

## واسنجی و اعتبارسنجی مدل WEAP در شبیه‌سازی اثر تغییر سیستم‌های آبیاری روی پاسخ هیدرولوژیک حوضه آبریز اهرچای

مریم محمدپور<sup>۱</sup>، کامران زینالزاده<sup>۲\*</sup>، وحید رضوردی‌نژاد<sup>۳</sup> و بهزاد حساری<sup>۴</sup>

۱. دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

۲ و ۴. استادیار گروه مهندسی آب، پژوهشکده مطالعات دریاچه ارومیه، دانشگاه ارومیه

۳. استادیار گروه مهندسی آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه ارومیه

(تاریخ دریافت ۱۳۹۵/۰۸/۰۱؛ تاریخ تصویب ۱۳۹۵/۰۹/۲۰)

### چکیده

در این مطالعه کاربرد مدل WEAP (روش رطوبت خاک) برای شبیه‌سازی رفتار هیدرولوژیک در حوضه آبریز اهرچای بررسی شد. با توجه به توسعه سیستم‌های آبیاری تحت فشار در این حوضه از سال ۱۳۸۴، دو مدل برای دو دوره قبل (۱۳۷۷-۱۳۸۵) و بعد (۱۳۸۵-۱۳۹۲) از توسعه سیستم‌های یادشده اجرا شد. روش آبیاری در مدل نخست، آبیاری سطحی و در مدل دوم آبیاری تحت فشار و آبیاری سطحی بود. اطلاعات ایستگاه‌های هیدرومتری تازه‌کند (خروجی حوضه) و اورنگ (بالادست سد ستارخان)، در چهار سال نخست هر دوره برای واسنجی مدل و چهار سال دوم برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد. مقادیر شاخص‌های آماری ضریب تعیین، نش-ساتکلیف و شاخص تطابق برای واسنجی مدل نخست (۱۳۷۷ تا ۱۳۸۰) در ایستگاه اورنگ به ترتیب برابر ۰/۹۵، ۰/۸۲ و ۰/۹۸ و در ایستگاه تازه‌کند به ترتیب برابر ۰/۹۶، ۰/۸۰ و ۰/۹۷ به دست آمد. مقادیر شاخص‌ها در واسنجی مدل دوم (۱۳۸۵-۱۳۸۹) برای ایستگاه اورنگ برابر ۰/۹۵، ۰/۸۵ و ۰/۹۹ و برای ایستگاه تازه‌کند برابر ۰/۹۶، ۰/۸۳ و ۰/۹۸ تعیین شد. مقادیر شاخص‌ها در اعتبارسنجی مدل نخست (۱۳۸۱-۱۳۸۵) برای ایستگاه اورنگ برابر ۰/۹۸، ۰/۸۸ و ۰/۹۹ و برای ایستگاه تازه‌کند برابر ۰/۹۶، ۰/۸۷ و ۰/۹۹ تعیین شد و در مدل دوم (۱۳۸۹-۱۳۹۲) برای ایستگاه اورنگ برابر ۰/۹۶، ۰/۸۶ و ۰/۹۹ و برای ایستگاه تازه‌کند برابر ۰/۹۷، ۰/۷۸ و ۰/۹۷ به دست آمد.

**کلیدواژگان:** اعتبارسنجی، تغییر سیستم‌های آبیاری، حوضه آبریز اهرچای، روش رطوبت خاک، مدل WEAP، واسنجی.

## مقدمه

می‌شود، بنابراین برای ارزیابی استراتژی‌های مدیریت منابع آب در حوضه‌های آبریز ابزار کارآمدی است.

مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب WEAP یکی از مدل‌های قدرتمند نیمه‌توزیعی شبیه‌سازی هیدرولوژی حوضه آبریز و مدیریت بیلان آب و رواناب در پایه‌های زمانی متفاوت است [۵، ۶، ۷، ۸، ۹ و ۱۰]. این امر موجب شده است که مدل یادشده در تحقیقات بسیاری برای شبیه‌سازی مدیریت یکپارچه منابع آب و ارزیابی راهبردهای متنوع توسعه‌ای در حوضه‌های آبریز استفاده شود. Ingol-Blanco و McKinney (۲۰۱۲) با واسنجی و اعتبارسنجی مدل WEAP در حوضه ریو-کانچوس مکزیک و زیرحوضه ریو گراند، عملکرد خوب مدل را گزارش کردند [۷]. Schlote و همکارانش (۲۰۱۲) با مدل هیدرولوژیک WEAP-MABIA، بیلان آبی حوضه آلیوا در سوریه را با در نظر گرفتن تغذیه آب‌های زیرزمینی بررسی کردند [۸]. De Condappa و همکارانش (۲۰۰۹) شرایط حوضه آبریز ولتا را با استفاده از مدل WEAP شبیه‌سازی کردند. نتایج ارزیابی شبیه‌سازی مدل ایشان نشان داد ضریب نش-ساتکلیف برای ایستگاه‌های هیدرومتری مختلف بین ۰/۵۶ تا ۰/۸۶ متغیر است [۱۱]. Blanco و همکارانش (۲۰۱۳) با استفاده از ترکیب مدل WEAP و مدل بهینه‌سازی GAMS، بیلان آب در حوضه آبریز گوادایانا واقع در کشور اسپانیا را مدل‌سازی کردند. آنها ضریب نش-ساتکلیف را برای ایستگاه‌های هیدرومتری در دوره واسنجی بین ۰/۷۳ تا ۰/۸۸ گزارش کردند [۱۲]. Cai و همکارانش (۲۰۰۳) با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک و کشاورزی، سناریوهای مدیریت آب حوضه آبریز رودخانه Maipo در شیلی را ارزیابی کرده‌اند. آنها نشان دادند افزودن راندمان آبیاری کشاورزی می‌تواند تأثیرات منفی بر جریان رودخانه و افزایش مصرف آب داشته باشد [۱۳]. وفاخواه و همکارانش (۱۳۹۴) تأثیر تغییر کاربری اراضی بر مقدار رواناب در حوضه آبخیز چالوس رود را بررسی کردند [۱۴]. همچنین باقری و مرید (۱۳۹۲) مطالعه‌ای درباره مقایسه مدل‌های WEAP و MIKE BASIN در تخصیص منابع آب رودخانه تالوار کردند. در این پژوهش مقایسه قابلیت‌ها و امکانات مدل‌سازی هر دو مدل نشان داد مدل WEAP بهتر عمل کرده است [۱۵].

بزرگ‌ترین مصرف‌کننده آب به‌خصوص در کشورهای در حال توسعه از جمله ایران بخش کشاورزی است. با افزایش جمعیت، تأمین امنیت غذایی یک نگرانی مهم در جهان است. از طرف دیگر، فعالیت‌های انسانی، تغییر کاربری‌های زمین و توسعه ناپایدار به‌ویژه در بخش کشاورزی سبب سوء مدیریت منابع آبی کشور شده است [۱، ۲، ۲۴، ۲۵ و ۲۶]. بنابراین، توجه ویژه به راندمان آب مصرفی در این بخش، جزء اساسی‌ترین راهبردهای توسعه و پیشرفت است. بهبود روش‌های آبیاری برای افزایش بهره‌وری و راندمان، همواره یکی از موضوعات مهم تحقیقاتی در بخش مدیریت آب کشاورزی محسوب می‌شود. مدیریت صحیح و کارآمد منابع آب به شناخت تأثیرات هیدرولوژیک توسعه سیستم‌های آبیاری روی منابع آب حوضه‌های آبریز نیاز دارد. همچنین، فرایندهای هیدرولوژیک اکوسیستم‌های مناطق خشک و نیمه‌خشک حساسیت بسیار زیادی در برابر تغییرات دارند [۳]. مدل‌های هیدرولوژیکی که برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبخیز استفاده می‌شوند عموماً به دو گروه یکپارچه و توزیعی تقسیم می‌شوند.

مدل‌های توزیعی اغلب به دلیل قابلیت اتصال به GIS قادرند همه تغییرات مکانی را در نظر بگیرند، اما اجرای آنها مخصوصاً در حوضه‌های وسیع بسیار زمان‌بر خواهد بود [۴]. همچنین پیچیدگی المان‌های ساختاری هیدرولوژی حوضه‌های آبریز و تأثیرات متقابل هریک در تولید آبدهی، مستلزم استفاده از مدل‌های هیدرولوژیک جامع و توانمند از جمله WEAP برای شبیه‌سازی رفتار آنهاست. مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP)<sup>۱</sup> یک مدل توزیعی و ابزار کاربردی برای برنامه‌ریزی منابع آب است که توسط مؤسسه تحقیقات محیط زیست استکهلم توسعه داده شده است. مزیت اصلی مدل WEAP، رویکرد مدیریت یکپارچه منابع آب در شبیه‌سازی سیستم‌های آبی و جهت‌گیری آنها در راستای سیاست‌هاست. مسائل مختص به نیازهای آبی، راندمان‌ها، مسائل اقتصادی مانند هزینه‌ها و تخصیص منابع را به‌همراه مسائل هیدرولوژی حوضه‌های آبریز (جریان‌های آب‌های سطحی - زیرزمینی، مخازن و انتقال‌های آب) در مدل WEAP به‌خوبی مدل

1. WEAP: Water Evaluation and Planning System

ذوب برف در فصل بهار منتج می‌شود. نوع خاک حوضه کم‌عمق، لومی شنی با قدرت زهکشی زیاد به دلیل شیب‌دار بودن منطقه است. آب مورد نیاز مصارف کشاورزی علاوه بر دریافت از رودخانه به‌خصوص قبل از ایجاد شبکه آبیاری تحت فشار در منطقه مطالعه‌شده، از آبخوان دشت اهر، چشمه‌ها و چاه‌های نیمه‌عمیق موجود در این حوضه آبریز تأمین می‌شوند. آبخوان دشت اهر با وسعتی معادل ۵۲/۳ کیلومتر مربع، در طول رودخانه اهرچای با عرض حاشیه‌ای کم گسترده شده است.

حوضه آبریز اهرچای ۶ ایستگاه هیدرومتری به نام‌های کاسین، اورنگ، برمیس، رواسجان، اشدلق و تازه‌کند دارد. در این مطالعه، از آمار ایستگاه‌های هیدرومتری اورنگ و تازه‌کند استفاده شد. ایستگاه اورنگ در بالادست سد ستارخان (بالادست محدوده مدل‌سازی) و ایستگاه تازه‌کند در خروجی حوضه (به‌عنوان نقطه کنترل برای جریان‌های خروجی از حوضه) قرار گرفته‌اند (شکل ۱ و جدول ۱). سد ستارخان اهر در سال ۱۳۷۷ روی رودخانه اهرچای برای تأمین آب اراضی کشاورزی پایین‌دست بهره‌برداری شد. طرح شبکه آبیاری و زهکشی ستارخان در پایین‌دست سد یادشده طی سال‌های ۱۳۸۳ تا ۱۳۸۵ اجرا شده است. پس از اتمام این طرح، روش آبیاری در حدود نیمی از اراضی کشاورزی پایین‌دست سد (۵۵۰۰ از ۱۱ هزار هکتار) از آبیاری سطحی به آبیاری تحت فشار تغییر یافت. موقعیت شبکه آبیاری و سد ستارخان اهر در شکل ۱ آمده است.

به‌منظور بررسی تأثیرات هیدرولوژیک استراتژی توسعه آبیاری تحت فشار در مقیاس حوضه آبریز در حوضه اهرچای، از آمار هواشناسی و هیدرومتری ایستگاه‌های منطقه مطالعه‌شده در طول دوره آماری سال‌های ۱۳۶۲ تا ۱۳۹۲، در بازه زمانی ۳۰ ساله استفاده شد. اطلاعات ایستگاه‌های باران‌سنجی و سینوپتیک و همچنین ایستگاه‌های هیدرومتری منطقه طرح از سازمان‌های ذی‌ربط گرفته شد و مبنای محاسبات آماری این تحقیق قرار گرفت.

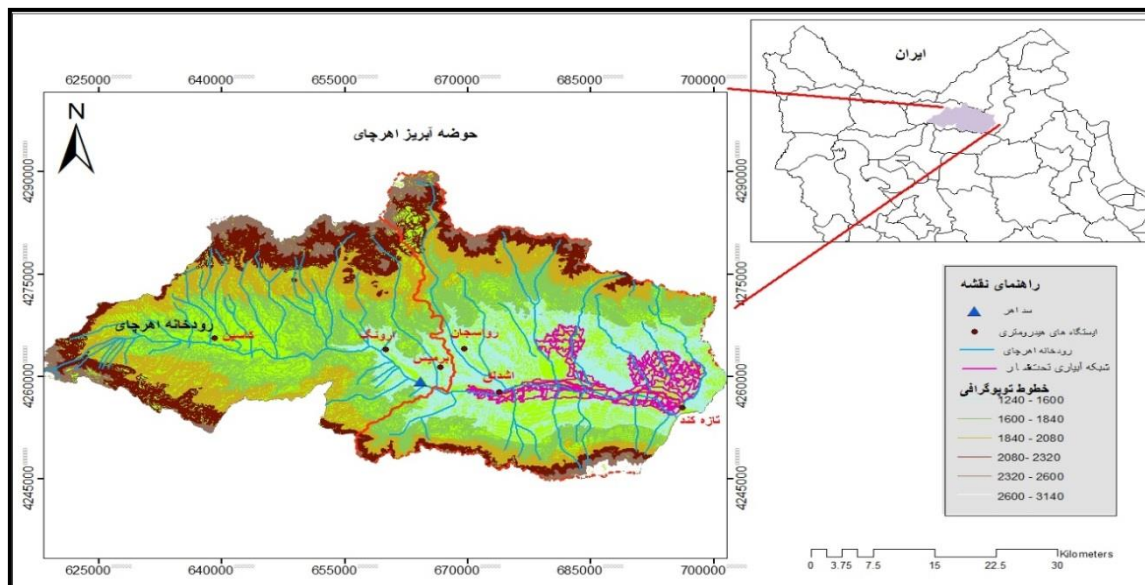
بررسی مطالعات گذشته نشان می‌دهد با تشدید بحران کمبود آب و معرفی سیستم‌های آبیاری تحت فشار به‌عنوان نوعی راهکار اصلی برای مقابله با این بحران، محققان به ارزیابی تأثیرات هیدرولوژیک تغییر روش‌های آبیاری در سطح حوضه‌های آبریز توجه کرده‌اند. بنابراین، هدف اصلی تحقیق حاضر، ارزیابی توانمندی شبیه‌سازی مدل WEAP در بررسی تأثیرات هیدرولوژیک تغییر سیستم‌های آبیاری در حوضه‌های آبریز بود. به این منظور، رفتار هیدرولوژیک حوضه آبریز اهرچای تحت تأثیر استراتژی توسعه شبکه آبیاری تحت فشار با استفاده از روش رطوبت خاک نرم‌افزار WEAP [۹ و ۱۰] واسنجی شد و اعتبارسنجی مدل نیز با استفاده از شاخص‌های مختص به آن ارزیابی شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مطالعه‌شده

حوضه آبریز اهرچای در شمال غربی کشور ایران و در استان آذربایجان شرقی با مساحتی حدود ۲۴۲۶/۵ کیلومتر مربع واقع شده است (شکل ۱). این حوضه بین مختصات جغرافیایی "۲۴°۱۹'۴۶" تا "۱۸°۱۸'۴۷" طول شرقی و "۴۶°۱۹'۲۶" تا "۳۶°۴۴'۵۶" عرض شمالی، در شمال شرقی زیرحوضه ارس میانی و بین ارتفاعات کوه کسبه با ارتفاع ۳۱۴۹ متر و محل ورود به رودخانه قره‌سو به ارتفاع ۸۷۵ متر قرار گرفته است. این حوضه اقلیم نیمه‌مرطوب سرد با دامنه نوسانات دمایی بین معدل کمترین و بیشترین دما در سردترین و گرم‌ترین ماه سال، حدود ۴۰ درجه سانتی‌گراد است. متوسط بارش در این حوضه ۳۲۰ میلی‌متر گزارش شده است. این منطقه یکی از مناطق مهم کشور از نظر تولید محصولات کشاورزی (به‌ویژه غلات دیم و باغ‌های میوه) است.

رودخانه اهرچای رژیم اصلی واحد هیدرولوژیک اهرچای و منبع اصلی تأمین آب مورد نیاز کشاورزی در حوضه مطالعه‌شده است. رودخانه اهرچای با طول حدود ۸۸ کیلومتر، متوسط جریان حدود ۵ مترمکعب بر ثانیه دارد. بیشترین جریان رودخانه از رواناب به‌دست‌آمده از



شکل ۱. موقعیت حوضه آبریز اهرچای، ایستگاه‌های هیدرومتری، شبکه آبیاری و سد ستارخان اهر

جدول ۱. مشخصات ایستگاه‌های هیدرومتری حوضه آبریز مطالعه‌شده

نام ایستگاه	رودخانه	مختصات جغرافیایی (درجه)		مساحت (Km <sup>2</sup> )	ارتفاع (m)	متوسط آبدهی سالانه (m <sup>3</sup> /s)
		عرض	طول			
اورنگ	اهرچای	۲۸-۳۸	۴۶-۵۲	۹۵۱	۱۴۲۰	۲/۵۹
رواسنجان	کشان چای	۳۰-۳۸	۴۶-۵۷	۱۵۶	۱۴۰۰	۰/۴
اشدلق	اهرچای	۲۷-۳۸	۴۶-۵۹	۱۲۳۲	۱۳۰۰	۲/۳۳
پرمیس	پرمیس چای	۳۲-۳۸	۴۶-۵۵	۷۸	۱۴۰۴	۰/۷
کاسین	اهرچای	۳۱-۳۸	۴۶-۳۵	۳۲۴	۱۶۳۰	۱/۲
تازه کند	اهرچای	۲۵-۳۸	۴۷-۱۴	۲۰۵۵	۱۲۱۵	۳/۱۸

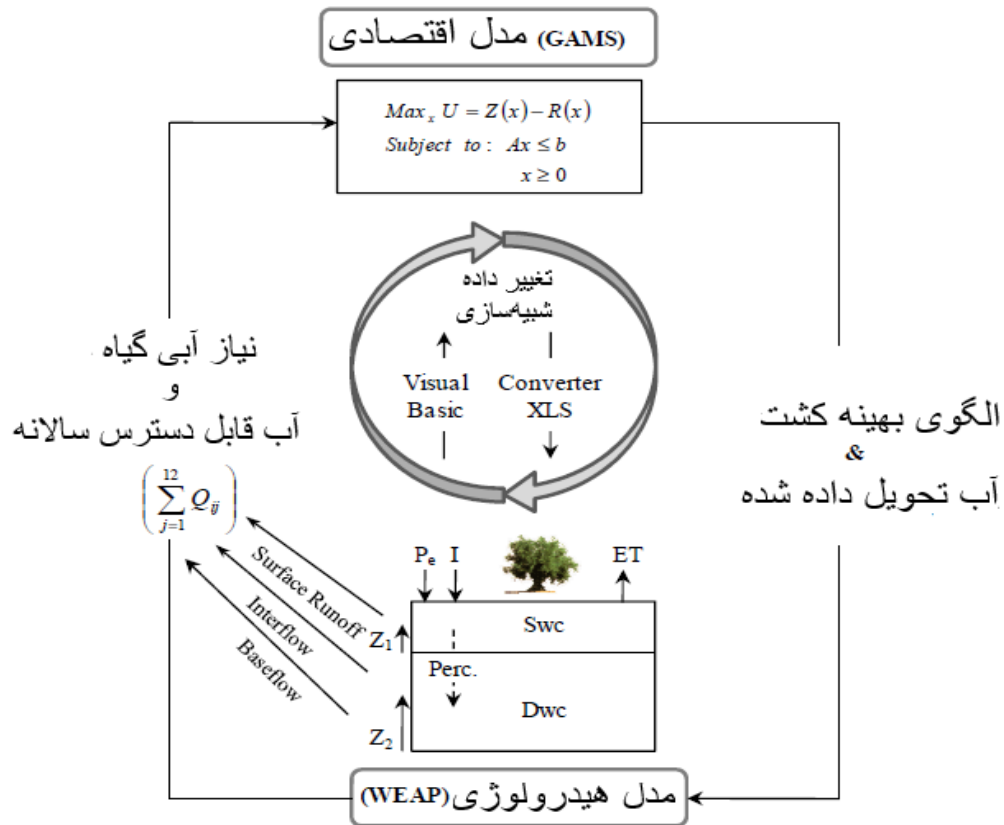
### روش‌شناسی

در پژوهش حاضر، مدل برنامه‌ریزی و ارزیابی منابع آب (WEAP) حوضه آبریز اهرچای به‌روش مدل‌سازی فرایند بارش-رواناب براساس روش رطوبتی خاک ساخته شد. چرخه کلی مدل‌سازی با نرم‌افزار WEAP در شکل ۲، شکل شماتیک مدل توسعه داده‌شده در این مطالعه در شکل ۳ و المان‌های استفاده‌شده مدل در جدول ۲ آورده شده است. این مدل‌سازی شامل ۱ رودخانه اهرچای

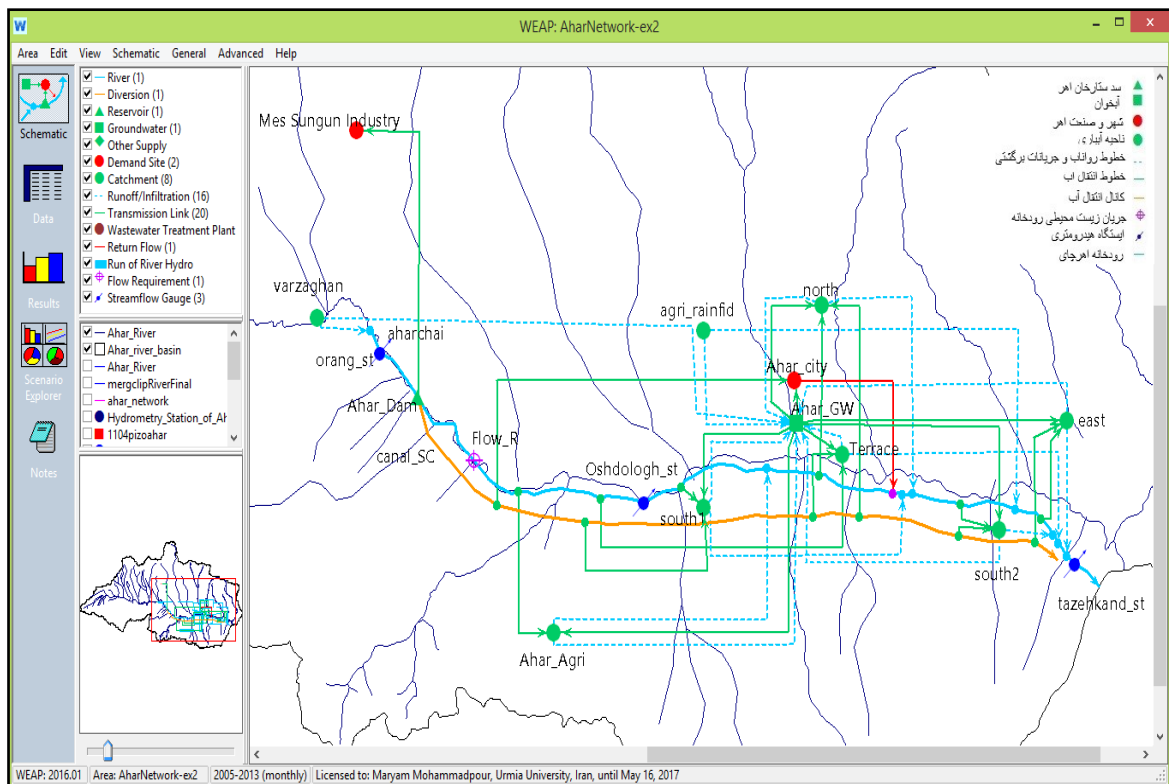
به‌عنوان واحد هیدرولوژیک اصلی حوضه، ۸ ناحیه کشاورزی (زراعی و غیرزراعی)، ۱ نقطه برداشت نیاز آب شهر اهر، ۱ نقطه برداشت نیاز آب صنعت مس سونگون، ۱ آبخوان دشت اهر، ۱ کانال آبرسان شبکه و شهر، ۲۰ خط انتقال آب به نقاط نیاز، ۱۶ خط رواناب و نفوذ، ۱ خط جریان آب بازگشتی، ۱ نقطه نیاز آب زیست‌محیطی رودخانه، ۲ ایستگاه‌های هیدرومتری و ۱ سد ستارخان است.

جدول ۲. معرفی المان‌های به‌کاررفته در شماتیک مدل WEAP تحقیق

نقاط نیاز آبی (شهر و صنعت)	نقطه برداشت نیاز آبی کشاورزی	کانال	خطوط انتقال آب
Demand	Catchment	Canal (SC)	Transmission Link
آبخوان آبرفتی	سد ستارخان	رودخانه	ایستگاه هیدرومتری
Groundwater	Reservoir	River	Streamflow Gauge
جریان بازگشتی	رواناب/نفوذ نقاط نیاز	نیاز زیست‌محیطی رودخانه	
Return Flow	Runoff/Infiltration	Flow Requirement	



شکل ۲. چرخه کلی مدل‌سازی در نرم‌افزار WEAP [۷]



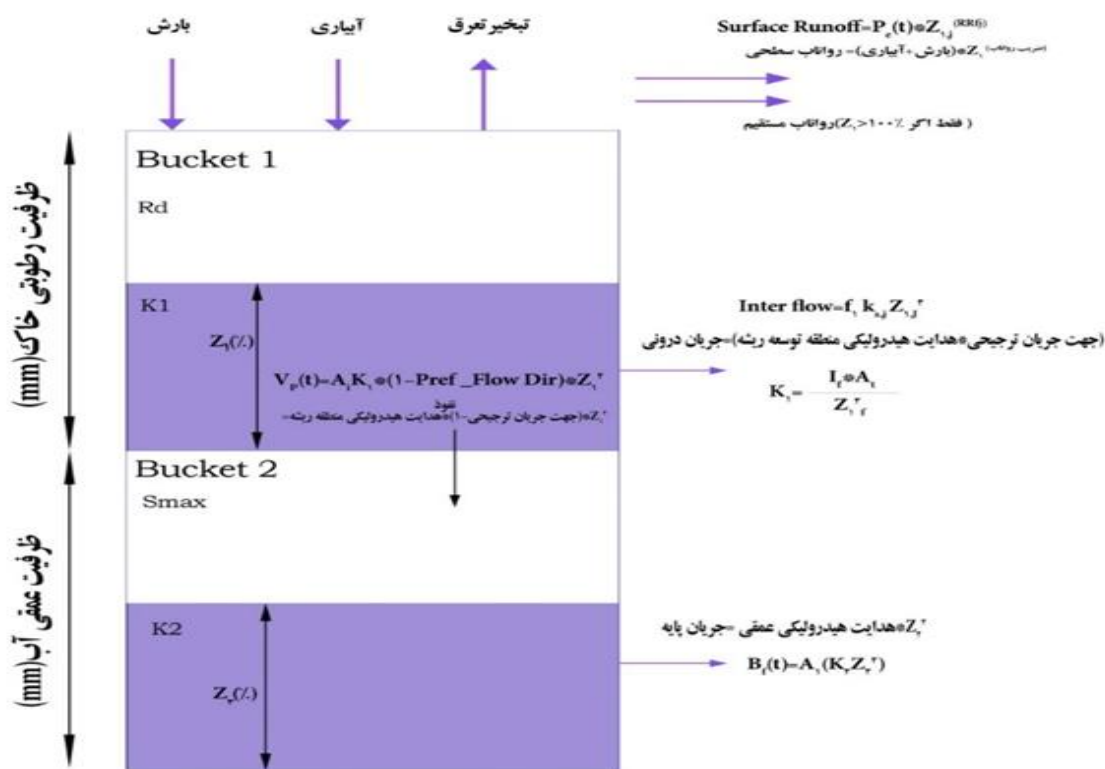
شکل ۳. شماتیک مدل توسعه‌یافته WEAP در منطقه تحقیق حوضه آبریز اهرچای

مدل رطوبت خاک

مدل رطوبت خاک در مدل WEAP، فرایندهای تبخیر- تفرق، رواناب سطحی، جریان بین لایه‌ای، جریان پایه و نفوذ عمقی برای یک حوضه آبریز را بر مبنای روابط تجربی توصیف می‌کند [۱۱]. این مدل حرکت آب را داخل دو لایه عمودی خاک در

نظر می‌گیرد (شکل ۴). لایه اول نگهداشت آب را نزدیک سطح زمین نشان می‌دهد، که برای ریشه گیاهان در دسترس است. لایه دوم، عمیق‌تر است و آب از داخل این لایه می‌تواند به‌عنوان جریان پایه یا تغذیه آب زیرزمینی انتقال یابد [۱].

دیگرام مفهومی و معادلات پیوسته مدل دو باکته



شکل ۴. شماتیک روش رطوبت خاک در مدل WEAP [۶]

\* علائم و روابط در متن توضیح داده شده‌اند.

فاکتور مقاومت جریان که به پوشش گیاهی بستگی دارد؛ در مختلف اراضی یا تیپ خاک، محاسبه تغییرات بیلان آب در لایه اول خاک را می‌توان به صورت زیر بیان کرد [۵].

$$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t) k_{c,j}(t) \left( \frac{\Delta z_{1,j} - z_{1,j}^z}{3} \right) - P_e(t) z_{1,j}^{RRFj} - f_j k_{s,j} z_{1,j}^z - (1-f_j) k_{s,j} z_{1,j}^z$$

که در آن  $Z_{1,j} = [1, 0]$ : ذخیره نسبی آب خاک (بدون بعد)؛  $Rd_j$ : ظرفیت نگهداری آب خاک (میلی‌متر)؛  $P_e$ : بارش مؤثر (میلی‌متر)؛  $PET(t)$ : تبخیر- تفرق پتانسیل گیاه مرجع (بر حسب میلی‌متر بر روز، که از فرمول پنمن-مانتیت محاسبه می‌شود)؛  $k_{c,j}$ : ضریب گیاهی؛  $RRF$ :

از رابطه زیر محاسبه می‌شود:

$$S_{max} \frac{dz_{2,j}}{dt} = \left( \sum_{j=1}^N (1-f_j) k_{s,j} z_{1,j}^z \right) - k_{s,2} z_{2,j}^z \quad (2)$$

در یک حوضه با چند زیرحوضه دارای کاربری‌های مختلف اراضی یا تیپ خاک، محاسبه تغییرات بیلان آب در لایه اول خاک را می‌توان به صورت زیر بیان کرد [۵].

$$Rd_j \frac{dz_{1,j}}{dt} = P_e(t) - PET(t) k_{c,j}(t) \left( \frac{\Delta z_{1,j} - z_{1,j}^z}{3} \right) - P_e(t) z_{1,j}^{RRFj} - f_j k_{s,j} z_{1,j}^z - (1-f_j) k_{s,j} z_{1,j}^z$$

که در آن  $Z_{1,j} = [1, 0]$ : ذخیره نسبی آب خاک (بدون بعد)؛  $Rd_j$ : ظرفیت نگهداری آب خاک (میلی‌متر)؛  $P_e$ : بارش مؤثر (میلی‌متر)؛  $PET(t)$ : تبخیر- تفرق پتانسیل گیاه مرجع (بر حسب میلی‌متر بر روز، که از فرمول پنمن-مانتیت محاسبه می‌شود)؛  $k_{c,j}$ : ضریب گیاهی؛  $RRF$ :

دارای عمق ۵۰ تا ۸۰ سانتی‌متر و بافت خاک متوسط و در اراضی کشاورزی دارای عمق بیشتر از ۸۰ سانتی‌متر با بافت خاک سبک است [۱۷]. مشخصات کاربری اراضی، نوع و عمق بافت خاک حوضه، اطلاعات مورد نیاز مدل از جمله حجم آب منطقه ریشه، حجم آب عمقی، قابلیت هدایت منطقه ریشه و لایه عمقی خاک و سایر اطلاعات مورد نیاز مدل مانند ضرایب گیاهی و مقادیر متوسط پارامترهای هواشناسی در دوره طرح استخراج و در مدل‌سازی به کار گرفته شد.

مصارف آب ماهانه برای زیرحوضه بالادست حوضه آبریز اهرچای شامل نیازهای کشاورزی محدوده مطالعاتی ورزقان، شرب شهرستان ورزقان و مصارف آب برای زیرحوضه پایین‌دست شامل نیازهای کشاورزی مجاور محدوده مطالعاتی و کشاورزی شبکه آبیاری و زهکشی سد ستارخان و شرب شهرستان اهر و مصارف آب بخش صنعت و کارگاه‌های داخل و حومه شهر اهر و همچنین صنعت بزرگ مس سونگون اهر- ورزقان از مراجع ذی‌ربط برای طول دوره مطالعه‌شده اخذ و در مدل‌ها اعمال شد. برای حوضه‌های کشاورزی، سطح زیرکشت و ترکیب کشت محصولات غالب زراعی و باغی در سال‌های مختلف لحاظ شد. سیستم‌های آبیاری استفاده‌شده در مدل شامل آبیاری سطحی برای مدل اول و ترکیب آبیاری سطحی، آبیاری بارانی و قطره‌ای برای مدل دوم است. محاسبات بیلان آب برای برآورد داده‌های دبی جریان در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب به‌منظور مقایسه با داده‌های مشاهداتی انجام گرفت. اراضی کشاورزی به ۸ بخش، شامل کشاورزی آبی خارج از شبکه طرح (مزرعه و باغ)، کشاورزی آبی محدوده داخل شبکه طرح (مزرعه و باغ)، دیم، مرتع و جنگل تقسیم شد. این مدل‌سازی در گام زمانی ماهانه با مدل رطوبتی خاک برای شبیه‌سازی هیدرولوژیک جریان در حوضه آبریز اهرچای انجام گرفت.

که در آن  $S_{max}$ : نفوذ عمقی از ذخیره لایه بالایی خاک؛ و  $k_{s2}$ : هدایت هیدرولیکی اشباع لایه پایینی خاک (میلی‌متر بر زمان) است.

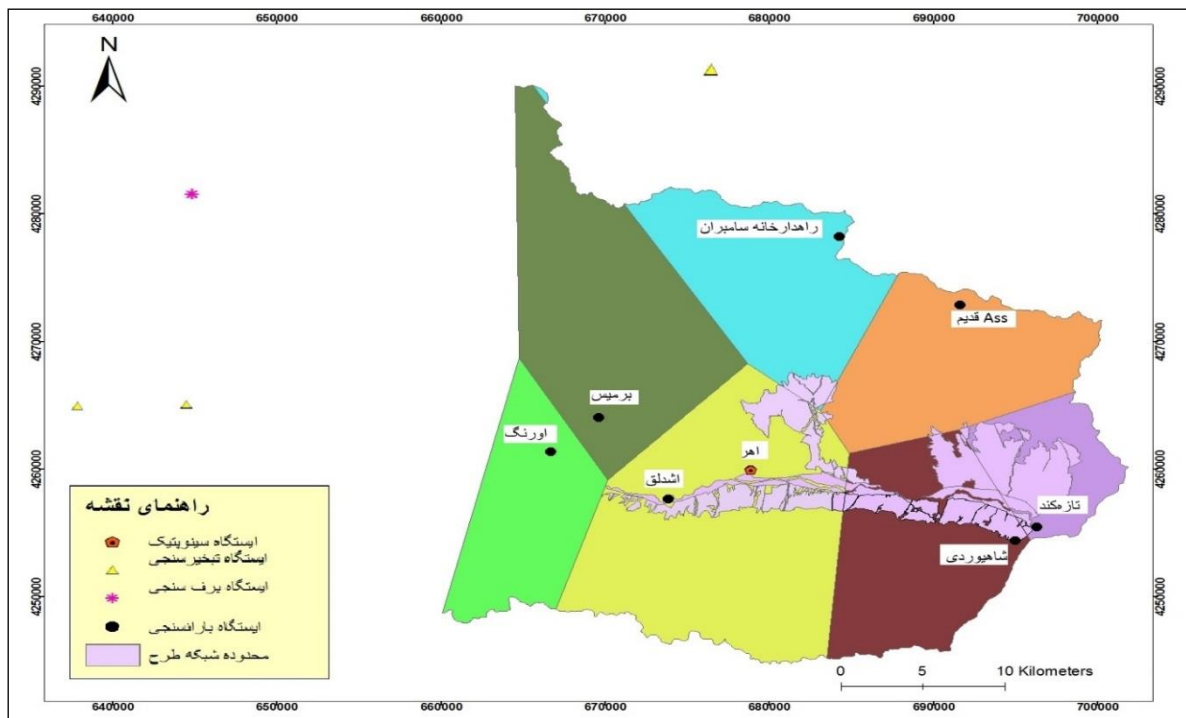
#### داده‌ها و اطلاعات مورد نیاز مدل

در فرایند مدل‌سازی پس از ایجاد شکل شماتیک و انتخاب سال پایه، اطلاعات اولیه وارد مدل شد. شروع مدل‌سازی از ماه مهر (شروع سال آبی) سال ۱۳۷۷ برابر با شروع بهره‌برداری از سد ستارخان (برای تعدیل‌سازی اثر سد بر رژیم رودخانه) در نظر گرفته شد. در مطالعه حاضر، مدل اول برای دوره قبل از اجرای سامانه‌های تحت فشار یعنی دوره کاربرد آبیاری سطحی منطقه در سال‌های ۱۳۷۷ تا ۱۳۸۴ و در مدل دوم برای دوره بعد از توسعه سامانه‌های تحت فشار در دوره ۱۳۸۴ تا ۱۳۹۲ اجرا شد. برای شبیه‌سازی مدل‌ها، داده‌های مختص به منابع آب سطحی و زیرزمینی، نقشه‌های کاربری اراضی، مشخصات خاک منطقه، مصارف و نقاط برداشت آب کشاورزی، شهری و صنعت و اطلاعات اقلیمی برای شبیه‌سازی بارش رواناب حوضه آبریز مطالعه‌شده به مدل داده شد.

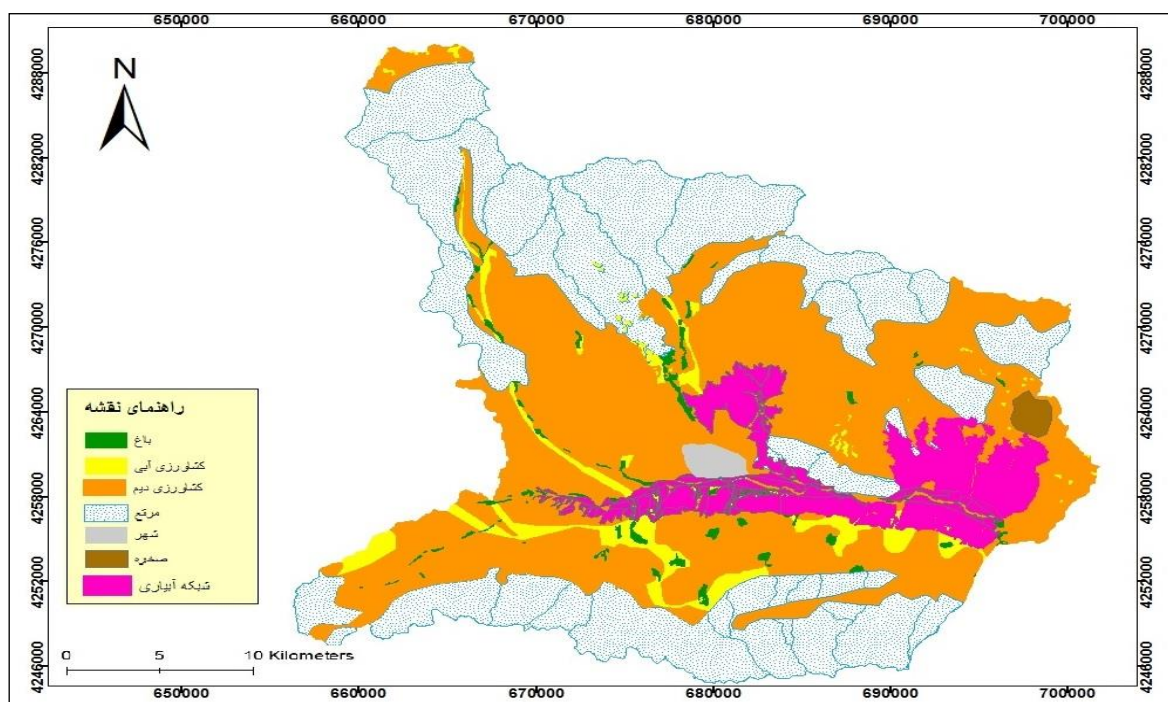
پارامترهای هواشناسی بارش، دما، رطوبت نسبی، سرعت باد و کسر ابرناکی ۱۹ ایستگاه هواشناسی (۱ ایستگاه سینوپتیک، ۳ ایستگاه تبخیرسنجی و ۱۵ ایستگاه باران‌سنجی) داخل و اطراف حوضه آبریز مطالعه‌شده استفاده شد. موقعیت این ایستگاه‌ها در شکل ۵ آمده است. همچنین مقادیر متوسط پارامترهای هواشناسی برای هریک از زیرحوضه‌ها با استفاده از روش پلی‌گون‌های تیسن برآورد شد (شکل ۵). آمار ماهانه دبی ۲ ایستگاه هیدرومتری استفاده شد که موقعیت ایستگاه‌های هیدرومتری در شکل ۱ آمده است. کاربری اراضی محدوده مطالعه‌شده در جدول ۳ و شکل ۶ آورده شده است. بررسی ۱۱ پروفیل خاک حفرشده در منطقه طرح نشان داد خاک منطقه در اراضی کوهستانی دارای عمق کمتر از ۵۰ سانتی‌متر و بافت خاک سنگین، در اراضی دشت و مرتع

جدول ۳. کاربری اراضی در حوضه آبریز اهرچای (برحسب درصد)

نوع کاربری	شهر	صخره	جنگل	مرتع	باغ	زراعت آبی	زراعت دیم
درصد	۰/۵۸	۰/۸۷	۰/۳۳	۴/۱۸	۱/۶۷	۴/۶	۵۰/۱۵



شکل ۵. موقعیت ایستگاه‌های هواشناسی استفاده‌شده و پلی‌گون‌های تی‌سن مختص به آن



شکل ۶. نقشه کاربری اراضی حوضه‌های آبریز اهرچای



استفاده از روش تجزیه رگرسیونی است. مقدار آن بین صفر تا ۱ متغیر است و مقدار بیشتر از ۰/۵ قابل قبول است. ضریب نش- ساتکلیف اختلاف نسبی مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد و مقدار این شاخص از منفی بی‌نهایت تا ۱ متغیر است. مقدار شاخص تطابق از صفر تا ۱ متغیر است و مقادیر بزرگ‌تر آن نشان‌دهنده تطابق بهتر بین داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده است. روابط ضریب نش- ساتکلیف و شاخص تطابق به ترتیب در معادلات ۳ و ۴ آمده است. شاخص  $RMSE^A$  یکی از شاخص‌های اصلی نیکویی برازش در مدل‌یابی معادلات ساختاری است. ریشه میانگین مربعات خطاها یا همان  $RMSE$  در بیشتر تحلیل‌های عملی تأییدی و مدل‌های معادلات ساختاری استفاده می‌شود. اگر مقدار این شاخص کوچک‌تر از ۰/۱ باشد برازندگی مدل بسیار عالی است. اگر بین ۰/۱ و ۰/۵ باشد برازندگی مدل خوب است و اگر بین ۰/۵ و ۰/۸ باشد، برازندگی مدل متوسط است (معادله ۵).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_{obs}^{mean})^2} \quad (3)$$

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{\sum_{i=1}^n (|Q_i^{sim} - Q_{obs}^{mean}| + |Q_i^{obs} - Q_{obs}^{mean}|)^2} \quad (4)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_i^{obs} - Q_i^{sim})^2}{N}} \quad (5)$$

در روابط یادشده  $Q_i^{obs}$ : مقدار دبی مشاهده‌ای برای دوره  $t$ ام،  $Q_{obs}^{mean}$ : میانگین دبی‌های مشاهده‌ای برای کل دوره،  $Q_i^{sim}$ : مقدار دبی شبیه‌سازی شده برای دوره  $t$ ام،  $Q_{sim}^{mean}$ : میانگین دبی‌های شبیه‌سازی شده برای کل دوره و  $n$ : تعداد کل داده‌هاست [۲۰، ۲۱، ۲۲ و ۲۳].

### نتایج و بحث

پارامترهای واسنجی استفاده شده در این مطالعه و مقادیر آنها در جدول ۴ آورده شده است. نتایج ارزیابی کمی شاخص‌های واسنجی و اعتبارسنجی مدل برای ایستگاه‌های هیدرومتری

### واسنجی و اعتبارسنجی مدل

مدل‌سازی انجام شده در این مطالعه توسط ابزار  $PEST^1$  در مدل WEAP واسنجی شد. پس از واسنجی، بدون تغییر در متغیرهای ثابت و پارامترهای واسنجی شده، نتایج مدل با داده‌های مشاهده شده ایستگاه اورنگ در بالادست سد ستارخان و ایستگاه تازه‌کند در خروجی حوضه برای دوره شبیه‌سازی مقایسه و اعتبارسنجی شد. واسنجی مدل اول و دوم به ترتیب برای سال‌های ۱۳۷۷-۱۳۸۰ و ۱۳۸۸-۱۳۸۴ و اعتبارسنجی به ترتیب برای سال‌های ۱۳۸۰-۱۳۹۲ و ۱۳۸۸-۱۳۹۲ انجام شد. واسنجی و اعتبارسنجی یک مدل برای به حداقل رساندن خطاها و مطمئن شدن از اعتبار و قابلیت اطمینان بودن نتایج مدل ضروری است [۱۸]. واسنجی مدل با مقایسه دبی شبیه‌سازی شده ماهیانه با دبی مشاهداتی در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب انجام شد.

برآورد مقادیر بهینه پارامترهای مدل‌سازی در مدل WEAP با استفاده از ابزار  $PEST$  (موجود در نرم‌افزار WEAP) صورت می‌گیرد. ابزار  $PEST$  پارامترها را به روش رگرسیون گیری غیرخطی (الگوریتم مارکوارد لاونبرگ) بهینه می‌کند [۱۹]. بخش‌های مدل شامل تعریف شناسایی پارامترها، داده‌های مشاهده‌ای و درنهایت اجرای مدل و برآورد پارامترهاست. در این مطالعه پارامترهای ضریب گیاهی<sup>۲</sup> کاربری‌های غیرزراعی، ظرفیت رطوبتی خاک<sup>۳</sup>، هدایت هیدرولیکی منطقه توسعه ریشه<sup>۴</sup> و جهت جریان ترجیحی<sup>۵</sup> واسنجی شد. در طول این فرایند جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل با جریان مشاهده شده در ایستگاه‌های هیدرومتری منتخب مقایسه شد.

### ارزیابی نتایج مدل

برای ارزیابی کمی نتایج به دست آمده از واسنجی و اعتبارسنجی مدل از شاخص‌های ضریب تعیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا ( $RMSE$ )، ضریب نش- ساتکلیف<sup>۶</sup> ( $NSE$ ) و شاخص تطابق<sup>۷</sup> ( $d$ ) استفاده شد. ضریب تعیین نشان‌دهنده تطابق بین مقادیر مشاهده‌ای و شبیه‌سازی با

1. Parameter Estimation
2. Crop Coefficient
3. Soil Water Capacity
4. Root Zone Conductivity
5. Preferred Flow Direction
6. Nash-Sutcliffe Efficiency (NSE)
7. Index of Agreement

8. Root Mean Square Error

شبییه‌سازی شده هم در دوره واسنجی و هم در دوره اعتبارسنجی با توجه به حدود شاخص‌ها، در حد مطلوبی بوده است.

مقایسه دبی‌های ماهیانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دوره واسنجی و اعتبارسنجی برای مدل اول و دوم در شکل‌های ۷ تا ۱۰ برای ۲ ایستگاه هیدرومتری اورنگ (ورودی سد ستارخان از زیرحوضه بالادست) و تازه‌کن‌د (خروجی حوضه آبریز اهرچای) نشان داده شده است. نتایج شبیه‌سازی مدل با داده‌های مشاهداتی تطابق خوب داده‌ها و عملکرد خوب مدل را نشان می‌دهد. تطابق دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی در هر دو مدل در شکل‌های ۱۱ تا ۱۴ آورده شده است.

منتخب در منطقه در جدول ۵ آورده شده است. براساس جدول ۲، مقدار ضریب نش-سانتلیف برای جریان ماهانه از ۰/۸۲ تا ۰/۸۵ برای دوره واسنجی و از ۰/۸۶ تا ۰/۸۸ برای دوره اعتبارسنجی متغیر است. شاخص تطابق نیز از ۰/۹۲ تا ۰/۹۹ برای دوره واسنجی و مقدار ۰/۹۹ برای دوره اعتبارسنجی است. نتایج این تحقیق بیانگر انطباق خوب مقادیر شبیه‌سازی شده با مشاهداتی در یک منطقه خشک و نیمه‌خشک است. این نتایج با نتایج مطالعات Sha Sade و همکارانش (۲۰۱۶)، Ingol-Blanco & McKinney (۲۰۱۳)، Schlote و همکارانش (۲۰۱۲)، de Condappa و همکارانش (۲۰۰۹)، Cai و همکارانش (۲۰۰۳)، باقری و مرید (۱۳۹۲) و Blanco (۲۰۱۰) مطابقت دارد [۶، ۷، ۸، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۸]. به‌طور کلی، می‌توان گفت که انطباق بین مقادیر مشاهداتی و

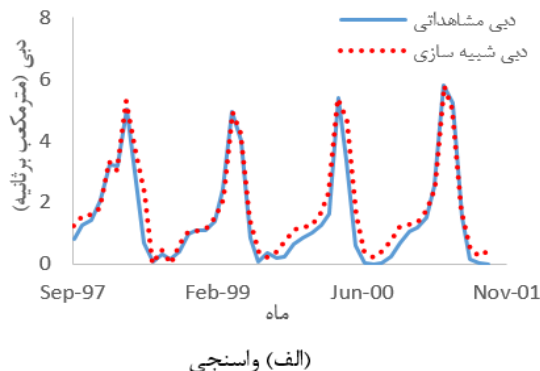
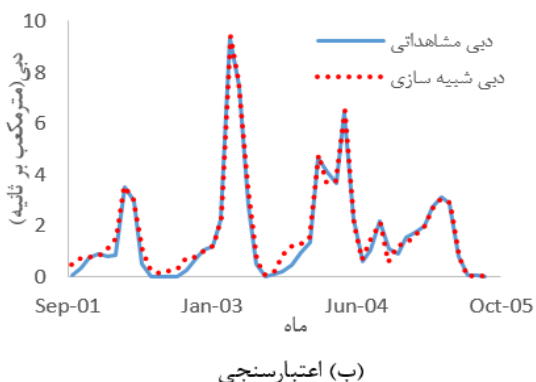
جدول ۴. پارامترهای واسنجی و مقادیر آنها در منطقه مطالعه شده

حوضه / پارامتر	ضریب گیاهی کاربری‌های غیرزراعی (-)	ظرفیت رطوبتی خاک (میلی‌متر بر متر)	هدایت هیدرولیکی منطقه توسعه ریشه (میلی‌متر بر ماه)	جهت جریان ترجیحی (درصد)
<b>بالادست اهرچای</b>				
زراعت دیم	۰/۳۴	۱۰۰	۱۰۰	۰/۵
مرتع	۰/۳۸	۱۰۰	۱۰۰	۰/۵
جنگل	۱	۳۰۰	۱۰۰	۰/۵
<b>پایین دست اهرچای</b>				
زراعت دیم <sup>۱</sup>	-	۱۰۰	۶۰	۰/۳
مرتع	-	۱۰۰	۳۰	۰/۳
کشاورزی باغی اهر <sup>۱</sup>	-	۲۵۰	۱۰۰	۰/۰۵
زراعت آبی اهر <sup>۱</sup>	-	۱۸۰	۱۰۰	۰/۰۵
شبکه آبیاری تحت فشار در حوضه پایین دست				
ناحیه عمرانی شمال (باغی) <sup>۱</sup>	-	۴۲۰	۱۵۰	۰/۴۵
ناحیه عمرانی شمال (زراعت آبی) <sup>۱</sup>	-	۳۱۵	۱۵۰	۰/۴۵
ناحیه عمرانی شرق (باغی) <sup>۱</sup>	-	۲۲۰	۱۵۰	۰/۰۵
ناحیه عمرانی شرق (زراعت آبی) <sup>۱</sup>	-	۱۰۰	۱۵۰	۰/۰۵
ناحیه عمرانی جنوب ۱ (باغی) <sup>۱</sup>	-	۱۰۰	۳۰	۰/۷۵
ناحیه عمرانی جنوب ۱ (زراعت آبی) <sup>۱</sup>	-	۱۰۰	۳۰	۰/۷۵
ناحیه عمرانی جنوب ۲ (باغی) <sup>۱</sup>	-	۴۱۰	۱۷۰	۰/۴۵
ناحیه عمرانی جنوب ۲ (زراعت آبی) <sup>۱</sup>	-	۴۰۰	۱۷۰	۰/۴۵
تراس رودخانه (باغی) <sup>۱</sup>	-	۱۰۰	۱۵۰	۰/۴۵
تراس رودخانه (زراعت آبی) <sup>۱</sup>	-	۱۰۰	۱۵۰	۰/۴۵

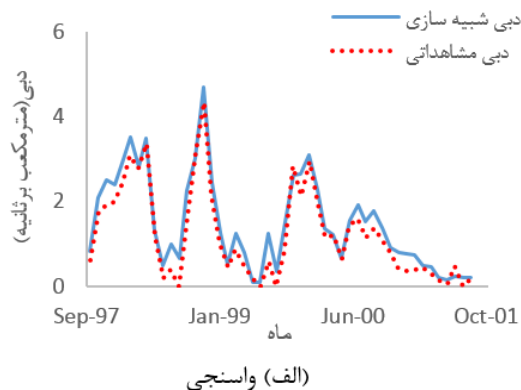
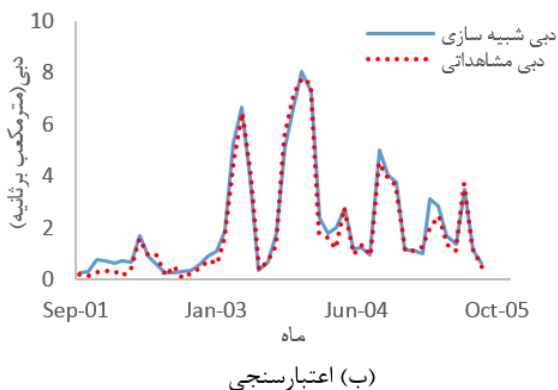
۱. مقدار ضرایب گیاهی به‌عنوان پارامتر واسنجی تعریف نشده است.

جدول ۵. مقادیر شاخص‌های ارزیابی نتایج مدل برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی

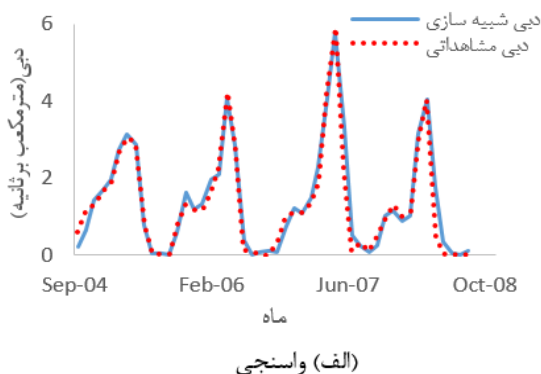
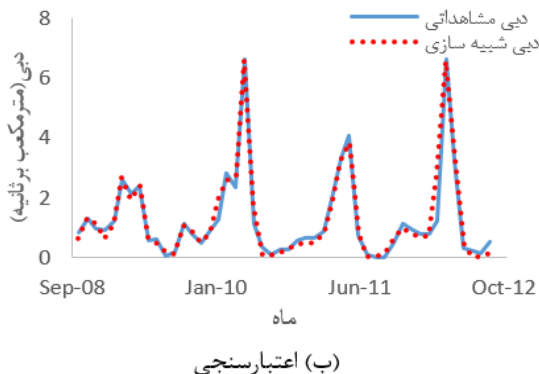
مدل	نام ایستگاه هیدرومتری	واسنجی			اعتبارسنجی		
		NSE (-)	RMSE (m <sup>3</sup> /s)	R <sup>2</sup> (-)	D (-)	NSE (-)	RMSE (m <sup>3</sup> /s)
اول (آبیاری سطحی)	اورنگ	۰/۸۲	۰/۴۵	۰/۹۵	۰/۹۸	۰/۹۹	۰/۹۸
	تازه‌کند	۰/۸۰	۰/۳۴	۰/۹۶	۰/۹۷	۰/۹۹	۰/۹۶
دوم (آبیاری تحت فشار)	اورنگ	۰/۸۵	۰/۳۱	۰/۹۵	۰/۹۹	۰/۹۹	۰/۹۶
	تازه‌کند	۰/۸۳	۰/۲۳	۰/۹۶	۰/۹۸	۰/۹۷	۰/۹۶



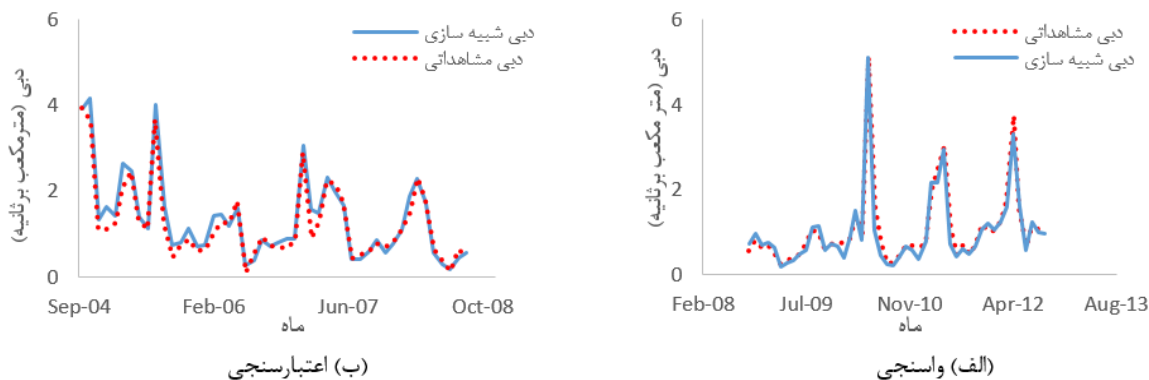
شکل ۷. دبی‌های ماهیانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مدل اول (دوره آبیاری سطحی) در ایستگاه هیدرومتری اورنگ



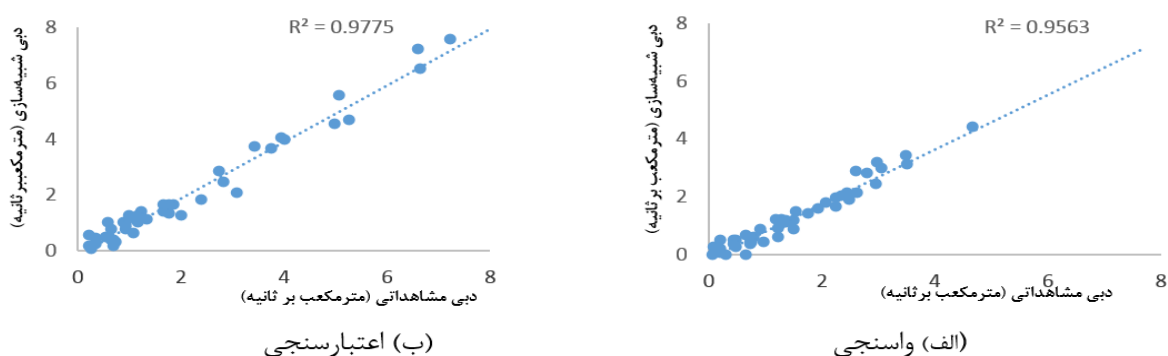
شکل ۸. دبی‌های ماهیانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مدل اول (دوره آبیاری سطحی) در ایستگاه هیدرومتری تازه‌کند



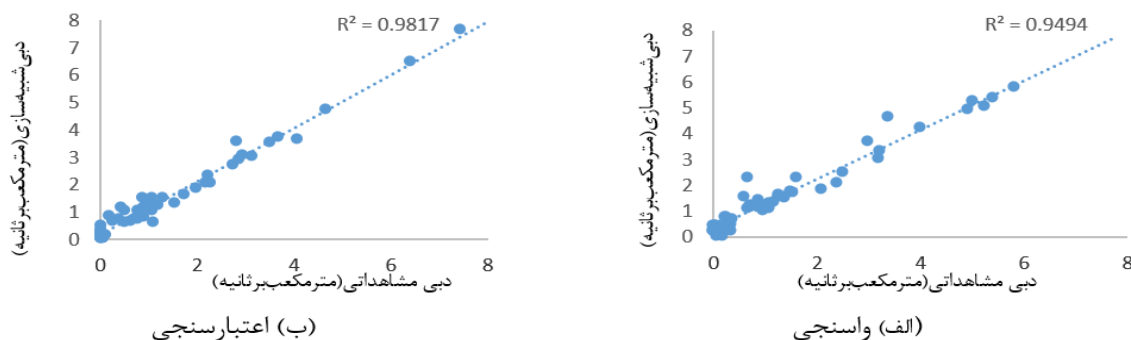
شکل ۹. دبی‌های ماهیانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مدل دوم (دوره آبیاری تحت فشار) در ایستگاه هیدرومتری اورنگ



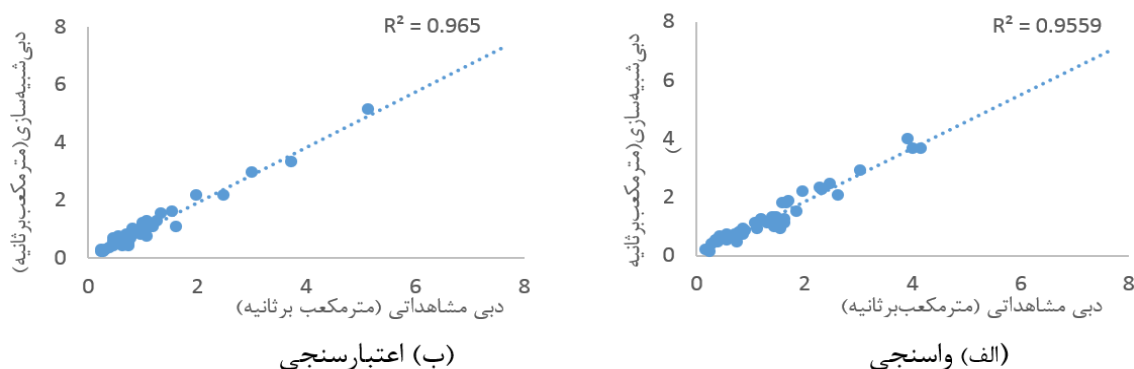
شکل ۱۰. دبی‌های ماهیانه مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مدل دوم (دوره آبیاری تحت فشار) در ایستگاه هیدرومتری تازه‌کند



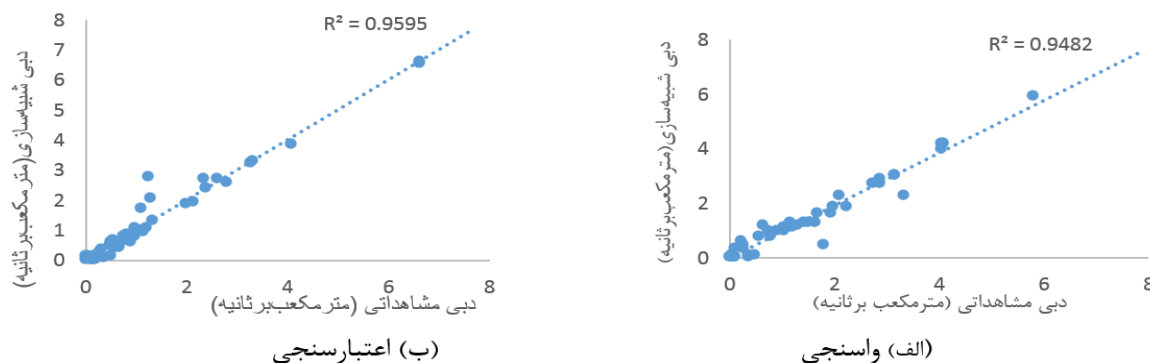
شکل ۱۱. نمودار دبی‌های مشاهده‌ای در مقابل شبیه‌سازی در مدل اول (دوره آبیاری سطحی) در ایستگاه‌های هیدرومتری تازه‌کند



شکل ۱۲. نمودار دبی‌های مشاهده‌ای در مقابل شبیه‌سازی در مدل اول (دوره آبیاری سطحی) در ایستگاه‌های هیدرومتری اورنگ



شکل ۱۳. نمودار دبی‌های مشاهده‌ای در مقابل شبیه‌سازی در مدل دوم (دوره آبیاری تحت فشار) در ایستگاه‌های هیدرومتری تازه‌کند



شکل ۱۴. نمودار دبی‌های مشاهداتی در مقابل شبیه‌سازی در مدل دوم (دوره آبیاری تحت فشار) در ایستگاه‌های هیدرومتری اورنگ

این مدل‌سازی امکان بررسی سناریوهای تغییر اقلیم، تغییر الگوی کشت، مدیریت منابع آب و... در آینده حوضه مطالعه‌شده و حوضه‌های مشابه قابل بررسی است.

### منابع

- [1]. Rezayan, A., Rezayan, A.H, Future studies of water crisis in Iran based on processing scenario. Iranian Journal of Ecohydrology, 2016; 3(1), 1-17 (Persian).
- [2]. Iranmehr, M., Pourmanafi, S., Seffianian, A., Ecological Monitoring and Assessment of Spatial-Temporal Changes in Land Cover with an Emphasis on Agricultural Water Consumption in Zayandeh Rood Region. Iranian Journal of Ecohydrology, 2015; 2(1), 23-38 (Persian).
- [3]. Gharechaei, H., Moghaddam Nia, A., Malekian, A., Ahmadi, A., Separation of the effects of climate variability and human activities on runoff of Bakhtegan Basin. Iranian Journal of Ecohydrology, 2016; 2(4), 445-454 (Persian).
- [4]. Rezazade, M.S., Ganjalikhani, M., Zounemat-Kermani, M., Comparing the performance of semi-distributed SWAT and lumped HEC-HMS hydrological models in simulating river discharge (Case study: Ab-Bakhsha Watershed). Iranian Journal of Ecohydrology, 2016; 2(4), 467-479 (Persian).
- [5]. Stockholm Environment Institute (SEI), Water evaluation and planning system, WEAP. Stockholm Environment Institute, Boston, USA, 2016. HYPERLINK <http://www.weap21.org>.
- [6]. Sha Sade, R., Rimmer, A., Samuels, R., Salingar, Y., Denisjuk, M., and Alpert, P., Water Management in a Complex Hydrological Basin- Application of Water Evaluation and Planning Tool (WEAP) to the Lake Kinneret Watershed, Israel, (Chapter 2). Springer International Publishing Switzerland, 2016.

### نتیجه‌گیری

در این مطالعه مدل هیدرولوژیکی WEAP برای حوضه آبریز اهرچای در قالب دو مدل برای شرایط دوره قبل و دوره بعد از بهبود روش‌های آبیاری و گسترش آبیاری تحت فشار توسعه یافت. به‌منظور شبیه‌سازی مدل‌های هیدرولوژیکی حوضه مطالعه‌شده از روش رطوبت خاک مدل WEAP استفاده شد. پارامترهای ضریب گیاهی، کاربری‌های غیرزراعی، ظرفیت رطوبتی خاک، هدایت هیدرولیکی منطقه توسعه ریشه و جهت جریان ترجیحی در هر دو مدل واسنجی شد. کل دوره شبیه‌سازی ۱۶ سال بود. در هر دو مدل یک دوره آماری ۴ ساله برای واسنجی و یک دوره مستقل ۴ ساله برای اعتبارسنجی مدل در نظر گرفته شد.

میزان تطابق نتایج شبیه‌سازی مدل با داده‌های ماهیانه دبی مشاهداتی براساس شاخص‌های آماری ضریب تعیین ( $R^2$ )، جذر میانگین مربعات خطا (RMSE)، ضریب نش-ساتکلیف (NSE) و شاخص تطابق (d) ارزیابی شد. نتایج ارزیابی براساس حدود شاخص‌ها عملکرد خوب مدل را نشان داد. این نتایج با نتایج مطالعات [۶، ۷، ۸، ۱۱، ۱۳، ۱۵، ۱۸] تطابق دارد. با توجه به قابلیت خوب مدل WEAP در شبیه‌سازی فرایندهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز، این مدل برای برنامه‌ریزان منابع آب امکان بررسی سناریوهای مختلف مدیریتی قبل از اجرای طرح‌ها را بدون صرف هزینه سنگین و در کمترین زمان ممکن فراهم می‌کند. بنابراین، استفاده از مدل WEAP برای شبیه‌سازی و ارزیابی سناریوهای مختلف به مدیران و برنامه‌ریزان منابع آب کشور توصیه می‌شود. نتایج تحقیق حاضر بیانگر این است که می‌توان از مدل یادشده تغییرات سیستم آبیاری را در سطح حوضه رفتارسنجی و واکنش هریک را به‌دقت ارزیابی کرد. با

- [7]. Ingol-Blanco, E. and McKinney, D. C., Development of a hydrological model for the Rio Conchos Basin. *Journal of Hydrologic Engineering*, 2012; 18(3), 340-351.
- [8]. Schlote, A., Hennigs, V. and Schaffer, U., Water Balance for the Aleppo Basin, Syria Implications of Land Use on Simulated Groundwater Abstraction and Recharge. *International Conference Hydrogeology of Arid Environments*. Federal Institute for Geosciences, 2012.
- [9]. Yates, D., Sieber, J., Purkey, D. and Huber-Lee, A., WEAP21: A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 1: Model characteristics. *Water International*, 2005a; 30(4), 487-500.
- [10]. Yates, D., Purkey, D., Sieber, J., Huber-Lee, A. and Galbraith, H., WEAP21: A demand-, priority-, and preference-driven water planning model. Part 2: Aiding freshwater ecosystem service evaluation. *Water International*, 2005b; 30(4), 501-512.
- [11]. De Condappa, D., Chaponnière, A. and Lemoalle, J., A decision-support tool for water allocation in the Volta Basin. *Water International*, 2009; 34(1), 71-87.
- [12]. Blanco-Gutiérrez, I., Varela-Ortega, C. and Purkey, D. R., Integrated assessment of policy interventions for promoting sustainable irrigation in semi-arid environments: A hydro-economic modeling approach. *Journal of environmental management*, 2013; 128, 144-160.
- [13]. Cai, X., McKinney, D.C., Rosegrant, M.W., Sustainability analysis for irrigation water management in the Aral Sea region. *Agric. Syst.*, 2003; 1066-1043, 76.
- [14]. Vafakhah, M., Javadi, M.R., Najafi Majd, J., Effect of Land Use Changes on Runoff Depth in Chalousrud Watershed. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 2015; 2(2), 211-220 (Persian).
- [15]. Bagheri Haroni, M.H., Morid, S., WEAP and MIKE BASIN comparison in water resource allocation (Case Study: Talvar river), *Soil and Water protection researches*, 2013; 20(1): 151-167.
- [16]. Irene-Blanco, G. Ortega, C.V., and Purkey, D.R., Economic-hydrologic analysis of water management strategies for balancing water for nature and water for food, Implications for the Guadiana River Basin, in Spain. *Tesis Doctoral*. Universidad Politécnica de Madrid, 2010.
- [17]. Jahad-e- Agriculture Ministry. *Studies of Satarkhan Dam Downstream*. East-Azarbaijan, Iran. 2010.
- [18]. Blanco, I., Economic-hydrologic analysis of water management strategies for balancing water for nature and water for food: Implications for the Guadiana River Basin. *Ph. D. dissertation*, University of Madrid, Spain. 2010.
- [19]. Doherty, J., Brebber, L., Whyte, P., PEST: Model Independent Parameter Estimation. *Australian Centre for Tropical Freshwater Research*, James Cooke University, Townsville, Australia. 1995; 140 p.
- [20]. Hessari, B., Upstream/downstream hydrological interactions of supplemental irrigation development in rain-fed areas of upper Karkheh river basin. *Ph. D. dissertation*, University of Shaheed Chamran, Ahvaz, Iran, 2012. (Persian).
- [21]. Moriasi, D. N., Arnold, J. G., Van Liew, M. W., Bingner, R. L., Harmel, R. D. and Veith, T. L., Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations. *Transactions of the ASABE*, 2007; 50(3), 885-900.
- [22]. Fu, G., Modeling water availability and its response to climatic change for the Spokane River Watershed. *Ph. D. dissertation*, Washington State University, 2005.
- [23]. Legates, D. R. and McCabe, G. J., Evaluating the use of "goodness-of-fit" measures in hydrologic and hydroclimatic model validation. *Water resources research*, 1999; 35(1), 233-241.
- [24]. Asry, A., Fakhreifard, A., Zeinali, A., Asadi, E., Influence of climatological-hydrological variables on ground water level in Ajabshir Plain. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 2015; 2(2), 191-200 (Persian).
- [25]. Zeinivand, H., Analysis of the effects of precipitation amounts on daily runoff in Gharesou basin in Kermanshah Province, Iran. *Iranian Journal of Ecohydrology*, 2014; 1(2), 143-152 (Persian).
- [26]. Salmani, E., Bahremand, A., SaberChenari, K., Rostami Khalaj, M., Evaluation of the efficiency of AWBM, sacramento and tank rainfall runoff model in runoff simulation in Arazkoose - Goorganrood Basin, Golestan Porvince, *Iranian Journal of Ecohydrology*, 2014; 1(3), 207-221 (Persian).