

بررسی تغییرات مؤلفه های منابع آب و نرخ رسوب حوضه آبخیز اترک قبل و بعد از احداث سد شیرین دره با استفاده از مدل SWAT، کالیبراسیون و عدم قطعیت مدل

محبوبه حاجی بیگلو^{۱*}

چکیده

مدل SWAT یک مدل مفهومی و توزیعی است که برای پیش بینی و برآورد رواناب سطحی، آورد رسوب، خصوصیات کیفی آب و نیز برای پیش بینی اثر انجام اقدامات مدیریتی مختلف در سطح حوضه گسترش داده شده است. واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل با استفاده از برنامه SUFI-2 انجام پذیرفت. شاخص های P-factor، R-factor، br^2 و r^2 به منظور ارزیابی توانایی مدل SWAT در شبیه سازی رواناب و رسوب قبل از احداث سد شیرین دره و بعد از احداث سد شیرین دره به کار برده شد. هدف مطالعه حاضر بررسی کارایی مدل SWAT در برآورد دبی متوسط روزانه و غلظت رسوب و واسنجی و اعتبارسنجی این مدل در حوضه آبخیز اترک واقع در استان خراسان رضوی و شمالی است. آمار رواناب و رسوب شش ایستگاه هیدرومتری در سال های ۱۹۷۵-۲۰۱۵ برای واسنجی و اعتبارسنجی این حوضه به کار برده شد. نتایج نشان داد که در مرحله واسنجی رواناب ماهانه قبل از احداث سد شیرین دره، ضرایب P-factor، R-factor، br^2 و r^2 در خروجی حوضه به ترتیب ۰/۷۳، ۱/۱۵، ۰/۵۳ و ۰/۵۶ و در مرحله اعتبارسنجی ۰/۷۷، ۱/۳، ۰/۴۸ و ۰/۵۸ به دست آمد. این ضرایب در مرحله واسنجی غلظت رسوب روزانه در خروجی حوضه به ترتیب ۱/۵۸، ۲/۱۵، ۰/۹۸ و ۰/۲۵ و در مرحله اعتبارسنجی به ترتیب ۰/۴۷، ۲/۵، ۰/۳۲ و ۰/۵۷ به دست آمد. در خروجی های تهیه شده از مدل، حوضه سد شیرین دره به عنوان فرسایش پذیرترین زیرحوضه شناخته شد که سالانه میزان رسوب بالایی وارد مخزن این سد شده و از عمر مفید آن کاسته می شود. نتایج مطالعه نشان داد که SWAT رواناب را بهتر از رسوب شبیه سازی کرد. از دلایل ضعف مدل در شبیه سازی بار رسوب می توان به شبیه سازی ضعیف جریان، تعداد کم داده ها و همچنین عدم پیوستگی اطلاعات رسوب استفاده شده، اشاره کرد.

واژه های کلیدی: سد شیرین دره، رسوب، رواناب، الگوریتم Sufi2، واسنجی، تحلیل عدم قطعیت

^۱ دانشجوی دکتری گروه آبخیزداری، دانشکده مرتع و آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان، گرگان
*نویسنده مسئول، ایمیل: hajibigloo_m@yahoo.com

مقدمه

امروزه برای مطالعه و درک صحیح مؤلفه‌های آبی مؤثر در مدیریت جامع حوضه-های آبخیز از مدل‌های هیدرولوژیکی استفاده می‌شود. Thompson و همکاران (۲۰۰۴) اظهار داشتند، که مدل‌سازی در این راستا، روشی سریع و ارزان‌قیمت برای ارزیابی استراتژی‌های مختلف مدیریتی، در جهت جلوگیری از پیش آمدن نتایج نامطلوب، هدف‌مند کردن توانایی مدیریت حوضه‌های آبخیز با منابع قابل دسترس و محدود و حفظ نیروی کار می‌باشد. همچنین اشاره شده است که این مدل‌ها، ابزاری مناسب هستند که در تصمیم‌های کلان ملی و بسیاری موارد مشابه استفاده می‌شود (۱۴). مدل‌های هیدرولوژیکی توزیعی با پایه فیزیکی، امروزه به طور رو به رشدی برای حل مسائل مربوط به منابع آب، شامل تأثیر تغییر کاربری اراضی، اثر تغییر اقلیم بر منابع آب و مدیریت در آبخیز، مورد استفاده قرار می‌گیرند (۱). مدل SWAT به عنوان یک مدل جامع در زمینه مطالعات آب و خاک می‌باشد که در مطالعات بین‌المللی در مقیاس‌های مختلف حوضه‌ای تا قاره‌ای مورد استفاده قرار گرفته است (۱۲). با توجه به این که مدل SWAT از قابلیت خوبی جهت شبیه‌سازی میزان مؤلفه‌های هیدرولوژیکی از قبیل رواناب سطحی، تبخیر تعرق پتانسیل واقعی، جریان-های زیر قشری، رطوبت خاک، فرونشست عمقی به آب‌های زیرزمینی و مؤلفه‌های رشد گیاه از قبیل عملکرد، شاخص سطح برگ و رشد ریشه تحت تأثیر شرایط محیطی و مدیریتی در

منطقه مورد مطالعه برخوردار است. با استفاده از این مدل می‌توان اثرات مدیریتی موجود در حوضه را بر روند هیدرولوژیکی و میزان رواناب و رسوب شبیه‌سازی نمود (۱۶).

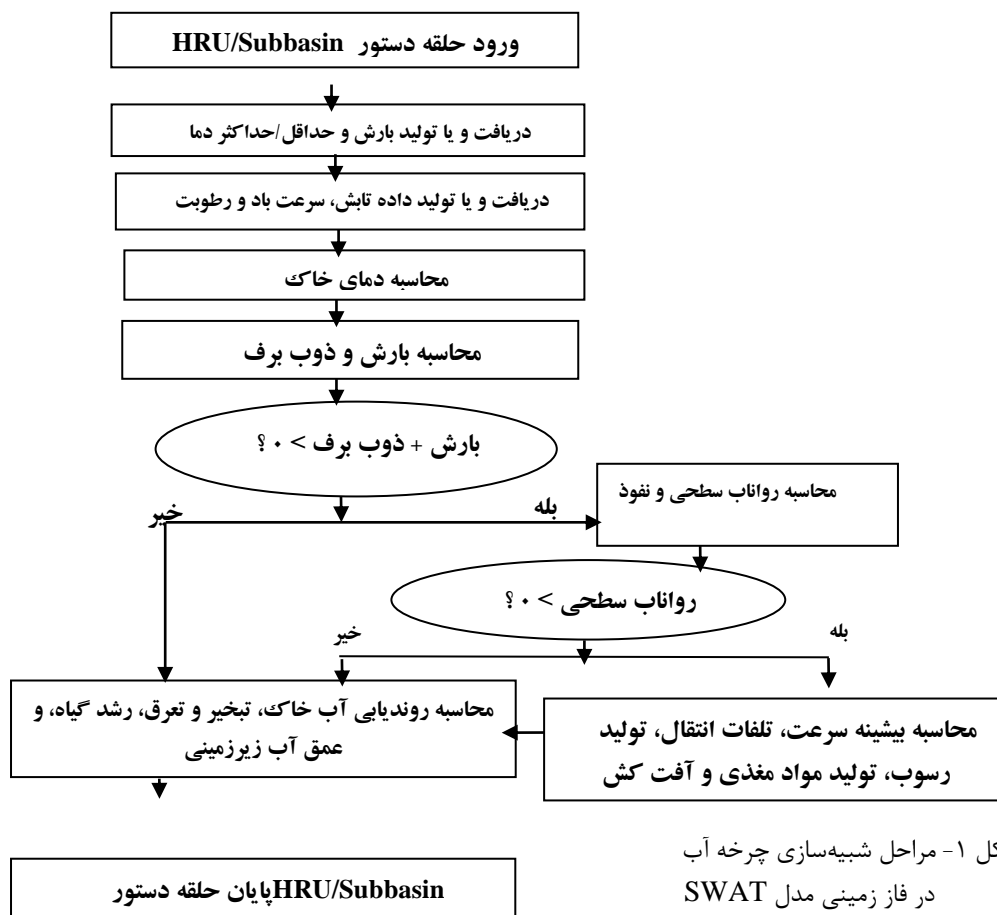
Arnold و همکاران (۱۹۹۹) از SWAT برای شبیه‌سازی تمام ایالات متحده آمریکا از آبدهی رودخانه در حدود ۶۰۰۰ ایستگاه اندازه‌گیری، استفاده کردند. سپس این مطالعه برای ارزیابی ملی USDA پروژه ارزیابی اثرات حفاظت (CEAP) گسترش یافت. Gosain و همکاران (۲۰۰۶) دوازده حوضه رودخانه بزرگ در هند را با هدف تعیین میزان تأثیر تغییرات آب و هوایی بر هیدرولوژی مدل کردند. Schuol و همکاران (۲۰۰۸) هیدرولوژی کل آفریقا را با مدل SWAT در یک پروژه واحد شبیه‌سازی کردند و منابع آب را با دقت فضایی در سطح زیرحوضه و فواصل زمانی ماهانه محاسبه نمودند. Faramarzi و همکاران (۲۰۰۹) هیدرولوژی و عملکرد محصول برای ایران را با مدل SWAT شبیه‌سازی کردند. در یک کار دیگر پس از آن، فرامرزی و همکاران (۲۰۱۳) از مدل آفریقایی برای مطالعه تأثیر تغییرات آب و هوایی در آفریقا استفاده کردند. Abbaspour و همکاران (۲۰۱۵) مدل یکپارچه هیدرولوژیکی با استفاده از برنامه ابزار ارزیابی خاک و آب (SWAT) را تهیه و برای کل اروپا واسنجی گردید. بخش‌های مختلف منابع آب شبیه‌سازی شده و عملکرد محصول و کیفیت آب در سطح واحد پاسخ

مدل واسنجی شده و نتایج آن اطلاعاتی برای روز، E_a مقدار تبخیر و تعرق روزانه، W_{seep} مقدار آب نفوذ کرده به منطقه زیر قشری در پروفیل خاک و Q_{gw} مقدار نفوذ به سفره زیرزمینی می باشد (۱۶). در این مدل، شبیه سازی چرخه هیدرولوژیکی به دو بخش تقسیم می شود. قسمت اول تحت عنوان فاز زمین شناخته می شود. این فاز انتقال آب، رسوب، مواد مغذی و آفت کش به درون کانال اصلی را در هر زیرحوضه کنترل می کند. دومین قسمت فاز آب یا روندیابی است که می تواند بصورت حرکت آب، رسوب، مواد مغذی و آلاینده ها در کانال به خروجی آبخیز تعریف شود. مراحل کلی فاز زمین از چرخه آب در مدل SWAT در شکل (۱) نشان داده شده است (۱۶).

هیدرولوژیکی (HRU) بررسی گردیده است. پشتیبانی دستورالعمل چارچوب آب اروپا و قرار دادن پایه و اساسی برای ارزیابی بیشتر تأثیر تغییرات آب و هوا بر دسترسی به آب و کیفیت آن ارائه می کند. این روش ها به طور کلی توسعه یافته است و می تواند برای هر منطقه بزرگ در سراسر جهان استفاده گردد. مدل SWAT قادر به حل معادله بیلان آب (معادله ۱) در هر واحد محاسباتی (HRU) می باشد. شکل (۱) مؤلفه های بیلان آب قابل شبیه سازی توسط مدل را نشان می دهد.

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

که در آن SW_t رطوبت خاک در پایان گام زمانی، t گام زمانی (روز)، SW_0 مقدار رطوبت اولیه موجود در خاک، R_{day} مقدار بارش در هر روز، Q_{surf} مقدار رواناب سطحی در هر



شکل ۱- مراحل شبیه سازی چرخه آب در فاز زمینی مدل SWAT

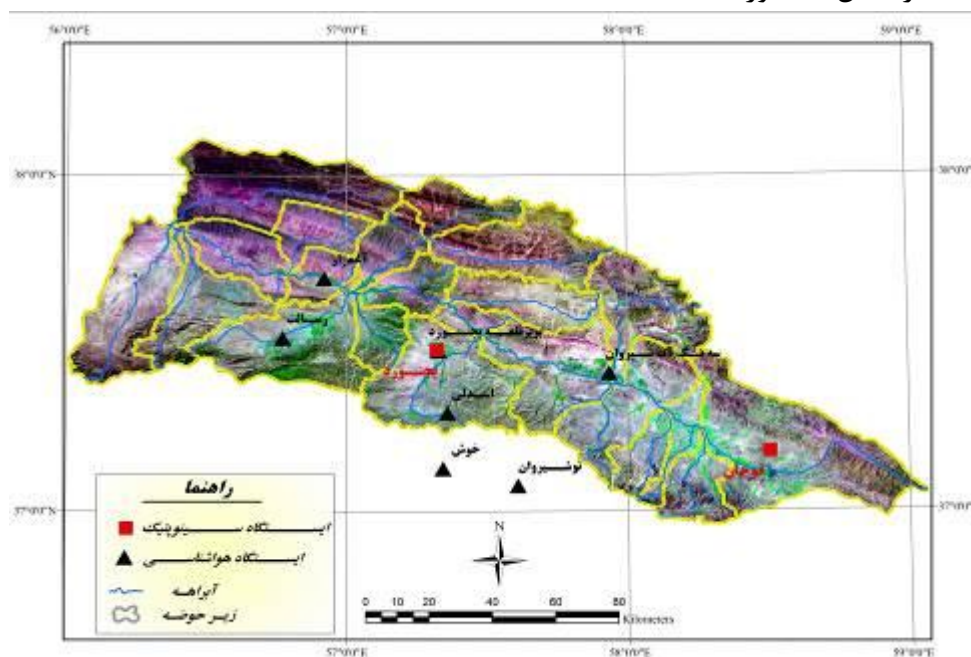
روش برای محاسبه مقدار رواناب تحت کاربری‌های مختلف اراضی و انواع گوناگون خاک‌ها استفاده می‌شود (۱۵).

مدل SWAT از دو روش شماره منحنی SCS اصلاحی و روش نفوذ Green & Amp برای تخمین حجم رواناب استفاده می‌کند. این

مواد و روش‌ها

سال‌های مشترک دوره آماری ایستگاه‌های منتخب ۲۵ سال می‌باشد. این اطلاعات شامل بارندگی روزانه، حداقل و حداکثر دمای روزانه هوا، برای دوره زمانی ۲۰۱۵-۱۹۸۵ می‌باشد. ایستگاه‌های مرجع مورد استفاده شامل ایستگاه سینوپتیک قوچان با ۳۱ سال آمار (سال ۱۹۸۴ الی ۲۰۱۵) و ایستگاه سینوپتیک بجنورد با ۳۷ سال آمار (سال ۱۹۷۷ الی ۲۰۱۵) می‌باشد که در پایگاه داده‌های اقلیمی مدل SWAT استفاده گردیده است. در شکل زیر موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی مورد مطالعه در این تحقیق نشان داده شده است.

حوضه آبخیز اترک بخشی از حوضه دریای مازندران محسوب شده که وسعت آن در داخل استان خراسان شمالی بالغ بر ۱۴۹۱۳/۲۴ کیلومتر مربع می‌باشد. این حوضه در شمال شرق ایران و در محدوده طول‌های $32^{\circ} 01' 56''$ الی $15^{\circ} 25'$ 56° طول شرقی و عرض‌های $38^{\circ} 14' 42''$ الی $36^{\circ} 56' 16''$ 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 (۱) آورده شده است، تعداد



شکل ۲- موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و سینوپتیک مورد استفاده در پایگاه داده‌های اقلیمی در مدل SWAT

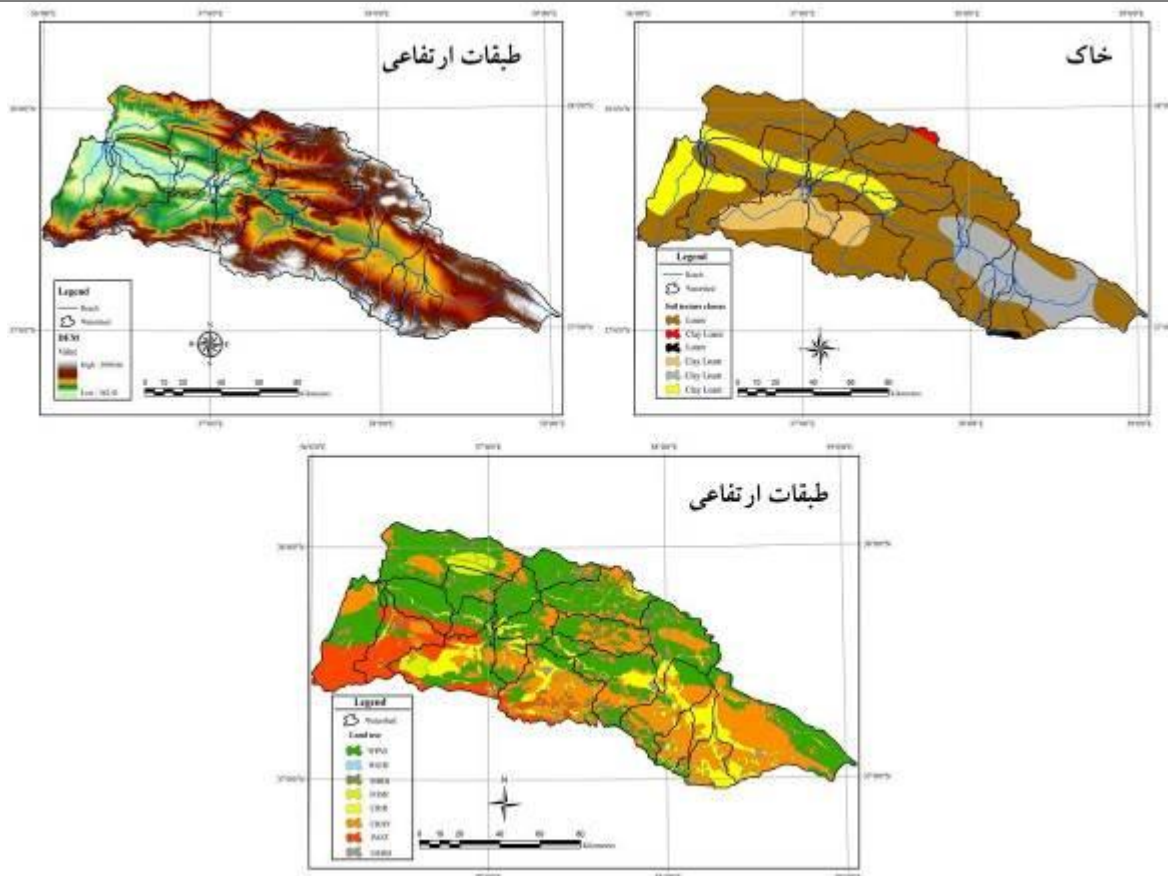
داده‌های ورودی مدل

آب، مدیریت اراضی، مخازن و برخی زمینه‌های دیگر با توجه به هدف تحقیق باید در مدل وارد شوند (۱۱). داده‌های ورودی مدل SWAT در جدول (۱) آورده شده است. در شکل (۳) نقشه‌های مورد استفاده در شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز در مدل SWAT برای حوضه آبخیز اترک آورده شده است.

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

جدول ۱- داده‌های ورودی مدل SWAT در شبیه‌سازی رواناب حوضه آبخیز اترک

سال و دقت	منبع	نوع داده	داده
۵۰m × ۵۰M	ESRI-SRTM	رستری	نقشه DEM
۱:۲۵۰۰۰۰	مرکز تحقیقات منابع طبیعی استان خراسان شمالی	وکتوری	نقشه کاربری اراضی
۱۰km × ۱۰km	سازمان خوارو بار جهانی (FAO)	رستری	نقشه خاک
۲۰۱۵-۱۹۸۵ (روزانه)	سازمان هواشناسی کشور	نقطه‌ای (۷ ایستگاه)	داده‌های هواشناسی
۲۰۱۵-۱۹۶۸ (روزانه)	وزارت نیرو	نقطه‌ای (۸ ایستگاه)	داده‌های هیدرومتری

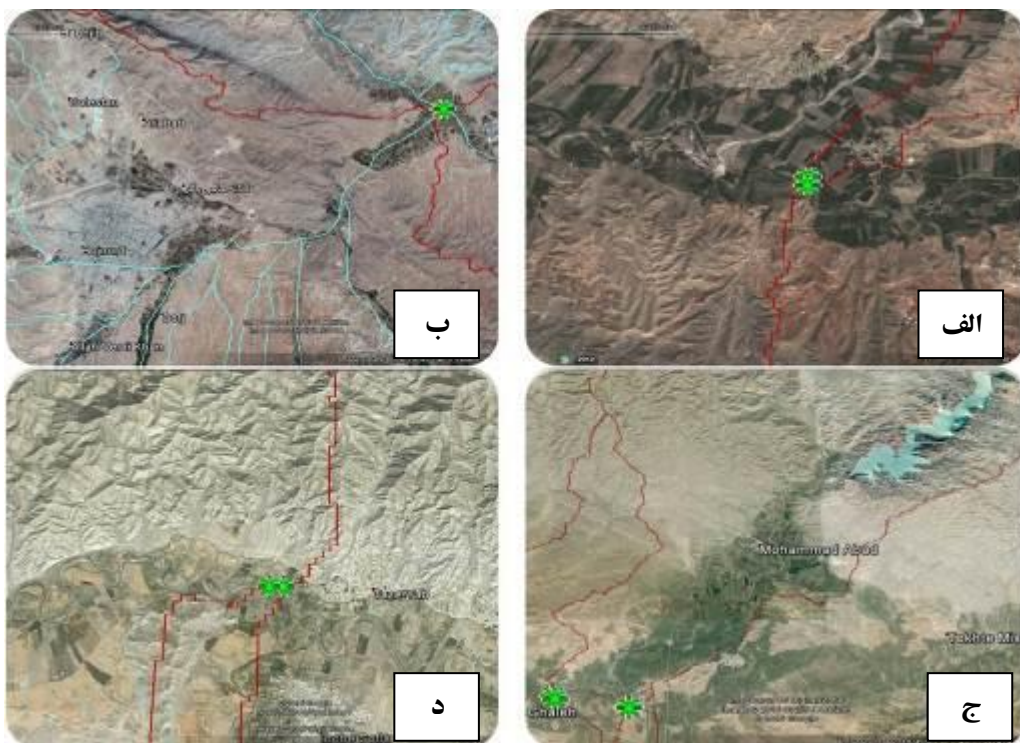


شکل ۳- ورودی‌های مدل SWAT در تحقیق حاضر

اجرای مدل (شبیه سازی رواناب)

هر زیر حوضه، تعداد واحدهای HRU، ۸۲۹ واحد بدست آمد. پس از معرفی مشخصات ایستگاه‌های مرجع که پارامترهای آماری از داده‌های بلند مدت آن قبلاً محاسبه و در پایگاه داده مدل وارد شده است، به همراه آمار موجود ایستگاه‌های هواشناسی به مدل معرفی شد. با توجه به هدف پژوهش، شبیه‌سازی در بازه زمانی ۱۹۸۵ تا ۲۰۰۵ صورت گرفت. سپس واسنجی و اعتبارسنجی در بازه زمانی ۲۰۰۵ تا ۲۰۱۵ صورت گرفت. موقعیت برخی از زیرحوضه‌های خروجی استخراج شده از شبیه‌سازی حوضه آبخیز با استفاده از مدل SWAT در شکل زیر نشان داده شده است.

در مدل SWAT برای معرفی مرز حوضه آبخیز، زیر حوضه‌ها و شبکه آبراهه‌ای با توجه به اصلاحاتی که بر روی نقشه DEM صورت گرفت، استفاده گردید. با در نظر گرفتن حدآستانه ۱۱۰۰۰ هکتار به عنوان حداقل سطح زهکشی در حوضه، ۲۷ 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 ۵-، ۱۲-، ۳۰-، ۶۰-، ۳۰ و بالاتر از ۶۰ درصد با استفاده از مدل قابل محاسبه است، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی بدست آمد. سپس با فرض مقادیر غالب خاک، شیب و کاربری اراضی در



شکل ۴- موقعیت Out let های بدست آمده از شبیه‌سازی حوضه آبخیز اترک با استفاده از مدل SWAT
الف: موقعیت خروجی بدست آمده بر روی رودخانه اترک در محدوده کاربری زراعی، ب: موقعیت خروجی بدست آمده در زیرحوضه رودخانه فیروزه - شاهجوب، ج: موقعیت خروجی بدست آمده بر روی رودخانه اترک در پایین دست سد شیرین دره، د: موقعیت خروجی بدست آمده بر روی رودخانه اترک در زیرحوضه اینچه سفلی - شکل رودخانه مئاندری

تخمین رسوب حوضه

است. مقدار رسوب خارج شده از کانال بر اساس تغییرات حجم رواناب و مقدار رسوب معلق در هر بازه از طریق رابطه زیر محاسبه می‌شود. در این رابطه sed_{out} مقدار رسوب خارج شده از کانال (تن متریک)، sed_{ch} مقدار رسوب معلق (تن متریک)، V_{out} حجم آب خارج شده در طی پایه زمانی (m^3) و V_{ch} حجم آب در بازه مورد نظر (m^3) می باشد (۱۶).

$$Sed_{out} = sed_{ch} \cdot (V_{out}/V_{ch}) \quad (۴)$$

مقدار کف کنی در کانال با استفاده از رابطه (۵) بصورت زیر محاسبه می‌شود که در آن $depth_{dcut}$ مقدار کنش کف بستر، k_{ch} ضریب فرسایش پذیری کانال و slp_{ch} شیب کف کانال می‌باشد (۱۶).

$$depth_{dcut} = 358.6 \cdot depth \cdot slp_{ch} \cdot k_{ch} \quad (۵)$$

عمق جدید کانال با استفاده از رابطه زیر محاسبه می‌شود که در آن $depth_{bnkfull}$ عمق جدید کانال، $depth_{bakfull,i}$ عمق قبلی کانال و $depth_{dcut}$ مقدار کنش کف بستر می‌باشد (۱۶).

$$depth_{bnkfull} = depth_{bnkfull,i} + depth_{dcut} \quad (۶)$$

رابطه زیر برای محاسبه عرض جدید کانال استفاده می‌شود که در آن $W_{bnkfull}$ عرض جدید کانال و $ratio_{WD}$ نسبت عرض به عمق کانال می‌باشد (۱۶).

$$W_{bnkfull} = ratio_{WD} \cdot depth_{bnkfull} \quad (۷)$$

با استفاده از رابطه زیر شیب جدید کانال محاسبه می‌شود که در آن slp_{ch} شیب جدید کانال، $slp_{ch,i}$ شیب کانال قبلی، L_{ch} طول

در مدل SWAT شبیه‌سازی فرسایش در پایه زمانی روزانه قابل انجام است، تأخیر انتقال رسوب در سطح و رسوب در جریان جانبی و آب زیرزمینی نیز محاسبه می‌شود (۲۰). برآورد فرسایش در این مدل با استفاده از روش معادله جهانی فرسایش خاک اصلاح شده (MUSLE) انجام می‌شود که رابطه آن به قرار زیر است:

$$SED = 11.8(Q_{surf} \cdot q_{peak} \cdot area_{HRU})^{0.56} \cdot K_{USLE} \cdot C_{USLE} \cdot P_{USLE} \cdot LS_{USLE} \cdot CFRG \quad (۲)$$

پارامتر Q ، ارتفاع رواناب سطحی به میلی متر، q_{peak} ، دبی اوج رواناب به مترمکعب در ثانیه، $area$ مساحت هر HRU به هکتار، K فرسایش پذیری خاک، C پوشش و مدیریت، LS توپوگرافی، P اقدامات حفاظتی و $CFRG$ فاکتور قطعات درشت در خاک است (۱۶).

مقدار رسوب تخلیه شده به کانال با رابطه زیر حساب می‌شود و در آن sed مقدار رسوب تخلیه شده به کانال اصلی در روز مورد نظر، sed_{HRU} مقدار رسوب تولید شده در HRU در روز مورد نظر، $sed_{stor,i-1}$ مقدار رسوب ذخیره شده یا تأخیری از روز قبل، $surlag$ ضریب تأخیر رواناب سطحی و t_{conc} زمان تمرکز برای HRU می باشد (۱۸).

$$Sed = (sed_{HRU} + sed_{stor,i-1}) \cdot (1 - \exp(-surlag/t_{conc})) \quad (۳)$$

مدل SWAT کنش از کف و عریض شدن کانال را شبیه‌سازی کرده و ابعاد کانال را برای تمامی شبیه‌سازی به روز می‌کند. حداکثر مقدار رسوب که می‌تواند از یک بازه کانال منتقل شود تابعی از سرعت بیشینه در کانال

۸..... بررسی تغییرات مؤلفه‌های منابع آب و نرخ رسوب حوضه آبخیز اترک قبل و بعد از احداث... .

کانال (km) و $depth_{dcut}$ مقدار کنش کف می‌باشد (۱۶).
 $slp_{ch} = slp_{ch.i} - (depth_{dcut} / 1000.Lch)$ (۸)
 در جدول (۲) متغیرهای مربوط به روندیابی رسوب در مدل SWAT آورده شده است. در جدول (۳) متغیرهای مربوط به کف-کنی و تعریض کانال در مدل SWAT آورده شده است.

جدول ۲- متغیرهای مربوط به روندیابی رسوب در مدل SWAT

نام متغیر	تعریف	فایل ورودی
PRF	بیشینه سرعت تطبیق فاکتور	.bsn
SPCON	رسوب انتقال معادله در ضریبی	.bsn
SPEXP	رسوب انتقال معادله در توان	.bsn
CH_COV	کانال پوشش فاکتور	.rte
CH_EROD	کانال (cm/h/Pa) پذیری فرسایش فاکتور	.rte

جدول ۳- متغیرهای مربوط به کف‌کنی و تعریض کانال در مدل SWAT

نام متغیر	تعریف	فایل ورودی
IDEG	کانال تخریب کد	.bsn
CH_WDR	کانال عمق به عرض نسبت	.rte

مفید می‌باشد (۷). در مدل SWAT پارامترهای متعددی در شبیه‌سازی مؤلفه‌های هیدرولوژیک حوضه نقش دارند و بسیاری از آن‌ها بر یکدیگر اثر متقابل دارند. Faramarzi و همکاران (۲۰۰۹) پس از تحلیل حساسیت جامعی که در مقیاس ملی برای ایران انجام دادند، مجموع ۲۲ 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 (۴) پارامترهای منتخب برای واسنجی در این مطالعه را نشان می‌دهد.

واسنجی و اعتبارسنجی مدل در حوضه آبخیز واسنجی و اعتبارسنجی مدل‌های آبخیز قبل از اینکه به عنوان یک ابزار تصمیم‌گیری در برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب قرار گیرند، لازم و ضروری می‌باشند (۱۹، ۲۲، ۸ و ۱۷). 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. به منظور ساده‌سازی فرآیند واسنجی، "تحلیل حساسیت" برای شناسایی پارامترهایی که در تغییرپذیری خروجی‌های مدل مؤثرتر هستند،

جدول ۴- 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 ۲۱ ژوئن
SMFMN.bsn	فاکتور ذوب برف در تاریخ ۲۱ دسامبر
TIMP.bsn	فاکتور تاخیر دما در برف پشته
CN2.bsn	برای شرایط رطوبتی متوسط SCS شماره منحنی
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 مویبندی 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 آبراهه اصلی زیرحوضه
ALPHA_BF.gw	پارامتر آلفا در جریان بازگشتی
EPCO.hru	فاکتور جبران برداشت آب گیاه

تعیین میزان عدم قطعیت، توسط معیارهایی به نام P-factor و R-factor بررسی می شود (۲). P-Factor شاخصی است که بیانگر درصد داده های مشاهداتی که درون بازه عدم قطعیت (پیش بینی شده) قرار می گیرند، است. از آنجایی که اثر تمام عوامل عدم قطعیت در متغیر اندازه گیری شده منعکس می شوند، P-Factor معیار مناسبی برای سنجش قدرت تحلیل عدم قطعیت انجام شده نیز می باشد (۶). در شرایط ایده آل سعی بر این است که مقدار P-factor به ۱۰۰ درصد برسد. R-factor شاخصی است که از تقسیم میانگین ضخامت بازه عدم قطعیت پیش بینی شده بر

واسنجی احتیاج به تغییر مکرر مقدار پارامترها دارد که با افزایش تعداد پارامترها در مقیاس های بزرگ بسیار زمان بر خواهد بود. برنامه هایی بدین منظور توسعه پیدا کرده اند که می توانند به طور اتوماتیک این عمل را در حوضه های بسیار بزرگ انجام دهند. الگوریتم SUFI-2 در بسته نرم افزاری SWAT-CUP یکی از این برنامه ها می باشد که در منابع بسیاری از آن استفاده شده است (۲). با استفاده از الگوریتم SUFI2، تمام عدم قطعیت های موجود در خروجی از قبیل عدم قطعیت ورودی ها، مدل مفهومی، پارامترها و داده های اندازه گیری شده با ارائه بازه های از پارامترهای ورودی تعریف می شوند. واسنجی و

$$\phi = \begin{cases} |b|R^2 & \text{for } |b| \leq 1 \\ |b|^{-1}R^2 & \text{for } |b| > 1 \end{cases} \quad (11)$$

که r^2 ضریب تعیین بین دو سیگنال اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده می‌باشد و b شیب خط رگرسیون است. در شرایط وجود چندین ایستگاه رواناب، تابع هدف، میانگین $\bar{\phi}$ برای تمام ایستگاه‌هاست:

$$g = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \phi_i \quad (12)$$

مقدار تابع $\bar{\phi}$ بین ۰ و ۱ 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 و تولید رسوب حوضه در دوره زمانی سال‌های ۱۹۸۵ تا ۲۰۱۰ با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT بررسی شد. بدین منظور مدل ایجاد شده، با استفاده از داده‌های روزانه دبی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌های هیدرومتری و رسوب‌سنجی در دوره زمانی ۱۹۶۸ تا ۲۰۱۵ واسنجی و اعتبارسنجی گردید. واسنجی و اعتبارسنجی در ایستگاه‌های آغمزار، بابامان، دربند سملقان، درکش، قلعه بربر، قره خان‌بندی، قتلش و شیرآباد صورت گرفت.

انحراف معیار داده‌های مشاهداتی حاصل می‌شود. 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:

$$r^2 = \left(\frac{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})(p_i - \bar{p})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \sqrt{\sum_{i=1}^n (p_i - \bar{p})^2}} \right)^2 \quad (9)$$

که r^2 ضریب تبیین، n تعداد مشاهدات، O_i و P_i مقادیر متناظر مشاهده شده و پیش‌بینی شده می‌باشند. ضریب تبیین نشان می‌دهد 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 ۰ تا ۱ تغییر می‌کند.

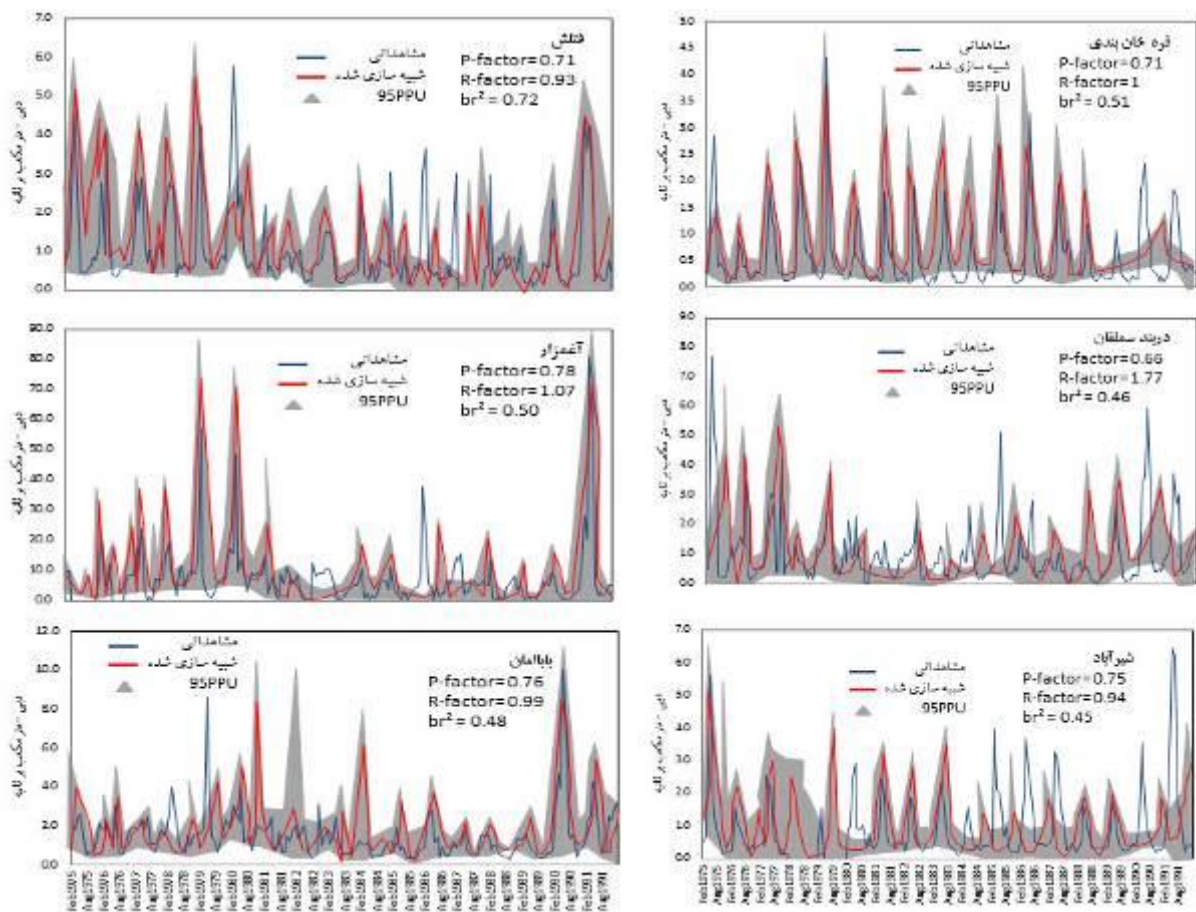
$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (o_i - p_i)^2}{\sum_{i=1}^n (o_i - \bar{o})^2} \quad (10)$$

NS ضریب نش ساکلیف پارامترهای آن همانند ضریب r^2 می‌باشد، مقدار آن از منفی بی‌نهایت تا ۱ متغیر است و نشان می‌دهد که خط رگرسیون بین مقادیر مشاهده شده و پیش‌بینی شده تا چه مقدار به خط رگرسیون با شیب خط ۱ (خط با شیب ۱:۱) هماهنگی دارد. ضریب br^2 جهت مقایسه بین جریان اندازه‌گیری شده و تخمین زده می‌باشد. این معیار راندمان توسط Muleta و همکاران (۲۰۰۵) ارائه شده است:

نتایج

پس از تهیه اطلاعات لازم، مدل هیدرولوژیکی ایجاد شده برای مدت ۱۷ سال از ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۱، ضمن لحاظ کردن ۳ سال از ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۵ برای آموزش (دوره گرم کردن مدل) با استفاده از دبی های اندازه گیری شده ماهیانه در ۶ ایستگاه قتلش، آغمزار، بابامان، قره خان بندی، دربند سملقان، شیرآباد بدون لحاظ کردن آب های انتقالی به حوضه واسنجی گردید. نتایج حاصل از واسنجی مدل مقادیر P-factor، R-factor، br^2 ، r^2 در کل حوضه به ترتیب ۰/۵۵، ۱/۹، ۰/۵۰ و ۰/۵۷ برای دوره واسنجی بدست آمد که این مقادیر نشان از عدم قطعیت مدل می باشد. لذا سعی گردید با شناسایی عوامل مؤثر در بهبود کیفیت داده های ورودی، شبیه سازی مجدد انجام گیرد. با توجه به تغییرات بارزی که در کاربری اراضی (برای مثال تبدیل مراتع به اراضی کشاورزی یا مسکونی) در دهه اخیر نسبت به زمان قبل از تأسیس سد شیرین دره اتفاق افتاده است. نقشه مذکور نمایانگر شرایط واقعی از آن دوره نبوده و می تواند یکی از عوامل ایجاد عدم قطعیت باشد. البته لازم به ذکر است از آنجا که در مدل SWAT رواناب نسبت به پوشش گیاهی منطقه بسیار حساس می باشد، برای کاهش عدم قطعیت احتمالی، نقشه کاربری اراضی موجود به صورت دستی نسبت به تغییرات فوق اصلاح گردید. بدین منظور از نقشه های ۱/۵۰۰۰۰ موجود برای آن دوره (قبل از تأسیس سد) استفاده گردید. از دیگر عواملی که به طور عمده در نتایج

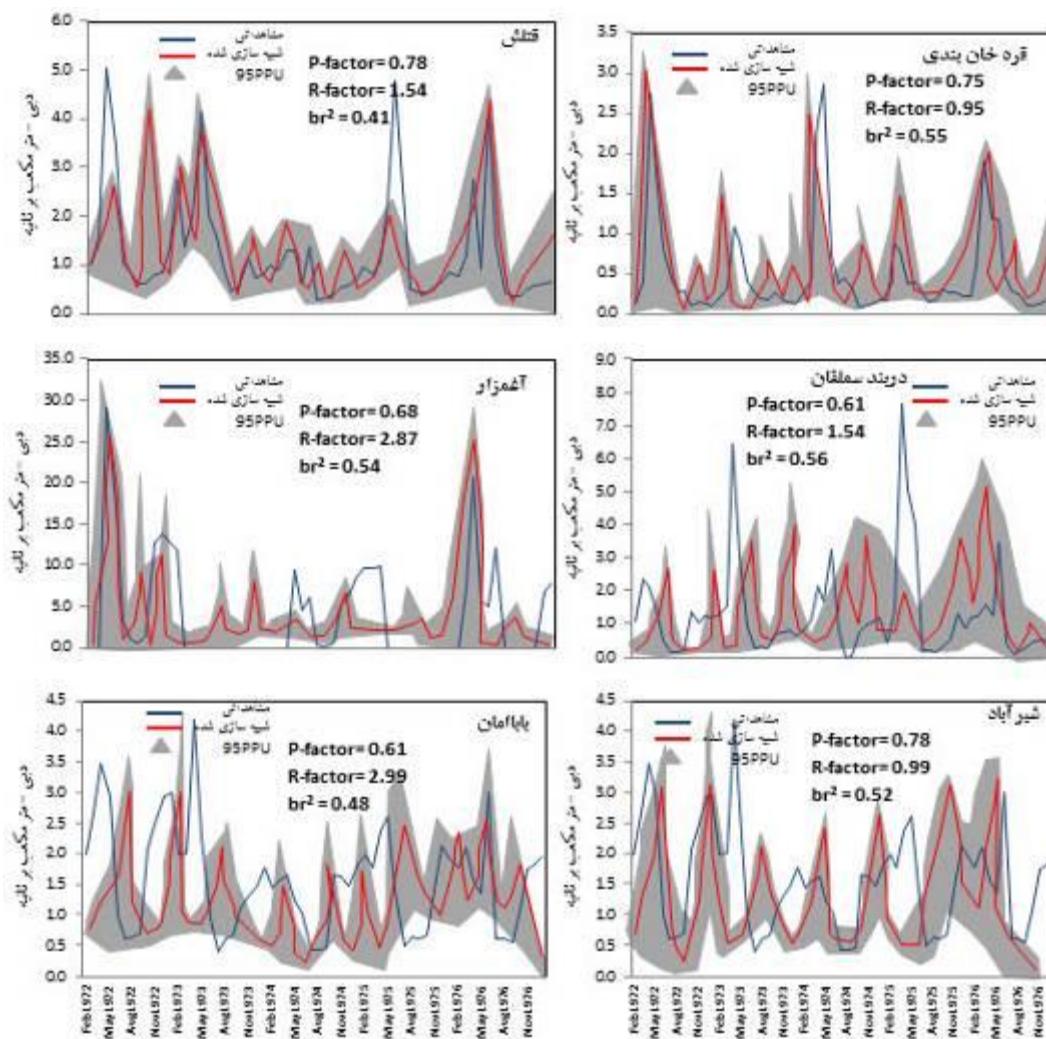
شبیه سازی مدل تأثیر می گذارد میزان آب های برداشتی در طول مسیر رودخانه و یا آب انتقالی از سایر حوضه ها به حوضه مربوطه می باشد. با توجه به اینکه برای دوره مورد مطالعه (۱۹۷۵ تا ۱۹۹۱) آمار مناسبی از این برداشتها وجود ندارد، چنین برداشتهایی در ایجاد مدل هیدرولوژیکی منطقه لحاظ نگردید. این موضوع باعث شبیه سازی بیشتر از مقدار واقعی دبی و بنابراین یکی دیگر از عوامل عدم قطعیت می باشد. برای رفع این مشکل آمار آب ورودی مربوط به تونل شماره ۱ سد شیرین دره (سال تأسیس ۱۳۸۳) به رودخانه را در ادامه به صورت یک منبع نقطه ای به مدل وارد شد. سپس سعی بر این شد که با بهینه سازی و کاهش حدود اولیه پارامترهای حساس، سایر شاخص های واسنجی نیز در حین کاهش عدم قطعیت خروجی های مدل، بهبود یابند. در بهینه سازی حدود اولیه پارامترهای ورودی، با فرض یکنواخت بودن توزیع آماری پارامترها در آن حدود و با استفاده از روش نمونه برداری لاتین هاپیرکیوب، ۲۰۰ نمونه از هر بازه انتخاب شد. سپس با ترکیب ۲۰۰ نمونه از هر ۴۶ پارامتر، مدل SWAT اجرا شده و شاخص های واسنجی محاسبه گردید. این فرآیند پس از ۵ گام واسنجی و با اجرای ۲۰۰ بار تکرار در هر گام به نتایج مطلوبی رسید. متوسط مقادیر P-factor، R-factor، br^2 ، r^2 در کل حوضه به ترتیب ۰/۷۳، ۱/۱۵، ۰/۵۳، ۰/۵۶، می باشد که نسبت به مدل سازی اولیه در کل حوضه بهبود یافته است.



شکل ۵- مقایسه دبی‌های ماهیانه اندازه‌گیری شده (نمودار آبی رنگ) و شبه‌سازی شده (بازه خاکستری رنگ به صورت 95ppu) حاصل از واسنجی نهایی مدل در دوره زمانی ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۱ در حوضه اترک قبل از احداث سد شیرین دره

نشندند بلکه از پارامترهای بهینه شده مرحله واسنجی استفاده گردید. همچنین از آمار دبی‌های اندازه‌گیری شده بازه‌ی جدید (۱۹۷۲ تا ۱۹۷۶) برای مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده، استفاده شد.

اعتبارسنجی مدل در دوره آماری ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۶ با لحاظ کردن ۳ سال (۱۹۶۸ تا ۱۹۷۱) برای آموزش مدل با تکرار فرآیندی همانند واسنجی انجام گردید. با این تفاوت که در اعتبار سنجی پارامترهای ورودی بهینه



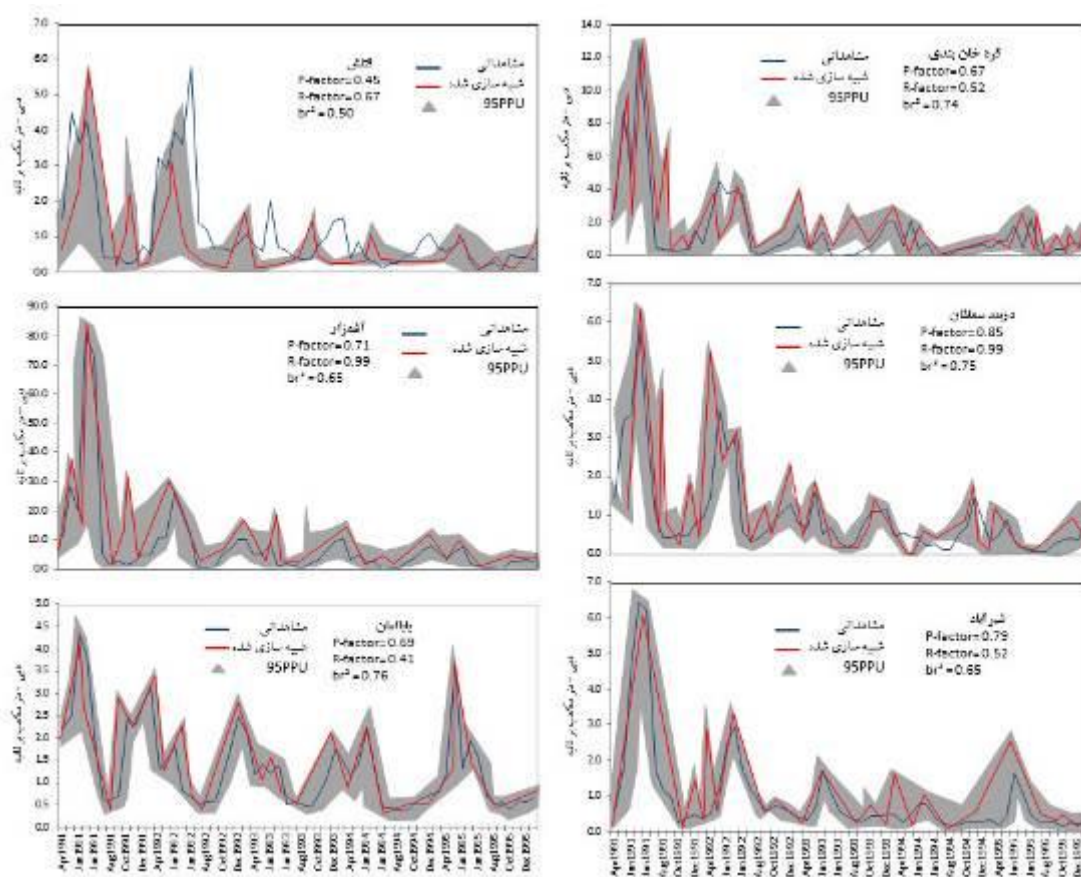
شکل ۶- مقایسه دبی های ماهیانه اندازه گیری شده (نمودار آبی رنگ) و شبیه سازی شده (بازه خاکستری رنگ به صورت 95ppu) حاصل از صحت سنجی مدل در دوره زمانی ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۶ برای شش ایستگاه منتخب در حوضه اترک قبل از احداث سد شیرین

توضیح داد. جریان شبیه سازی شده در ایستگاه های بابامان، دربند سملقان، قره خان- بندی که پایین دست سد شیرین دره و در بالادست منطقه قرار گرفته اند با جریان اندازه- گیری شده همبستگی مناسبی دارند. به منظور اصلاح دبی های شبیه سازی شده در پایین دست حوضه اطلاعات آب های برداشتی از حوضه در بالادست ایستگاه قتلش در محل سد شیرین دره در مدل هیدرولوژیکی لحاظ

نتایج اولیه واسنجی جریان در حوضه اترک بعد از احداث سد شیرین دره (۱۹۹۲ - ۲۰۱۵) نیز حاکی از عدم قطعیت مدل بوده، داده های اندازه گیری شده دبی در ایستگاه های قتلش و آغمزار در سرشاخه های اترک با دبی شبیه سازی همبستگی نسبتاً مناسبی داشت اما شبیه سازی دبی اوج بیشتر از واقعی می باشد که این موضوع را می توان با توجه به عواملی که در بخش قبل نیز عنوان گردید

مرکز و پایین دست از میزان آن کاسته می‌شود و از حدود ۰/۷۰ به ۰/۱۲ نزول می‌یابد. مقادیر این شاخص در ایستگاه‌های مشابه در دو دوره زمانی تقریباً یکسان می‌باشد دلایل کم بودن این مقادیر در پایین دست حوضه در بخش بالا توضیح داده شده است. مقادیر شاخص R-factor در هر دو دوره زمانی علاوه بر این که نسبت به شرایط مکانی ایستگاه‌های واسنجی شده در حوضه تغییر می‌کند و به سمت پایین دست منطقه بر مقدار آن افزوده می‌شود، در دوره زمانی قبل از احداث سد نسبت به بعد از احداث سد در ایستگاه‌های مشابه نیز مقدار آن بیشتر می‌باشد. کوچک بودن R-factor بیانگر واسنجی خوب رواناب در ایستگاه‌های مورد مطالعه و بزرگ بودن آن بیانگر عدم قطعیت بالا در واسنجی می‌باشد. در بالادست منطقه ضریب br^2 بیشتر می‌باشد و به سمت پایین دست مقدار آن کم می‌شود، همچنین مقدار این ضریب بعد از احداث سد شیرین دره نسبت به قبل از احداث سد در ایستگاه‌های مشابه بهبود یافته است.

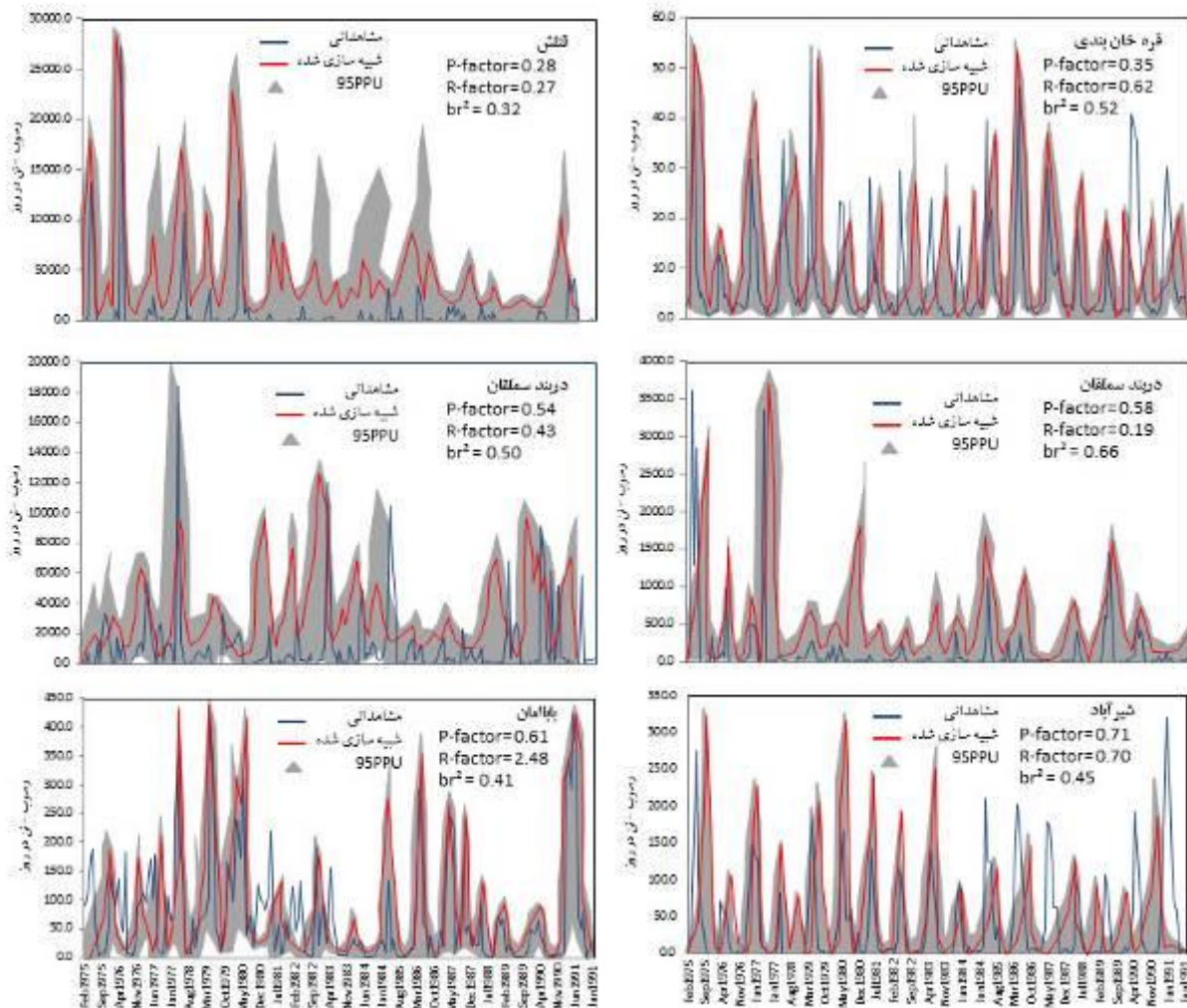
گردید و سپس مدل مورد واسنجی مجدد قرار گرفت. لازم به ذکر است که نتایج ایستگاه‌های قتلش، بابامان، قره‌خان بندی، دربند سملقان و شیرآباد نسبت به مرحله قبل تغییری اما نتایج واسنجی ایستگاه آغماز نسبت به مرحله قبل بهتر گردید و مقادیر P-factor، R-factor و br^2 به ترتیب از ۰/۵۹ به ۰/۷۳، از ۰/۷۱ به ۰/۸۷ و از ۰/۶۵ به ۰/۷۱ تغییر یافت. اعتبارسنجی مدل در دوره زمانی بعد از احداث سد شیرین دره (دوره آماری ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۵) با لحاظ کردن ۳ سال (۱۹۸۸ تا ۱۹۹۰) برای آموزش مدل همانند اعتبارسنجی در دوره قبل از احداث انجام گرفت، متوسط مقادیر P-factor، R-factor، br^2 ، r^2 به ترتیب ۰/۵۵، ۰/۲، ۰/۵۴ و ۰/۶۰ برای کل حوضه به دست آمده و نتایج شبیه‌سازی در این مرحله با نتایج واسنجی مطابقت می‌نماید. همان‌طور که مشاهده می‌شود مقادیر P-factor برای هر ایستگاه در هر دو دوره زمانی قبل و بعد از احداث سد شیرین دره با توجه به شرایط مکانی آن ایستگاه تغییر می‌کند. مقدار آن در بالادست منطقه مطلوب‌تر و به سمت



شکل ۷- مقایسه دبی های ماهیانه اندازه گیری شده (نمودار آبی رنگ) و شبیه سازی شده (بازه خاکستری رنگ به صورت ۹۵ ppu) حاصل از صحت سنجی مدل در دوره زمانی ۱۹۹۱ تا ۱۹۹۵ در حوضه آبخیز اترک

که داده های رسوب روزانه این ایستگاهها در دوره آماری موجود در دسترس بود همزمان با ورود داده های رواناب ایستگاهها داده های رسوب این ایستگاهها نیز به مدل معرفی گردید که در ادامه نتایج نهایی واسنجی و کالیبراسیون داده های رسوب ایستگاهها در دوره زمانی قبل از احداث سد شیرین دره و بعد از احداث سد شیرین دره آورده شده است.

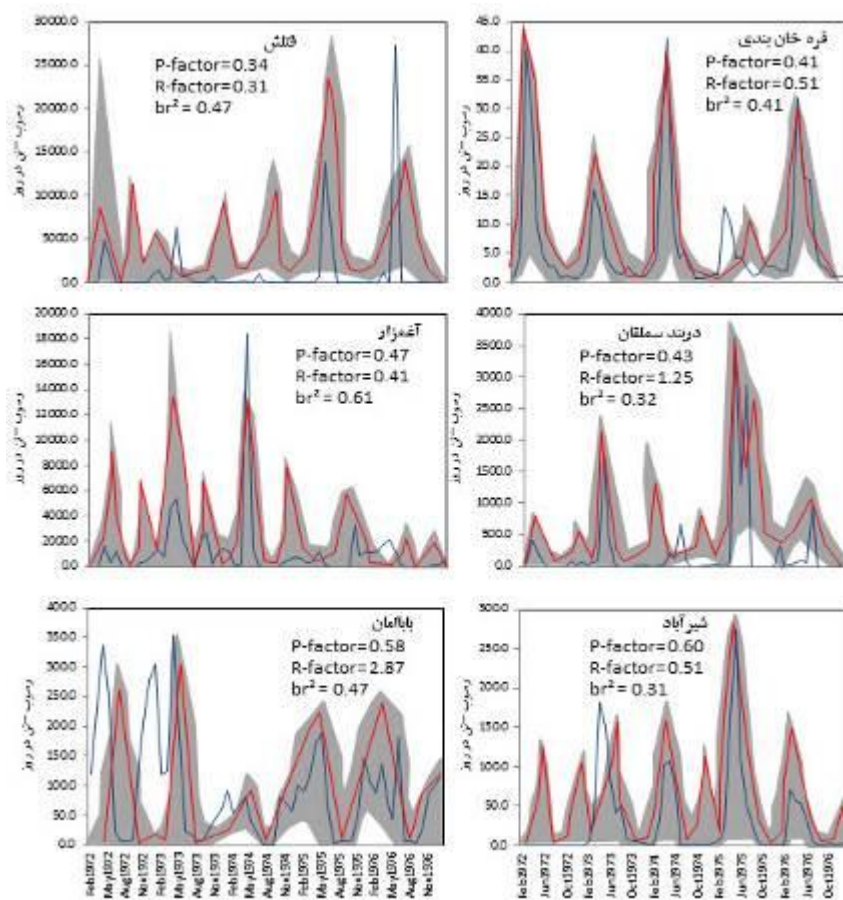
به منظور برآورد رسوب ورودی به مخزن سد شیرین دره، بعد از کالیبراسیون و اعتبارسنجی داده های رواناب ایستگاههای مورد مطالعه در حوضه اترک اقدام به کالیبراسیون و اعتبارسنجی داده های رسوب در شش ایستگاه هیدرومتری قتلش، آغمزار، بابامان، قره خان بندی، دریند سملقان و شیرآباد گردید. از آنجا



شکل ۸- مقایسه داده‌های رسوب متوسط ماهیانه اندازه‌گیری شده (نمودار آبی رنگ) و شبیه‌سازی شده (بازه خاکستری رنگ) به صورت ۹۵ ppu حاصل از واسنجی نهایی مدل در دوره زمانی ۱۹۷۵ تا ۱۹۹۱ در حوضه اترک قبل از احداث سد شیرین‌دره

استفاده گردید. همچنین از آمار رسوب اندازه-گیری شده بازه‌ی جدید (۱۹۷۲ تا ۱۹۷۶) برای مقایسه مقادیر پیش‌بینی شده و اندازه‌گیری شده استفاده شد. همانطور که در شکل دیده می‌شود، نتایج شبیه‌سازی با نتایج مرحله واسنجی همخوانی مطلوبی نشان می‌دهد.

اعتبارسنجی مدل در دوره زمانی قبل از احداث سد شیرین‌دره در دوره آماری ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۶ با لحاظ کردن ۳ سال (۱۹۶۸ تا ۱۹۷۱) برای آموزش مدل با تکرار فرآیندی همانند واسنجی انجام گردید. با این تفاوت که در اعتبارسنجی پارامترهای ورودی بهینه نشدند بلکه از پارامترهای بهینه شده مرحله واسنجی

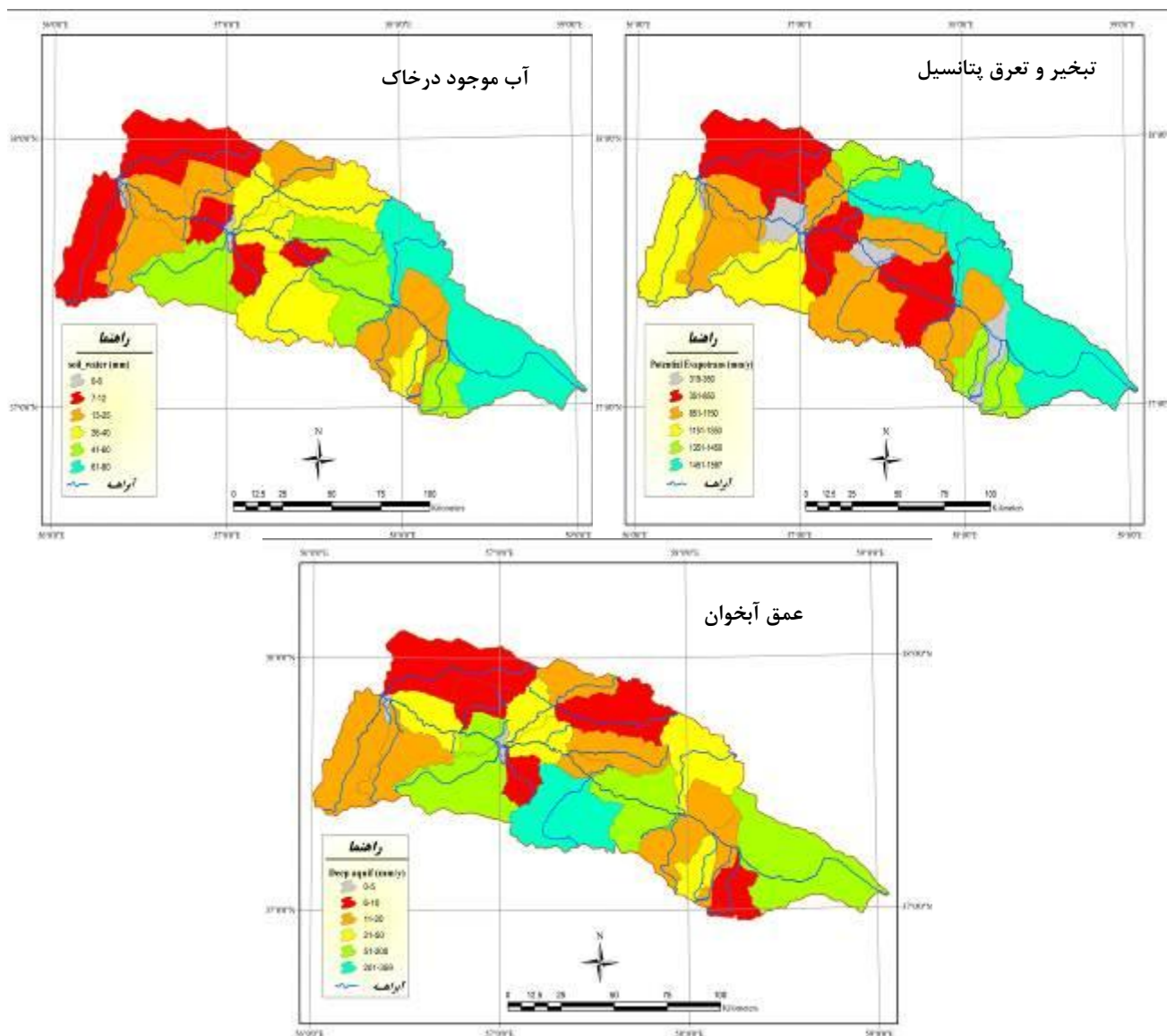


شکل ۹- مقایسه داده های رسوب ماهیانه اندازه گیری شده (نمودار آبی رنگ) و شبیه سازی شده (بازه خاکستری رنگ به صورت حاصل از صحت سنجی مدل در دوره زمانی ۱۹۷۲ تا ۱۹۷۶ برای شش ایستگاه منتخب در حوضه اترک قبل از احداث سد شیرین دره

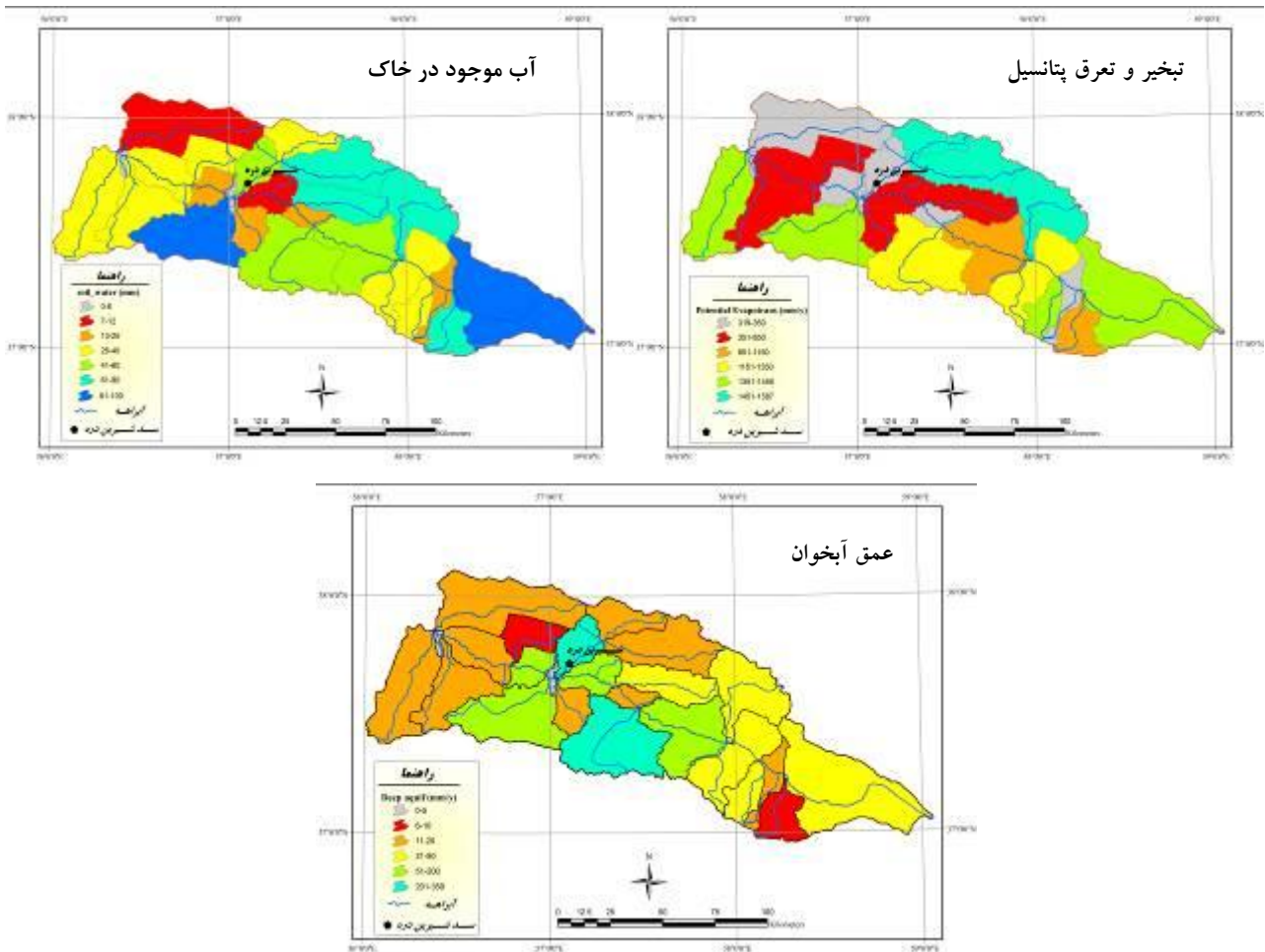
SWAT برای تخمین مؤلفه های منابع آب استفاده شد. اشکال زیر میانگین سالانه مقادیر تغذیه آبخوان عمیق را در حوضه اترک قبل (۱۹۹۱-۱۹۷۵) و بعد از احداث سد شیرین دره (۲۰۱۵-۱۹۹۲) در هر زیر حوضه نشان می دهد (اشکال ۱۰ و ۱۱).

تخمین مؤلفه های منابع آب در حوضه اترک در دو دوره زمانی قبل و بعد از احداث سد شیرین دره

به منظور بررسی مؤلفه های منابع آب از نظر توزیع مکانی (در مقیاس زیرحوضه) زمانی (در مقیاس سالانه و ماهانه در دو دوره زمانی قبل و بعد احداث سد) از نتایج واسنجی مدل



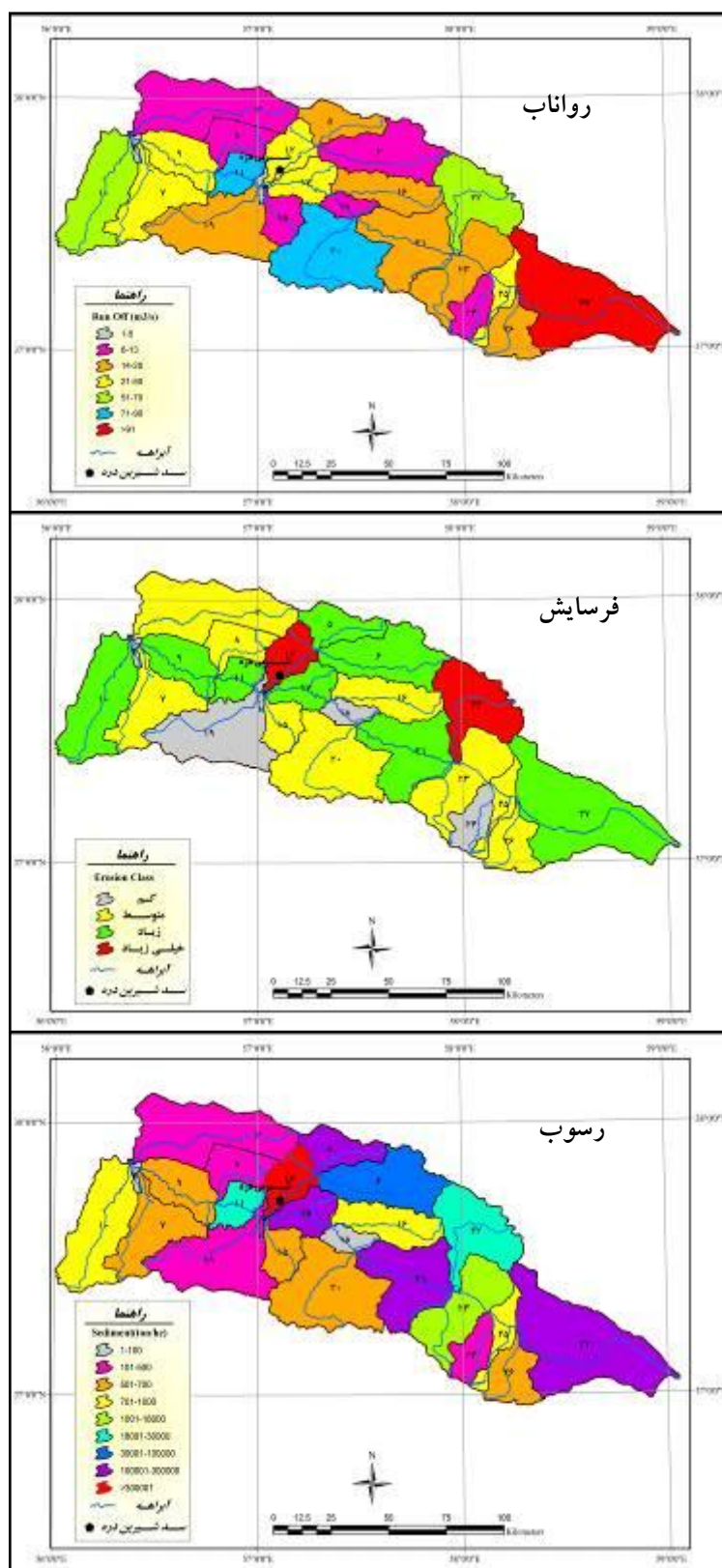
شکل ۱۰- تغییرات مؤلفه‌های منابع آب (آب موجود در خاک، تبخیر و تعرق پتانسیل و عمق آبخوان) در زیرحوضه‌های مورد مطالعه قبل از احداث سد شیرین دره



شکل ۱۱- تغییرات مؤلفه‌های منابع آب (آب موجود در خاک، تبخیر و تعرق پتانسیل و عمق آبخوان) در زیرحوضه‌های مورد مطالعه بعد از احداث سد شیرین دره

فرسایش هر یک از زیر حوضه‌ها استفاده کرده و براساس فاکتورهای مؤثر، این مدل میزان فرسایش هر یک از زیرحوضه‌ها را برآورد می‌کند. به همین منظور از خروجی‌های این مدل به منظور کلاسه‌بندی میزان فرسایش هر یک از زیرحوضه‌ها استفاده شد که در شکل زیر کلاسه‌بندی فرسایش و رسوب هر یک از زیر حوضه‌ها نشان داده شده است.

در شکل (۱۲) میزان آبدهی رودخانه در هریک از زیرحوضه‌ها نشان داده شده است. افزایش آبدهی با افزایش میزان بارندگی محاسبه شده برای هریک از زیرحوضه‌ها هماهنگی دارد و در زیرحوضه‌هایی که افزایش بارندگی داریم، افزایش آبدهی نیز مشاهده گردید. مدل SWAT به منظور برآورد رسوب حوضه از مدل RUSLE به منظور برآورد



شکل ۱۲- میزان رواناب خروجی (مترمکعب بر ثانیه)، میزان فرسایش و رسوب محاسبه شده (تن در هکتار) برای هر یک از زیر حوضه های حوضه آبخیز اترک با استفاده از مدل ARC SWAT

بحث و نتیجه گیری

نتایج حاصل از مدل SWAT، نشان داد که میزان تبخیر و تعرق پتانسیل در بخش های مرکزی و پایین دست حوضه کمتر می باشد و در بخش های بالادست و قسمت غربی حوضه حداکثر می باشد (اشکال ۱۰ و ۱۱) که می توان آن را به مسئله منابع آب قابل دسترس نسبت داد. عدم وجود منابع آب کافی در پایین دست حوضه مانع از تبخیر تعرق زیاد نسبت به بالادست حوضه می گردد. بالا بودن تبخیر و تعرق پتانسیل در بالادست با افزایش دمای حداکثر در این نقاط هماهنگی دارد. همچنین، میزان تبخیر و تعرق بالا در قسمت های غربی و سرشاخه ها می تواند به علت آبیاری زیاد در این محدوده باشد. با توجه به اشکال (۱۰) و (۱۱) در هر دو دوره زمانی همانند مؤلفه های قبلی در شرق و شمال شرق حوضه دارای بیشترین مقادیر رطوبت خاک بوده که به سمت نیمه غربی و شمالی حوضه کاهش پیدا کرده است. ذخیره آب در این زیرحوضه ها از جهت کشت محصولات دیم حائز اهمیت می باشد. در زیر حوضه هایی که مقادیر آب خاک آن ها ناچیز می باشد به ویژه در نیمه شمالی حوضه، مقادیر قابل توجه ذخیره آب در خاک می تواند در جبران بخشی از آب آبیاری و در نتیجه در افزایش کارایی مصرف آب نقش ویژه ای داشته باشد. مقدار میانگین سالانه ی تغذیه آب های زیرزمینی همانند سایر مؤلفه های آبی، این مؤلفه نیز در مناطق پر باران شرقی و جنوبی دارای مقادیر بیشتر و به سمت نیمه غربی و شمالی از مقدار آن کاسته می شود. از مقایسه مؤلفه های هیدرولوژیکی پیش بینی شده در اشکال می توان نتیجه گرفت

که به طور کلی در نیمه شرقی حوضه و جنوبی در هر دو دوره زمانی قبل و بعد از تأسیس سد، به دلیل نرخ بالای بارندگی سالانه، کلیه مؤلفه های هیدرولوژیکی بیشتر از نیمه غربی حوضه می باشد. در مطالعات برآورد رسوب با استفاده از مدل ARC SWAT مشاهده گردید که مدل به دوره های آبی و کوتاه مدت دوره حساس است. آستانه مساحت برای تعیین زیرحوضه ها نکته مهم دیگری است که بایستی در شبیه سازی رسوب در نظر گرفت. زیرحوضه بندی تأثیر بسیار کمی در پیش بینی جریان آب و تأثیر متفاوتی در رسوب و عناصر غذایی دارد. انتقال رسوب به تعداد زیرحوضه ها نیز حساس می باشد در حالی که رواناب غیر حساس می باشد. نتایج نشان داد که دو عامل فرسایش و رسوب به تعداد واحدهای پاسخ هیدرولوژی بیش از تعداد زیرحوضه ها حساس می باشد. زمانی که مدل SWAT برای آبخیزهای پر شیب به کار می رود، تأثیرات تقسیم بندی آبخیز در شبیه سازی رسوب بیشتر می شود. جریان آب حساسیت بیشتری به تعریف واحدهای پاسخ هیدرولوژی نسبت به زیرحوضه دارد. بنابراین، در مطالعه حاضر سعی شد، به کمک آزمون و خطا، حداکثر تعداد زیرحوضه، با توجه به توانایی سیستم رایانه در پردازش اطلاعات، مراحل کار انتخاب شود. نهایتاً، مقدار آستانه ۱۰۰۰ هکتار، که به تعیین ۲۷ زیرحوضه منجر شد، برای زیرحوضه بندی تعیین شد. حاصل تلفیق لایه های رقومی، ۸۲۹ واحد پاسخ هیدرولوژیکی بود که به منظور حفظ اثر کاربری های با مساحت کم هیچ آستانه مساحتی برای واحدها در نظر گرفته نشد. آنچه در این مطالعه براساس معیار ناش- ساتکلیف

صحت داده رسوب، و پیوسته نبودن اطلاعات رسوب می‌تواند بر شبیه‌سازی رسوب مؤثر باشد. بیش‌ترین میزان رسوب تولید شده مربوط به حوضه سد شیرین دره می‌باشد که به دلیل تغییرات کاربری اراضی صورت گرفته در بالادست این حوضه رسوبی معادل ۱۸۱۵۶۰۰۲۲ تن در هکتار وارد مخزن این سد شده و از عمر مفید این سد می‌کاهد و حجم مرده این سد در حال افزایش می‌باشد، که بایستی در اقدامات مدیریتی حوضه فعالیت‌های آبخیزداری و بیولوژیکی گنجانده شود.

ملاحظه شد این است که دبی بهتر از رسوب شبیه سازی شده است. با توجه به این که معیار ناش- ساتکلیف از توان دوم اختلاف مقادیر استفاده می‌کند، به مقادیر بالا حساسیت نشان می‌دهد که در رسوب اختلاف مقادیر بسیار بیشتر از دبی است. بررسی نمودارهای رسوب در سال‌های شبیه‌سازی اوج‌هایی را نشان می‌دهد که در هیچ یک از تکرارهای صورت گرفته توسط مدل شناسایی نشده است. احتمال خطا در داده این مقادیر اوج می‌تواند باعث کاهش مقدار ناش- ساتکلیف در شبیه‌سازی‌ها باشد. ضعف در شبیه- سازی رسوب، تعداد کم داده رسوب، احتمال عدم

References

1. Abbaspour, k. C., Faramarzi, M., Seyed Ghasemi, S. and Yang, H., 2009, Assessing the impact of climate change on water resources in Iran, water resources research Journal, 45 (5):34-50.
2. Abbaspour, K. C., 2009, User Manual for SWAT-CUP2, SWAT Calibration and Uncertainty Analysis Programs. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Duebendorf, Switzerland.
3. Abbaspour, K. C., Yang, J., Maximov, I., Siber, R., Bogner, K., Mieleitner, J., Zobrist, J. and Srinivasan, R., 2007, Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT, Journal of Hydrology, 333(15):413-430.
4. Abbaspour, K.C., E. Rouholahnejad, S. Vaghefi, R. Srinivasan, H. Yang, B. Kløve. 2015. A continental-scale hydrology and water quality model for Europe: Calibration and uncertainty of a high-resolution large-scale SWAT model. J. Hydrol. 524, 733-752.
5. Arnold, J.G., Srinivasan, R., Mutiah, R.S., Allen, P.M., 1999. Continental scale simulation of the hydrologic balance. J. Am. Water Resour. Assoc. 35 (5): 1037-1051.
6. 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.
7. Besalatpour, A.A., Ayoubi, Sh., Hajabbasi, M.A. and Jalalian, A. 2015. Calibration and validation of SWAT model using PSO algorithm for the simulation of runoff and sediment in a mountainous watershed with limited climate data. Journal of Soil Management and Sustainable Production, 4(4): 295-312.
8. 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. Biosyst Eng. 106: 303-314.
9. 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.
10. Faramarzi, M., Abbaspour, K.C., Vaghefi, S.A., Farzaneh, M.R., Zehnder, A.J.B., Yang, H., 2013. Modelling impacts of climate change on freshwater availability in Africa. J. Hydrol. 250: 1-14.
11. 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.
12. Gassman, P. W., Reyes, M. R., Green, C. H. and Arnold, J. G., 2007. "The soil and water assessment tool. historical development, application, and future research directions". American Society of Agricultural and Biological Engineers. 50: 1211-1250.
13. Gosain, A.K., Rao, S., Basuray, D., 2006. Climate change impact assessment on hydrology of Indian river basins. Curr. Sci. 90 (3), 346-353.
14. Haan, C. T., Jonson, H. P. and Brakensiek, D. L. 1982. Hydrologic modeling of small watersheds. American society of Agricultural Engineers, P. 532.
15. 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.
16. 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.
17. Ndomba, P.M. 2007. Modeling of erosion processes and reservoir sedimentation in the pangani river basin, upstream of NYM reservoir. Ph.D thesis, the University of Dares Salaam, Tanzania, 218p.
18. Ndomba, P., Mtalo, F., and Killingtveit, A. 2008. SWAT model application in a data scarce tropical complex catchment in Tanzania. Phys. Chem. Earth.
19. 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. J. Hydrol. 401: 145-153.
20. Rostamian, R., 2006. Estimation of Runoff and Sediment in the Behest Abad Basin in North Karoon using SWAT2000 Model, Master's degree in Soil Science, Faculty of Agriculture, Isfahan University of Technology.
21. Schuol, J., Abbaspour, K.C., Srinivasan, R., Yang, H., 2008. Modelling blue and green water availability in Africa at monthly intervals and subbasin level. Water Resour. Res. 44, W07406. <http://dx.doi.org/10.1029/2007WR006609>.

22. 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. *J. Hydrol.* 415: 413-424.
23. Thompson, J.R., Sorenson, H. R., Gavin, H. and Refsgaard. A., 2004. "Application of the coupled SHE/MIKE modelling system to a lowland wet grassland in outheast England". *Journal of Hydrology.* 293: 151-179.
24. Valinejad, F., Ghorbani, K., Zakerinia, M., Dehghani, A. A., Ababae, B. 2013. Performance assessment of SWAT model for estimating soil moisture. *Journal of Water and Sustainable development*, 1(1): 57-64.

Investigation of changes in water resources components and sediment rate of Atrak watershed before and after construction of Shirin Dareh dam using SWAT model, calibration and model uncertainty

Mahbobeh Hajibiglo¹

Abstract

The SWAT model is a conceptual and distributive model that has been developed to predict and estimate surface runoff, sediment yield, and water quality characteristics and also to predict the effect of various management measures at the basin level. Calibration and analysis of model uncertainty were performed using SUFI-2 program. P-factor, R-factor, br^2 and r^2 indices were used to evaluate the ability of SWAT model to simulate runoff and sediment before Shirin Dareh dam construction and after Shirin Dareh dam construction. The aim of this study is to evaluate the efficiency of SWAT model in estimating average daily flow and sediment concentration and calibration and validation of this model in Atrak watershed located in North Khorasan Razavi province. The results showed that the monthly runoff before shirindare dam building coefficients in calibration P-factor, R-factor, br^2 and r^2 at the outlet to the 0.73, 1.15, 0.53 and 0.56 and in validation stage 0.77, 1.3, 0.48 and 0.58 respectively. The values for calibration of sediment concentration at the outlet, respectively, 1.58, 2.15, 0.98 0.25, and 0.47 respectively at the stage of validation is 2.5, 0.32 and 0.57. The output produced by the model, Shirin dareh sub-basin to be known as the most erosion. The high annual sediment into the reservoir of the dam and the shelf life is reduced. The results showed that SWAT simulated runoff much better than sediment. The reasons for model poor for simulation of sediment load can be Flow Low simulation, few data, use sediment information Discontinuity can be mentioned.

Keywords: Shirin dare dam, sediment, algorithm sufi2, Calibration, Analysis of uncertainty

¹ PhD Student of Watershed Management, Faculty of Range land and Watershed Management, Agricultural and Natural Resources of Gorgan University.