تخمین "آب آبی" و "آب سبز" با استفاده از مدل SWAT در حوضه آبریز همدان- بهار

سمیرا اخوان[۱]، جهانگیر عابدی کوپایی[۱*]، سید فرهاد موسوی[۱]، کریم عباسپور[۲]، مجید افیونی[۳] و سید سعید اسلامیان[۱]

(تاریخ دریافت: ۱۳۸۸/۸/۹ ؛ تاریخ پذیرش: ۱۳۸۸/۱۲/۱۵)

چکیده

توزیع زمانی و مکانی آب در حوضه‌های آبریز، تخمین کمیت و کیفیت آب و عدم قطعیت تخمین‌های حاصله از اهمیت خاصی برخوردار است. در مطالعه حاضر، مدل SWAT به منظور تخمین مؤلفه‌های منابع آب شامل آب آبی (مجموع رواناب سطحی و تغذیه آب زیرزمینی عمیق)، آب سبز (تبخیر و تعرق واقعی) و ذخیره آب سبز (آب خاک) در حوضه آبریز همدان- بهار استفاده شد. هم‌چنین از الگوریتم SUFI2، در بسته نرم افزاری SWAT-CUP برای واسنجی و اعتبارسنجی بر اساس دبی ماهانه رودخانه و تحلیل عدم قطعیت مدل SWAT به کار گرفته شد. درجه عدم قطعیت توسط فاکتورهای R-factor و P-factor محاسبه می‌شود. نتایج شبیه‌سازی دبی رودخانه‌ها در بیشتر ایستگاه‌ها، به ویژه خروجی حوضه آبریز (ایستگاه کوشک آباد) رضایت‌بخش بود. نتایج نشان داد که مقادیر R-factor در مرحله واسنجی رواناب ماهانه بین ۰/۴ تا ۰/۸ و مقادیر P-factor بین ۲۰ تا ۶۰ درصد بودند. کم بودن مقادیر فوق به ترتیب بیانگر واسنجی خوب رواناب در حوضه و عدم قطعیت زیاد پیش‌بینی‌هاست. در بیشتر ایستگاه‌ها، به علت عدم دسترسی به اطلاعات کافی در مورد مقدار آب برداشتی از رودخانه‌ها، شبیه‌سازی جریان پایه ضعیف بوده و در نتیجه مقدار P-factor کم است. ضریب نش- ساتکلیف (NS) بعد از واسنجی بین ۰/۳ تا ۰/۸ بود که نشان می‌دهد واسنجی مدل در خروجی حوضه از دقت بسیار خوبی برخوردار است. از این مطالعه، اطلاعات خوبی در مورد مؤلفه‌های منابع آب، هم از نظر توزیع مکانی (در مقیاس زیرحوضه) و هم از نظر توزیع زمانی (در مقیاس ماهانه)، به همراه باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد، به دست آمد. نتایج تحلیل عدم قطعیت مؤلفه‌های منابع آب نشان می‌دهد که میانگین ماهانه عدم قطعیت مربوط به تخمین آب آبی بیشتر از سایر مؤلفه‌هاست، زیرا این مؤلفه به تعداد پارامترهای بیشتری حساس می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: تحلیل عدم قطعیت، SWAT، آب آبی، آب سبز، SUFI2، همدان- بهار

۱. به ترتیب دانشجوی دکتری، دانشیار و استادان آبیاری، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

۲. پژوهشیار مؤسسه EAWAG سوئیس

۳. استاد خاک‌شناسی، دانشکده کشاورزی، دانشگاه صنعتی اصفهان

* : مسئول مکاتبات، پست الکترونیکی: koupai@yahoo.com

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]

مقدمه

تاکنون در مطالعات مربوط به منابع آب، بیشتر به مؤلفه"آب آبی"(Blue water) توجه شده و مؤلفه "آب سبز"(Green water) به عنوان بخشی از منابع آب در کشاورزی دیم نادیده گرفته شده است. بحث آب سبز و لزوم توجه به آن برای اولین بار توسط فالکن‌مارک در سال ۱۹۹۷ مطرح شد (۵). آب آبی مجموع رواناب سطحی و تغذیه آب‌های زیرزمینی عمیق است که متفاوت از تعریف آب سبز است. فالکن‌مارک و راکستروم (۶) آب سبز را شامل دو مؤلفه"جریان آب سبز" (Green water flow) و "منبع آب سبز" (Green water resource) دانسته‌اند. شول و همکاران (۱۴) عنوان "ذخیره آب سبز" را به جای منبع آب سبز به کار گرفته‌اند. در مقاله حاضر نیز از کلمه "ذخیره" استفاده می‌شود. بر طبق تعریف شول و همکاران (۱۴)، ذخیره آب سبز مقدار آب موجود در پروفیل خاک و جریان آب سبز معادل تبخیر و تعرق واقعی است که در قالب تبخیر از سطح خاک و آب و تعرق از پوشش گیاهی وارد اتمسفر می‌شود. در واقع ذخیره آب سبز قسمتی از منابع آب تجدیدپذیر با برگشت اقتصادی بوده که منبع اصلی کشاورزی دیم است.

راکستروم و همکاران (۱۲) به بررسی مقدار آب سبز در ۹۲ کشور در حال توسعه پرداختند. در این مطالعه سهم نسبی از آب نفوذی باران (جریان آب سبز در دیم)، آب آبی برای آبیاری و مقدار افزایش کارایی مصرف آب به منظور کاهش فشار بر منابع آب بررسی شد. مطالعات آنان هم‌چنین پتانسیل بالایی را در افزایش کارایی مصرف آب براساس مدل غیر خطی بین جریان بخار در کشاورزی و رشد محصول نشان داد. با افزایش کارایی مصرف آب، نیاز آب در کشاورزی ۱۶ و ۴۵ درصد به ترتیب در سال‌های ۲۰۱۵ و ۲۰۵۰ کاهش می‌یابد. در مطالعه دیگری توسط راکستروم و گوردن (۱۱) به ارزیابی جریان آب سبز در جهان، به منظور حفظ اکولوژی پایدار پرداختند. آنها بیان کردند که کل جریان بخار از اکوسیستم قاره‌ها ۷۱۳۰۰ گیگا متر مکعب در سال بوده است.

شول و همکاران (۱۴) از مدل SWAT (Soil and Water Assessment Tool) به منظور تخمین مؤلفه‌های آب در آفریقا در سطح زیر حوضه و با دقت زمانی ماهانه استفاده کردند. به طور کلی نتایج مدل خوب و در تعدادی موارد عدم قطعیت پیش‌بینی‌ها زیاد بود. هم‌چنین ار نتایج این مطالعه برای محاسبه شاخص‌های کمبود آب (Water scarcity) استفاده کردند. فرامرزی و همکاران (۷) با استفاده از مدل SWAT مؤلفه‌های منابع آب قابل دسترس شامل آب آبی و آب سبز در مقیاس کشوری و استانی را برای کل ایران بررسی کردند. نتایج آنها نشان داد که عملیات آبیاری تأثیر چشمگیری در دقت محاسبه بیلان آب دارد، به طوری که بدون در نظر گرفتن آبیاری، مقدار تبخیر و تعرق خیلی کمتر از واقعیت تخمین زده می‌شود. این مطالعه اطلاعات خوب و جامعی را در مورد منابع آب آبی و سبز در سطح هر استان فراهم می‌نماید. ولی با توجه به اینکه در این مطالعه از نقشه‌های با مقیاس بزرگ، در سطح کشور، استفاده شده و امکان مطالعه جزئیات بیشتر به علت بزرگ بودن محدود مطالعاتی نبوده، در نتیجه دارای دقت مکانی کم در مقیاس زیرحوضه است. بنابراین جهت تعیین دقیق منابع آب موجود در سطح زیرحوضه‌های هر استان باید مطالعاتی با اطلاعات دقیق‌تر صورت گیرد. مدل SWAT در مطالعات مختلفی به کار برده شده است که از جمله می‌توان به مطالعه رستمیان و همکاران (۱۳) اشاره کرد که از مدل SWAT برای تخمین رواناب و رسوب در حوضه بهشت آباد در کارون شمالی استفاده کردند. نتایج مدل برای متوسط رواناب ماهانه در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی بسیار رضایت‌بخش بود. مدل در شبیه‌سازی رواناب خیلی بهتر از رسوب عمل کرد (۱۳). عباس‌پور و همکاران (۴) برای شبیه‌سازی تمام فرایندهایی که روی کیفیت آب، رسوب و چرخه عناصر غذایی در حوضه رودخانه تور مؤثرند، از مدل SWAT استفاده کردند. نتایج آنها نشان داد که شبیه‌سازی رواناب و نیترات بسیار خوب و شبیه‌سازی رسوب و کل فسفر نسبتاً خوب بود. هم‌چنین آنها نتیجه گرفتند که مدل‌های حوضه‌های آبریز بزرگ- مقیاس

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]

می‌توانند برای مطالعات مدیریت حوضه آبریز مؤثر باشند و می‌توان برای تحلیل سناریوهای مختلف از چنین مدل‌های یکپارچه‌ای استفاده کرد. یانگ و همکاران (۱۹) روش‌های مختلف عدم قطعیت را به منظور واسنجی و تحلیل عدم قطعیت مدل SWAT بررسی کردند. نتایج تحقیقات آنها نشان داد که روش SUFI2 در مقایسه با سایر روش‌ها نیاز به تعداد اجراهای کمتری به منظور رسیدن به نتایج مشابه و پیش‌بینی عدم قطعیت دارد. هم‌چنین، این برنامه در بسته نرم افزاری SWAT-CUP به مدل SWAT لینک شده است (۳).

ار آنجایی که ارزیابی توزیع زمانی و مکانی مؤلفه‌های منابع آب برای مشخص کردن مناطق بحرانی، به منظور مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب هر منطقه ضروری است، برای مدیریت صحیح حوزه‌های آبخیز، نیاز به اطلاعات جامع و کاملی از روش‌های مدیریتی و اجرایی متفاوت می‌باشد. در کشور ما اکثر حوضه‌های آبخیز، به ویژه حوضه‌های آبخیز کوهستانی و صعب‌العبور، فاقد ایستگاه‌های اندازه‌گیری به تعداد کافی هستند و هرگونه برنامه‌ریزی عمرانی و مدیریتی را با مشکل و یا حتی شکست مواجه می‌سازند. برای مقابله با این مشکل که دشوار و پرهزینه است، متخصصین علم آبخیزداری، هیدرولوژیست‌ها و محققین منابع آب راه‌حل‌های مختلفی نظیر فرمول‌های تجربی و مدل‌های ریاضی و کامپیوتری عرضه کرده‌اند که تاکنون هیچ کدام نتوانسته‌اند راه حل مطلوبی ارائه دهند. عقیده بر این است که شبیه‌سازی پدیده‌های هیدرولوژی در حوضه‌های آبخیز می‌تواند راه‌حل بهینه‌ای برای آنها باشد.

هدف اصلی تحقیق حاضر، کاربرد مدل SWAT به منظور تعیین مؤلفه‌های منابع آب موجود شامل "آب آبی"، "ذخیره آب سبز" و "جریان آب سبز" برای حوضه آبریز همدان- بهار، تحلیل عدم قطعیت تخمین مؤلفه‌های منابع آب با کاربرد برنامه SUFI2 (Sequential uncertainty fitting ver. 2) و مشخص کردن توزیع زمانی و مکانی این مؤلفه‌ها می‌باشد.

مواد و روش‌ها

۱- منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز همدان- بهار بین طول‌های ۴۸ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۴۸ درجه و ۴۵ دقیقه شرقی و عرض‌های ۳۴ درجه و ۳۰ دقیقه تا ۳۵ درجه و ۵ دقیقه شمالی قرار گرفته است (شکل ۱). این حوضه از نظر هیدرولوژیک بخش اصلی حوضه آبریز رودخانه سیمینه رود (قره‌چای) را تشکیل می‌دهد که جریان آن پس از طی مسیری طولانی به دریاچه قم می‌ریزد. مساحت این حوضه آبریز بالغ بر ۲۴۶۰ کیلومتر مربع بوده که از دو بخش ارتفاعات و دشت تشکیل شده است. وسعت منطقه کم‌ارتفاع این دشت بالغ بر ۸۳۰ کیلومتر مربع، آبخوان اصلی دشت ۵۲۰ کیلومتر مربع و وسعت کل ارتفاعات مشرف بر آن ۱۶۳۰ کیلومتر مربع است. خروجی حوضه در ناحیه شمالی شرقی آن (اراضی کوشک آباد) واقع است. میانگین دبی در ایستگاه کوشک آباد، در طول دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰ برابر ۲/۱۱ متر مکعب بر ثانیه است.

حوضه آبریز همدان- بهار از حوضه‌های آبریز مهم در استان همدان است که با توجه به خشکسالی‌های اخیر بسیار آسیب‌پذیر بوده و حفظ آن از نظر کمی و کیفی دارای اهمیت فوق العاده‌ای است. در این حوضه، آب زیرزمینی نقش تعیین کننده در تأمین آب ایفا می‌نماید. دشت همدان- بهار از دشت‌های پر آب ایران در دهه‌های قبل محسوب می‌شده، اما بهره‌برداری‌های بیش از حد باعث افت سطح ایستابی بخصوص در نواحی مرکزی دشت شده است. این موضوع باعث گردیده تا از سال ۱۳۷۱ دشت مذکور از طرف امور آب استان همدان، ممنوعه اعلام گردد. بنابراین جهت مقابله با این مشکل می‌بایستی تمهیداتی اتخاذ گردد تا از جریان‌های نابهنگام (سیلاب‌ها) در مسیل‌ها نیز برای تغذیه سفره‌های آب زیرزمینی حداکثر استفاده به عمل آید و نهایتاً بهره‌برداری بهینه از آنها در برنامه‌ریزی‌های آتی را میسر سازد. از طرف دیگر، بر اساس آمارهای موجود، در حال حاضر حدود ۹۴/۲ درصد از منابع آب استان در بخش کشاورزی مصرف می‌شود، که این مسأله

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]



شکل ۱. نقشه مدل ارتفاعی دیجیتالی (DEM)، شبکه جریان وموقعیت ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری حوضه آبریز همدان - بهار

اهمیت محاسبه میزان رطوبت خاک را به عنوان یکی از منابع آب در هر حوضه آبریز به منظور برنامه‌ریزی بهتر کشاورزی دیم مشخص می‌کند (۱ و ۲). بدین لحاظ، و نیز به منظور مدیریت بهتر منابع آب موجود، مطالعه مؤلفه‌های منابع آب موجود ضروری است. به طور مثال با مشخص شدن مقدار جریان‌های سطحی در قسمت‌های مختلف حوضه می‌توان محل‌های مناسب برای تغذیه سفره با استفاده از آب‌های سطحی را تخمین زد.

۲- مدل SWAT

این مدل توسط وزارت کشاورزی آمریکا در سال ۱۹۹۵ با حمایت گروه تحقیقاتی دانشگاه A&M تگزاس توسعه یافت. مدل SWAT متعلق به مدل‌های هیدرولوژیک نیمه توزیعی، مفهومی و پیوسته است. این مدل، یک مدل جامع و کامل است که برای ارزیابی دبی جریان، آثار بلند مدت عملیات مدیریتی بر آب، رسوب و مواد شیمیایی حاصل از کشاورزی در حوضه‌های بزرگ توسعه یافته است (۱۰). در سال‌های اخیر، به منظور ارزیابی دقیق‌تر منابع آب موجود در قاره‌ها و کشورها از مدل SWAT استفاده شده است (۷ و ۱۴). علت استفاده از مدل SWAT این است که این مدل، یک مدل پیوسته زمانی و در گام‌های زمانی روزانه در مقیاس یک حوضه آبریز اجرا می‌شود. در این مدل، علاوه بر شبیه‌سازی فرایندهای مربوط به هیدرولوژی، فرایندهای مربوط به رشد گیاه که بر میزان تبخیر-تعرق و رطوبت خاک تأثیر می‌گذارد، نیز شبیه‌سازی می‌شوند.

مؤلفه‌های اصلی SWAT شامل آب و هوا، هیدرولوژی، رسوب، رشد محصول، نیترات، آفت‌کش‌ها، مدیریت کشاورزی و روندیابی جریان است (۱۰). در مطالعه حاضر، دو مؤلفه هیدرولوژی و مدیریت کشاورزی بررسی شده است. در این

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]

مدل، غیرهمگنی مکانی در دو سطح محاسبه می‌شود: ابتدا حوضه آبریز به زیرحوضه‌هایی براساس نقشه‌های ارتفاعی (DEM) تقسیم و سپس با توجه به نقشه‌های خاک و کاربری اراضی، به واحدهای واکنش هیدرولوژیک (Hydrologic Response Units, (HRU)) تقسیم‌بندی می‌گردد. خصوصیات فیزیکی مانند شیب و ابعاد آبراهه‌ها برای زیرحوضه‌ها بر اساس نقشه ارتفاعی توسط مدل شبیه‌سازی می‌شود. در ابتدا مقدار رطوبت خاک، رواناب سطحی، چرخه عناصر غذایی، رسوب، رشد گیاهان و روش‌های مدیریتی برای هر HRU شبیه‌سازی می‌گردد و سپس این خصوصیات برای هر زیرحوضه متوسط وزنی گرفته می‌شود. رواناب محاسبه شده از هر زیرحوضه از طریق شبکه جریان، به روش ذخیره متغیر، به سمت خروجی اصلی حوضه روندیابی می‌گردد (۱۰).

با محاسبه بیلان آب برای هر HRU به وسیله چهار حجم ذخیره شامل برف، رطوبت پروفیل خاک (عمق ۲-۰ متری)، آبخوان‌های کم عمق و آبخوان‌های عمیق عوامل بارندگی، تبخیر وتعرق، رواناب سطحی، نفوذ عمقی و جریان زیرسطحی بررسی می‌شود. در مطالعه حاضر برای محاسبه تبخیر و تعرق پتانسیل، از روش هارگریوز با توجه به داده‌های هواشناسی موجود، استفاده شده است. براساس تبخیر و تعرق پتانسیل، پارامترهای خاک و کاربری اراضی، تعرق واقعی گیاه و تبخیر واقعی خاک به طور جداگانه محاسبه شد. رواناب سطحی، از مقادیر بارندگی روزانه و به روش SCS با توجه به کاربری اراضی، نوع خاک و رطوبت اولیه خاک به دست می‌آید.

مؤلفه رشد گیاه در SWAT، نسخه ساده شده مدل EPIC (Environmental Policy Impact Climate) است که قادر به محاسبه تناوب انواع گیاهان زراعی و هم‌چنین شبیه‌سازی مراحل رشد گیاهان مرتعی و درختان می‌باشد. رشد گیاه از توسعه سطح برگ، جذب نور و تبدیل نور جذب شده به بیوماس با استفاده از فرضیه راندمان مصرف تابش مشخص در گونه‌های گیاهی تعیین می‌شود. توسعه فنولوژی گیاهی براساس واحدهای گرمایی تجمعی روزانه، پتانسیل بیوماس و شاخص برداشت است. برای اطلاع از جزئیات بیشتر در مورد مدل SWAT به نیتش و همکاران (۱۰) مراجعه شود.

۳- واسنجی مدل و تحلیل عدم قطعیت

مدل SWAT برای حوضه آبریز همدان- بهار در مقابل متغیرهای دبی رودخانه، مقادیر نیترات ماهانه خروجی حوضه آبریز (ایستگاه کوشک آباد) و مقادیر محصول (گندم دیم، گندم آبی و سیب‌زمینی) واسنجی و اعتبارسنجی شد. پارامترهایی که برای واسنجی مدل استفاده شده است بر اساس مطالعات عباس‌پور و همکاران (۳) و شول و همکاران (۱۴) انتخاب گردید. مهم‌ترین این پارامترها عبارت‌اند از: شماره منحنی رطوبتی II، جرم مخصوص ظاهری خاک، متوسط آب قابل دسترس، ضریب نفوذ آبخوان، زمان تأخیر برای تغذیه آبخوان، فاکتور جبران تبخیر از خاک و فاکتور جبران جذب گیاه. در این مقاله فقط نتایج حاصل از واسنجی و اعتبارسنجی رواناب ارائه می‌شود. به منظور واسنجی و تحلیل عدم قطعیت از برنامه SUFI2 استفاد شد (۳). این برنامه در بسته نرم افزاری SWAT-CUP به مدل SWAT لینک شده است. واسنجی مدل در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰ و اعتبارسنجی مدل در دوره آماری ۹۹-۱۹۹۲، برای ۷ ایستگاه هیدرومتری حوضه آبریز همدان- بهار بر اساس دبی ماهانه انجام شد. موقعیت ایستگاه‌ها در شکل ۱ ارائه شده است.

در SUFI2، عدم قطعیت پارامترها در برگیرنده تمام منابع عدم قطعیت ورودی‌ها، مدل مفهومی و پارامترهای موجود در بحث مدل‌سازی است. درجه عدم قطعیت توسط دو فاکتور به نام‌های R-factor و P-factor محاسبه شد. P-factor عبارت است از درصد داده‌های مشاهده‌ای که در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد (95% prediction uncertainty) قرار گرفته‌اند. تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد در سطوح ۲/۵ و ۹۷/۵ درصد از تابع توزیع تجمعی متغیر خروجی که با روش نمونه‌برداری لاتین هایپرکیوب (Latin hypercube) به دست آمده، محاسبه می‌گردد. تمامی این محاسبات توسط نرم‌افزار

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]

SWAT-CUP انجام می‌شود. برای اطلاع از جزئیات بیشتر در مورد این نرم‌افزار به عباس‌پور و همکاران (۳) مراجعه شود.

از آنجایی که اثر تمام عدم قطعیت‌ها در اندازه‌گیری‌ها (برای مثال، دبی رودخانه) نشان داده می‌شود، عدم قطعیت پارامترها، تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد را برای تمام منابع عدم قطعیت در نظر می‌گیرد. جدا کردن مقادیر عدم قطعیت مربوط به منابع مختلف دشوار است و تاکنون روشی قابل اطمینان برای محاسبه آنها یافت نشده است. R-factor عبارت از تقسیم میانگین باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد بر انحراف معیار داده‌های مشاهده‌ای است. برنامه SUFI2 به دنبال طیفی از پارامترهاست که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد واقع شوند (P-factor بزرگ، حداکثر ۱۰۰ درصد، با کوچک‌ترین مقدار R-factor ممکنه، حداقل صفر). حالت ایدآل زمانی است که P-factor برابر ۱۰۰ درصد و R-factor صفر باشد. ولی از آنجا که با کاهش R-factor، مقدار P-factor نیز افزایش می‌یابد. بنابراین محاسبات تا زمانی ادامه می‌یابد که اکثر داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد واقع شوند و ضخامت باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد تا حد ممکن کوچک شود. علاوه بر دو فاکتور بالا، از ضرایب R^2 و NS برای تعیین نیکویی برازش استفاده شد. ضریب R^2 (ضریب تشخیص، تبیین یا تعیین) نشان‌دهنده همخوانی بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی با استفاده از روش تجزیه رگرسیونی است. مقدار آن بین صفر تا ۱ بوده و فرمول آن عبارت است از:

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})(Q_{sim,i} - \overline{Q_{sim}})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2 \sum_{i=1}^{n}(Q_{sim,i} - \overline{Q_{sim}})^2} \qquad [1]$$

که در آن Q_{obs} مقادیر اندازه‌گیری شده رواناب، $\overline{Q_{obs}}$ متوسط مقادیر اندازه‌گیری شده رواناب، Q_{sim} مقادیر شبیه‌سازی شده رواناب، $\overline{Q_{sim}}$ متوسط مقادیر شبیه‌سازی شده رواناب و n تعداد مشاهدات است.

ضریب نش- ساتکلیف (NS) اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و مقدار این فاکتور بین یک تا منفی بی‌نهایت تغییر می‌کند. مقدار بیشتر از ۰/۵ این فاکتور نشان‌دهنده شبیه‌سازی خوب توسط مدل است. فرمول آن عبارت است از:

$$NS = 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs} - Q_{sim})_i^2}{\sum_{i=1}^{n}(Q_{obs,i} - \overline{Q_{obs}})^2} \qquad [2]$$

پارامترهای این معادله شبیه معادله ۱ است.

به منظور مقایسه دبی ماهانه شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای از تابع هدف زیر استفاده شده است:

$$Br^2 = \begin{cases} |b|R^2 & if\ |b| \le 1 \\ |b|^{-1}R^2 & if\ |b| > 1 \end{cases} \qquad [3]$$

که در آن R^2 ضریب تبیین بین سیگنال شبیه‌سازی شده و مشاهده شده دبی رودخانه و b شیب خط رگرسیونی است. تابع هدف میانگین Br^2 برای تمام ایستگاه‌های منطقه مورد مطالعه، استفاده می‌گردد:

$$g = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} Br_i^2 \qquad [4]$$

که n تعداد ایستگاه‌ها در منطقه مورد مطالعه است. تابع Br^2 بین صفر تا ۱ تغییر می‌کند. به عبارت دیگر برنامه ابتدا مقادیر تابع هدف را بر اساس فرمول ۳ در هر یک از ایستگاه‌های هیدرومتری که داده مشاهده‌ای دارند، حساب کرده و بعد بر اساس فرمول ۴ برای کل حوضه آبریز میانگین‌گیری می‌کند.

۴- جمع آوری و تحلیل داده‌ها و تنظیمات مدل

در این مطالعه از مدل ArcSWAT نسخه ۲.۱.۴ در محیط ArcGIS 9.2 و جدیدترین نقشه‌ها، اطلاعات هواشناسی و هیدرومتری منطقه استفاده شد. اطلاعات کلی در مورد منابع نقشه‌های ورودی مدل عبارت‌اند از: نقشه‌های توپوگرافی (۱:۲۵۰۰۰، سازمان نقشه‌برداری ایران)، خاک دشت (۱:۵۰۰۰۰،

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]

مرکز تحقیقات کشاورزی و منابع طبیعی همدان)، خاک ارتفاعات (۲۵۰۰۰۰ :۱، سازمان مدیریت و برنامه)، کاربری اراضی (۱۰۰۰۰۰ :۱، سازمان منابع طبیعی استان همدان) و شبکه جریان و ماسک حوضه آبریز (۱:۵۰۰۰۰، اداره کل امور آب استان همدان). داده‌های هواشناسی شامل بارندگی روزانه، حداقل و حداکثر دما و تابش خورشیدی برای دوره آماری ۲۰۰۸-۱۹۸۹ از سازمان هواشناسی کشور و سازمان هواشناسی استان همدان تهیه شد.

لازم به ذکر است که مدل SWAT از داده‌های باران و دمای نزدیک‌ترین ایستگاه هواشناسی هر زیرحوضه استفاده می‌کند. زمانی که ایستگاه‌ها دارای خلأ آماری باشند از مدل شبیه‌سازی آب و هوایی WXGEN استفاده می‌کند (۱۵). مدل WXGEN مجموعه‌ای از داده‌های اقلیمی را برای هر زیرحوضه شبیه‌سازی می‌کند. هم‌چنین اطلاعات مربوط به موقعیت سد اکباتان و دبی خروجی روزانه از سد و موقعیت و دبی چشمه‌های موجود در محدوده مطالعاتی به مدل وارد شد. از طرف دیگر، به علت اهمیت بخش کشاورزی در منطقه، آمار مربوط به مدیریت کشاورزی (به طور مثال تاریخ کاشت و برداشت، مقدار و نوع کود مصرفی)، از سازمان جهاد کشاورزی استان همدان و نیز از طریق مصاحبه با تعدادی از کشاورزان منطقه تهیه و به مدل داده شد.

نتایج و بحث

۱- واسنجی مدل و آنالیز عدم قطعیت

نتایج واسنجی مدل در دوره آماری ۲۰۰۸-۲۰۰۰ و اعتبارسنجی (اعداد داخل پرانتز) مدل در دوره آماری ۹۹-۱۹۹۲، برای ۷ ایستگاه هیدرومتری حوضه آبریز همدان- بهار در جدول ۱ ارائه شده است. در شکل ۲ مقایسه بین داده‌های مشاهده‌ای و بهترین شبیه‌سازی از آخرین تکرار نشان داده شده است. هم‌چنین باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد آخرین تکرار نیز نشان داده شده است. مقادیر R-factor حاصل از واسنجی رواناب ماهانه بین ۰/۴ تا ۰/۸ می‌باشد (جدول ۱). مقادیر نسبتاً کوچک R-factor بیانگر واسنجی خوب رواناب در این حوضه آبریز است. از طرفی، مقادیر P-factor که نشان دهنده درصد داده‌های مشاهده‌ای در باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد می‌باشد، بین ۲۰ تا ۶۰ درصد به دست آمد. این مقادیر کوچک بوده و نشان‌دهنده عدم قطعیت زیاد در پیش‌بینی‌هاست. یکی از دلایل کم بودن مقادیر P-factor این است که در اکثر ایستگاه‌ها جریان پایه توسط مدل بیشتر از مقادیر واقعی پیش‌بینی شده است (شکل ۲). در نتیجه مقادیر مشاهده‌ای، خارج از باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد واقع شده‌اند. کمبود اطلاعات در مورد میزان برداشت و مصرف آب از بالا دست رودخانه یکی از علل ناتوانی مدل در پیش‌بینی جریان پایه است. بنابراین به منظور کاهش عدم قطعیت مدل، نیاز به یک‌سری اطلاعات کامل و جامع در مورد مدیریت مصرف آب در منطقه مورد مطالعه است.

در ایستگاه سولان، هیدروگراف به دست آمده در شکل ۲ نشان می‌دهد که مدل، زمان رسیدن به حداکثر رواناب را به خوبی شبیه‌سازی نموده است. اما مدل در تخمین حداکثر جریان رواناب ضعیف‌تر عمل کرده که شاید یکی از دلایل آن مربوط به ضعف مدل SWAT در ذوب برف باشد (همان‌طور که از شکل ۱ مشخص است این ایستگاه در قسمت کوهستانی حوضه آبریز و در ارتفاع ۱۹۲۰ متری از سطح دریا قرار گرفته است). زیرا مدل SCS نمی‌تواند به خوبی رواناب حاصل از ذوب یخ یا بارندگی روی زمین‌های یخزده را پیش‌بینی کند (۹). نتایج مشابهی در مطالعات رستمیان و همکاران (۱۳) و فونتین و همکاران (۸) نیز گزارش شد. با توجه به جدول ۱، ضریب تبیین (R^2) بعد از واسنجی بین ۰/۴ تا ۰/۸ قرار گرفت که کمترین آن مربوط به ایستگاه ابرو و بیشترین آن مربوط به کوشک آباد (خروجی حوضه آبریز) است. ضریب نش- ساتکلیف (NS) بعد از واسنجی بین ۰/۳ تا ۰/۸ بود. با توجه به این مقادیر، واسنجی مدل در خروجی حوضه از دقت بسیار خوبی برخوردار است که نشان‌دهنده این است که حوضه آبریز همدان- بهار به طور کلی خوب شبیه‌سازی شده است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]

جدول۱. ضرایب آماری[1] نتایج واسنجی و اعتبارسنجی حوضه آبریز همدان- بهار

نام ایستگاه	P-factor	R-factor	R^2	NS	Br^2
کوشک آباد	۰/۲ (۰/۳)[2]	۰/۶ (۰/۵)	۰/۸ (۰/۷)	۰/۸ (۰/۷)	۰/۷ (۰/۵)
بهادربیگ	۰/۳ (۰/۱)	۰/۶ (۰/۳)	۰/۶ (۰/۳)	۰/۵ (۰/۱)	۰/۴ (۰/۱)
صالح آباد	۰/۲ (۰/۱)	۰/۴ (۰/۱)	۰/۶ (۰/۳)	۰/۶ (۰/۰)	۰/۴ (۰/۰)
سولان	۰/۴ (۰/۴)	۰/۴ (۰/۳)	۰/۸ (۰/۷)	۰/۷ (۰/۵)	۰/۴ (۰/۳)
عباس‌آباد	۰/۶ (۰/۳)	۰/۵ (۰/۴)	۰/۶ (۰/۶)	۰/۶ (۰/۵)	۰/۴ (۰/۳)
یلفان	۰/۳ (۰/۲)	۰/۴ (۰/۳)	۰/۵ (۰/۵)	۰/۳ (۰/۳)	۰/۲ (۰/۲)
ابرو	۰/۶ (۰/۵)	۰/۸ (۰/۶)	۰/۴ (۰/۶)	۰/۳ (۰/۵)	۰/۲ (۰/۴)

۱. اعداد بیان شده در جدول بدون بعد است.

۲. اعداد داخل پرانتز مربوط به دوره اعتبارسنجی است.

همان‌طور که در شکل ۲ نشان داده شده، دینامیک جریان در تمام ایستگاه‌ها خیلی خوب پیش‌بینی شده است.

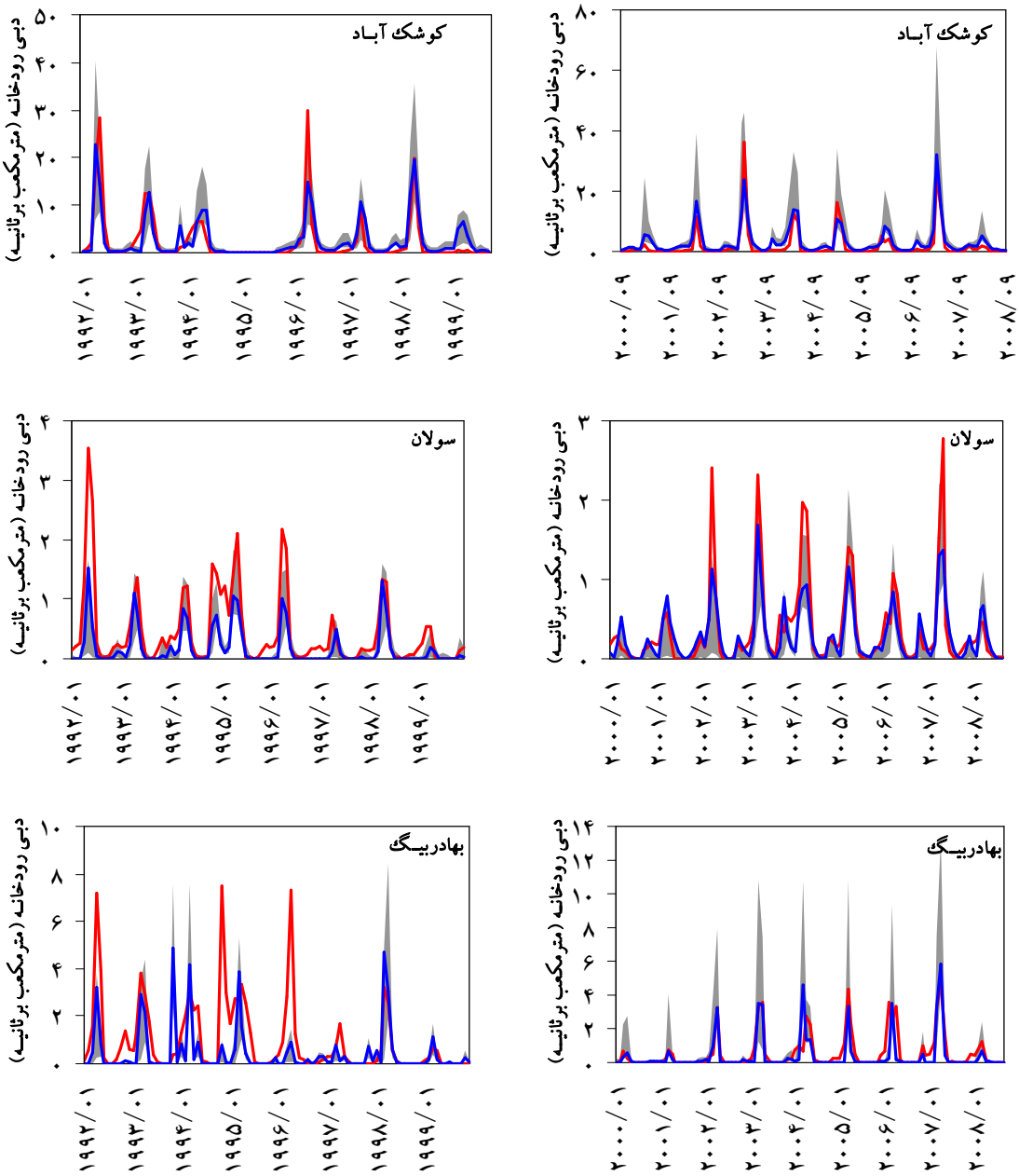
نتایج اعتبارسنجی مدل SWAT در دوره آماری ۱۹۹۹-۱۹۹۲، برای ۷ ایستگاه هیدرومتری حوضه آبریز همدان- بهار در جدول ۱ ارائه شده است (اعداد داخل پرانتز). در مرحله اعتبارسنجی رواناب ماهانه، محدوده پارامتر P-factor بین ۱۰ و ۵۰ درصد به دست آمد که به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های صالح‌آباد و ابرو است (جدول ۱). لازم به ذکر است که بر اساس جدول ۱ مقادیر R-factor در تمامی ایستگاه‌ها کمتر از یک بوده که بیانگر اعتبارسنجی خوب رواناب در این حوضه آبریز می‌باشد. ضریب R^2 به دست آمده در مرحله اعتبارسنجی رواناب ماهانه بین ۰/۳ تا ۰/۷ است که کمترین آن مربوط به ایستگاه بهادربیگ و بیشترین آن مربوط به سولان می‌باشد. طیف ضریب نش- ساتکلیف به دست آمده در مرحله اعتبار سنجی بین صفر تا ۰/۷ است که کمترین و بیشترین مقدار آن به ترتیب متعلق به ایستگاه‌های صالح آباد و کوشک آباد می‌باشد. بنابراین نتایج نشان می‌دهد که از این مدل نمی‌توان برای پیش‌بینی رخدادهای آینده در ایستگاه‌های بهادربیگ و صالح آباد استفاده کرد.

نتایج اعتبارسنجی برای ایستگاه‌های کوشک آباد، سولان و بهادربیگ در شکل ۲ نشان داده شده است. اگرچه نگاه دقیق‌تر به طور مثال به ایستگاه بهادربیگ نشان می‌دهد که در مرحله اعتبارسنجی نتایج در دوره ۱۹۹۷ تا ۱۹۹۹ خیلی بهتر از کل دوره واسنجی (۱۹۹۹-۱۹۹۲) است. یکی از علل آن می‌تواند تغییراتی مانند تغییر درکاربری اراضی باشد (بر اساس آمار نامه‌های کشاورزی) به طوری‌که سبب شده پارامترهای به دست آمده در مرحله واسنجی، قسمت اول از دوره اعتبارسنجی (۱۹۹۶-۱۹۹۲) را پوشش ندهد (به علت تغییراتی که در طی این سال‌ها در حوضه اتفاق افتاده است و سبب تفاوت شرایط بین این دوره و دوره واسنجی شده است)، ولی قادر به شبیه‌سازی خوب سال‌های آخر اعتبارسنجی (۱۹۹۹-۱۹۹۷) باشد. همان‌طور که در این شکل دیده می‌شود تغییرات زمانی در این دوره آماری خیلی بهتر از اوایل دوره اعتبارسنجی (۱۹۹۶-۱۹۹۲) است.

به طور کلی، نتایج واسنجی و اعتبارسنجی برای کل حوضه آبریز همدان- بهار، با توجه به نتایج خوب به دست آمده در خروجی حوضه آبریز (ایستگاه کوشک آباد)، قابل قبول و رضایت‌بخش می‌باشد. زیرا در برخی از ایستگاه‌ها مانند بهادربیگ، مقادیر شبیه‌سازی بیشتر از مقادیر اندازه‌گیری شده بوده و در برخی از ایستگاه‌ها مانند سولان مقادیر شبیه‌سازی کمتر از اندازه‌گیری شده بوده است. بنابراین می‌توان نتیجه گرفت که کلاً در خروجی حوضه، نتایج شبیه‌سازی خوب بوده است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

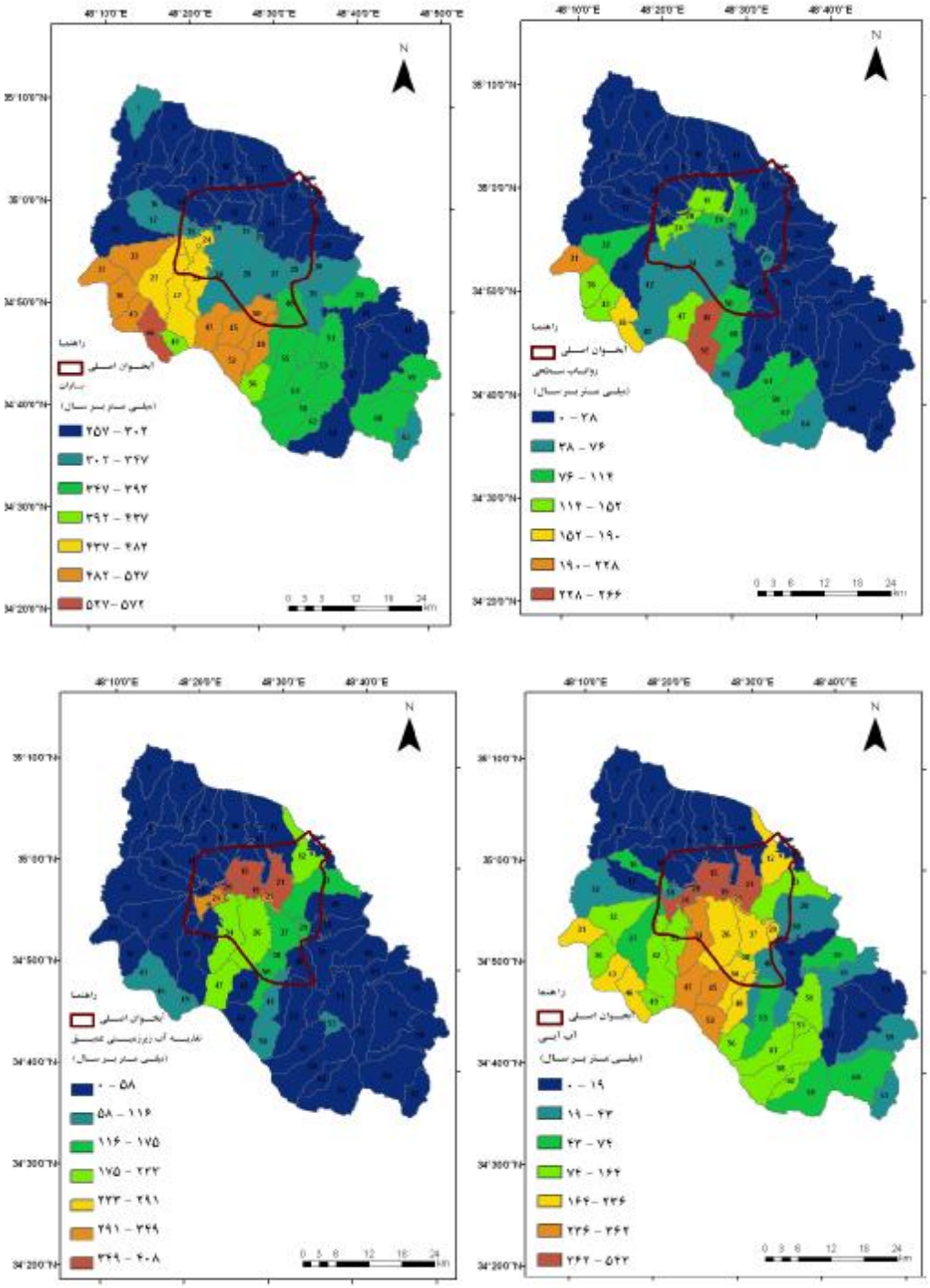
[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]



شکل۲. مقایسه بین داده‌های دبی مشاهده‌ای (خط قرمز رنگ) و بهترین شبیه سازی (خط آبی رنگ) و هم‌چنین باند عدم قطعیت دبی شبیه‌سازی شده (قسمت خاکستری رنگ) در سه ایستگاه هیدرومتری کوشک آباد، سولان و بهادربیگ. نتایج واسنجی و اعتبارسنجی به ترتیب در سمت راست و چپ شکل نشان داده شده است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

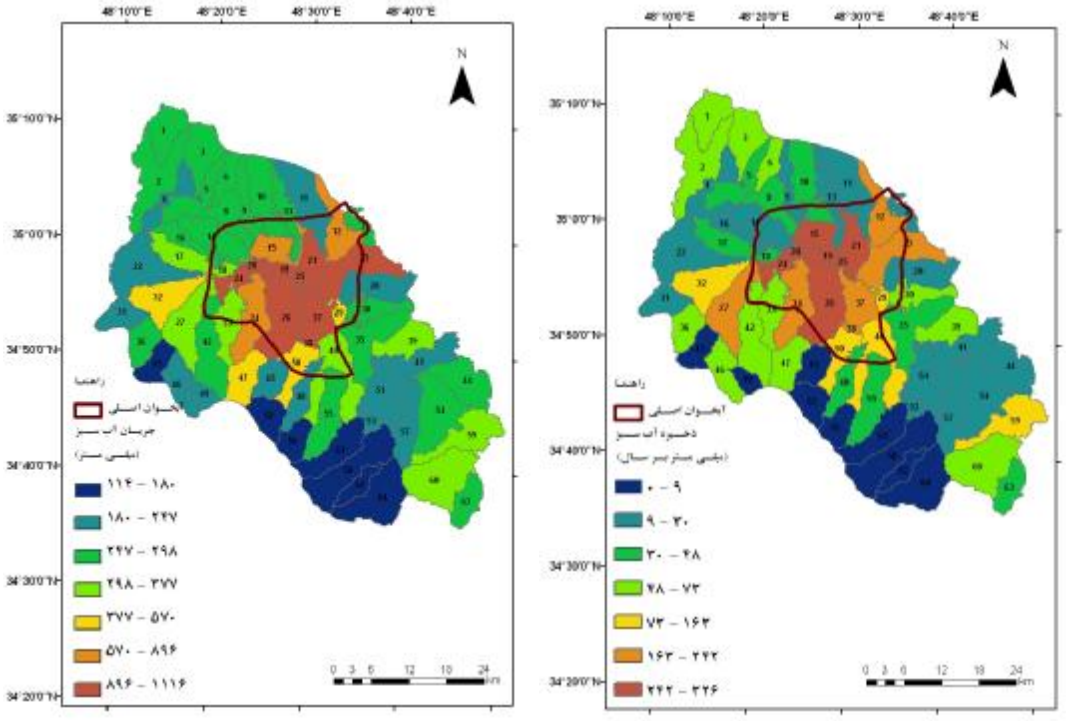
[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]



شکل ۳. میانگین سالانه (دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۰) بارندگی, رواناب سطحی، تغذیه آب زیرزمینی عمیق و آب آبی در ۶۴ زیرحوضه مدل شده حوضه آبریز همدان- بهار

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]



شکل ۴. میانگین سالانه (دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۰) جریان آب سبز و ذخیره آب سبز در ۶۴ زیرحوضه مدل شده، حوضه آبریز همدان- بهار

جدول۲. میانگین بارندگی (ورودی مدل) و طیف عدم قطعیت برای مؤلفه‌های منابع آب (خروجی مدل) در حوضه آبریز همدان- بهار

پارامتر	مقدار
بارندگی (میلی‌متر در سال)	۳۴۵/۸
جریان آب سبز (میلی‌متر در سال)	۳۴۵/۰-۳۸۳/۵
ذخیره آب سبز (میلی‌متر)	۶۳/۱-۸۷/۶
تغذیه آب‌زیرزمینی عمیق (میلی‌متر در سال)	۴۲/۵-۶۶/۶
رواناب سطحی (میلی‌متر در سال)	۱۸/۹-۷۸/۲
آب آبی (میلی‌متر در سال)	۶۴/۷-۱۳۹/۶

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]

۲- مقادیر کمی آب آبی، آب سبز و عدم قطعیت مربوط به آنها

بعد از واسنجی مدل SWAT برای حوضه آبریز همدان- بهار، مقادیرسالانه و ماهانه آب آبی (جمع رواناب سطحی و تغذیه آب زیرزمینی عمیق)، جریان آب سبز (تبخیر و تعرق واقعی) و ذخیره آب سبز (آب خاک) برای هر زیرحوضه محاسبه شد. شکل ۳ میانگین مقادیر سالانه (در دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۰) باران، رواناب سطحی، تغذیه آب زیرزمینی عمیق و آب آبی و شکل ۴ ذخیره آب سبز و جریان آب سبز را در ۶۴ زیرحوضه همدان- بهار نشان می‌دهند. علت نمایش جداگانه مؤلفه آب آبی در شکل ۳، فراهم ساختن اطلاعاتی از نظر توزیع مکانی و زمانی رواناب سطحی و مقدار تغذیه آب زیرزمینی برای مطالعاتی مانند پروژه‌های تغذیه مصنوعی آب‌های زیرزمینی منطقه، احداث سدهای کوچک جهت ذخیره منابع آب سطحی و کنترل آلودگی بوده است. از میانگین مقادیر سالانه دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۰ در سطح ۵۰ درصد توزیع تجمعی هر یک از مؤلفه‌های منابع آب، به جای رسم جداگانه حد بالا و پایین تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد استفاده گردیده است. بر اساس شکل ۳ مقدار تغذیه آب‌های زیرزمینی عمیق در زیرحوضه‌های ۱۵، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۴ و ۲۵ بیشتر از سایر قسمت‌های حوضه‌آبریز است. البته لازم به ذکر است این مقدار تغذیه، مقدار آبی است که از ناحیه ریشه خارج شده است (مازاد ظرفیت مزرعه). یکی از علل آن می‌تواند تلفات عمقی آب آبیاری بیشتر در این زیرحوضه‌ها باشد. در نتیجه، در این قسمت‌های دشت باید به بحث آلودگی کودهای کشاورزی توجه بیشتری شود.

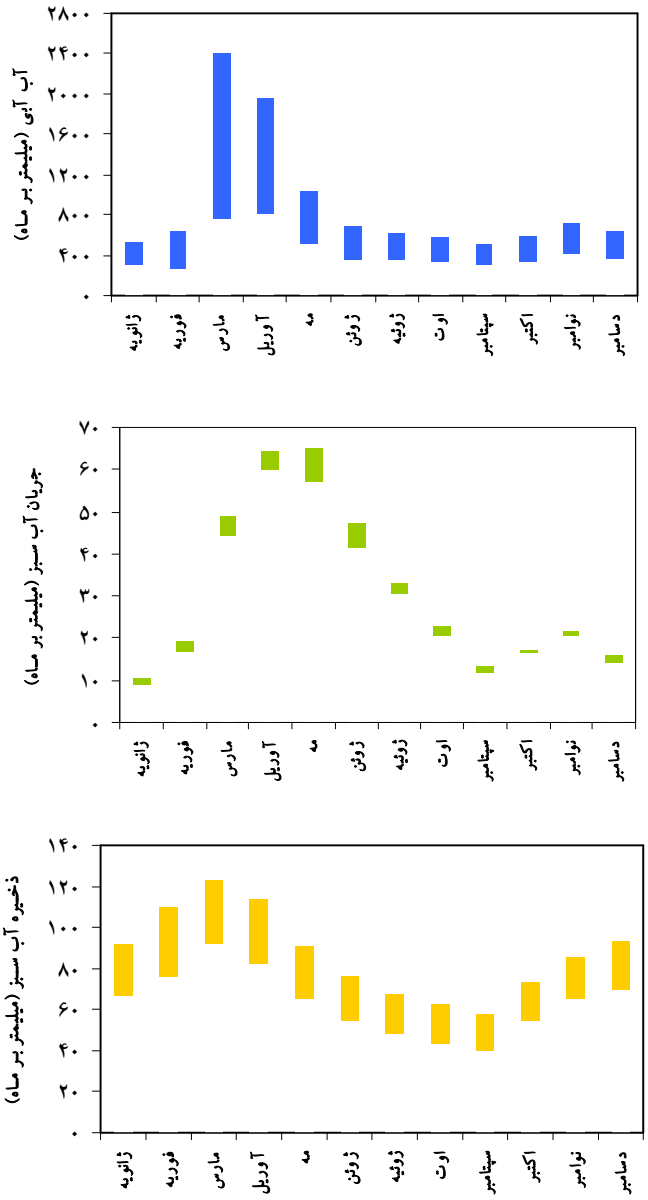
به طور کلی در محدوده آبخوان اصلی تراکم کشاورزی شدید بوده و اغلب تحت کشت آبی قرار دارند. همان‌طور که در شکل ۳ دیده می‌شود، بیشترین میزان رواناب سطحی در قسمت‌های غربی و جنوب‌غربی حوضه‌آبریز قرار دارد. مطابق شکل ۴، مقدار حداکثر جریان آب سبز ۱۱۱۶-۸۹۶ میلی‌متر در سال است که در زیرحوضه‌های ۱۵، ۱۹، ۲۰، ۲۱، ۲۳، ۲۵، ۲۶، ۳۴ و ۳۷ واقع شده و این زیرحوضه‌ها تحت کشت آبی قرار گرفته‌اند. در نتیجه، میزان تبخیر و تعرق در این قسمت به علت آبیاری زیاد می‌باشد. با توجه به شکل ۴، میزان ذخیره رطوبت علاوه بر زیرحوضه‌هایی که در آنها جریان آب سبز زیاد بود، در زیرحوضه‌های ۱۲، ۲۴ و ۲۷ نیز بالا می‌باشد. این شکل که نشان‌دهنده ذخیره آب سبز (میانگین بلندمدت مقدار رطوبت خاک در زیرحوضه‌های مختلف) است، اطلاعات خوبی برای مدیریت محصولات دیم فراهم می‌کند. زیرا در بیشتر محاسبات منابع آب در حوضه، مقدار رطوبت خاک که منبع مهمی برای محصولات دیم است را در نظر نمی‌گیرند و تغییرات آن صفر فرض می‌شود.

علاوه بر تخمین مقادیر مکانی مؤلفه‌های آب در هر زیرحوضه، این تحقیق اطلاعاتی را در مقیاس زمانی ماهانه برای تمام مؤلفه‌های منابع آب فراهم می‌کند. در شکل ۵ روند تغییرات هر یک از مؤلفه‌های منابع آب موجود برای میانگین ماهانه باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد (از سال ۲۰۰۰ تا سال ۲۰۰۸) برای کل حوضه آبریز نشان داده شده است. در حالت کلی، طیف عدم قطعیت میانگین ماهانه برای مؤلفه آب آبی بزرگ‌تر از سایر مؤلفه‌هاست. این حالت، به ویژه در ماه‌های اوایل بهار، بزرگ‌تر از سایر ماه‌هاست. شاید یکی از علل بزرگ بودن عدم قطعیت مربوط به عدم توانایی مدل SWAT در شبیه‌سازی ذوب برف در مناطق کوهستانی در اواخر زمستان و اوایل بهار باشد.

برخلاف مؤلفه آب آبی، طیف عدم قطعیت مربوط به میانگین ماهانه جریان آب سبز (تبخیر و تعرق واقعی) کوچک‌تر از سایر مؤلفه‌هاست. علت این است که تنها یک پارامتر (ESCO، فاکتور جبران تبخیر از خاک) ذخیره آب سبز را کنترل می‌کند. به عبارت دیگر، این مؤلفه به تعداد پارامترهای کمتری حساس است. در حالی‌که تمام پارامترهای واسنجی مدل، آب آبی را کنترل می‌کنند. طیف عدم قطعیت مربوط به مؤلفه ذخیره آب سبز (رطوبت خاک) کوچک‌تر از آب آبی و بزرگ‌تر از جریان آب سبز است.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]



شکل ۵. میانگین ماهانه (دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۰) باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد آب آبی، جریان آب سبز و ذخیره آب سبز در کل حوضه آبریز همدان- بهار (به ترتیب از بالا به پایین).

جدول ۲ میانگین سالانه (دوره ۲۰۰۸-۲۰۰۰) بارندگی (به عنوان ورودی مدل) و باند تخمین عدم قطعیت ۹۵ درصد را برای جریان آب آبی، جریان آب سبز و ذخیره آب سبز (به عنوان خروجی مدل) از جمع وزنی کل زیرحوضه‌ها برای کل حوضه آبریز همدان- بهار نشان می‌دهد.

نتیجه‌گیری

در این تحقیق از مدل مفهومی- نیمه توزیعی SWAT، در محیط ArcGIS، و نیز از الگوریتم تحلیل عدم قطعیت SUFI2 در برنامه SWAT-CUP، به طور موفقیت‌آمیزی برای شبیه‌سازی رواناب و تخمین مقدار مؤلفه‌های منابع آب (آب آبی، جریان

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]

آب سبز و ذخیره آب سبز) حوضه آبریز همدان- بهار استفاده شد. یکی از محدودیت‌های این مطالعه کمبود اطلاعات مربوط به برداشت و مصارف آب از رودخانه‌های موجود در منطقه بود، که در صورت موجود بودن این اطلاعات، شبیه‌سازی جریان پایه بهتر صورت می‌گرفت. هم‌چنین یکی از دلایل ضعف مدل در تخمین حداکثر جریان رواناب، استفاده از فرمول SCS در محاسبه رواناب است زیرا مدل SCS نمی‌تواند به خوبی رواناب حاصل از ذوب برف را شبیه‌سازی کند. با توجه به پیچیدگی‌های این حوضه آبریز (که قسمت عمده دشت تحت کشاورزی و پروژه‌های تغذیه مصنوعی است) نتایج شبیه‌سازی رواناب بسیار رضایت‌بخش بود. در این شبیه‌سازی، طیف عدم قطعیت برای مؤلفه‌های آب آبی و آب سبز در هر زیرحوضه و در گام زمانی ماهانه تخمین زده شد، زیرا بیان تنها یک عدد برای مؤلفه‌های منابع آب گمراه کننده می‌باشد. این مطالعه اطلاعات مفیدی را در مورد وضعیت واقعی منابع آب موجود فراهم نموده و به تشخیص مناطق مهم به منظور تحلیل‌های دقیق‌تر برای پروژه‌های مدیریت منابع آب مانند تعیین محل دقیق پروژه‌های تغذیه مصنوعی، و امنیت آب کمک می‌کند. هم‌چنین از نتایج این مطالعه می‌توان به منظور تحلیل سناریوهای مدیریتی جهت افزایش رطوبت خاک برای کشاورزی دیم (مانند بررسی اثر شخم در افزایش میزان رطوبت خاک) در قسمت‌های مختلف حوضه آبریز استفاده کرد.

سپاسگزاری

بدین وسیله از شرکت سهامی آب منطقه‌ای استان همدان، شرکت آب و فاضلاب استان همدان، سازمان جهاد کشاورزی استان همدان، دانشگاه صنعتی اصفهان و مؤسسه EAWAG کشور سوئیس به خاطر حمایت‌های مادی و معنوی در انجام این تحقیق سپاسگزاری می‌شود.

منابع مورد استفاده

۱. جعفری، ع. م. و م. رضوانی. ۱۳۸۰. بررسی راه‌کارهای مقابله با بحران آب در استان همدان. سازمان مدیریت و برنامه‌ریزی استان همدان، ۳۶۵ صفحه.

۲. دفتر مطالعات امور آب استان همدان. ۱۳۸۳. توجیه ممنوعیت بهره‌برداری از آب زیرزمینی دشت همدان- بهار. ۶۷ صفحه.

3. Abbaspour, K. C. 2007. User Manual for SWAT-CUP¤ SWAT Calibration and Uncertainty Analysis Programs. Swiss Federal Institute of Aquatic Science and Technology, Eawag, Dübendorf, Switzerland, 95 p. Available at: http://www.eawag.ch/organisation/abteilungen /siam/software/swat/index_EN.
4. Abbaspour, K. C., J. Yang, I. Maximov, R. Siber, K. Bogner, J. Mieleitner, J. Zobrist and R. Srinivasan. 2007. Modelling hydrology and water quality in the pre-alpine/alpine Thur watershed using SWAT. J. Hydrol. 333(2-4): 413-430.
5. Falkenmark, M. 1997. Meeting water requirements of an expanding world population. Phil. Trans. R. Soc. Lond. B 352: 929–936.
6. Falkenmark, M. and J. Rockstrom. 2006. The new blue and green water paradigm: Breaking new ground for water resources planning and management. ASCE, J. Water Resour. Plan. Manag. 132(3): 129–132.
7. Faramarzi, M., K. C. Abbaspour, R. Schulin and H. Yang. 2009. Modelling blue and green water resources availability in Iran. Hydrol. Proc. 23: 486-501.
8. Fontaine, T. A., T. S. Cruickshank, J. G. Arnold and R. H. Hotchkiss. 2002. Development of a snowfall–snowmelt routine for mountainous terrain for the soil water assessment tool (SWAT). J. Hydrol. 262(1–4): 209–223.
9. Maidment, D. R. 1992. Handbook of Hydrology. McGraw-Hill Co., USA.
10. Neitsch, S. L., J. G. Arnold, J. R. Kiniry, J. R. Williams and K. W. King. 2005. Soil and water assessment tool: Theoretical documentation. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station, 494 p.
11. Rockstrom, J. and L. Gordon. 2001. Assessment of green water flows to sustain major biomes of the world: Implications for future ecohydrological landscape management. Phys. Chem. Earth Part B, 26(11–12): 843–851.
12. Rockstrom, J., M. Lannerstad and M. Falkenmark. 2007. Assessing the water challenge of a new green revolution in developing countries. PNAS, 104(15): 6253–6260.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]
[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]

13. Rostamian, R., A. Jaleh, M. Afyuni, S. F. Mousavi, M. Heidarpour, A. Jalalian and K. C. Abbaspour. 2008. Application of a SWAT model for estimating runoff and sediment in two mountainous basins in central Iran. Hydrol. Sci. J. 53(5): 977-988.
14. Schuol J., K. C. Abbaspour, H. Yang, R. Srinivasan and A. J. B. Zehnder. 2008. Modelling blue and green water availability in Africa. Water Resour. Res. 44: 1-18.
15. Sharpley, A.N. and J. R. Williams. 1990. EPIC-Erosion Productivity Impact Calculator, 1. Model documentation. U.S. Department of Agriculture, Agricultural Research Service, Tech. Bull. 1768.
16. Shiklomanov, I. A. 1999. World water resources and their use. joint SHI/UNESCO product. http:// espejo. unesco. org.uy.
17. Vorosmarty, C. J., P. Green, J. Salisbury and R. B. Lammers. 2000. Global water resources: Vulnerability from climate change and population growth. Science 289: 284–288.
18. Winchell, M., R. Srinivasan, M. Di Luzio and J. G. Arnold. 2008. ArcSWAT interface for SWAT2005–User's guide. Blackland Research Center, Texas Agricultural Experiment Station and Grassland, Soil and Water Research Laboratory, USDA Agricultural Research Service, Temple, Texas.
19. Yang, J., P. Reichert, K. C. Abbaspour, J. Xia and H. Yang. 2008. Comparing uncertainty analysis techniques for a SWAT application to Chaohe Basin in China. J. Hydrol. 358: 1–23.

[Downloaded from jstnar.iut.ac.ir on 2026-11-16]

[DOR: 20.1001.1.24763594.1389.14.53.2.9]