

برآورد روان آب سد زیرزمینی با استفاده از مدل سوات در حوضه درگاه

محمد غلامپور، مجید حسینی، حسین حسینی پور، محمود دمی زاده

- ۱- استادیار مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
- ۲- دانشیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
- ۳- مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی
- ۴- مربی پژوهشی مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی هرمزگان، سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی

چکیده:

امروزه اهمیت آب و جایگاه آن در توسعه پایدار بر کسی پوشیده نیست این مهم با توجه به کمی میزان بارش و تبخیر بالا در مناطق جنوبی کشور ایران و همچنین وقوع خشکسالی‌های متعدد و طولانی و میزان رسوبات بالای رودخانه های فصلی امکان استحصال آب از طریق احداث سدها و بندهای معمول اقتصادی نبوده و لذا احداث سدهای زیرزمینی برای استفاده از آب‌های زیرسطحی یکی از راه‌حل‌های مناسب برای ذخیره و بهره‌برداری از آب میباشد. سدهای زیرزمینی با توجه به هزینه‌های پایین، روش ساخت آسان، ذخیره آب بهداشتی. استفاده از آن در شرایط خشکسالی، مزایایی بسیاری نسبت به سدهای سطحی دارند لذا به منظور استفاده از این سدها شناخت حجم آب‌های زیرسطحی در یک منطقه از جمله ضروریات احداث اینگونه سدها می باشد. لذا به منظور مدلیزاسیون پتانسیل آب‌های زیرسطحی در ابتدا نسبت به انتخاب آبراهه مناسب بر اساس نقشه‌های موجود و اطلاعات دریافتی و بازدید صحرایی انجام گردید. سپس مدل SWAT مناسب برای این کار انتخاب شد. داده‌های مورد نیاز برای شبیه‌سازی جریان آب شامل داده‌های مکانی از قبیل نقشه توپوگرافی نقشه کاربری اراضی و نقشه خاک تهیه و از طرفی اطلاعات هواشناسی ایستگاه‌ها شامل بارندگی و رطوبت نسبی باد و درجه حرارت حداکثر و حداقل جمع‌آوری و مدل مفهومی منطقه تهیه گردید. بر اساس مقایسه با داده‌های مشاهده‌های ایستگاه هیدرومتری درگاه واسنجی مدل برای برآورد جریان آب در رودخانه انجام پذیرفت. سپس نسبت صحت‌سنجی مدل برای سی درصد داده‌های باقیمانده انجام گردید. در ارزیابی نتایج بدست آمده با استفاده از روش‌های میانگین مطلق خطا و ریشه مجذور مربعات (RMSE) و ضریب تبیین R^2 و ضریب رگرسیون و NSE مورد ارزیابی و مقدار آن به ترتیب ۰.۵۲، ۰.۴۶ و ۰.۳۷ و ۰.۳۷ محاسبه گردید. آبدی سد زیرزمینی در درگاه شبیه‌سازی شده و با مشاهداتی در دوره واسنجی (۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶) مقایسه گردیده است. مقادیر P-فاکتور و R-فاکتور برای دوره واسنجی به ترتیب ۰/۶۷ و ۲/۵۳ محاسبه شدند.

واژه‌های کلیدی: سدهای زیرزمینی روان آب مدل SWAT درگاه

مقدمه:

امروزه اهمیت آب و جایگاه آن در توسعه پایدار بر کسی پوشیده نیست این مهم با توجه به کمی میزان بارش و تبخیر بالا در مناطق جنوبی کشور ایران و همچنین وقوع خشکسالی‌های متعدد و طولانی و میزان رسوبات بالای رودخانه‌های فصلی امکان استحصال آب از طریق احداث سدها و بندهای معمول اقتصادی نبوده و لذا احداث سدهای زیرزمینی برای استفاده از آب‌های زیرسطحی یکی از راه‌حل‌های مناسب برای ذخیره و بهره‌برداری از آب میباشد. هدف از انجام این تحقیق شبیه‌سازی جریان آب برای احداث سد زیرزمینی در رودخانه با استفاده از مدل SWAT است. در این مطالعه، در نظر است بیلان آبی حوزه آبخیز درگاه با استفاده از مدل هیدرولوژیکی SWAT^۱ شبیه‌سازی شود و مکان‌های (واحدهای کاری) مناسب از نظر جریان‌های آب زیرسطحی و زیرزمینی شناسایی شده و با استفاده از لایه‌هایی که از مدل SWAT به دست آمده است و همچنین دیگر لایه‌های اطلاعاتی اقدام به تعیین مکان‌های مناسب جهت احداث سد زیرزمینی گردد. در این تحقیق به دنبال مدل نمودن مقدار روان آب رودخانه با در نظر گرفتن لایه‌های مختلف خاکشناسی و کاربری اراضی و لحاظ نمودن تغییرات آن‌ها میزان روان آب تولیدی برآورد میگردد. مدل SWAT نمونه‌ای از مدل‌های با مبنای فیزیکی است زیرا بر اساس راه حل معادلات اساسی فیزیکی به شبیه‌سازی در مقیاس بزرگ و مطالعه‌ی فرآیندهای سیستم اصلی می‌پردازد. اکثر روابط موجود در این مدل مبنای فیزیکی دارند و این نشان می‌دهد که تعداد متغیرهای لازم برای اجرای کامل و دقیق مدل زیاد است. این مدل جزو مدل‌های نیمه توزیعی می‌باشد زیرا که در آن اطلاعات مکانی به صورت واحدهایی مشابه در کنار داده‌های هیدرولوژیکی قرار می‌گیرند و حوزه و شبکه آبراهه را به صورت واحدهای یکسان در نظر می‌گیرد که هر شبکه توسط پارامترهای خاص خود، شرایط اولیه و ورودی‌های بارش شرح داده می‌شود. در نتیجه پیش‌بینی مکانی فرآیندهای هیدرولوژیکی و فرسایش در هر نقطه از حوزه آبخیز امکان پذیر می‌باشد. همچنین این مدل پیوسته بوده زیرا دارای اجزایی می‌باشد که تبخیر و ترقق و حرکت آب در خاک را بین رگبارها توصیف می‌نماید و بنابراین قادر به برقراری تعادل آب و انرژی بین رگبارها می‌باشد (جا و جاسمان^۲، ۲۰۰۶). در مورد نمایش فرآیندهای داخلی و اصلی سیستم، هم جزء مدل‌های جعبه سفید می‌شود چرا که کلیه اجزای حوزه در قالب مدل قابل ارائه بوده و علاوه بر نتایج اصلی، می‌توان به نتایج میانی اجرای مدل نیز دست یافت. اجرای این مدل در محیط مشترک با نرم‌افزار Arc GIS باعث کاربرد آسان و افزایش قابلیت‌های این مدل شده است (اکبری، ۱۳۸۹).

گودرزی و همکاران (۱۳۸۸) دبی جریان را با استفاده از مدل SWAT در حوزه آبخیز قره‌سو شبیه‌سازی کردند که در مجموع شبیه‌سازی جریان رودخانه در این حوزه با استفاده از این مدل رضایت‌بخش بوده است.

رستمیان و همکاران (۲۰۰۸) توانایی مدل SWAT2000 را در شبیه‌سازی دبی جریان و غلظت رسوب حوزه بهشت‌آباد (از زیرحوضه‌های کارون شمالی) با مساحت ۳۸۶۰ کیلومتر مربع بررسی نمودند. نتایج مطالعه نشان داد که مدل در برآورد دبی رودخانه عملکرد مناسبی داشته، اما در شبیه‌سازی دبی‌های اوج رودخانه موفقیتی نداشته است. همچنین توانایی مدل در برآورد بار رسوب در حد متوسط ارزیابی شد. در مجموع مدل رواناب را بهتر از رسوب شبیه‌سازی نمود.

طالبی‌زاده و همکاران (۲۰۰۹) عدم قطعیت در مدل‌سازی بار رسوب را با استفاده از مدل‌های SWAT و RUSLE^۳ در حوزه آبخیز کسلیان مورد تجزیه و تحلیل قرار دادند که مقایسه نتایج حاصل از این دو مدل نشان داد که مدل SWAT عملکرد بهتری در برآورد مقادیر بالای رسوب دارد در حالی که مدل RUSLE در مقادیر کم و متوسط دقت بیشتری دارد.

علوی نیا و نصیری صالح (۱۳۸۹) توانایی دو مدل HSPF^۴ و SWAT را در شبیه‌سازی رسوب خروجی از حوزه آبخیز ابرو در بالا دست سد اکباتان همدان ارزیابی کردند. نتایج نشان دادند که مدل SWAT تغییرات فصلی رسوب را بهتر از مدل HSPF شبیه‌سازی کرد. فرامرزی و همکاران (۲۰۰۸)، با استفاده از برنامه‌ی SWAT در ترکیب با برنامه‌ی SUFI-2، تخلیه‌ی رودخانه و تولید گندم را در مدل هیدرولوژیکی ایران، بررسی کردند. آنها تمام اجزای تعادل آب را در سطح زیرحوضه‌ها با گام‌های زمانی ماهانه بررسی کردند. نتایج در بیشتر رودخانه‌ها در سطح کشور رضایت‌بخش بود.

1- Soil and Water Assessment Tool

2 Jha, Arnold and Gassman

3- Revised Universal Soil Loss Equation

4- Hydrological Simulation Program-FORTRAN

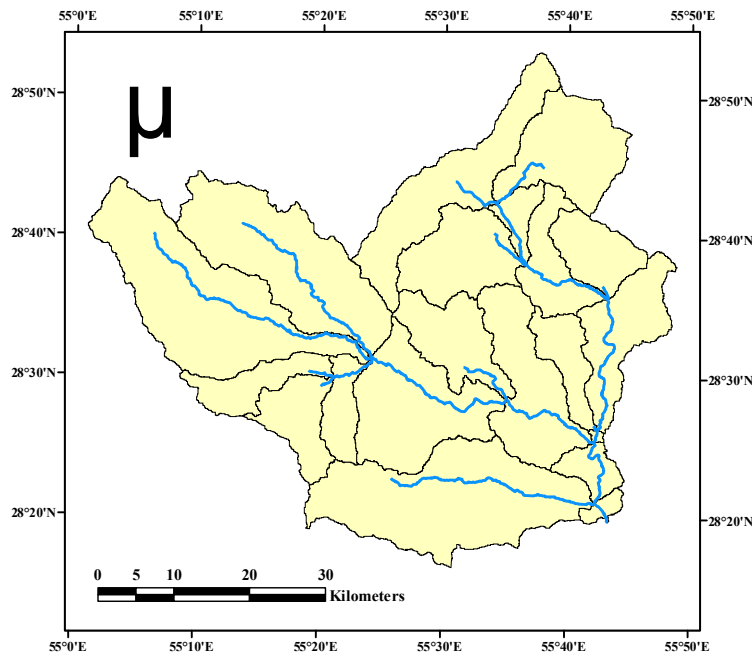
ژینگ^۵ و همکاران (۲۰۱۱) در تحقیقی به شبیه‌سازی بیلان آبی برای شناسایی اجزای رودخانه روی دبی در حوزه آبخیز شیبستو^۶ در شرق هوکایدو پرداختند. در این مطالعه، تقریباً سهم عامل خارجی از معادله تعادل آب با استفاده از داده های اندازه گیری شده برآورد شد. شبیه‌سازی دبی روزانه در طول دوره کالیبراسیون و اعتبارسنجی با مقادیر ضریب همبستگی ۰/۶۵ و ۰/۶۶ رضایتبخش بود. علاوه بر این، شبیه‌سازی جریان پایه روزانه، جریان آبراهه ای ماهانه، رواناب سطحی، و تبخیر و تعرق (ET) با داده های مشاهداتی تناسب مناسبی داشت. اولین شبیه‌سازی پیشنهاد کرد که بررسی سهم عوامل خارجی بر روی دبی خروجی با مدل SWAT می‌تواند به شبیه‌سازی منطقی جریان آبراهه‌ای در حوزه شیب کمک کند.

مورتی^۷ و همکاران (۲۰۱۳) در مطالعه‌ای به کاربرد مدل هیدرولوژیکی نیمه توزیعی SWAT برای پیش بینی تعادل آب حوزه آبخیز کن^۸ هند پرداختند. حوزه به ده زیرحوزه شامل ۱۰۷ واحد پاسخ هیدرولوژیکی بر اساس شیب، خاک و کاربری اراضی با استفاده از مدل SWAT تقسیم شد. کالیبراسیون سالانه و ماهانه (۱۹۸۵-۱۹۹۶) و اعتبارسنجی (۱۹۹۷-۲۰۰۹) با استفاده از داده دبی مشاهداتی از سایت باندا در حوضه کن انجام شد. این مطالعه نشان داد که SWAT مدلی مناسب برای ارزیابی هیدرولوژیکی حوزه کن می باشد. نتایج بررسی بیلان آبی آب نشان داد متوسط بارش سالانه در حوزه کن حدود ۱۱۳۲ میلی متر می باشد و حدود ۲۳ درصد به جریان سطحی، ۴ درصد به جریان آب زیرزمینی و حدود ۷۳ درصد به تبخیر و تعرق اختصاص یافته است.

مواد و روش‌ها

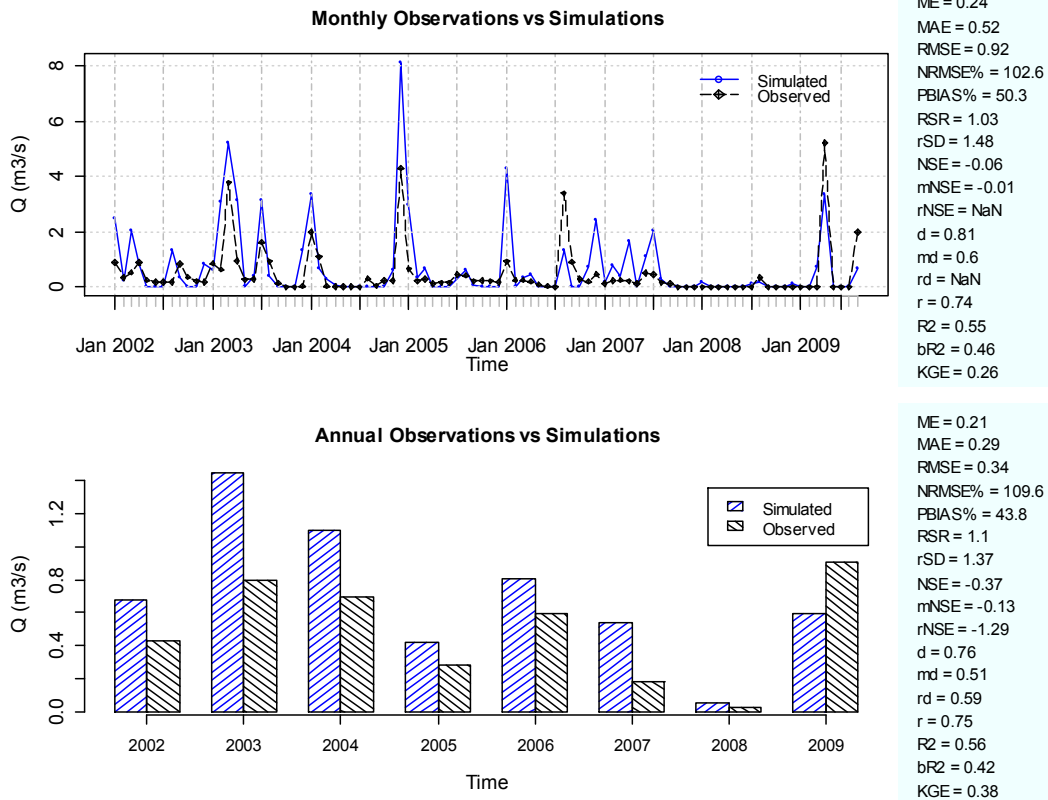
شبیه‌سازی با استفاده از مدل SWAT:

در ابتدای شروع کار با مدل، ابتدا نقشه DEM و شبکه آبراهه‌ای که قبلاً آماده شده بودند، در محیط نرم‌افزار بارگذاری شدند. محدوده آبخیز و زیرحوضه‌ها و خصوصیات فیزیکی آبخیز توسط مدل محاسبه شد. نقشه زیرحوضه‌ها در شکل ۳-۱۱ نشان داده شده است. در مرحله بعد با استفاده از نقشه‌های خاک، کاربری اراضی و طبقات شیب، واحدهای پاسخ هیدرولوژیکی (HRU) تعریف شدند. در این مرحله، ۷۳ واحد پاسخ هیدرولوژیکی در محدوده آبخیز درآگاه تشکیل شد. شبیه‌سازی دبی خروجی برای دراز مدت بر اساس داده‌های روزانه صورت گرفت در حالیکه برای داده‌های ماهانه و روزانه در شبیه‌سازی به عنوان کوتاه مدت استفاده می‌گردد. در این پروژه از آمار روزانه ایستگاه سینوپتیک حاجی‌آباد استفاده شد. در گام بعدی بایستی یک پایه مشترک آماری برای داده‌های ایستگاه‌ها در نظر گرفته شود. با کنترل آمار تهیه شده، سعی شد دوره‌ای انتخاب گردد که حداقل نیاز به بازسازی و ترمیم داده‌ها را داشته باشد تا خطاهای احتمالی ناشی از بازسازی داده‌ها نیز به حداقل ممکن برسد. با در نظر داشتن این نکته، پایه مشترک ۹ ساله از ۲۰۰۱ تا ۲۰۰۹ انتخاب شد.



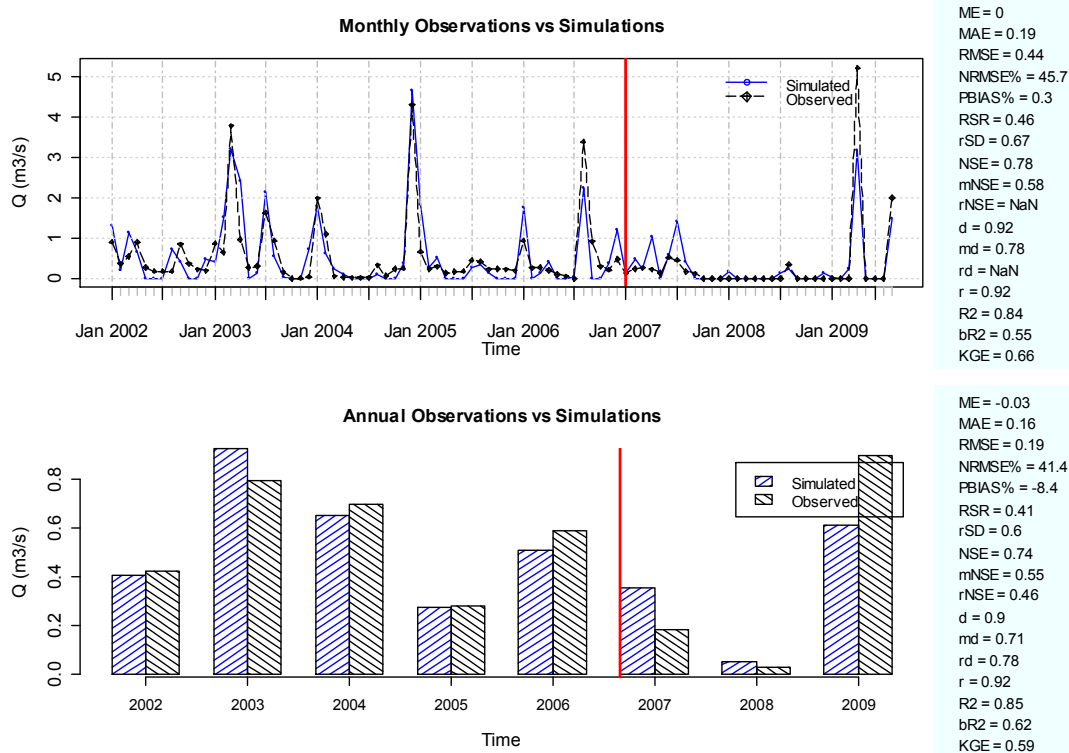
شکل ۱- نقشه زیر حوضه های ترسیم شده توسط مدل SWAT در آبخیز در آگاه

بررسی و نتایج



شکل ۲ دبی شبیه سازی شده و مشاهداتی ماهانه و سالانه برای ایستگاه در آگاه در مرحله واسنجی دستی به همراه شاخص های ارزیابی

در ادامه پروژه، برای واسنجی دقیق، تحلیل عدم قطعیت و اعتبارسنجی مدل SWAT برای آبخیز درآگاه، از نرم افزار SWAT-CUP و روش SUFI-2^۱ (Abbaspour and Yang, 2006) استفاده شد. SUFI-2 یک الگوریتم نیمه اتوماتیک مدل سازی معکوس است. این الگوریتم، برای ارزیابی عدم قطعیت دو معیار P-فاکتور و R-فاکتور را محاسبه می کند. به لحاظ تئوری، مقادیر P-فاکتور در بازه ۰ تا ۱ و مقادیر R-فاکتور در بازه ۰ تا بینهایت تغییر می کنند. P-فاکتور برابر با ۱ و R-فاکتور برابر با ۰ نشان دهنده تطابق کامل مقادیر پیش بینی شده و مشاهداتی است. هر چقدر P-فاکتور و R-فاکتور به دست آمده، از این اعداد فاصله داشته باشند دقت شبیه سازی کمتر می باشد. در شکل ۱۱ ادبی شبیه سازی شده و مشاهداتی برای ایستگاه درآگاه در دوره واسنجی (۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶) و مقادیر شاخص های ارزیابی برای این دوره ارائه گردیده است. مقادیر P-فاکتور و R-فاکتور برای دوره واسنجی به ترتیب ۰/۶۷ و ۲/۵۳ محاسبه شد.

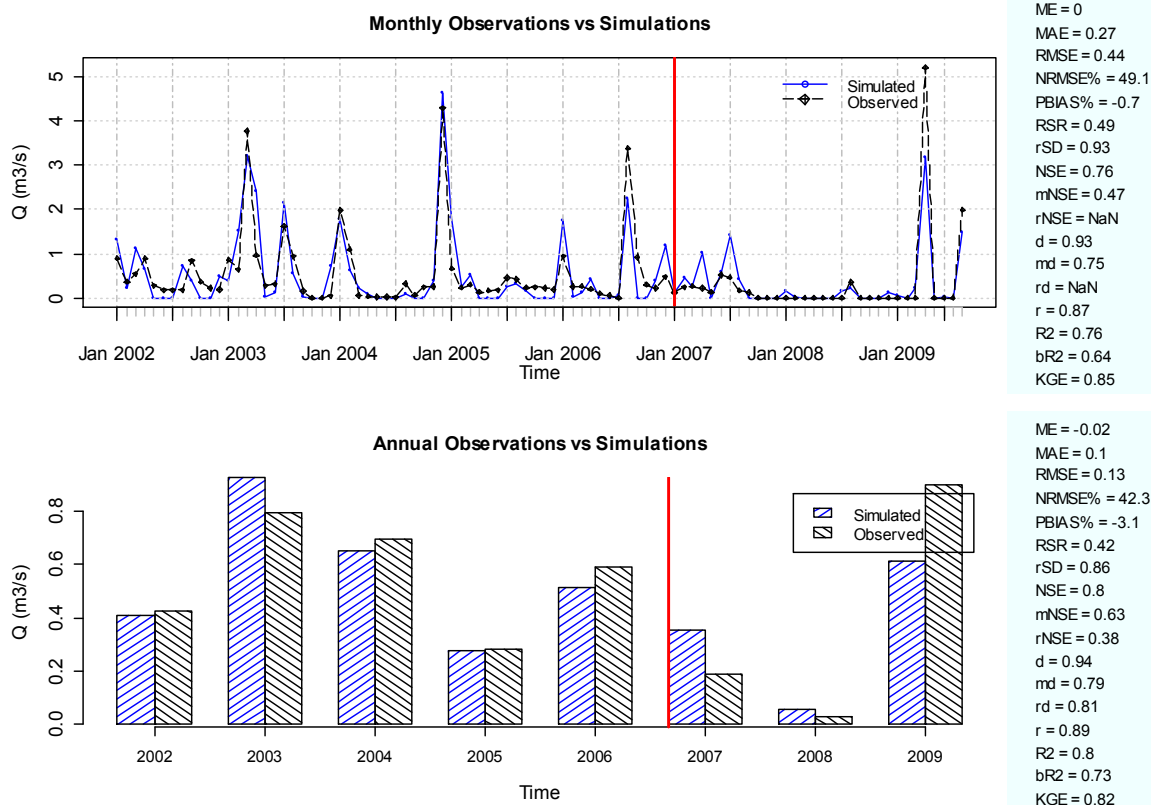


شکل ۳ ادبی شبیه سازی شده و مشاهداتی ماهانه و سالانه برای ایستگاه درآگاه به همراه شاخص های ارزیابی برای دوره واسنجی (اتوماتیک)

درستون سوم جدول فوق (مشخصه پارامتر)، v نشان دهنده روش Replace و r نشان دهنده روش Multiple در کالیبراسیون می باشد. در روش Multiple، مقدار اولیه پارامتر در یک ارزش داده شده ضرب می گردد تا مقدار بهینه محاسبه شود. اما در روش Replace، پارامتر مورد نظر با ارزش داده شده جایگزین می گردد (Abbaspour, 2011) در شکل ۴-۳ مقادیر ادبی شبیه سازی شده و مشاهداتی برای ایستگاه درآگاه در دوره اعتبارسنجی (۲۰۰۶ تا ۲۰۰۹) و مقادیر شاخص های ارزیابی برای این دوره نشان داده شده است.

جدول ۱- مقادیر بهینه پارامترهای حساس بعد از واسنجی برای منطقه مطالعاتی

محدوده تغییرات	مقدار بهینه	مشخصه پارامتر	نام پارامتر	ردیف
-0.25	0.1	r_CN2.mgt	شماره منحنی روش SCS	۱
0	0.3	v_ALPHA_BF.gw	ثابت تخلیه آب زیرزمینی	۲
0.05	10	v_SURLAG.bsn	ضریب تاخیر رواناب سطحی	۳
0	100	v_CH_K2.rte	هدایت هیدرولیکی کانال	۴
-0.8	0.8	r_SOL_Z(1).sol	ضخامت لایه های خاک	۵
-0.8	0.8	r_SOL_AWC(1).sol	آب قابل دسترس خاک	۶
0	0.5	v_ESCO.hru	فاکتور جبران تبخیر در خاک	۷
-0.8	0.8	r_SOL_K(1).sol	هدایت هیدرولیکی اشباع	۸
0.02	0.2	v_GW_REVAP.gw	ضریب تبخیر آب زیرزمینی	۹
10	60	v_GW_DELAY.gw	زمان تاخیر آب زیرزمینی	۱۰



شکل ۴ دبی شبیه سازی شده و مشاهداتی ماهانه و سالانه برای ایستگاه درآگاه به همراه شاخص های ارزیابی برای دوره اعتبارسنجی

نتایج:

هدف از انجام این تحقیق شبیه‌سازی جریان آب رودخانه با استفاده از مدل SWAT است که به منظور برآورد آب زیر زمینی برای احداث سدهای زیرزمینی کاربرد دارد و بدین منظور این طرح تحقیقاتی در رودخانه‌های که از نظر تشکیلات زمین‌شناسی مناسب احداث سدهای زیرزمینی در منطقه درآگاه تشخیص داده شود اجرا گردید. با استفاده از نرم‌افزار SWAT برای آبخیز درآگاه، از نرم‌افزار SWAT-CUP و روش SUFI-2^۱ (Abbaspour and Yang, 2006) با استفاده شد. SUFI-2 یک الگوریتم نیمه‌اتوماتیک مدل‌سازی معکوس است. این الگوریتم، برای ارزیابی عدم قطعیت دو معیار P-فاکتور و R-فاکتور را محاسبه می‌کند. به لحاظ تئوری، مقادیر P-فاکتور در بازه ۰ تا ۱ و مقادیر R-فاکتور در بازه ۰ تا بی‌نهایت تغییر می‌کنند. P-فاکتور برابر با ۱ و R-فاکتور برابر با ۰ نشان‌دهنده تطابق کامل مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی است. هر چقدر P-فاکتور و R-فاکتور به دست آمده، از این اعداد فاصله داشته باشند دقت شبیه‌سازی کمتر می‌باشد. در شکل ۱۱ ادبی شبیه‌سازی شده و مشاهداتی برای ایستگاه درآگاه در دوره واسنجی (۲۰۰۲ تا ۲۰۰۶) و مقادیر شاخص‌های ارزیابی برای این دوره ارائه گردیده است. مقادیر P-فاکتور و R-فاکتور برای دوره واسنجی به ترتیب ۰/۶۷ و ۲/۵۳ محاسبه شد. بر اساس نتایج واسنجی، مقدار RMSE برابر با ۲.۸۹ و ۱.۳۵ بود. مقدار مربعات خطای مطلق برای واسنجی و صحت‌سنجی سالانه برابر با ۸.۳۷ و ۱.۱۴ بوده است. برای واسنجی و صحت‌سنجی ضریب Nash اگر بیشتر از ۰/۶ برای نتایج واسنجی و صحت‌سنجی خوب است. برای ارزیابی نتایج واسنجی از شاخص‌هایی نظیر ضریب تبیین (R^2)، ضریب تبیین وزنی (WR^2)، نش-ساتکلیف (NSE) و میانگین مربعات خطا (RMSE) مدل استفاده شد. شاخص R^2 همبستگی بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی را نشان می‌دهد و مقادیر آن بین ۰ تا ۱ متغیر است. این شاخص به تنهایی نمی‌تواند تطابق داده‌های محاسباتی و مشاهداتی را نشان دهد. اگر همراه با R^2 معادله خط رگرسیون ($y=bx+a$) بین داده‌های پیش‌بینی و مشاهداتی نیز مد نظر قرار گیرد، تطابق این مقادیر بهتر نشان داده خواهد شد. در مورد شاخص نش-ساتکلیف، اگر مقادیر این شاخص بیشتر از ۰/۷۵ باشد مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۷۵ تا ۰/۳۶ باشد، رضایت‌بخش و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد غیرقابل قبول فرض می‌شود (ژو و همکاران، ۲۰۰۹). به نقل از نش و ساتکلیف، ۱۹۷۰. ضریب نش-ساتکلیف برابر با ۰.۹۳ برای دوره واسنجی در مدل سوات محاسبه گردید. که بر اساس NS (نش-ساتکلیف) مورد ارزیابی قرار گرفت و بر اساس تقسیم بندی در گروه عالی قرار گرفته است.

منابع: