

تحلیل حساسیت پارامترهای مدل SWAT در حوزه آبخیز چهل چای استان گلستان

حسین اکبری مجدر*، عبدالرضا بهره‌مند، علی نجفی نژاد و واحد بردی شیخ^۱

(تاریخ دریافت: ۱۳۹۰/۱۲/۱۵؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۱/۱۲/۸)

چکیده

در واسنجی مدل‌های هیدرولوژیک توزیعی، اصلاح و تغییر مکرر پارامترها یک مسئله شناخته شده و همیشگی است. بنابراین استفاده از روش‌هایی برای تحلیل حساسیت و کاهش تعداد پارامترها برای واسنجی مدل ضرورت دارد. این مقاله استفاده از یک روش تحلیل حساسیت که در آن برای هر یک از پارامترها نسبت حساسیت و همچنین نمودار ارتباط پارامتر با نتایج شبیه‌سازی ارائه می‌شود را شرح می‌دهد. در این بررسی مجموع رواناب خروجی، به همراه چهار بخش مهم بیلان آب شامل رواناب سطحی، جریان جانی، آب زیرزمینی و تبخیر و تعرق به عنوان تابع هدف انتخاب و حساسیت هر پارامتر بر آنها بررسی شده است. مدل SWAT یک مدل در مقیاس آبخیزهای رودخانه‌ای بوده و می‌توان اثر اقدامات مختلف مدیریتی بر فرآیندهای مختلف هیدرولوژیک از قبیل رواناب، فرسایش و رسوب و زه‌آب اراضی کشاورزی را شبیه‌سازی کرد. یک شاخص حساسیت نسبی برای رتبه‌بندی حساسیت پارامترها مورد استفاده قرار گرفت. بر اساس نتایج، پارامترهای فاکتور جبران تبخیر در لایه‌های خاک (ESCO)، CN، هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (SOL-K)، و چگالی توده خاک (SOL-BD) حساس‌ترین پارامترها بودند. این پارامترها در بسیاری از مطالعات صورت گرفته در سطح جهان نیز به عنوان حساس‌ترین پارامترها معرفی شده‌اند.

واژه‌های کلیدی: تحلیل حساسیت، مدل SWAT، حساسیت نسبی، آبخیز چهل چای

۱. گروه آبخیزداری، دانشکده کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
*: مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: akbary87@gmail.com

مقدمه

مدلسازی یکی از چندین مجموعه ابزار قابل استفاده برای مدیریت منابع آب می‌باشد و مدلسازی کامپیوتری در چهار دهه گذشته به طور فزاینده‌ای توسعه داده شده و مورد استفاده قرار گرفته است. دلایل اصلی این امر را می‌توان ظاهر شدن مدل‌ها و روش‌های جدید توسط مؤسسات تحقیقاتی، افزایش تقاضا برای استفاده از روش‌های نوین در تحقیقات و در نهایت افزایش فشار بر منابع آب دانست (۸). در مدل‌هایی مانند SWAT با پارامترهای ورودی زیاد، می‌توان با انجام یک مکانیزم مناسب تحلیل حساسیت، پارامترهای مهم‌تر و اثرگذارتر را شناسایی و در مرحله واسنجی مدل روی آنها تمرکز بیشتری کرد. تحلیل حساسیت برای پاسخ به این سؤال است که یک مدل چقدر به تغییر پارامترها و یا تغییر در ساختار مدل حساس است (۴).

از دهه ۱۹۹۰ استفاده از مدل SWAT رو به گسترش بوده و در این تحقیقات همواره سعی شده است قبل از انجام شبیه‌سازی، فرایند تحلیل حساسیت نیز به کار گرفته شود. از آن جمله می‌توان به تحقیقات عمانی و همکاران (۳)، فرایسن و همکاران (۵) و جها و همکاران (۶)، اشاره کرد که در بسیاری از آنها پارامترهای شماره منحنی، آب قابل دسترس خاک (Sol-awc)، ضریب تبخیر از لایه‌های خاک (ESCO)، ضریب بازگشت جریان آبراهه‌ای (Alpha-bnk)، عمق خاک و زمان تأخیر جریان سطحی (Surlag) از حساس‌ترین پارامترهای مدل معرفی شده‌اند. با تغییر منطقه مورد استفاده مدل، اهمیت اجزای مختلف آن نیز تغییر خواهد کرد. به عنوان مثال در یک منطقه سردسیر پارامترهای برف بسیار تأثیرگذار خواهند بود ولی این نتایج نمی‌تواند برای یک منطقه گرمسیر قابل استفاده باشد. لذا همچنان که نتایج تحقیقات قبلی راهنمای خوبی در استفاده از مدل هستند، ولی کارکرد پارامترهای مدل در مناطق جدید باید کاملاً شناخته شود.

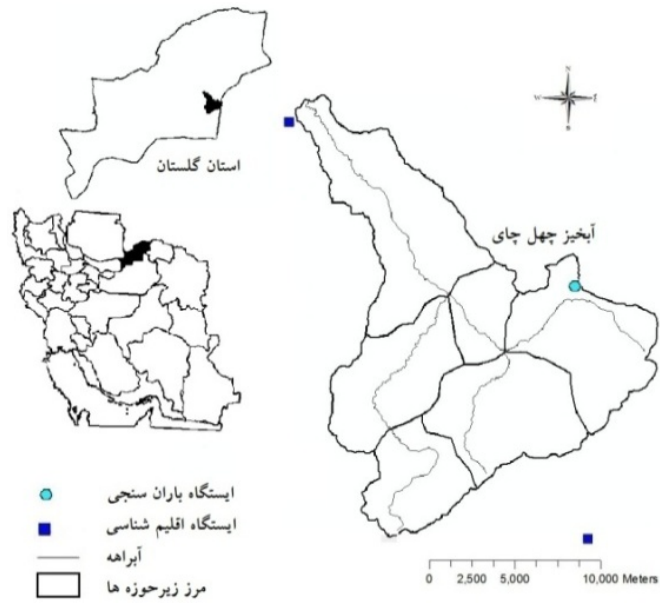
هدف اصلی در تحقیق حاضر مشخص کردن حساسیت پارامترهای ورودی مدل SWAT بر مجموع جریان خروجی

آبخیز و چهار بخش مهم از بیلان آب (رواناب سطحی، جریان جانبی، تبخیر و تعرق و آب زیرزمینی) و ترسیم نمودار نحوه تأثیر هر پارامتر بر بخش‌های یاد شده، در حوضه آبخیز چهل‌چای استان گلستان است. با توجه به نتایج این بررسی می‌توان بخش‌های مختلف هیدروگراف را دقیق‌تر شبیه‌سازی کرد.

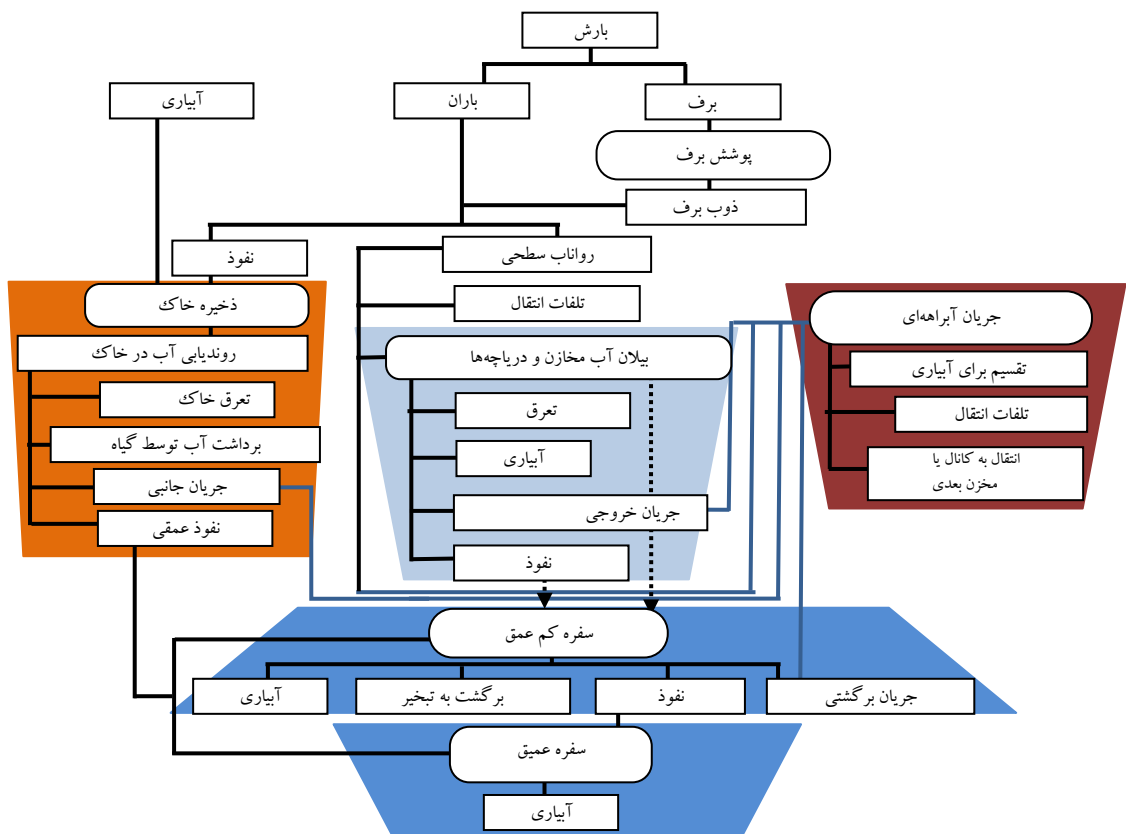
مواد و روش‌ها

حوضه آبخیز چهل‌چای با وسعتی برابر ۲۵۶۸۳ هکتار به عنوان یکی از زیرشاخه‌های گرگانرود در استان گلستان واقع شده است. حداقل و حداکثر ارتفاع منطقه به ترتیب ۱۹۰ و ۲۵۷۰ متر بوده و میانگین دبی جریان خروجی از آبخیز ۱/۷ متر مکعب بر ثانیه است. موقعیت کوهستانی آبخیز و وجود چالش‌های تغییر کاربری غیر اصولی و فرسایش خاک از دیگر خصوصیات منطقه است. موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه در شکل ۱ دیده می‌شود (۲).

مدل SWAT یک مدل هیدرولوژیک نیمه فیزیکی و نیمه توزیعی بوده و با داشتن قابلیت اجرا در محیط نرم‌افزار ArcGIS یک ابزار مناسب در مطالعات آب و خاک است که می‌تواند فرایندهای هیدرولوژیک کیفیت آب، فرسایش خاک، مدیریت مرتع و اثرات تغییر اقلیم را شبیه‌سازی کند (۱). در این مدل، کل حوضه به واحدهای پاسخ هیدرولوژیک (Hydrological Response Unit, HRU) تقسیم می‌گردد. این واحدها از ترکیب نقشه‌های خصوصیات خاک، پوشش گیاهی و طبقات شیب حاصل شده و فرایندهای هیدرولوژیک برای هر یک از آنها جداگانه شبیه‌سازی انجام می‌شود (۷). در این مدل برآورد رواناب سطحی با استفاده از یکی از روش‌های CN و یا گرین-آپت، پیش‌بینی حداکثر نرخ رواناب با روش استدلالی اصلاح شده، محاسبه تبخیر و تعرق به یکی از سه روش پنمن-مونتیث، پرستلی-تیلور و یا هارگریوز و روندیابی جریان در کانال به روش ماسکینگهم و یا روش ذخیره متغیر انجام می‌شود. مسیر حرکت آب در مدل SWAT مطابق شکل ۲ شبیه‌سازی می‌شود (۷).



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی حوزه آبخیز چهل چای



شکل ۲. مسیرهای پیش‌بینی شده برای حرکت آب در مدل SWAT (۷)

مهم‌تر انتخاب و مورد تحلیل حساسیت قرار گرفتند. این پارامترها در جدول ۱ نشان داده شده است. برای بررسی حساسیت هر پارامتر پنج بار اقدام به اجرای مدل شد که برای اینکار دامنه تغییر آن پارامتر طبق راهنمای مدل (۷)، تعیین و در پنج گام مختلف با هر بار اجرای مدل مقدار پارامتر تغییر داده شده نتایج خروجی ثبت شدند. در این بررسی، مجموع جریان خروجی آبخیز، رواناب سطحی، جریان جانبی، آب زیرزمینی و تبخیر و تعرق به عنوان تابع هدف انتخاب شده و اثر تغییر پارامترها بر آنها بررسی شد.

برای تعیین مقدار حساسیت مدل به هر یک از پارامترها از شاخص حساسیت نسبی (S_f) استفاده شد.

$$S_f = \left[\frac{(O_{p+\Delta p}) - (O_{p-\Delta p})}{O_p} \right] / \left(\frac{\Delta p}{p} \right) \quad [1]$$

در این رابطه P مقدار عددی انتخاب شده برای پارامتر مورد بررسی و O نیز مقدار تابع هدف (هر یک از پنج بخش بیان شده از خروجی مدل) می‌باشد. در واقع این شاخص نسبت تغییرات به وجود آمده در تابع هدف در نتیجه تغییرات ایجاد شده در پارامترهای ورودی را نشان می‌دهد (۵). تحقیق حاضر قسمتی از یک تحقیق جامع‌تر می‌باشد که در آن جریان رودخانه چهل‌چای شبیه‌سازی شده است و با توجه به اینکه هدف اصلی مقاله حاضر بیان روش تحلیل حساسیت و ارائه نتایج آن بوده، بنابراین فقط به منظور کسب اطلاعات بیشتر از قابلیت‌های مدل SWAT، اشاره کلی به نتایج شبیه‌سازی جریان شامل هیدروگراف ماهانه جریان در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی (شکل‌های ۸ و ۹) و دقت شاخص‌های ارزیابی در هر دو دوره (جدول ۳) صورت می‌گیرد.

نتایج

پارامترهایی که بیشترین تأثیر را بر هر یک از بخش‌های مورد بررسی از جریان داشتند در جدول ۲ نشان داده شده‌اند. نمودار تأثیر پارامترهای حساس‌تر بر اجزای مورد بررسی بیلان آب در شکل‌های ۳ تا ۷ نشان داده شده است. در این

در تحقیق حاضر داده‌های اقلیمی و هیدرولوژیک مورد نیاز از اطلاعات ثبت شده در سه ایستگاه لزوره، نراب و دوزین به دست آمد. اطلاعات دبی خروجی نیز از ایستگاه هیدرومتری لزوره واقع در خروجی آبخیز تهیه گردید. نقشه‌های توپوگرافی، خاک‌شناسی و کاربری اراضی منطقه از اداره کل منابع طبیعی استان گلستان تهیه شد. خاک منطقه عموماً لومی-رسی و ضخامت لایه‌های خاک در اکثر مناطق حدود یک متر است. گروه هیدرولوژیک خاک‌های منطقه B و C بوده و کاربری اراضی منطقه شامل ۵۳ درصد کشاورزی و ۴۷ درصد جنگل می‌باشد. نقشه‌ها در فرمت رستری و در اندازه سلول‌های ۵۰ در ۵۰ متر آماده و به مدل ارائه شد.

مراحل اجرای مدل به این صورت بود که در اولین گام، نقشه‌های شبکه آبراه‌ای و مرز زیرحوضه‌ها (شامل شش زیرحوضه) به صورت دستی ترسیم و به مدل ارائه شدند. در مرحله تعریف واحدهای HRU، حداقل مساحت برای تشکیل این واحدها ۲/۵ هکتار تعیین شد و در نتیجه تعداد ۵۶ واحد HRU به دست آمد. در ادامه، داده‌های هواشناسی شامل داده‌های بارش، دما و رطوبت نسبی به مدل ارائه شده و پس از تعیین سایر اطلاعات مورد نیاز، اقدام به اجرای مدل و استخراج نتایج شد.

برای انجام تحلیل حساسیت، روش "یک پارامتر در هر بار (OAT)" مورد استفاده قرار گرفت که متعارف‌ترین روش مورد استفاده برای این کار است و محققین مختلفی از جمله فرایسن و همکاران (۵)، جها و همکاران (۶) و وایت و همکاران (۱۰) از این روش استفاده کرده‌اند. در روش OAT در هر بار اجرای مدل با ثابت بودن سایر پارامترها، یک پارامتر در پنج گام تغییر کرده و اثر آن تغییر بر خروجی مدل، حساسیت پارامتر را مشخص می‌کند (۹).

بر اساس بررسی‌های اولیه مدل و نتایج تحقیقات پیشین از قبیل بریروا و همکاران (۴)، فرایسن و همکاران (۵)، رمجیو و همکاران (۹) و وایت و همکاران (۱۰)، از بین بیش از ۱۰۰ پارامتر ورودی مدل، تعداد ۲۲ پارامتر به عنوان پارامترهای

جدول ۱. پارامترهای انتخاب شده برای آزمون حساسیت

نام پارامتر	واحد	مشخصه پارامتر	نام پارامتر	واحد	مشخصه پارامتر
فاکتور جبران تبخیر در خاک	-	esco	حداکثر نرخ ذوب برف	°C	SmfmX
هدایت هیدرولیکی کانال	mm/hr	ch-k	حداقل نرخ ذوب برف	°C	Smfmn
هدایت هیدرولیکی اشباع	mm/hr	Sol_k	شماره منحنی روش SCS	-	CN
درصد نفوذ به سفره عمیق	-	Rchrg_dp	ثابت تخلیه کانال	روز	alpha-bnk
میانگین طول شیب هر HRU	m	Slsubb	شیب	درصد	Slope
ضریب تأخیر رواناب سطحی	-	surlag	ضخامت لایه‌های خاک	mm	Sol_z
چگالی توده خاک	g/cm ³	Sol-b.d	آب قابل دسترس خاک	mm/mm	Sol-awc
حداکثر نگهداشت تاج پوشش	mm	Canmx	زمان تأخیر جریان جانبی	روز	Lat-time
ضریب زبری برای دامنه	-	Ov-n	ثابت تخلیه آب زیرزمینی	روز	Alpha-bf
دمای بارش برف	°C	sftmp	زمان تأخیر آب زیرزمینی	روز	Gw-delay
دمای ذوب برف	°C	Snmtmp	ضریب تبخیر آب زیرزمینی	-	Gw-revap

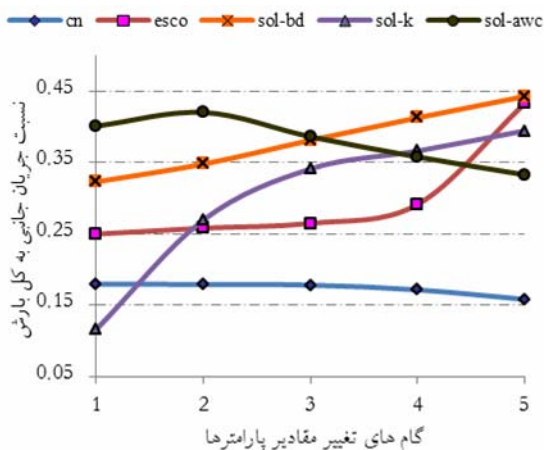
جدول ۲. ترتیب و نسبت حساسیت خروجی‌های مدل نسبت به پارامترهای ورودی

نام پارامتر	نسبت حساسیت (S_r)				
	مجموع جریان خروجی	رواناب سطحی	جریان جانبی	آب زیرزمینی	تبخیر و تعرق
فاکتور تبخیر از خاک (esco)	۰/۴	۱/۰	۰/۷	۰/۷	۱/۲
شماره منحنی (cn)	۰/۹	۱/۸	۰/۳	۰/۳	۰/۱
ظرفیت آب قابل دسترس خاک (sol-awc)	۰/۵	۰/۶	۰/۳	۰/۸	۰/۱
درصد نفوذ به سفره عمیق (rchrg_dp)	۰/۳	۰/۰	۰/۰	۱/۷	۰/۰
چگالی توده خاک (sol-bd)	۰/۴	۰/۳	۰/۴	۰/۸	۰/۳
هدایت هیدرولیکی اشباع خاک (sol_k)	۰/۶	۰/۳	۱/۰	۰/۷	۰/۱
ضخامت لایه‌های خاک (Sol_z)	۰/۳	۰/۱	۰/۱	۰/۱	۰/۱
حداکثر نگهداشت تاج پوشش (canmx)	۰/۱	۰/۰	۰/۱	۰/۱	۰/۱

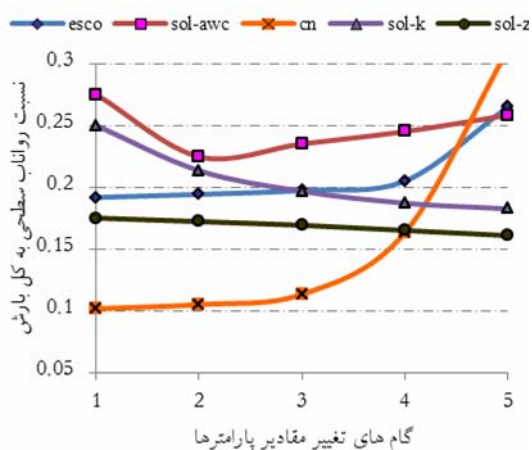
بحث

در روش استفاده شده برای تحلیل حساسیت در این تحقیق با در نظر گرفتن اثر هر یک از پارامترها بر بخش‌های مختلف بیان شده بیان آن، بهتر می‌توان عملکرد پارامترها را شناخته و اجزای مختلف سیستم را در فرایند واسنجی مدل کنترل و پارامترهای مدل را واسنجی کرد. با این روش فقط به

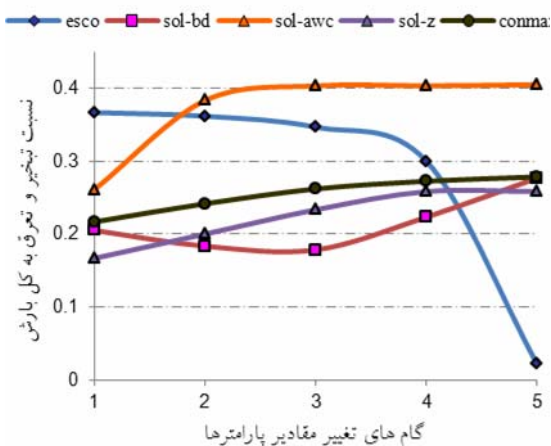
نمودارها تغییرات حجم آب اختصاص یافته به هر یک از بخش‌های مورد بررسی از بیان در اثر تغییرات پارامترهای ورودی مدل نشان داده شده است. باید توجه داشت به دلیل این‌که هنوز مدل واسنجی نشده است، مقدار آب بخش‌های مختلف را نمی‌توان با هم مقایسه کرد و فقط باید به آثار تغییر پارامتر توجه کرد.



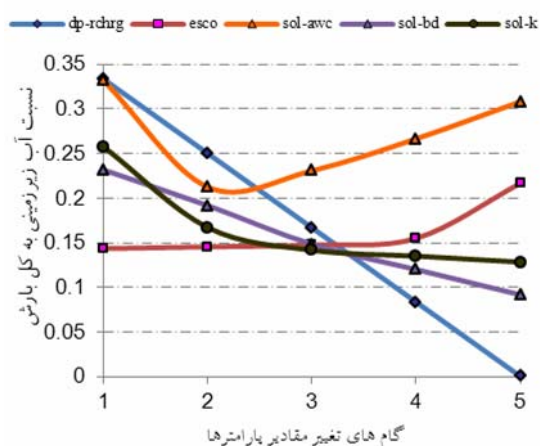
شکل ۴. نمودار تأثیر پارامترهای حساس بر جریان جانبی



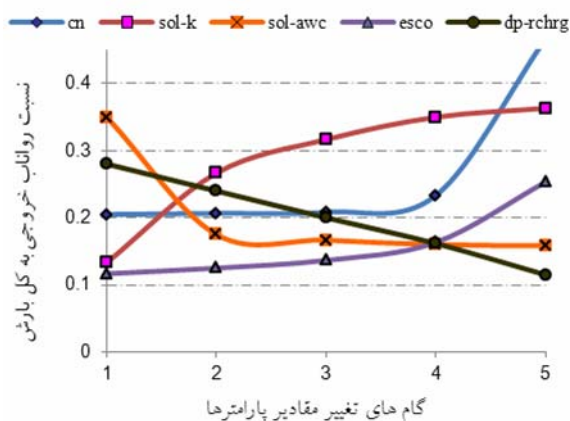
شکل ۳. نمودار تأثیر پارامترهای حساس بر رواناب سطحی



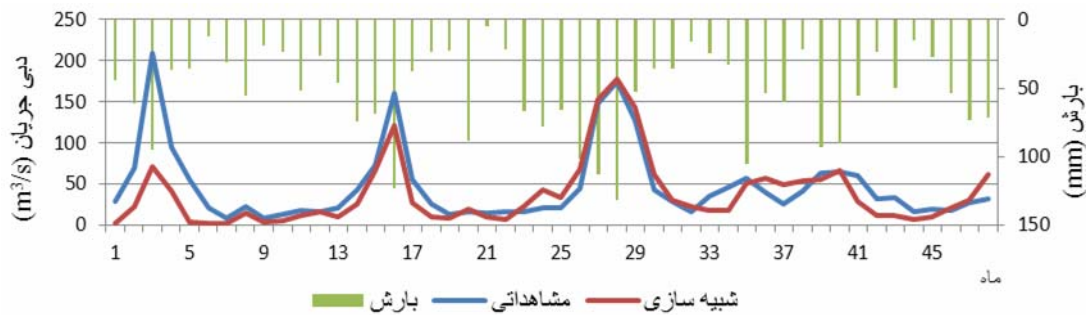
شکل ۶. نمودار تأثیر پارامترهای حساس بر تبخیر و تعرق



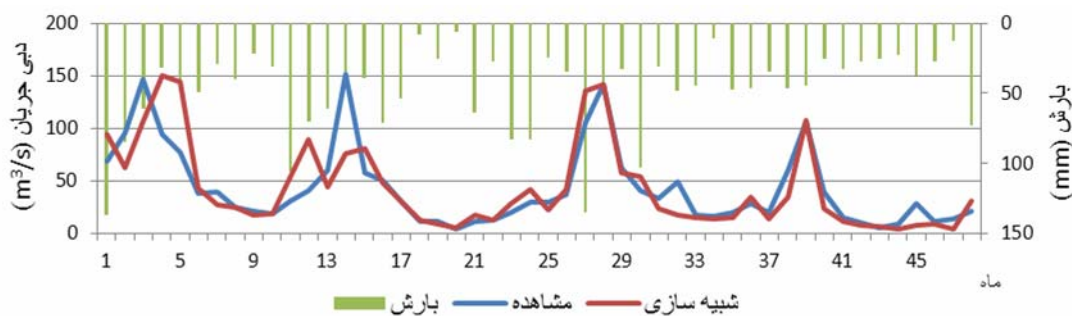
شکل ۵. نمودار تأثیر پارامترهای حساس بر آب زیرزمینی



شکل ۷. نمودار تأثیر پارامترهای حساس بر مجموع جریان خروجی



شکل ۸ هیدروگراف ماهانه شبیه‌سازی شده در دوره واسنجی



شکل ۹ هیدروگراف ماهانه شبیه‌سازی شده در دوره اعتبارسنجی

جدول ۳. نتایج شاخص‌های استفاده شده برای ارزیابی دقت شبیه‌سازی

اعتبارسنجی	واسنجی	نام شاخص
۰/۶۳	۰/۸	نش - ساتکلیف (NS)
۰/۶۹	۰/۸۵	ضریب تبیین (R^2)
۱/۴	۰/۸۶	ریشه میانگین مربعات خطا (RMSE)

که بیشترین حساسیت را در بین پارامترهای مدل دارد، ضریبی است که عمق لایه خاک مشارکت کننده در فرایند تبخیر را کنترل می‌کند. افزایش این پارامتر باعث کاهش تبخیر از لایه خاک شده و در پی آن آب باقی مانده در خاک به صورت جریان جانبی و یا نفوذ از محل خارج می‌شود. این پارامتر در همه بخش‌ها به‌طور قابل توجهی مهم بوده ولی در کنترل تبخیر و تعرق اهمیت بیشتری دارد.

پارامتر CN از طریق رواناب سطحی بیشترین تأثیر را بر جریان خروجی می‌گذارد. با افزایش مقدار این پارامتر، در یک

شبیه‌سازی دبی خروجی توجه نشده و بیلان آب را نیز می‌توان بهتر شبیه‌سازی کرد.

ترسیم نمودار تغییرات نتایج مدل در اثر تغییر پارامترها باعث می‌شود کارکرد پارامتر بصورت چشمی و ملموس‌تر درک شده و در فرایند واسنجی مدل مقدار بهینه و مورد دلخواه برای پارامتر راحت‌تر انتخاب شود. در نمودارهای ترسیم شده برای هر پارامتر شیب بیشتر منحنی نشان دهنده حساسیت بیشتر پارامتر است.

طبق نتایج به‌دست آمده از تحلیل حساسیت، پارامتر esco

این پارامتر تأثیر زیادی در مجموع جریان خروجی از آبخیز خواهد داشت. در فرایند واسنجی مدل توصیه می‌شود فقط برای کنترل آب پایه به این پارامتر توجه شود.

سومین پارامتر از خصوصیات خاک که جزو حساسترین پارامترهای مدل انتخاب شده است، چگالی توده خاک (sol-bd) می‌باشد که نمودار عملکرد این پارامتر نشان می‌دهد با افزایش این پارامتر مقدار جریان جانبی به صورت خطی افزایش و آب زیرزمینی کاهش می‌یابد. با افزایش چگالی توده خاک نسبت ماده خشک به حجم خاک افزایش یافته و امکان حرکت عمقی آب در لایه‌های خاک کاهش می‌یابد. در نتیجه از مقدار آب زیرزمینی کاسته شده و به مقدار جریان جانبی افزوده می‌شود.

پارامترهایی که در بررسی حاضر جزو مهم‌ترین پارامترها انتخاب شدند در اکثر منابع و تحقیقات مشابه نیز انتخاب شده بودند و فقط ترتیب اهمیت پارامترها متفاوت می‌باشد، ولی تشریح نحوه پاسخ بخش‌های مختلف بیلان آب به تغییرات هر یک از پارامترها در این مقاله جنبه جدید بودن داشته و برای دیگر تحقیقات در استفاده از مدل SWAT مفید و قابل استفاده خواهد بود. در مجموع نتایج تحقیق نشان می‌دهد که در مدل SWAT نقش خاک در شبیه‌سازی جریان رودخانه مهمتر از سایر بخش‌ها بوده و برای یک شبیه‌سازی موفق لازم است اطلاعات کامل خاکشناسی منطقه مورد مطالعه تهیه شده باشد و این نکته‌ای است که باعث می‌شود مدل‌سازی هیدرولوژیکی در بیشتر نقاط ایران با چالش روبه‌رو شود. چرا که اطلاعات اولیه دقیق و کامل به ندرت در دسترس می‌باشد.

روند تقریباً یکنواخت رواناب سطحی افزایش و مقدار جریان جانبی کاهش می‌یابد. بر این اساس در جریان واسنجی مدل باید این پارامتر در شبیه‌سازی حجم رواناب مورد توجه ویژه قرار گیرد ولی برای کنترل جریان پایه نمی‌تواند حائز اهمیت باشد.

پارامتر sol-awc همه بخش‌های هیدروگراف جریان را تحت تأثیر قرار داده و از نظر حساسیت نسبی جزو سه پارامتر حساس می‌باشد. با افزایش مقدار این پارامتر، گیاه می‌تواند مقدار آب بیشتری را از توده خاک جذب کند که در نتیجه آن مقدار تبخیر و تعرق افزایش و مقدار آب در توده خاک کاهش می‌یابد. بنابراین مقدار آب نفوذ یافته به لایه‌های پایینی کاهش یافته و در نتیجه مقدار آب زیرزمینی نیز کم می‌شود. تأثیر این پارامتر بر جریان جانبی را به این شکل می‌توان تفسیر کرد که با افزایش مقدار پارامتر و افزایش تبخیر و تعرق، مقدار آب در لایه زیرقشری کاهش می‌یابد. با افزایش مقدار پارامتر و رسیدن به یک حد آستانه مقدار جریان جانبی افزایش می‌یابد. دلیل این فرایند را می‌توان به این صورت بیان کرد که با افزایش ظرفیت آب قابل دسترس خاک، قدرت دانه‌های خاک برای نگهداری آب در پیرامون خود کاهش یافته و آب در بین ذرات خاک جریان می‌یابد. این پارامتر در همه بخش‌های جریان آب مهم بوده و بنابراین در مرحله واسنجی نیز حائز اهمیت هستند.

پارامتر rchrg_dp که نسبت نفوذ آب از سفره کم عمق به سفره عمیق را کنترل می‌کند، فقط بر حجم جریان آب زیرزمینی تأثیرگذار است. در مناطقی که جریان آب زیرزمینی آن بالاست،

منابع مورد استفاده

۱. اسمعیلی، ا. و خ. عبداللهی. ۱۳۸۹. *آبخیزداری و حفاظت خاک*. انتشارات دانشگاه محقق اردبیلی، اردبیل.
 ۲. رحیمی، م.، م. اونق، ع. س. ماهینی و ا. سعالدین. ۱۳۹۱. تدوین برنامه آمایش در راستای توسعه پایدار در حوضه آبخیز چهل چای. پژوهش‌های محیط زیست ۶ (۳): ۲۷-۳۶
 ۳. عمانی، ن.، م. تجربی و آ. ابریشم‌چی. ۱۳۸۵. شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل SWAT و GIS. چکیده مقالات هفتمین سمینار بین‌المللی مهندسی رودخانه. دانشگاه شهید چمران اهواز.
4. Beven, K. J. 2001. Rainfall-Runoff Modeling, The Primer. John Wiley Pub., Chichester, UK.

5. Feyereisen, G. W., T. C. Strickland, D. D. Bosch and D. G. Sullivan, 2007. Evaluation of SWAT manual calibration and input parameter sensitivity in the little river watershed. *Trans. ASABE*50(3): 843–855
6. Jha, M. K., P. W. Gassman and J. G. Arnold. 2007. Water quality modeling for the raccon river watershed using SWAT, *Trans. ASABE* 50(2): 479–493
7. Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry and J. R. Williams. 2005. Soil and Water Assessment Tool documentation, (user's manual). 494p
8. Refsgaard, J. C. 2007. Hydrological Modelling and River Basin Management, PhD. Thesis, Geological Survey of Denmark and Greenland Danish Ministry of the Environment. Denmark.
9. Remegio, B. and Jr. Confesor. 2007. Sensitivity analysis and interdependence of the SWAT model parameters. Abstract book of 3th ASABE Annual International Meeting.
10. White, K. L. and I. Chaubey. 2005. Sensitivity analysis, calibration, and validation for amultisittr and multivariable SWAT model. *J. Amer. Water Resour. Assoc.* 41(5): 1077-1089.