Archive of SID

تعیین پارامترهای بیلان آب‌های سطحی حوضه آبریز آق‌چای با استفاده از مدل SWAT و بررسی عدم قطعیت آنها با کاربرد الگوریتم SUFI-2

ساناز جوانمرد[۱]، حسام قدوسی[۲]، بهزاد حصاری[۳]

تاریخ ارسال:۱۳۹۶/۱۲/۰۱
تاریخ پذیرش:۱۳۹۷/۰۲/۲۹

مقاله برگرفته از پایان‌نامه کارشناسی ارشد

چکیده

نتایج حاصل از بیلان آب رودخانه‌ها یعنی میزان تغییرات ذخیره آب‌های سطحی می‌تواند به طور کارآمدی در تصمیم‌گیری و استفاده بهینه از این منابع آب به کار گرفته شود. یکی از مدل‌هایی که اخیراً به طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی عوامل هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز، از نظر کمی و کیفی، مورد استفاده قرار می‌گیرد مدل نیمه‌توزیعی هیدرولوژیکیSWAT می‌باشد. این مدل برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز به صورت پیوسته و در مقیاس روزانه عمل می‌نماید. در این تحقیق پارامترهای بیلان آب‌های سطحی حوضه آبریز آق‌چای با استفاده از مدلSWAT مورد بررسی قرار گرفته است. همچنین الگوریتم SUFI-2 در بسته نرم‌افزاریSWAT-CUP برای واسنجی و اعتبار سنجی دبی ماهانه رودخانه و تحلیل عدم قطعیت مدل مورد استفاده قرار گرفته است. نتایج حاصل از این تحقیق نشان داد مقدار ضریب ناش برای دوره واسنجی برابر ۰/۸۶ و در سطح خیلی خوب است و مقدارP-factor در دوره واسنجی نیز معادل ۱۷ درصد و R-factor برابر ۰/۱ می‌باشد. این مقادیر برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب برابر ۰/۵۲، ۲۹ درصد و ۰/۱۴ می‌باشند که با توجه به مقدار ضریب ناش به دست آمده در سطح رضایت‌بخش قرار دارند.

واژه‌های کلیدی: الگوریتم SUFI-2 ، بیلان آب سطحی، حوضه آق‌چای، عدم قطعیت، مدل SWAT.

[۱] - دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان، ایران. تلفن: ۰۹۳۶۷۶۶۲۳۶۷، Sanaz.javanmard_1988@yahoo.com
[۲] -استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه زنجان، ایران. تلفن: ۰۹۱۲۲۰۰۵۲۲۱، Ghodousi_he@yahoo.com ، (مسئول مکاتبه)
[۳] - استادیار گروه مهندسی آب دانشگاه ارومیه، ایران. تلفن: ۰۹۱۴۳۴۶۵۳۸۳، B.hesari@urmia.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID

مقدمه

بیلان آب در واقع بررسی میزان ورود و خروج، هدر رفت به صورت‌های مختلف و ذخیره آب از هنگام ورود به سیستم آبریز به صورت بارش، رواناب، تبخیر و تعرق و ذخیره آب در خاک و اتفاقاتی که در مورد آن رخ می‌دهد را در بر می‌گیرد.داشتن اطلاعات کافی در مورد بیلان آب از ابزارهای لازم و اساسی مدیریت اصولی حوضه آبریز است (عارف نظری و همکاران، ۱۳۸۹). از آنجایی که در عمل اخذ تصمیمات کارآمد توسط مدیران محلی آب بر اساس نتایج مطالعات بیلان آب در حوضه مزبور صورت می‌گیرد، لذا لازم است کلیه پارامترهای بیلان حوضه با دقت بالایی تعیین گردد (پاپن و تولائی‌نژاد، ۱۳۸۹). به منظور تأمین و بهره‌برداری از منابع آب در زمینه‌های مختلف مصرف، به خصوص مصارف کشاورزی، برنامه‌ریزی اصولی برای بهره‌برداری پایدار از این منابع لازم می‌باشد (محمدی-فتیده، ۱۳۸۵). دستیابی به این مهم نیز جز با تهیه بیلان دقیق آب و ارزیابی پتانسیل آن امکان‌پذیر نمی‌باشد (پاپن و تولائی‌نژاد، ۱۳۸۹). Kavvas et al. (2011) بیلان آبی حوضه آبریز دو رودخانه دجله و فرات را مورد مطالعه قرار دادند. برای این کار این حوضه آبریز به عنوان یک واحد هیدرولوژیک در نظر گرفته شد و یک برآورد علمی از منابع آبی آن به عمل آمد. لذا یک مدل هیدرولوژیکی برای تعیین مسیر جریان‌های داخل آبریز طراحی و برای مطالعه بیلان دینامیکی آب تحت سناریوهای مختلف کاربری آب در نظر گرفته شد و میزان استفاده مؤثر کشورهای ساحلی از منابع آبی این حوضه در تأمین نیاز آبی مشخص گردید. مجیدی و همکاران، (۱۳۸۹) نیز بیلان آبی سالانه حوضه نازلوچای را به روش مدل ۴ پارامتری abcd سالاس تعیین کردند. نتایج بدست آمده در این مطالعه نشان داد که عملکرد مدل فوق درشبیه‌سازی جریان خروجی از حوضه مناسب می‌باشد.

در سال‌های اخیر مدل‌های بارش-رواناب از حالت مدل‌های مفهومی و توده‌ای به سمت مدل‌های فیزیکی و نیمه توزیعی گرایش پیدا کرده‌اند. در دو دهه اخیر نیز مدل‌هایی ارائه شده‌است که ماهیت نیمه‌توزیعی داشته و در شبیه‌سازی حوضه‌های وسیع موفق بوده‌اند. یکی از مدل‌های ریاضی که اخیراً در نقاط مختلف جهان به طور گسترده‌ای برای شبیه‌سازی عوامل هیدرولوژیکی حوضه‌های آبریز، از نظر کمی و کیفی، مورد استفاده قرار گرفته است مدل نیمه‌توزیعی هیدرولوژیکی[1]SWAT می‌باشد (Winchell et al. 2017). Jain et al. (2016) تأثیر تغییرات آینده آب و هوا را با استفاده از مدل SWAT بر روی اجزای هیدرولوژیکی دو حوضه آبریز بررسی کردند. نتایج، مطابقت خوب داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده جریان روزانه، ماهانه و سالانه را نشان می‌دهد. در اعتبارسنجی داده‌های خروجی نیز مشاهده شد که مدل میزان جریان را بیشتر پیش‌بینی نموده اما با این حال نتایج برای کاربردهای آینده کاربردی می‌باشند. Strauch et al. (2015) اثر کلی داده‌های بارش را بر روی عدم قطعیت[2]شبیه‌سازی جریان رودخانه پیپیریپا[3] واقع در برزیل مرکزی با مدل SWAT بررسی کردند. نتایج نشان داد که عدم قطعیت پارامترها به طور محسوسی با روشی که برای ایجاد داده‌های بارش به کار گرفته می‌شود، تغییر می‌کند. همچنین این مطالعه نشان داد که مدل‌سازی تجمعی با ورودی‌های بارش متعدد و گوناگون می‌تواند به طور قابل ملاحظه‌ای میزان اعتماد به شبیه‌سازی را به ویژه در مناطقی که داده‌برداری ضعیف است، افزایش دهد. ریشه اصلی ناکامی در عملکرد صحیح پروژه‌ها، ناتوانی طراحان در شناخت و به کمی درآوردن متغیرهای نامطمئن حاکم بر فرآیندهای موثر در محاسبه و اجرای پروژه‌ها می‌باشد. بنابراین تجزیه و تحلیل عدم قطعیت برای هر پدیده، منظره‌ای واقعی از پارامترهای آن را نمایان می‌کند و درک درستی از عوامل تأثیرگذار بر آن پدیده را ایجاد می‌کند (گنجی و همکاران، ۱۳۸۷). در این مطالعه برای بررسی عدم قطعیت از بسته واسنجی و عدم قطعیت مدلSWAT تحت عنوان-SWAT CUP[4] استفاده شده است و آنالیز عدم قطعیت نیز با

1-1. Soil and Water Assessment Tool
2-2.Uncertainty
3-3.Pipiripau
5- 4.Calibration and Uncertainty Programs

www.SID.ir

Archive of SID

استفاده از الگوریتم SUFI-2 انجام شده است. Tang et al. (2012) برای مدل بندی حوضه رودخانه چاو[1]از الگوریتم SUFI-2 برای واسنجی و بررسی عدم قطعیت استفاده نمودند و به نتایج قابل قبولی رسیدند. Singh et al. (2012) نیز در تحقیقی به ارزیابی عملکرد و آنالیز عدم قطعیت مدلSWAT در شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز ناگوا[2] با مساحت ۹۲/۴۶ کیلومترمربع تحت عملیات کشاورزی در هندوستان پرداختند. این حوضه در منطقه نیمه شرجی، نیمه گرمسیری قرار دارد. برای بررسی عدم قطعیت خروجی‌های مدل نیز از الگوریتم SUFI-2 استفاده شد. نتایج این تحقیق نشان داد در شبیه‌سازی‌های ماهانه مطابقت خوبی بین مقادیر اندازه‌گیری شده و شبیه‌سازی شده وجود دارد.

مواد و روش‌ها

معرفی حوضه مورد مطالعه

حوضه آبریز آق‌چای به مساحت ۱۴۴۰/۸۹ کیلومترمربع بین عرض‌های شمالی ۳۸ درجه و ۴۰ دقیقه و سی و سه ثانیه تا ۳۹ درجه و سه دقیقه و ۳۰ ثانیه وطول‌های شرقی ۴۴ درجه و ۱۰ دقیقه و نه ثانیه تا۴۴ درجه و ۵۷ دقیقه و هفت ثانیه درشمال شهرستان خوی وجنوب شهرستان سیه‌چشمه در استان آذربایجان‌غربی واقع شده‌است. این حوضه از شمال به حوضه آبریز رودخانه قزل‌چای (سرشاخه رودخانه ارس) محدود بوده و از غرب به مرز ایران و ترکیه منتهی شده است. از ناحیه جنوبی نیز به حوضه آبریز رودخانه الند و از ناحیه شرقی به حوضه آبریز رودخانه قطورچای منتهی می‌گردد.کوه حاجی بیگ در مرز جنوب غربی و رشته کوه مشرف در مرز جنوبی حوضه قرار دارد. کوه هالینی از ارتفاعات شرقی مرز حوضه آبریز آق‌چای می‌باشد. کوه آغ داغ و باباگوی نیز در مرز شمال‌غربی حوضه و مشرف به مرز ایران و ترکیه می‌باشد(مهندسان مشاور آب‌اندیشان آذر، ۱۳۸۹). رودخانه آق‌چای به طول ۸۴/۳۳ کیلومتر، مهمترین زهکش این حوضه آبریز بوده و سد مخزنی آق‌چای در خروجی آن قرار گرفته‌است. این رودخانه یک رودخانه دائمی و از سرشاخه‌های رودخانه قطورچای می‌باشد. این منطقه از نظر تقسیم‌بندی هیدرولوژیکی از زیرحوضه‌های حوضه آبریز اصلی دریای خزر می‌باشد (پیرنیا، ۱۳۹۲). شکل (۱) موقعیت حوضه آبریز آق‌چای در استان آذربایجان غربی را نشان می‌دهد.

شکل (۱): موقعیت حوضه آبریز آق‌چای در استان آذربایجان غربی

معرفی مدل SWAT

مدل SWAT یک مدل جامع و کامل در مقیاس حوضه آبریز می‌باشد. این مدل برای پیش‌بینی اثر روش‌های مدیریتی مختلف بر جریان، رسوب، عناصر غذایی و تعادل مواد شیمیایی در حوضه‌های آبریز بزرگ و پیچیده با کاربری‌ها و شرایط مدیریتی متفاوت در دوره‌های زمانی طولانی مدت تهیه و ارائه گردیده است.

از زمان توسعه این مدل در سال۱۹۹۰، مدل به طور پیوسته مورد تغییر و بازنگری قرار گرفت و قابلیت‌های آن بهبود یافت (Gassman et al. 2007). در این مدل ناهماهنگی‌های مکانی منطقه، با تقسیم حوضه به زیرحوضه‌ها و تعدادی واحدهای کوچکتر که همان

6- 5.Chao
7- 6.Nagowa

www.SID.ir

Archive of SID

واحدهای واکنش هیدرولوژیک یا HRU1 نامیده می‌شوند طوری در نظر گرفته می‌شوند که تا حد امکان از نظر شرایط هیدرولوژیکی مانند میزان متوسط بارش، سطح، شیب و ارتفاع حوضه مشابه باشند. اجزای بیلان آب در سطح این واحدها محاسبه و سپس برای زیرحوضه‌ها میانگین‌گیری وزنی می‌شود. به‌منظور ورود اطلاعات به مدل SWAT ابتدا باید پردازش اولیه‌ای بر اطلاعات صورت گیرد که این کار در نرم‌افزار ArcGIS انجام می‌شود (شفیعی و همکاران، ۱۳۸۹). تقسیم حوضه آبریز به اجزای کوچک‌تر این امکان را فراهم می‌سازد که تغییرات وتفاوت‌ها در میزان تبخیر و تعرق برای هر خاک و هر گیاه مشخص و قابل انعکاس باشد. از سوی دیگر مقدار رواناب ابتدا برای هر واحد پاسخ هیدرولوژیک به صورت جداگانه محاسبه و سپس میزان رواناب برای کل حوضه تعیین می‌گردد. این کار موجب می‌شود تا شناخت بهتری از فرایندهای فیزیکی اتفاق افتاده در حوضه آبریز بدست آید. در یک حوضه آبریز، آب و هوا تأمین کننده رطوبت و انرژی برای تعادل آبی در سیستم است و اهمیت اجزای مختلف چرخه هیدرولوژی را تعیین می‌نماید. متغیرهای اقلیمی مورد نیاز برای اجرای مدلSWAT عبارتند از، بارش روزانه، درجه حرارت کمینه و بیشینه روزانه هوا، تابش خورشیدی، سرعت باد و رطوبت نسبی. این متغیرها که به‌عنوان داده‌های ورودی مدل می‌باشند، یا توسط مقادیر مشاهده‌ای ثبت شده به مدل وارد می‌شوند و یا توسط خود مدل طی شبیه‌سازی تولید می‌شوند.

مراحل انجام شبیه‌سازی

به منظور انجام شبیه‌سازی بیلان آب‌های سطحی حوضه آبریز آق‌چای ابتدا آمار، اطلاعات و نقشه‌های توپوگرافی، خاک و کاربری اراضی حوضه تهیه گردید. سپس مدل رقومی ارتفاع یا نقشه[۲]DEM حوضه در محیط نرم‌افزارArcGIS10 تهیه شد. مدل از نقشه DEM منطقه برای انجام محاسبات توپوگرافیک تمام زیر حوضه‌ها و شاخه‌ها استفاده می‌کند. سپس با توجه به نقشه‌های تهیه شده هفت نوع کاربری مختلف برای حوضه تعیین و به مدل معرفی گردید. در این مدل هر نوع کاربری با یک مقدار ویژه یا Value مشخص می‌شود به‌طوری‌که هر یک از مقادیر ویژه به یک نوع کاربری اشاره دارد. سپس با تطبیق هر کدام از مقادیر ویژه با شرایط و خصوصیات انواع کاربری که در مدل بیان شده است، یکی از انواع کاربری‌های معادل که با شرایط موجود همخوان باشد برای آن در نظر گرفته شد و پس از آن هر کاربری معادل با یک کد چهار حرفی که برای مدل قابل فهم است، جایگزین گردید. در جدول (۱) مقادیر ویژه، کاربری‌های معادل و کدهای چهار حرفی متناسب آن ارائه گردیده‌است.

جدول (۱): کاربری‌های معادل مقادیر ویژه در مدل SWAT

مقدار ویژه	نوع کاربری	کاربری معادل	کد چهار حرفی
۱	مرتع	Pasture	PAST
۲	کشت دیم	Winter Wheat	AGRC
۳	اراضی بایر	Range-Brush	RNGB
۴	مرتع تنک	Winter Pasture	WPAS
۵	باغستان	Orchard	ORCD
۶	کشت آبی	Spring Wheat	SWHT
۷	صخره	Pinto Beans	PTBN

به منظور تهیه نقشه خاک حوضه مورد مطالعه، دو نقشه اجزای واحدهای اراضی و گروه‌های هیدرولوژیکی که توسط سازمان جنگل‌ها، مراتع و آبخیزداری کشور تهیه گردیده‌است با یکدیگر تلفیق گردید. در نقشه اجزای واحدهای اراضی، منطقه به ۳۱ جزء و در نقشه گروه‌های هیدرولوژیک، حوضه به سه گروه تقسیم گردید. سپس با تلفیق اطلاعات این دو نقشه در محیط GIS، نقشه‌ای تهیه شد که به ۱۵ بخش تقسیم می‌شود سپس با استفاده از این اطلاعات و اطلاعاتی که در مورد لایه‌بندی خاک و بافت هر لایه در اختیار بود خاک معادل کل حوضه در نظر گرفته‌شد. در مدل SWAT هر نوع خاک نیز با یک مقدار ویژه یا Valueمشخص می‌شود که هر یک از مقادیر ویژه به یک نوع تقسیم‌بندی خاک اشاره دارد. برای هر کدام از انواع خاک نیز با استفاده از توضیحات پایگاه داده مدل،

1Hydrologic Response Units
1- Digital Elevation Model

www.SID.ir

Archive of SID

عنوان معادلی در نظر گرفته شده‌است. در جدول (۲) خاک معادل در نظر گرفته‌شده در مدل به ازای هرمقدار ویژه ارائه گردیده‌است. در حوضه مورد مطالعه برای تقسیمات شیب‌بندی سه کلاس مختلف در نظر گرفته‌شد به‌طوری‌که کلاس اول در فاصله صفر تا عدد میانه شیب کلی حوضه، کلاس دوم در فاصله میانه تا میانگین شیب حوضه و کلاس سوم در فاصله میانگین تا مقدار ۹۹۹۹ که حداکثر مقدار شیب قابل قبول در مدل می‌باشد در نظر گرفته‌شد.

جدول (۲): خاک معادل به ازای هر مقدار ویژه

مقدار ویژه	خاک معادل	گروه خاک	بافت خاک سطحی	اجزای واحد اراضی
۰	LOVEWELL	B	لوم شنی	CL.1.1-AL.1.1
۱	CANNAN	C	لوم	H.3.1
۲	HARTLAND	B	لوم شنی	H.2.4 H.2.5
۳	ENOSBURG	C	شن لومی	H.2.3
۴	ROCK OUTCROP	D	برونزد سنگی	M.6.1
۵	HUDSON	C	لوم رسی شنی	M.4.1
۶	PALATINE	B	لوم سیلتی	M.3.2
۷	TACONIC	C	لوم رسی	M.3.1
۸	SALMON	B	لوم شنی	M.2.2 H.1.1 H.2.2 P.1.1
۹	ELMWOOD	C	لوم شنی	M.1.6 M.1.7
۱۰	FARMINGTON	C	لومی	M.1.4 M.1.5
۱۱	AQUENTS	D	لومی	M.1.3
۱۲	WHATELY	D	لوم شنی	M.1.2 M.1.8 M.2.1 M.2.3
۱۳	SWANTON	C	لوم شنی	M.1.1 M.2.4 M.2.5 H.2.1 T.1.1
۱۴	NELLIS	B	لومی	T.1.2 T.2.1 T.3.1

بعد از بررسی‌ها دو ایستگاه قرول علیا و سفلی از ایستگاه‌های تبخیرسنجی سازمان آب و سه ایستگاه کردکندی، زورآباد و گردیک علیا از ایستگاه‌های باران‌سنجی سازمان هواشناسی در حوضه مورد مطالعه انتخاب شدند. با توجه به این‌که برای اجرای مدل نیاز به آمار بارش، دبی و دمای بیشینه و کمینه روزانه هر ایستگاه در یک دوره آماری مشترک بود، بعد از انجام بررسی‌ها مشخص شد که از بین این ایستگاه‌ها فقط ایستگاه قرول علیا دارای آمار مورد نیاز می‌باشد. لذا داده‌های روزانه موجود این ایستگاه معادل ۱۸۲۶ روز در شبیه‌سازی‌ها استفاده گردید. برای اجرای مدل پس از وارد نمودن همه آمار و اطلاعات شبیه‌سازی، سال ۲۰۰۳ برای دوره شروع به کار[1]مدل، سال‌های ۲۰۰۴ و ۲۰۰۵ برای دوره واسنجی و سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷ جهت دوره اعتبارسنجی نتایج مدل در نظر گرفته‌شد. ابتدا مدل یک‌بار برای دوره واسنجی و یک‌بار نیز برای دوره اعتبارسنجی اجرا و نتایج هر یک به‌طور جداگانه ذخیره شد. در این مطالعه برای رفع ایرادات پنهان مدلSWAT از برنامه SWAT Error Checker1.1.9 استفاده شده‌است. این برنامه از خروجی‌های مدلSWAT استفاده می‌کند تا ایرادات مدل طی فرآیند شبیه‌سازی را مشخص نماید و در نهایت مقادیر پارامترهای بیلان آب حوضه را مشخص کند. در جدول (۳) مقادیر پارامترهای بیلان آب‌های سطحی حوضه آبریز مورد مطالعه پس از شبیه‌سازی ارائه گردیده است.

جدول (۳): مقادیر پارامترهای بیلان کلی حوضه آق-چای

نام پارامتر	مقدار(میلی‌متر)
تبخیر تعرق پتانسیل	۹۴۳/۲
تبخیر و تعرق	۲۹۲/۶
بارش	۳۵۸/۳
متوسط شماره منحنی	۸۱/۷
رواناب سطحی	۶/۲۵
جریان جانبی	۵۵/۷۸
نفوذ سطحی	۱/۸
جریان برگشتی	۱/۴۳
جریان برگشتی آبخوان کم عمق	۰/۲۸
تخلیه به آبخوان عمیق	۰/۰۹

همانطور که در جدول (۳) نیز مشاهده می‌شود میزان رواناب سطحی حوضه برابر ۶/۲۵ میلی‌متر، میزان بارش ۳۵۸/۳ میلی‌متر، میزان نفوذ سطحی برابر ۱/۸ میلی‌متر و میزان تخلیه و جریان برگشتی به آبخوان نیز به‌ترتیب

1. Warm up

www.SID.ir

Archive of SID

برابر ۰/۰۹ و ۰/۲۸ میلی‌متر در مدل محاسبه گردیده است.

بررسی عدم قطعیت

SWAT-CUP برنامه‌ای برای واسنجی مدل SWAT است. این برنامه روش‌هایی مانند SUFI-2، PSO، GLUE، Parasol و MCMC را به مدل SWAT ارتباط می‌دهد که قادرند آنالیز حساسیت[1]، واسنجی[2]، اعتبارسنجی[3] و آنالیز عدم قطعیت مدل SWAT را انجام دهند. تاکنون از برنامه SWAT-CUP نسخه‌های متفاوتی چون نسخه 3.1.1، 4.3.7، 5.1.4 و 5.1.6 ارائه شده‌است (Abbaspour, 2014) . در این تحقیق از روش SUFI-2 برای بررسی عدم قطعیت پارامترهای مورد مطالعه استفاده گردید. الگوریتم SUFI-2 یک روش آماری است که واسنجی و عدم قطعیت را ترکیب کرده و پارامترهای عدم قطعیت را به نحوی تعیین می‌نماید که اکثر داده‌های اندازه‌گیری شده در ناحیه عدم قطعیت تخمین قرار گیرند. در این برنامه فرض می‌شود که هر پارامتر ناشناخته به طور یکنواخت در یک دامنه با عدم قطعیت معین توزیع شده است. حد بالا و پایین این دامنه را می‌توان بر اساس تجربیات، آزمایش‌ها و یا اندازه‌گیری‌های انجام شده در مطالعات قبلی و منابع علمی انتخاب نمود. عدم قطعیت خروجی مدل به وسیله تخمین عدم قطعیت[4] ۹۵ درصد که در سطح ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد تابع توزیع متغیر خروجی و با یک روش نمونه‌برداری لاتین هایپرکیوب[5]از دامنه مذکور نمونه‌برداری می‌شود، محاسبه می‌گردد. چون در برنامه SUFI-2 یک دامنه بزرگ عدم قطعیت برای هر پارامتر فرض می‌شود در ابتدا داده‌های اندازه‌گیری شده در سطح تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد قرار می‌گیرند و سپس این عدم قطعیت در گام‌های متوالی کاهش یافته تا اکثر داده‌های مشاهده‌ای نیز در این سطح از تخمین عدم قطعیت واقع شوند (P-factor) و فاصله متوسط بین حد بالا و حد پایین تا حد ممکن کوچک شود(R-factor).

برای بررسی عدم قطعیت پارامتر دبی که با عنوان FLOW_OUT در خروجی مدل SWAT مشخص شده است این پارامتر به همراه ده پارامتر دیگر شامل شماره منحنی، متوسط آب قابل استفاده، هدایت هیدرولیکی خاک اشباع و...به برنامه SWAT-CUP معرفی شدند و مرحله واسنجی مدل انجام گرفت. نتایج شبیه‌سازی پارامترها در مرحله واسنجی در جدول (۴) ارائه گردیده است.

جدول (۴): شرایط شبیه‌سازی پارامتر دبی در مرحله واسنجی

تعداد شبیه-سازی	تعداد پارامتر	تعداد متغیر	شروع دوره	پایان دوره	تابع هدف	حداقل مقدار تابع هدف
۵۰۰	۱	۲۴	۲۰۰۴	۲۰۰۵	NS	۰/۴

با توجه به جدول فوق مشاهده می‌شود که برای بهینه‌یابی پارامتر دبی، تعداد ۲۴ متغیر معادل تعداد ماه‌های دوره شبیه‌سازی وجود دارد. همچنین در این تحقیق برای حداقل سازی مقدار تابع هدف که همان ضریب ناش-ساتکلیف(NS) می‌باشد به تعداد ۵۰۰ تکرار شبیه‌سازی انجام گرفته است. شرط توقف شبیه-سازی‌ها نیز بدین صورت بوده است که هرگاه بعد از چند تکرار در اجرای شبیه‌سازی بهبودی در مقدار تابع هدف مشاهده نشد نتایج به دست آمده در آخرین تکرار به عنوان نتایج نهایی ارائه می‌گردید. این فرآیند درنهایت برای همه پارامترهای مؤثر در بیلان آب‌های سطحی حوضه آبریز آق‌چای انجام گرفت و برای هر پارامتر بازه بهینه تعیین گردید که نتایج آن در جدول (۵) ارائه شده است. از این نتایج در قسمت اعتبارسنجی داده‌ها استفاده شده است. در جدول (۵) حروف V و R در ابتدای نام پارامترها معرف کدهایی هستند که نوع تغییرات را در طول شبیه‌سازی برای پارامترهای به کار برده شده تعیین می‌نمایند. حرف V بدین معنی است که مقدار پارامتر با مقدار جدید پارامتر جایگزین شود و حرف R در ابتدای نام پارامتر

2. Sensitivity analysis
3. Calibration
4. Validation
4Percent prediction uncertainty
6- Latin hypercube Sampling

www.SID.ir

Archive of SID

این معنی را می‌دهد که مقدار پارامتر جدید برابر است با حاصل ضرب مقدار داده شده قبلی ضرب-در مقدار داده‌شده به علاوه یک.

جدول (۵): مقادیر بهینه شده پارامترهای مختلف در برنامه SWAT-CUP

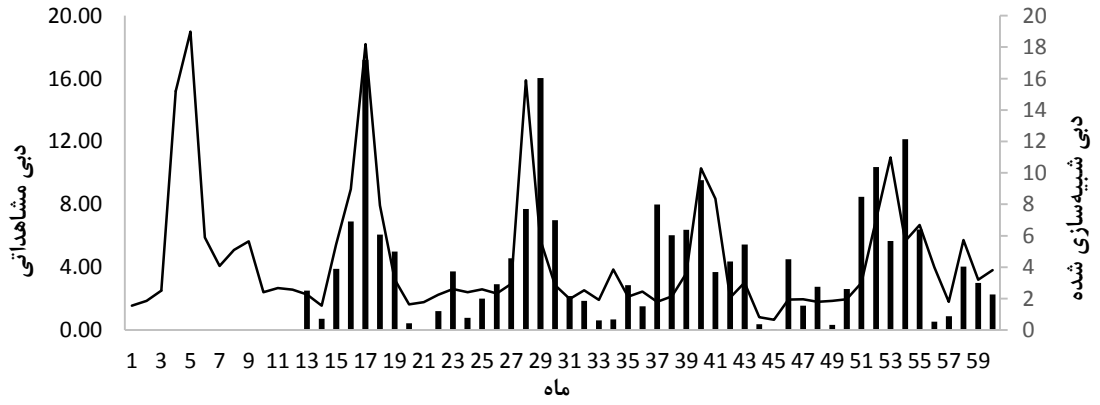
ردیف	نام پارامتر	توضیحات	حد پایین	حد بالا
۱	R__CN2	شماره منحنی	۰/۱۵	۰/۱۵۳
۲	R__SOL_AWC	متوسط آب قابل استفاده	-۰/۰۴	۰/۰۲
۳	R__SOL_K	هدایت هیدرولیکی خاک اشباع	۰/۴۱	۰/۵۹
۴	R__SOL_BD	جرم مخصوص ظاهری خاک	-۰/۰۸	۰/۰۰۹
۵	V__REVAPMN	عمق آستانه آب در آبخوان کم عمق برای نفوذ به آبخوان عمیق	۱۴۹/۸۲	۱۶۳/۳۱
۶	R__HRU_SLP	متوسط تندی شیب	۱/۰۵	۱/۲۴
۷	V__CH_N2	ضریب مانینگ برای جریان در کانال اصلی	۰/۱۹	۰/۲۱
۸	V__ALPHA_BNK	فاکتور آلفای جریان پایه برای ذخیره انباشتی	۱/۱۶	۱/۲۱
۹	V__ALPHA_BF	ثابت کاهش جریان پایه	۰/۲۹	۰/۳۷
۱۰	V__GW_DELAY	زمان تأخیر برای تغذیه آبخوان	۳۶۷/۳۶	۳۹۳/۹۲

بعد از اینکه مقادیر بهینه‌شده در مرحله واسنجی به دست آمد برنامه SWAT-CUP بار دیگر با در نظر گرفتن شرایط اشاره شده در جدول (۳)، برای دوره اعتبارسنجی یعنی سال‌های ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷، اجرا گردید. در جدول (۶) نتاج به‌دست آمده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی ارائه گردیده است.

جدول (۶): خلاصه نتایج به دست‌آمده در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی

دوره	بهترین شبیه‌سازی	P-factor	R-factor	R2	NS	PBIAS	RSR
واسنجی	۲۵۶	۰/۱۷	۰/۱	۰/۸۷	۰/۸۶	۷/۳	۰/۳۷
اعتبارسنجی	۱۹۲	۰/۲۹	۰/۲۴	۰/۷۱	۰/۵۲	-۱۶/۱	۰/۶۹

در شکل (۲) نیز به‌ترتیب از سمت چپ مقادیر دبی مشاهداتی در دوره راه اندازی (سال ۲۰۰۳) و دوره واسنجی و اعتبارسنجی با نمودار خطی نشان داده شده است و همچنین مقادیر دبی شبیه‌سازی شده در دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی نیز با استفاده از نمودار میله‌ای نشان داده شده است .



شکل (۲): مقادیر دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

www.SID.ir

Archive of SID

همان طور که در شکل (۲) نیز مشاهده می‌شود مقادیر شبیه‌سازی شده دبی با استفاده از پارامترهای بهینه به‌دست آمده، در دوره واسنجی تا حد زیادی با مقادیر دبی مشاهداتی تطابق دارد ولی این تطابق در دوره اعتبارسنجی کمتر شده‌است

نتیجه‌گیری

نتایج شبیه‌سازی دبی در ایستگاه قرول علیا نشان می‌دهد که مقادیر R-factor وP-factor برای دوره واسنجی به ترتیب برابر ۰/۱ و ۱۷ درصد می‌باشند. مقدار به دست آمده برای ضریب ناش-ساتکلیف(NS) نیز در دوره واسنجی برابر ۰/۸۶ می‌باشد که این مطلب بیانگر آن است که واسنجی مدل در ایستگاه قرول علیا از دقت بسیار خوبی برخوردار است. این نتایج برای دوره اعتبارسنجی به ترتیب برای R-factor و-P factor برابر ۰/۲۴ و ۲۹ درصد و برای ضریب ناش برابر ۰/۵۲ به دست آمده‌است. پایین بودن مقادیر R-factor وP-factor به ترتیب بیانگر واسنجی خوب و عدم قطعیت زیاد در پیش‌بینی‌ها می‌باشد که میزان بالای عدم قطعیت می‌تواند نشأت گرفته از ساده‌سازی‌ها در مدل‌سازی و یا عدم اطمینان و خطا در داده‌های ورودی و عدم پوشش مکانی داده‌ها باشد. در نهایت می‌توان چنین بیان کرد که با کاربرد مدل نیمه توزیعی SWATمی‌توان با کمترین اطلاعات ورودی شامل پارامترهای اقلیمی، نوع خاک، کاربری اراضی، شیب و همچنین اطلاعات دبی ثبت شده در ایستگاه هیدرومتری، بیشترین اطلاعات هیدرولیکی و بیلان آب حوضه را تعیین نمود بطوریکه اندازه گیری و به دست آوردن این اطلاعات در عمل بسیار مشکل و با هزینه زیادی قابل انجام است.

پیشنهادات

به‌منظور انجام ادامه مطالعات پیشنهاد می‌گردد بیلان آب‌های زیرزمینی منطقه مورد مطالعه، سایر پارامترهای بیلان آب سطحی و دیگر الگوریتم‌های بررسی عدم قطعیت مورد بررسی و مطالعه قرار گیرد.

.

تقدیر و تشکر

نویسندگان بر خود لازم می‌دانند از شرکت آب منطقه ای استان آذربایجان غربی که داده های این تحقیق را فراهم نموده اند قدردانی نمایند

منابع

پاپن، پ. و م. تولائی‌نژاد. ۱۳۸۹. محاسبه بیلان آب زیرزمینی در دشت دوسلق استان خوزستان. نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۲۱ الی ۲۳ اردیبهشت، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ص ۱۰-۱.

پیرنیا، و. ۱۳۹۲. مدل هیدرولوژی برای حوضه آق‌چای با استفاده از WEAP. پایان‌نامه کارشناسی ارشد. دانشگاه ارومیه.

شفیعی، م.، ح. انصاری و ک. داوری. ۱۳۸۹. مدل‌سازی هیدرولوژیکی حوضه آبریز با استفاده از ArcSWAT. همایش ملی ژئوماتیک. سازمان نقشه‌برداری کشور، ۱۹ الی ۲۰ اردیبهشت، ص ۲۵-۱۸.

عارف نظری، م.، م. حبیب‌نژاد و م. شاهدی. ۱۳۸۹. محاسبه و بررسی بیلان آبی ماهانه به روش تورنت وایت مطالعه موردی:حوضه‌ی تالار، استان مازندران. اولین همایش ملی مدیریت منابع آب اراضی ساحلی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۱۷ الی ۱۸ آذر، ۵۶-۴۸.

گزارش فیزیوگرافی و توپوگرافی. مهندسین مشاور آب‌اندیشان آذر. ۱۳۸۹.

گنجی نوروزی، ز.، ج. سامانی و س. مرید. ۱۳۸۷. بررسی عدم قطعیت حجم رسوب مخازن سدها. مجله‌ی تحقیقات منابع آب ایران، جلد ۴، شماره ۱، ۸-۱.

www.SID.ir

Archive of SID

مجیدی، ص.، ب. حصاری و م. ت. اعلمی. ۱۳۸۹. مدل‌بندی بیلان آبی سالانه‌ی حوضه‌ی نازلوچای به روش مدل ۴ پارامتری abcd سالاس. نخستین کنفرانس ملی پژوهش‌های کاربردی منابع آب ایران، ۲۱ الی ۲۳ اردیبهشت، دانشگاه صنعتی کرمانشاه، ص ۱۰-۱.

محمدی فتیده، م. ۱۳۸۵. مطالعه مولفه‌های آب به‌ویژه رواناب در مناطق شرقی، غربی و مرکزی استان گیلان. همایش ملی مدیریت شبکه‌های آبیاری و زهکشی، دانشگاه شهید چمران، دانشکده مهندسی علوم آب. اهواز. ایران.

Abbaspour, K. 2014. SWAT-CUP 2012: SWAT calibration and uncertainty programs user manual. Eawag, Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Swiss.

Gassman, Ph., M. Reyes, C. Green and J. Arnold. 2007. The soil and Water Assessment Tool: Historical Development. Applications and Future Research Directions.

Jain, V., R. Rudra, I. Ahmed, R. Hu and B. Gharabaghi. 2016. Effect of future climate change on hydrologic components for two watersheds using SWAT. New Delhi.

Kavvas, M.L., Z.Q. Chen, M.L. Anderson, N. Ohara, J.Y. Toon and Fu. Xiang. 2011. A study of water balances over the Tigris-Euphrates watershed. Physics and Chemistry of the Earth. 197-203.

Singh , A., M. Imtyaz, R.K. Issac and D.M. Denis. 2012. Comparison of soil and water assessment tool (SWAT) multilayer perceptron (MLP) artificial neural network for predicting sediment yield in the Nagwa agricultural watershed in Jharkhand, India. Agriculture Water Management. 113-120.

Strauch, M., Ch. Bernhofer, Koide, S., M. Volk, C. Lorz and F. Makeschin. 2015. Using precipitation data ensemble for uncertainty analysis in SWAT streamflow simulation. Journal of Hydrology, 413-424.

Tang, F.F., H.S. Xu and Z.X. Xu. 2012. Model calibration and uncertainty analysis for runoff in the Chao River Basin using sequential uncertainty fitting. Procedia environment Sciences. 1760-1770.

Winchell, M., R. Srinivasan, M. Di Luzio and J. Arnold. 2017. ArcSWAT Interface for SWAT 2012 user’s guide. BlackLand Research and Extension Center. Texas. Grassland. Soil and Water Research Laboratory. USDA Agricultural Research Service, Texas.

www.SID.ir

Archive of SID

Determination of the Surface water Balance Parameters in Ag Chai Basin Using SWAT Model and Uncertainty Analysis with SUFI-2 Algorithm

S. Javanmard[1] ,H. Ghodousi[2], B. Hesari[3]

Abstract

Water balance analysis is the base of streams management. Because the results like changes in surface water reserve can be used efficiently in decisions and water resources optimum usage. One of the models that is used widely to simulate catchment hydrological ingredients, around the world recently quantitatively and qualitatively, is SWAT hydrological model. This model operates continuously on a daily scale. In this study, surface water balance parameters were evaluated using the SWAT model over the Agh Chai basin. The algorithm SUFI-2 by the SWAT-CUP software package for calibration and validation based on monthly river discharge and uncertainty analysis was used. The results showed that due to the calibration period Nash coefficient is 0.86 in very good level. The p-factor in the calibration period, equivalent to 17% and the r-factor is equal to 0.1. These low values, indicating high uncertainty in runoff prediction and good calibration in the basin. The values for validation period are 0.52, 29% and 0.14 respectively when considering Nash coefficient was obtained in a satisfactory level. Other values confirm the results obtained in the calibration period also.

Key Words: Agh Chai Basin, Uncertainty Analysis, SWAT model, SUFI-2 Algorithm, Water Surface Balance

[1] M.Sc. Irrigation and Drainage Student, Department of Water Engineering, University of Zanjan, Iran. Sanaz.javanmard_1988@yahoo.com
[2] - Assistant Professor, Water Engineering Department, University of Zanjan, Iran. Corresponding Author Email: Ghodousi_he@Yahoo.com
[3] - Assistant Professor, Water Engineering Department, University of Urmia, Iran. B.hesari@urmia.ac.ir

www.SID.ir