالی با استفاده از مدلSWAT2000 . پایان نامه کارشناسی ارشد خاکشناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

Abbaspour,K.C., Yang,J., Maximov,I., Siber,R., Bogner,K., Mieleitner,J., Zobrist,J., Srinivasan,R. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/ alpine Thur watershed using SWAT. Journal of Hydrology. 333: 413–430.

Abbaspour,K.C. 2011. Swat-Cup2: SWAT Calibration and Uncertainty Programs Manual Version 2, Department of Systems Analysis, Integrated Assessment and Modelling (SIAM), Eawag. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Duebendorf, Switzerland. 106 p.

Abbaspour,K.C., Johnson,C.A., van Genuchten,M.Th., 2004. Estimating uncertain flow and transport parameters using a sequential uncertainty fitting procedure. Vadouse Zone 3.4: 1340–1352.

Abbaspour,K.C., Rouholahnejad,E., Vaghefi,S., Srinivasan,R., Yang,H and Klove,B. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model, Journal of Hydrology. 524: 733-752.

Bakker,M.M., Govers,G and Rounsevell,M.D.A. 2004. The crop productivity erosion relationship: an analysis based on experimental work. Catena. 57: 55-76.

Bekiaris,I.G., Panagopoulos,I.N and Mimikou.N.A., 2005. Application of the SWAT model in the Ronnea catchment of Sweden. Global NEST Journal. 3:252-257.

Chu,T.W and Shirmohammadi,A. 2004. Evaluation of the SWAT model's hydrology component in the piedmont physiographic region of Maryland.

Neitsch,S.L., Arnold,J.G., Kiniry,J.R and Williams,J.R. 2011. Soil and Water Assessment Tool: Theoretical Documentation: Version 2009. Texas Water Resources Institute, Technical Report No. 406, Texas A and M University System, Collage Station, Texas 77843-2118.

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

Oeurng,C., Sauvage,S and Sanchez-Perez,J.M. 2011. Assessment of hydrology, sediment and particulate organic carbon yield in a large agricultural catchment using the SWAT model. Journal of Hydrology. 401: 145-153.

Strauch,M., Bernhofer,C., Koide,S., Volk,M., Lorz,C and Makeschin,F. 2011. Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT stream flow simulation. Journal of Hydrology. 415: 413-424.

Sun,H and Cornish,P.S. 2005. Estimating shallow groundwater recharge in the headwaters of the Liverpool Plains using SWAT. Hydrol. Process. 19:3. 795-807.

Yang,Q., Meng,F.R., Zhao,Z., Chow,T.L., Benoy,G., Rees,H.W and Bourque,C.P.A. 2009. Assessing the impacts of flow diversion terraces on stream water and sediment yields at a watershed level using SWAT model. Agronomy. Ecosyst. Environment. 132: 23-31.

Trans. ASAE 47:4. 1057-1073.

Coffey,R., Cummins,E., O'Flaherty,V and Cormican,M. 2010. Analysis of the soil and water assessment tool (SWAT) to model Cryptosporidium in surface water sources. Biosystem Engineering. 106: 303-314.

Fassio,A., Giupponi,C., Hiederer,R., Simota,C. 2005. A decision support tool for simulating the effects of alternative policies affecting water resources: an application at the European scale. Journal of Hydrology. 304: 462–476.

Feyereisen,G.W., Strickland,T.C., Bosch,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.

Huang,Z., Xue,B and Pang,Y. 2009. Simulation on stream flow and nutrient loadings in Gucheng Lake, Low Yangtze River Basin, based on SWAT model. Quatern. Int. 208: 109-115.

Morgan,R.P.C and Nearing,M.A. 2011. Handbook of erosion modeling. John Wiley and Sons, Ltd, 413p.

Muleta,M.K., Nicklow,J.W. 2005. Sensitivity and uncertainty analysis coupled with automatic calibration for a distributed watershed model. Journal of Hydrology. 306: 127–145.

Ndomba,P., Mtalo,F., and Killingtveit,A. 2008. SWAT model application in a data scarce tropical complex catchment in Tanzania. Phys. Chem. Earth.

Iranian Journal of Irrigation and Drainage
No. 5, Vol. 9, Dec.-Jan. 2015, p. 678-690

نشریه آبیاری و زهکشی ایران
شماره5، جلد9، آذر - دی 1394، ص. 690-678

Modeling of Atrak Watershed Runoff Using the SWAT Model of SUFI-2 Algorithm

M.R. Akbarzadeh[1], - S.R. Khodashenas[2*], - K. Esmaili[3]
Recived: Apr.26, 2015 Accepted: Sep.16, 2015

Abstract

Soil erosion and surface runoff generation is a serious environmental threat to sustainable development and agriculture, that may lead to a reduced soil fertility, nutrient loss, and reduced plant performance in the agricultural areas. In recent years, the use of modeling is introduced as a means to evaluate the impact of erosion reduction measures. SWAT is a conceptual and distribution model developed to predict and estimate surface runoff, sediment brought, qualitative characteristics of water, as well as to predict the effects of different management measures in the basin. The aim of this study was to investigate the usefulness of SWAT model to estimate the average daily flow rate and calibrate and validate the model in Atrak watershed at Khorasan Razavi North Khorasan provinces. Calibration and uncertainty analysis of the model were performed using SUFI-2. Indicators P-factor, R-factor, br2, and r2 were used in order to assess the ability of SWAT model to simulate Atrak watershed runoff. Runoff data of six hydrometric stations in 1975-1991 were used for calibration and validation of this basin. The results showed that the monthly runoff at calibration stage, the coefficients P-factor, R-factor, br2, and r2 in output basin was 0.73, 1.15, 0.53, and 0.56, and in the validation stage was 0.77, 1.3, 0.48 and 0.58, respectively. The best results were obtained in Shirabad station and the weakest results in Gharehkahnbandi station. Overall calibration results show that the SWAT model can be a useful tool in river flow rate simulation.

Keywords: SWAT model, SUFI-2 algorithm, Validation, Calibration, Monthly Runoff, Atrak River

1- Ph.D. Student of Water Structures, International Campus, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
2- Associate Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
3- Associate Professor, Water Engineering Department, Ferdowsi University of Mashhad, Mashhad, Iran
(* - Corresponding Author Email: khodashenas@ferdowsi.um.ac.ir)