بررسی مدلیزاسیون آب‌های زیرسطحی در حوضه باغان

غلامرضا راهی*[۱]، مجید حسینی [۲]، زینب مکاریان [۳]، فاطمه توکلی راد [۴]

مربی پژوهشی، مرکز تحقیقات و آموزش کشاورزی و منابع طبیعی بوشهر ghrahi@gmail.com

۲- استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۳- کارشناس ارشد آبخیزداری پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری

۴- کارشناس ارشد اداره کل منابع طبیعی و آبخیزداری استان بوشهر

چکیده

استان بوشهر به دلیل واقع‌شدن در نوار بیابانی از نقاط خشک ایران بوده و در داخل بوشهر نیز همین بارش کم از شمال به جنوب از مقدار آن کاسته می‌شود و به حداقل خود می‌رسد. علاوه بر آن رودخانه‌های استان بوشهر اکثراً غیردائمی هستند و در ماه‌های خشک جریان سطحی ندارند؛ اما خوشبختانه همین رودخانه‌های به‌ظاهر خشک دارای رژیم جریان زیر بستر هستند که این نعمت خدادادی را می‌توان در خشک‌سالی‌ها جهت آب شرب، کشاورزی، دام، آبزیان و مهم‌تر از همه حفظ و توسعه منابع طبیعی استفاده نمود. هدف از این تحقیق، برآورد حجم جریان زیر قشری از طریق مدل هیدرولوژیکی است. در ایین خصوص بیا استفاده از اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری و با بازدیدهای میدانی، ایستگاه مناسب در استان بوشهر مشخص و با بررسی معادله بیلان در بالادست حوضه ایستگاه، جریان زیر قشری برآورد شده است. پس از ورود داده‌های موردنیاز، مدل SWAT اجرا شد. برای واسنجی جریان در ایستگاه مذکور از الگوریتم SUFI2 در نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده شد. مدل در ۳ تکرار و هر تکرار ۱۰۰۰ بار اجرا شد در اولین تکرار، حدود ۴۲ درصد از داده‌های مشاهداتی ماهانه در ایستگاه در ppu۹۵ قرار داشتند و مقدار d-factor برای خروجی حوضه ۰/۲۴ بود. در تکرارهای بعدی برای دوره واسنجی d-factor به ۰/۲۳ کاهش یافت اما درصد داده‌های مشاهداتی که در ppu95 قرار دارند به ۳۸ درصد رسید. مقادیر پارامترهای بیلان آب سطحی در سال‌های شبیه‌سازی (۲۰۰۱-۲۰۰۸) با استفاده از خروجی‌های به‌دست‌آمده از مدل شامل: از مجموع ۳۲۶/۴ میلی‌متر متوسط بارندگی سالانه ۱۷۴/۶ میلی‌متر آن به مجموع رواناب سطحی، اختصاص دارد. میزان جریان آب زیرزمینی شرکت‌کننده در جریان آبراهه اصلی ۲۵ میلی‌متر هست. درواقع شبیه‌سازی مؤلفه‌های رواناب سطحی نشان‌دهنده سهم کم جریان آب زیرزمینی در جریان آبراهه اصلی است.

کلید واژگان: جریان زیر قشری، بیلان آب، مدل SWAT، بوشهر.

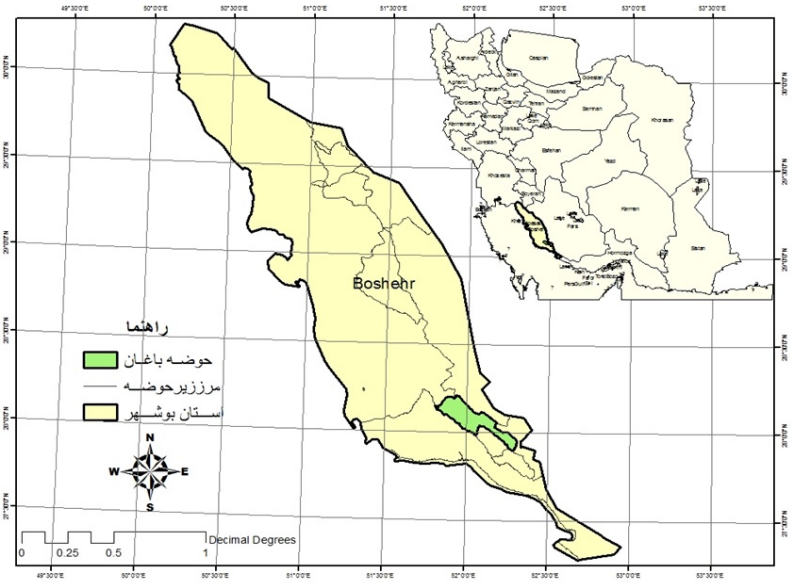
مقدمه

با به‌منظور تعیین بیلان آبی در یک حوزه آبخیز در دوره‌های مختلف زمانی و پیش‌بینی میزان جریان در خروجی حوضه، مدل‌های ریاضی و نرم‌افزارهای زیادی توسعه داده‌شده است. استفاده از سیستم اطلاعات جغرافیایی در بسیاری از موارد می‌تواند دقت و سرعت انجام محاسبات را افزایش داده، امکان تلفیق داده‌ها و خصوصیات مکانی را در قالب یک پایگاه داده فراهم نماید (پورتو گس و همکاران، ۲۰۰۵). یکی از مدل‌های نرم‌افزاری که اخیراً در نقاط مختلف جهان به‌طور گسترده‌ای جهت شبیه‌سازی عوامل هیدرولوژیکی حوزه‌های آبریز، چه ازنظر کمی و کیفی، مورداستفاده قرار می‌گیرد مدل هیدرولوژیکی SWAT است. مدل SWAT یک مدل تحلیلی، کیفی و با پیوستگی زمانی است که توسط سرویس تحقیقات کشاورزی امریکا تهیه‌شده است (آرنولد و همکاران، ۱۹۹۸). همچنین ممدل ففوق یک مدل نیمه توزیعی بوده که برای شبیه‌سازی حوزه آبریز به‌صورت پیوسته در مقیاس روزاننه عممل می‌کنند و ببرای پیش‌بیننی اثثر روش‌های مدیریتی متفاوت زمین‌بر روی جریان، رسوب، عناصر غذایی و بیلان مواد شیمیایی در حوضه‌های زراعی ببزرگ ببا خخاک و کاربری اراضی متغیر برای بازه‌های زمانی طولانی تهیه و توسعه‌یافته است. این مدل مبنای فیزیکی دارد و قابلیت اتصال به نرم‌افزارهای GIS را دارا بوده و محدودیتی ازنظر ورود حجم وسیعی از اطلاعات در مورد حوضه‌های وسیع وجود ندارد.

هدف از این تحقیق، برآورد حجم جریان زیر قشری از طریق مدل هییدرولوژیکی است. در ایین خصوص ببا استفاده از اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری و با بازدیدهای میدانی، ایستگاه مناسب در استان بوشهر مشخص و با بررسی معادله بیلان در بالادست حوضه ایستگاه، جریان زیر قشری برآورد شده است مهم‌ترین حوزه‌های آبخیز استان بوشهر هست. ا

مواد و روش‌ها

موقعیت مکانی حوزه آبخیز باغان در شمال کنگان، در فاصله ۲۵ کیلومتری آن و در جنوب شرق استان بوشهر قرارداد. مختصات جغرافیایی حوضه موردمطالعه ۷/۳۱ '۴۸ °۵۱ تا ۱۴ '۱۸ °۵۲ طول شرقی و ۲۸ '۵۳ °۲۷ تا ۵۵ '۱۲ °۲۸ عرض ششمالی است. موقعییت منطقه موردنظر و شبکه آبراهه‌های آن در شکل (۱) نشان داده‌شده است این حوزه آبخییز در زون زمین‌شناسی زاگگرس چین‌خورده قرارگرفته و ازنظر سنگ‌شناسی نیز فقط سنگ‌های رسوبی (آواری و شیمیایی) و نهشته‌های ککواترنری در ایین حوزه آبخییز مششاهده می‌شود. مساحت حوضه موردمطالعه ۸۷۵/۴۹۷ کیلومترمربع است. حداکثر ارتفاع منطقه ۱۳۵۱ متر و حداقل ارتفاع آن معادل ۸۴ متر از سطح دریا است. حوضه باغان دارای متوسط بارندگی سالانه و متوسط درجه حرارت سالانه آن ببه ترتییب ۳۲۶/۴ میلی‌متتر و ۲۳/۴ درجه سانتی‌گراد است. متوسط رواناب سالانه و متوسط آبدهی سالانه حوضه مذکور ۱۱۴/۸ میلی‌متر و ۰/۹۶ مترمکعب ببر ثانییه ممی باشند.



شکل(۱): موقعیت حوضه باغان در کشور و استان بوشهر

مدل SWAT، مدلی در مقیاس حوزه آبخیز است. این مدل برای پیش‌بینی تأثیر روش‌های مختلف مدیریت اراضی بر مقادیر آب، رسوب و مواد شیمیایی-کشاورزی در سطح حوزه‌های آبریز پیچیده و بزرگ با خاک، کاربری اراضی و شرایط مختلف مدیریتی در درازمدت طراحی‌شده است. مدل ارزیابی آب‌وخاک SWAT، مدلی نیمه فیزیکی و نیمه توزیعی است و به‌جای ضمیمه کردن روابط رگرسیونی برای تشریح روابط بین متغیرهای ورودی و خروجی، این مدل نیازمند اطلاعاتی در مورد آب‌وهوا، مشخصات خاک، توپوگرافی، پوشش گیاهی و روش‌های مدیریت و کاربری اراضی در سطح حوضه است. فرآیندهای فیزیکی مرتبط با حرکت آب، رسوبات، رشد گیاه، چرخه مواد مغذی و. در این مدل به‌طور مستقیم از روی پارامترهای ورودی شبیه‌سازی می‌شوند. مزایای این روش عبارت‌اند از:

الف حوضه‌هایی که فاقد داده‌های برداشت‌شده می‌باشند، نیز قابل شبیه‌سازی‌اند.

ب تأثیر نسبی اطلاعات ورودی (تغییر درروش های مدیریتی، آب‌وهوا و...) بر روی کیفیت آب و دیگر متغیرهای ورودی قابل کمی کردن هستند. مدل ازنظر محاسباتی بسیار کارآمد است. شبیه‌سازی حوضه‌های بزرگ و پیچیده را با استراتژی‌های مختلف مدیریتی بدون صرف زمان زیادی قابل‌اجرا است و کاربر را قادر به مطالعه اثر بلندمدت برخی از عوامل مانند آلودگی، فرسایش و. می‌کند.

پس از جمع‌آوری اطلاعات و تهیه فایل‌های ورودی، کار اولیه برای اجرای مدل شروع شد. خلاصه مراحل اجرای مدل به ترتیب شکل‌بندی حوضه یا ایجاد زیر حوضه‌ها، تعریف HRUs، اصلاح پارامترهای اولیه و در انتها اجرای مدل در دوره شبیه‌سازی است. برای شبیه‌سازی حوضه توسط مدل SWAT با توجه به محدودیت‌های موجود از قبیل نقص در داده‌ها و عدم تطابق زمانی داده‌های روزانه درجه حرارت، بارندگی و هیدرومتری، یک دوره ۸ ساله انتخاب شد. اجرای مدل بر اساس گام زمانی روزانه از ۱ ژانویه ۲۰۰۱ تا ۳۱ دسامبر ۲۰۰۸ صورت گرفته است. واسنجی بر اساس سال‌های ۲۰۰۱ الی ۲۰۰۵ و اعتبارسنجی در طول سه سال بعدی انجام‌گرفته است. به‌منظور صرفه‌جویی در وقت و بهبود کیفیت واسنجی و تحلیل عدم قطعیت در نتایج مدل از روش SUFI2 (عباسپور، ۲۰۰۹) در نرم‌افزار SWAT-CUP استفاده‌شده است.

ازآنجایی‌که امکان این وجود ندارد که تمام پارامترها در فرآیند واسنجی استفاده شوند بنابراین ابتدا یک انتخاب اولیه از پارامترهای مؤثر بر جریان بر اساس شناخت حوضه و تحقیقات انجام‌شده قبلی صورت گرفت که در این مطالعه ابتدا حدود ۲۴ پارامتر انتخاب شد و سپس روش آنالیز حساسیت مطلق در نرم‌افزار SWAT-CUP2 (عباسپور، ۲۰۰۹) اجرا گردید که برای هر پارامتریک دامنه معقولیت بزرگ، به‌صورت نسبی (یعنی: یک بعلاوه/منهای دامنه، ضرب‌در مقدار اولیه) و یا به‌صورت دامنه مطلق انتخاب گردید، سپس در نرم‌افزار مذکور این دامنه به ۵ قسمت مساوی تقسیم‌شده و برای هر مقدار، مدل SWAT اجرا شد. درنهایت ۱۱ پارامتر نسبتاً حساس برای حوضه باغان به دست آمد که از آن‌ها در فرآیند واسنجی استفاده‌شده است. برای ارزیابی کمی عملکرد مدل نتایج مدل در مراحل واسنجی و اعتبارسنجی، با استفاده از دو پارامتر آماری زیر ارزیابی شد:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(P_i - O_i)^2}{\sum_{i=1}^{n}(O_i - \bar{O})^2}$$

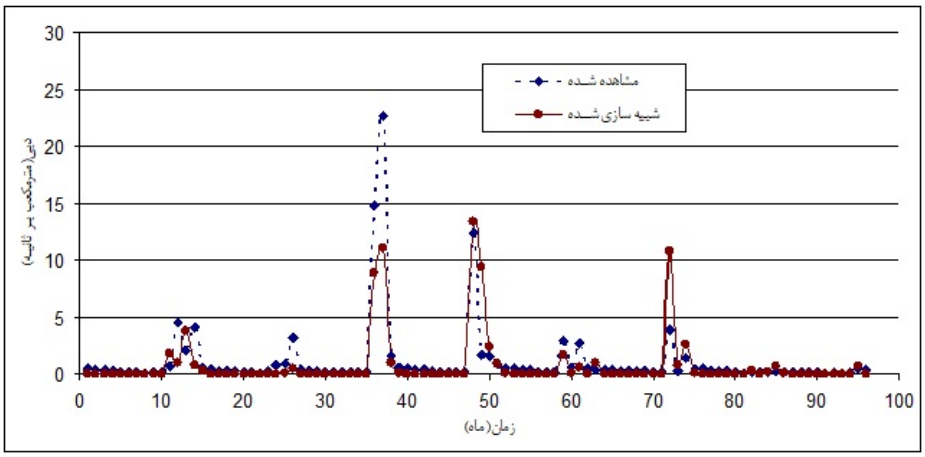
الف) ضریب همبستگی (R^2): ب) ضریب نش- ساتکلیف (NS):

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(O_i-\bar{O})(P_i-\bar{P})]}{\sum_{i=1}^{n}[(O_i-\bar{O})\sum_{i=1}^{n}(P_i-\bar{P})^2]}$$

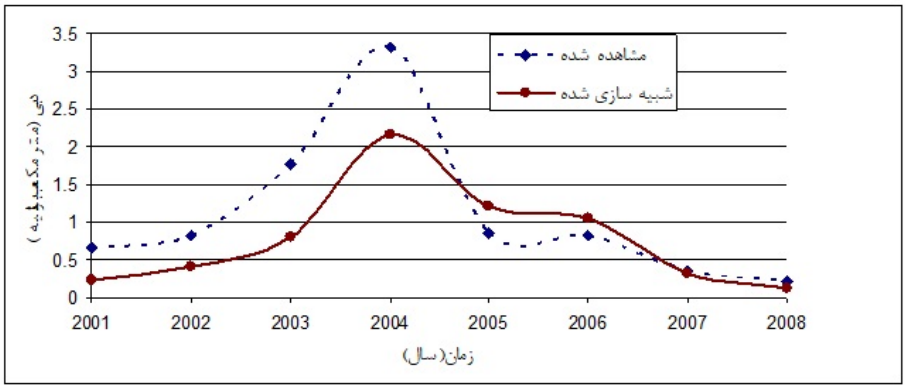
بحث و نتیجه‌گیری

نتایج اولیه اجرای مدل بدون واسنجی

پس از ورود داده‌های موردنیاز مدل، مدل SWAT برای دوره شبیه‌سازی ۸ ساله (۲۰۰۸-۲۰۰۱) اجرا شد. نتایج خروجی مدل برای حوزه آبخیز باغان در شکل (۲) و (۳) آورده شده است.



شکل (۲): نتایج شبیه‌سازی دبی ماهانه در ایستگاه آب‌سنجی باغان

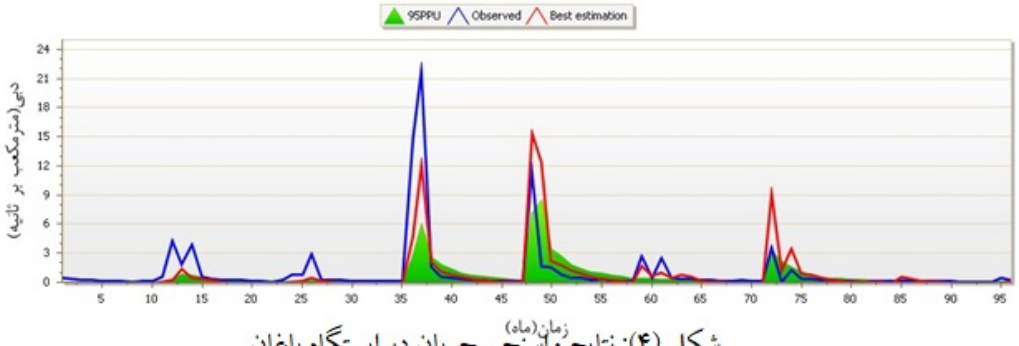


شکل (۳): نتایج شبیه‌سازی دبی سالانه در ایستگاه آب‌سنجی باغان

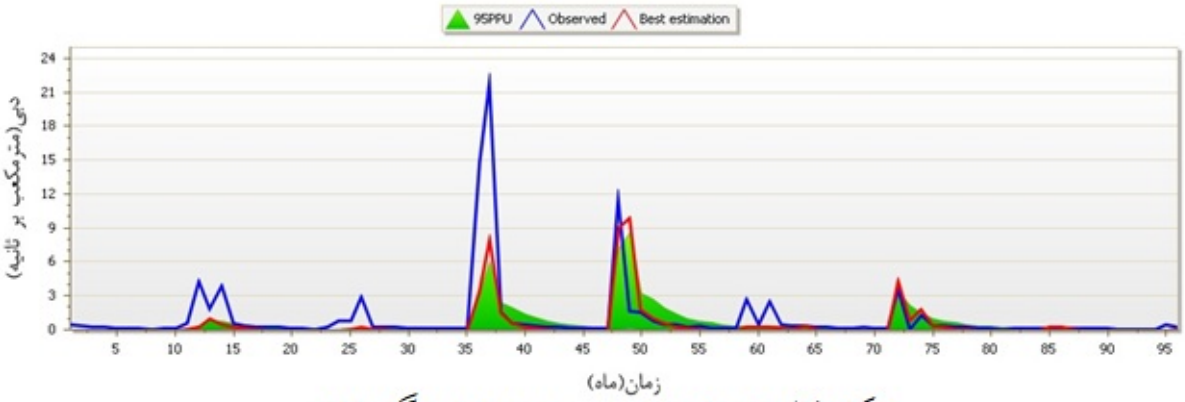
نتایج واسنجی و اعتبارسنجی مدل حوضه

نتایج حاصل از واسنجی مدل در این حوضه نشان می‌دهد که در آخرین تکرار اجرای مدل ۴۲ درصد از داده‌های مشاهداتی در محدوده ppu۹۵ قراردادند و مقدار d-factor نیز ۰/۲۴ به‌دست‌آمده است. با انجام اعتبارسنجی مدل درصد داده‌های مشاهداتی که در محدوده ppu۹۵ قرار گرفتند و مقدار p-factor و d-factor حاصل به ترتیب به ۳۸ درصد و ۰/۲۳ افزایش یافت. شاخص ارزیابی NS در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی۰/۵۴ و ۰/۴۳ است که نشان‌دهنده رضایت‌بخش بودن کارایی مدل در فرایند شبیه‌سازی است. همچنین مقدار به‌دست‌آمده شاخص R2 در دو مرحله به ترتیب ۰/۵۴ و۰/۵۲ است این شاخص نیز تأییدکننده این نتایج است.

شکل‌های (۴) و (۵) نتایج واسنجی و اعتبار سنجی مدل در ایستگاه باغان را نشان می‌دهد همچنین داده‌های مشاهداتی و باندهای عدم قطعیت ۹۵ درصد در دوره‌های مذکور نشان داده‌شده است. در جدول (۱) حدود اولیه و نهایی پارامترهایی که برای واسنجی انتخاب‌شده بودند، آورده شده است. نتایج ارزیابی مدل در جدول (۲) ارائه شده است.



شکل (۴): نتایج واسنجی جریان در ایستگاه باغان



شکل (۵): نتایج اعتبارسنجی جریان در ایستگاه باغان

بررسی مؤلفه‌های بیلان آب در سطح حوضه

مقادیر پارامترهای بیلان آب سطحی در سال‌های شبیه‌سازی (۲۰۰۱-۲۰۰۸) با استفاده از خروجی‌های به‌دست‌آمده از مدل شامل: از مجموع ۳۲۶/۴ میلی‌متر متوسط بارندگی سالانه ۱۱۴/۲۴ میلی‌متر آن به رواناب سطحی، اختصاص دارد و تبخیر و تعرق ۱۷۴/۶ میلی‌متر در سطح حوضه است. میزان جریان آب آبراهه اصلی ۰/۹۶ مترمکعب بر ثانیه است. درواقع شبیه‌سازی مؤلفه‌های رواناب سطحی نشان‌دهنده سهم کم جریان آب زیرزمینی در جریان آبراهه اصلی است. شکل (۶) سهم پارامترهای بیلان آب از بارش ورودی را به تفکیک نشان می‌دهد.

نتایج

در پیش‌بینی‌های مدل‌های حوضه عدم قطعیت‌های زیادی وجود دارد که سه دسته‌اند، عدم قطعیت؛ در مدل مفهومی (عدم قطعیت ساختاری)، در ورودی و در پارامترها به‌خصوص غیر یگانگی آن‌ها که در فصل دوم اشاره‌شده است. درروش SUFI2، عدم قطعیت پارامترها با توزیع‌های یکنواخت نشان داده می‌شود. این عدم قطعیت توسط روش نمونه‌برداری لاتین هایپرکیوب پخش می‌شود و عدم قطعیت (منظور پیش‌بینی عدم قطعیت ۹۵ درصد، 95ppu است.) در سطوح ٪۲/۵ و ٪۹۷/۵ برای هر متغیر شبیه‌سازی می‌شود. از یک برنامه واسط برای بهنگام کردن پارامترها در فایل‌های SWAT (SWAT-CUP) استفاده شد؛ بنابراین مدل را می‌توان n بار با ترکیب n پارامتر به‌طور خودکار اجرا کرد. ابتدا با عدم قطعیت بزرگ پارامترها شروع شد، SUFI2 چندین مرتبه اجرا شد تا به حل بهینه منجر شد. نتایج هر تکرار عدم قطعیت پارامترهای کوچک‌تری بود. میزان 95ppu محاسبه‌شده ارائه‌دهنده ترکیبی از عدم قطعیت پیش‌بینی مدل شامل عدم قطعیت پارامترها که نتیجه‌ای از غیر یگانگی پارامترهای مؤثر مدل است، عدم قطعیت مدل مفهومی و عدم قطعیت ورودی است. در SUFI2، تأثیر ترکیبی تمام عدم قطعیت‌ها توسط تخمین نهایی عدم قطعیت‌های پارامتر نشان داده می‌شود. در اولین تکرار، حدود ۴۲ درصد از داده‌های مشاهداتی ماهانه در ایستگاه در 95ppu قرار داشتند و مقدار d – factor برای خروجی حوضه ۰/۲۴ بود. در تکرارهای بعدی برای دوره واسنجی d – factor به ۰/۲۳ کاهش یافت اما درصد داده‌های مشاهداتی که در 95ppu قرار دارند به ۳۸ درصد رسید.

جدول ۱- مقادیر میانگین مؤلفه‌ها در سال‌های مورد بررسی

نام حوضه	نام مدل	تعداد سال اجراشده	مقادیر میانگین مؤلفه‌ها در سال‌های موردبررسی (mm)				
			P(t) بارندگی	E(t) تبخیروتعرق	SR(t) رواناب سطحی	GF(t) آب زیرسطحی	GF/P
باغان	SWAT	8	189.0	143.9	36.6	3.6	0.019

پیشنهادها

آنچه مسلم است در حوضه باغان آب زیرسطحی وجود دارد. حوزه باغان دارای منابع آب کارستی در بالادست است، که در فصول پرباران تغذیه می‌شود و در سایر فصول منابع تغذیه آب زیرسطحی است و به دلیل وضعیت سنگ‌بستر و تکیه‌گاه‌ها آب خروجی از مقطع خاصی عبور می‌کند. لذا با برنامه‌ریزی صحیح و با شناخت موقعیت مناسب به‌منظور احداث سد زیرزمینی، می‌توان بهره‌برداری مطلوب را از جریان زیر قشری به عمل آورد.

منابع

- پر همت، جهانگیر. ۱۳۷۲. بررسی عوامل بیلان هیدرولوژیکی در حوزه‌های کارستی مرتفع، پایان‌نامه کارشناسی ارشد، دانشگاه شیراز.
- جهانبخش، سعید، مجید رضایی بنفشه و مرضیه اسماعیل‌پور. ۱۳۸۷. ارزیابی بیلان آب برای استفاده‌های کشاورزی در منطقه اهر، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.
- حصاری، بهزاد. ۱۳۸۷. بیلان آب سطحی درازمدت در حوزه‌های رودخانه‌ای با استفاده از GIS. سومین کنفراس مدیریت منابع آب ۱۳۸۷، دانشگاه تبریز.
- حیدری زاده، مجید و محمدعلی احمدی راد. ۱۳۸۷. استفاده از مدل چهار متغیره Salas در تجزیه مؤلفه‌های بیلان در داخل حوزه، سومین کنفرانس مدیریت منابع آب.
- Jothityangkoon, C. Sivapalan, M. and Farmer, D.L. 2001. Process controls of water balance variability in a large semi-arid catchment: Downward approach to hydrological model development, J. Hydrol. 254:174–198.
- Klemes, V. 1988.Conceptualisation and scale in hydrology, J. Hydrol. 65, 1–23, 1983. Luke, G. J. Burke, K. L. and O'Brien, T. M.: Evaporation data for Western Australia, W. Aust. Dept. of Agric. Div. of Resourc. Manag. Tech. Rep. No. 65. 29
- Lu, Janbiao, Sun, Ge, Mc Nulty. 2003. Modeling actual evapotranspiration from forested watersheds across the Southeastern United States, Journal of the American Water Resources Association, Aug. 2003.
- Michael G. Mc Donald and Arlen W. Harbaugh. 1988. A modular 3D Finite Difference Groundwater Flow Model, book6, International Institute for Aerospace Survey and Earth Sciences.
- Perrin, C. Michel, C. and Andreassian, V. 2001.Does a large number of parameters enhance model performance? Comparative assessment of common catchment model structures on 429 catchments, J. Hydrol. 242:275–301.
- Ruprecht, J.K. and Schofield, N.J. 1989. Analysis of streamflow generation following deforestation in southwest Western Australia, J. Hydrol. 105:1–17.
- Scoh White, Pawel J. Mizgalewicz, David and R. Maidment. 1996. GIS Modeling and Visualization of the water Balance During the 1993 Midwest floods. AWRA, Symposium on GIS and Water Resources, Sep. 22-26.
- Sivapalan, M. Viney, N.R. and Zammitt, C. 2002.LASCAM: Large Scale Catchment Model, in: Mathematical Models of Small Watershed Hydrology and Applications, edited by: Singh, V. P. Water Resources Publications, Louisiana State University, 579-648.
- Vertessy, R.A. Hutton, T.J. O'Shaughnessy, P.J. and Jayasuriya, M.D.A. 1993. Predicting water yield from a mountain ash forest using a terrain analysis based catchment model, J. Hydrol. 150, 284–298.
- Xu C.Y. 2002.Hydrologic Models.Textbooks of Uppsala University.Department of Earth Sciences Hydrology.Edition 2002, Chapter 5, Flier 6.
- Xu, C.Y. 1999. Estimation of Parameters of a Conceptual Water Balance Model for Ungauged Catchments. Water Resources Managements 13: 33-368.
- Yih-chi Tan, Chi-chun Lee, Chu-Hui Chen. 1999.A stochastic water balance model for sustainable water,management of a watershed in Taiwan, 2nd inter-Regional Conference on Environment-Water Press Polytechniques et Univ. romandes.