

## شبیه‌سازی رواناب حوضه معرف امامه با کاربرد بهینه‌ساز واسنجی خودکار الگوریتم جستجو الگو در مدل بیلان آب AWBM

محمد رضا محمدی‌وند<sup>۱\*</sup>، شهاب عراقی‌نژاد<sup>۲</sup>، کیومرث ابراهیمی<sup>۳</sup>، فرشته مدرسی<sup>۴</sup>  
<sup>۱\*</sup> - دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تهران، *Mohammadi.Vand@ut.ac.ir*  
<sup>۲</sup> - دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، *d@ut.ac.irAraghineja*  
<sup>۳</sup> - استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران، *EbrahimiK@ut.ac.ir*  
<sup>۴</sup> - دکتری مهندسی منابع آب دانشگاه تهران، *FModaresi@alumni.ut.ac.ir*

### چکیده

یکی از پیچیده‌ترین فرایندهای هیدرولوژیکی فرایند بارش- رواناب است که از پارامترهای مختلف فیزیکی و هیدرولوژیکی تأثیر می‌پذیرد. هدف مقاله حاضر به بررسی کارایی الگوریتم بهینه‌ساز واسنجی خودکار جستجو الگو در واسنجی پارامترهای مدل بیلان آب AWBM در شبیه‌سازی رواناب با تمرکز بر حوضه معرف امامه می‌پردازد. در مدل مورد استفاده محدوده تغییر پارامترها زیاد است، در نتیجه با توجه به دشواری واسنجی با روش‌های مبتنی بر سعی و خطا و استفاده از روش‌های بهینه‌سازی به منظور واسنجی خودکار مدل‌های هیدرولوژیکی مطرح است. عملکرد مناسب مدل به نحوه واسنجی پارامترهای آن به منظور تطابق هر چه بیشتر بین نتایج شبیه‌سازی شده به وسیله مدل با داده‌های مشاهداتی بستگی دارد. مدل AWBM در نرم‌افزار RRL (Rainfall Runoff Library) برای تخمین روابط بارش- رواناب حوضه مورد مطالعه انتخاب شده است. آماده‌سازی داده‌ها در محیط نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی نسخه GIS 10.4.1 انجام شد. برای شبیه‌سازی از داده‌های هفت ساله بارش، تبخیر و رواناب مشاهداتی در گام زمانی روزانه استفاده شد. ارزیابی عملکرد مدل با استفاده از ضریب نش- ساتکلیف (NSE)، ضریب تبیین ( $R^2$ ) و جذر میانگین مربعات خطا (RMSE) صورت گرفته است. نتایج این تحقیق گویای نتایج رضایت‌بخش مدل با استفاده از بهینه‌ساز واسنجی خودکار با ضریب نش- ساتکلیف ۰/۵۱۹ و ۰/۶۶۱، ضریب تعیین ۰/۷۶۸ و ۰/۸۷۴ و RMSE برابر ۱/۰۹۹ و ۰/۸۸۳ به ترتیب برای دوره واسنجی و صحت‌سنجی در حوضه منتخب است، همچنین نتایج حاصل بیانگر روند قادر به وصول مقادیر مطلوب پارامترهای مدل‌های مفهومی و یکپارچه تحقیق است.

واژه‌های کلیدی: مدل بیلان آب، بهینه‌ساز واسنجی خودکار، الگوریتم جستجو الگو، AWBM.

## مقدمه

بیان، ترازنامه بین داشته‌ها و برداشت‌هاست و بیان آبی به کلیه آب‌هایی که در یک زمان معین وارد یک محدوده خاص می‌شود و در این ناحیه یا به مصرف می‌رسد یا ذخیره شده و یا به صورت مختلف از محدوده خارج می‌شود، اطلاق می‌شود. محدود بودن توان منابع آب در ایران، حفاظت، حراست و بهره‌برداری بهینه از آن را به منظور تأمین نیازهای آبی آیندگان طلب می‌کند و دستیابی به این اهداف جز با استفاده از مدل‌های بیان منابع آب و ارزیابی پتانسیل آن‌ها امکان‌پذیر نیست. مدل‌های هیدرولوژیکی از تعدادی پارامتر برخوردارند که چکیده‌ای از ویژگی‌های حوضه آبریز را در خود می‌گنجانند. بیشتر این پارامترها از کمیت‌های قابل اندازه‌گیری حوضه به دست نمی‌آیند و لازم است از راه واسنجی مدل برآورد شوند. واسنجی دستی مدل‌های هیدرولوژیکی از اوایل دهه ۱۹۶۰ میلادی مورد توجه قرار گرفته است، ولی به دلیل وقت‌گیر بودن و پیچیدگی این فرآیند، از اواخر دهه مذکور بحث واسنجی خودکار مدل‌های هیدرولوژیکی با استفاده از الگوریتم‌ها مورد توجه قرار گرفت. در اوایل استفاده از روش واسنجی خودکار، نتایج چندان موفقیت‌آمیز و رضایت‌بخش نبود. ظهور و پیدایش الگوریتم‌های الهام گرفته شده از طبیعت سبب تحولی در بحث واسنجی خودکار مدل‌های هیدرولوژیکی شد به طوری که امروزه به دلیل عملکرد خوب این روش‌ها، به طور گسترده‌ای به‌وسیله محققین علوم آب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

Wang (۱۹۹۱)، روش الگوریتم ژنتیک را برای کالیبراسیون پارامترهای مدل‌های مفهومی بارش-رواناب به کار برد. Sharifi و Boyd (۱۹۹۴)، مدل‌های بارش-رواناب سه پارامتری AWBM و SFB را در استرالیا مورد مقایسه قرار داده و نتیجه گرفتند که مدل AWBM در شبیه‌سازی رواناب عملکرد بهتری نشان می‌دهد. (میزومورا، ۱۹۹۵)، رواناب به دست آمده از مدل ساده TANK را با به-کارگیری منحنی‌های پسروری مورد مطالعه قرار داد و عملکرد مدل را رضایت‌بخش عنوان نمود. کوپر و همکاران (۱۹۹۷)، عملکرد سه روش الگوریتم ژنتیک<sup>۱</sup>، الگوریتم شبیه‌سازی بازپخت<sup>۲</sup> و الگوریتم تکامل رقابتی جامع<sup>۳</sup> را در یک مدل تانک ساده که فقط شامل دو مخزن بود، مورد بررسی قرار دادند. (شریفی، ۱۹۹۷)، با مقایسه سه مدل SFB، AWBM، SDI در هشت حوضه در استرالیا نشان داد که اگر رواناب به دو بخش رواناب سطحی و جریان پایه تقسیم شود، عملکرد مدل AWBM بهتر از مدل‌های دیگر خواهد بود. یو و Yang (۲۰۰۰)، به بررسی عملکرد مدل بارش-رواناب HBV پرداخته و جهت واسنجی پارامترهای مدل از تابع فازی چند هدفه استفاده نمودند. آن‌ها عملکرد این روش را برای حوضه‌هایی که در آن‌ها توزیع زمانی جریان به شدت ناهمگن است، قابل قبول ارزیابی کردند.

در مقاله حاضر، رواناب روزانه حوضه معرف امامه با کاربرد بهینه‌ساز واسنجی خودکار جستجو الگو<sup>۴</sup> در مدل بیان آب AWBM مورد شبیه‌سازی قرار می‌گیرد. با استفاده از امکان واسنجی خودکار این مدل، واسنجی آن برای حوضه مورد مطالعه می‌تواند به سرعت و بدون نیاز به دانش و تجربه زیاد در مدل و پارامترهای آن، انجام شود.

## مواد و روش‌ها

### الگوریتم جستجو الگو

الگوریتم جستجو الگو از ساده‌ترین روش‌های جستجو در بهینه‌سازی است. از مزایای این روش می‌توان به سریع بودن آن و از معایب آن، می‌توان به یافتن نقاط بهینه ناحیه‌ای با جای نقاط بهینه سراسری اشاره نمود. این مشکل به خصوص در شرایطی که درجه غیرخطی بودن متغیرهای وابسته و مستقل زیاد باشد، بیشتر است. مشکل مربوط به نقاط بهینه موضعی را می‌توان با شروع جستجو از چند نقطه در ابتدای فرآیند جستجو حل کرد. روش جستجو در این روش طی مراحل زیر صورت می‌گیرد:

- گام ۱: شروع با مقدار اولیه و افزایش جستجو برای هر یک از پارامترها،
- گام ۲: ارزیابی تابع هدف برای افزایش و کاهش تدریجی در مقدار فعلی،

1 Genetic Algorithm (GA)  
2 Simulated annealing  
3 Shuffled Complex Evolution (SCE-UA)  
4 Pattern Search

گام ۳: اگر مقدار تابع هدف در یک جهت بهبود یابد، مقدار پارامتر برای آن قرار داده می شود.

گام ۴: تعیین هر یک از پارامترها در جهت بهینه و ارزیابی تابع هدف.

گام ۵: تکرار مراحل ۱ تا ۴ به طوری که هیچ گونه بهبودی در پارامترها ایجاد نشود.

چنانچه یک پارامتر به مرزهای ناحیه مورد جستجو نزدیک شود، مقدار پارامتر با توجه به مقدار مرزی محدود می شود (لوپس و تروست، ۲۰۰۰).

### توابع هدف

در این مطالعه برای واسنجی مدل از سه ضریب نش- ساتکلیف<sup>۱</sup> (رابطه ۱)، ضریب تبیین<sup>۲</sup> (رابطه ۲) و یک معیار خطا (جذر میانگین مربعات خطا)<sup>۳</sup> (رابطه ۳) استفاده شده است. اولین تابع، ضریب نش-ساتکلیف است که مقدار آن از منفی بی نهایت تا یک متغیر است. در صورتی که مقدار آن برابر با صفر یا کمتر از آن شود، بیانگر این است که میانگین دبی مشاهداتی بهتر از مقادیر دبی شبیه سازی شده به وسیله مدل است و اگر مقدار آن برابر با یک شود تطابق کامل بین مقادیر دبی مشاهداتی و دبی شبیه سازی شده برقرار است (رابطه ۱). دومین معیار ضریب تبیین بوده که نشان می دهد بین مقادیر دبی مشاهداتی و دبی شبیه سازی چه درجه ای از همبستگی وجود دارد (رابطه ۲). سومین معیار ارزیابی در این تحقیق جذر میانگین مربعات خطا بوده که از جمله معیارهای ارزیابی خطا است و کمتر شدن آن به منزله اختلاف کمینه بین داده های دبی شبیه سازی شده و دبی مشاهداتی است و نشان از عملکرد بهتر مدل دارد (رابطه ۳).

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}^t - Q_{sim}^t)^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}^t - \overline{Q_{obs}})^2} \quad (\text{رابطه ۱})$$

$$R^2 = \frac{(\sum_{t=1}^T (Q_{obs}^t - \overline{Q_{obs}})(Q_{sim}^t - \overline{Q_{sim}}))^2}{\sum_{t=1}^T (Q_{obs}^t - \overline{Q_{obs}})^2 \cdot \sum_{t=1}^T (Q_{sim}^t - \overline{Q_{sim}})^2} \quad (\text{رابطه ۲})$$

$$RMSE = \sqrt{\sum_{t=1}^T \frac{(Q_{sim}^t - Q_{obs}^t)^2}{T}} \quad (\text{رابطه ۳})$$

در روابط فوق،  $Q_{obs}^t$  دبی مشاهداتی در زمان  $t$ ،  $Q_{sim}^t$  دبی شبیه سازی شده در زمان  $t$ ،  $\overline{Q_{obs}}$  متوسط دبی های مشاهداتی در کل دوره شبیه سازی،  $\overline{Q_{sim}}$  متوسط دبی های شبیه سازی شده در کل دوره مشاهداتی و  $T$  = تعداد کل دوره های مشاهداتی (گام های زمانی) است.

### منطقه مطالعات

حوضه آبریز امامه یک حوضه معرف و از زیرحوضه های سد لتیان که به منظور مدل سازی جریان آب در این مطالعه انتخاب شده است (شکل ۱). این حوضه در طول های جغرافیایی "۳۲°۵۱'۰۰" تا "۳۹°۵۱'۰۰" شرقی و عرض های جغرافیایی "۵۱°۳۵'۰۰" تا "۵۷°۳۵'۰۰" شمالی واقع شده است. حوضه مذکور از شمال به ارتفاعات جنوبی دره لار، از غرب به ارتفاعات اوشان کوه و ارتفاعات شرقی رودخانه جاجرود، از شرق به ارتفاعات راحت آباد و کوسا و از جنوب به رودخانه جاجرود و دهکده کمرخانی محدود شده است. این حوضه آبریز یکی از سرشاخه های رودخانه جاجرود است و پس از عبور از روستاهای امامه و کلکان در پایین دست روستای کلکان (پس از عبور از ایستگاه آب سنجی کمرخانی) به شاخه اصلی رودخانه جاجرود می پیوندد.

به منظور اجرای این تحقیق، از داده های ایستگاه های هواشناسی امامه و کلکان و ایستگاه های آب سنجی کمرخانی در خروجی حوضه و باغ تنگه به دلیل موقعیت ایستگاه ها و همچنین وجود داده های کافی استفاده شد. پس از جمع آوری بانک داده ها، پیش پردازش داده ها از قبیل مرتبط بودن، کفایت و درستی اجرا شد. برای پیش بینی جریان رودخانه (Q) از متغیرهای هواشناسی از قبیل داده های میانگین بارندگی روزانه (P)، داده های میانگین روزانه دما (T)، داده های میانگین روزانه تبخیر و تعرق پتانسیل (PET) و همچنین داده های دبی مشاهداتی روزانه استفاده شد. تعداد ۷ سال داده ۲۰۰۷-۲۰۰۱ یعنی ۲۵۵۶ داده بارش روزانه، ۲۵۵۶ داده تبخیر روزانه و ۲۵۵۶ داده

1 Nash-Sutcliffe

2 Coefficient of Determination

3 Root Mean Square Error

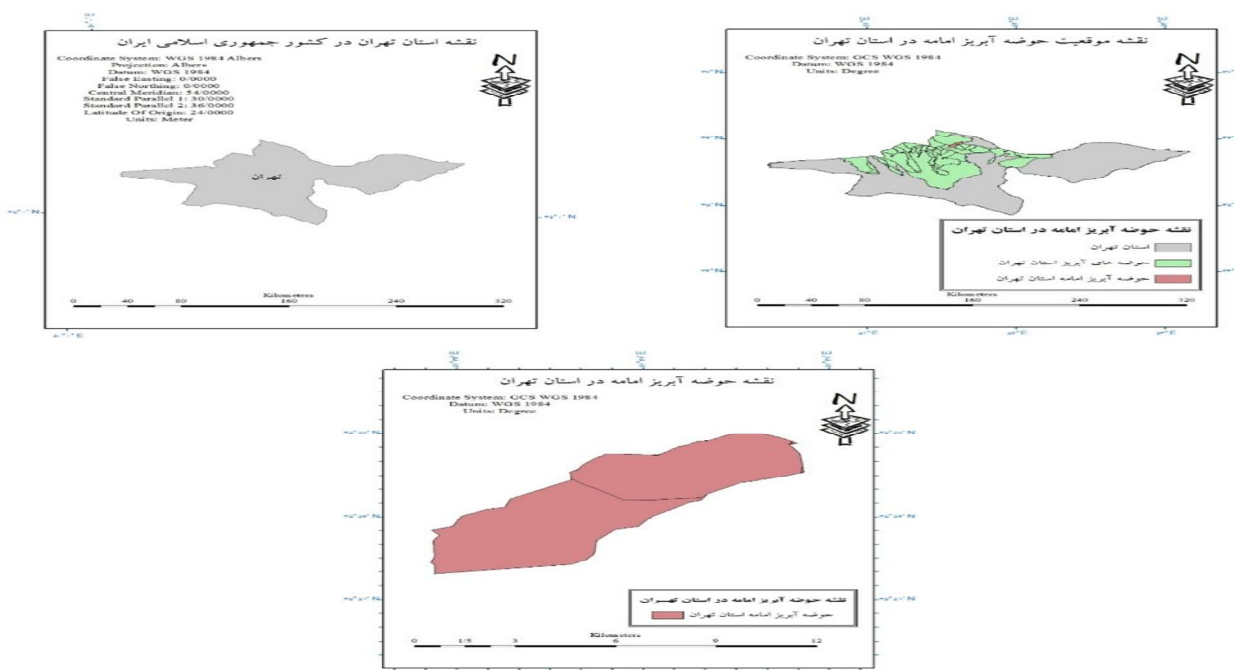
رواناب مشاهداتی روزانه در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته که پنج سال (۱۸۲۶ داده روزانه) برای واسنجی مدل‌ها و دو سال (۷۳۰ داده روزانه) برای صحت‌سنجی مدل‌ها به کار گرفته شده‌اند. برخی از مشخصات فیزیکی حوضه در جدول ۱ نشان داده شده است. همچنین مشخصات آماری داده‌های مورد بررسی در گام زمانی روزانه در جدول ۲ آورده شده است.

جدول ۱- برخی از مشخصات فیزیوگرافی حوضه آبریز امامه در محل ایستگاه کمرخانی.

ارتفاع متوسط (m)	شیب متوسط رودخانه (%)	ضریب شکل	طول آبراهه اصلی (Km)	محیط حوضه (Km)	مساحت حوضه (Km <sup>2</sup> )
۲۶۵۰	۹/۲	۱/۴۲	۱۳	۳۱	۳۷/۲
طول مستطیل معادل (Km)	عرض مستطیل معادل (Km)	شیب متوسط حوضه (%)	قطر دایره معادل (Km)	طول آبراهه اصلی (Km)	طول مستطیل معادل (Km)
۱۲/۹۴	۳/۰۶	۵۴/۳	۶/۸۸۴	۱۳	۱۲/۱۴

جدول ۲- مشخصات آماری داده‌های مورد بررسی در گام زمانی روزانه.

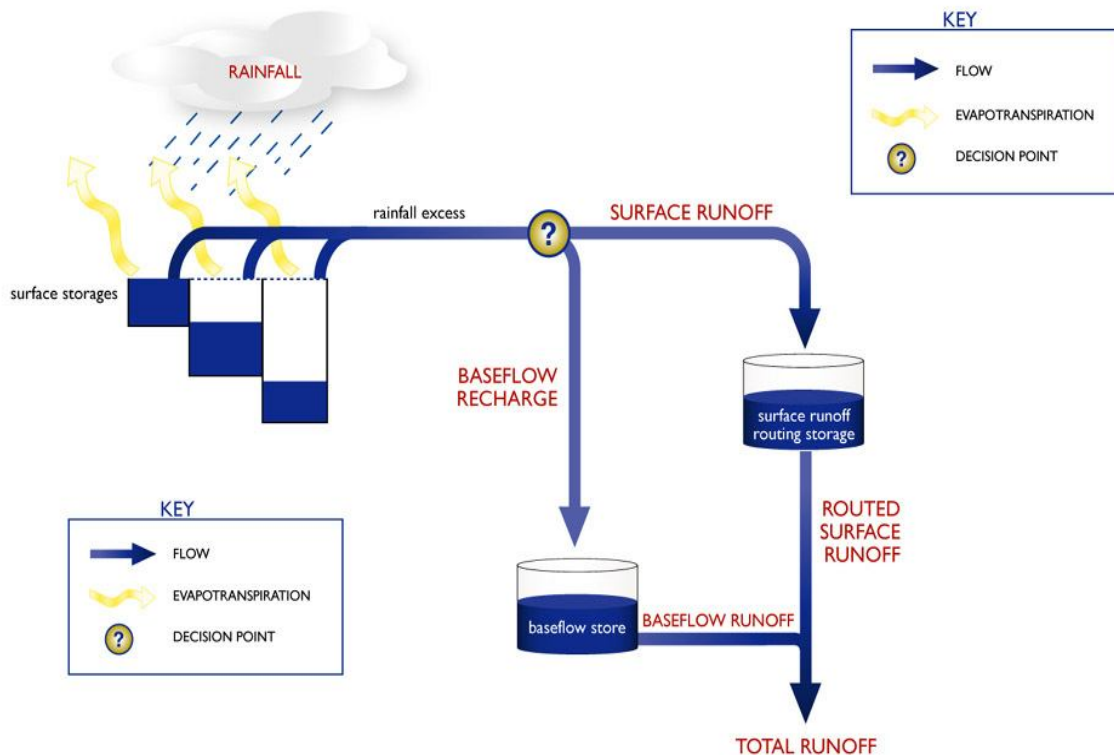
متغیر مورد نظر	مجموع	میانگین	انحراف معیار	چولگی
بارش (mm)	۴۵۸۱/۱۵۰	۱/۷۹۲	۵/۲۹۴	۵/۶۳۵
تبخیر (mm)	۷۶۵۰/۹۵۰	۲/۹۹۳	۲/۹۳۲	۰/۵۴۷
رواناب (mm)	۳۲۳۲/۴۶۸	۱/۲۶۵	۱/۵۴۹	۲/۳۴۴



شکل ۱- موقعیت حوضه معرف امامه در استان تهران.

### معرفی مدل بیلان آب AWBM

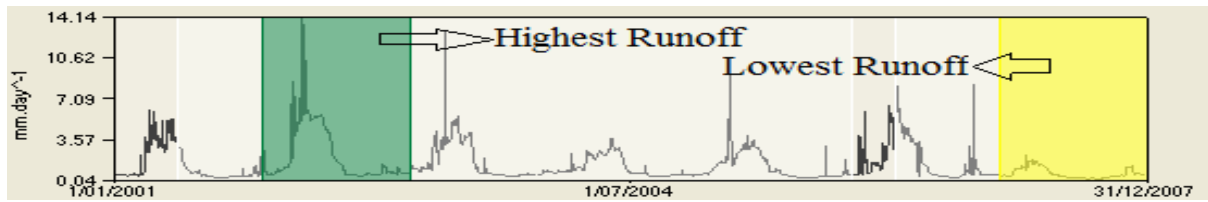
مدل بیلان آب استرالیایی یک مدل کامپیوتری است که اولین بار در سال ۱۹۹۳ برای شبیه سازی بارش-رواناب به وسیله بوتون ارائه شد. مدل AWBM براساس تئوری جریان از سطوح جزئی اشباع که مشابه تئوری جریان سطحی اشباع است، توسعه یافته و برتری های آن بر سایر مدل های شبیه سازی بارش-رواناب عبارتند از: ۱- داده های مورد نیاز مدل به آسانی در دسترس هستند، ۲- مدل سه پارامتری است و در رودخانه های فصلی که آب پایه ندارند، مدل یک پارامتره می شود، ۳- ساختار مدل به نسبت ساده است، ۴- مدل رواناب را در زمان های مختلف از مناطق مختلف محاسبه می کند. مدل AWBM از ظرفیت های ذخیره سطحی ( $C_1$ ,  $C_2$  و  $C_3$ ) با مساحت های ( $A_1$ ,  $A_2$  و  $A_3$ ) برای شبیه سازی سطوح رواناب استفاده می کند و بیلان آبی هر سطح ذخیره ای را مستقل از بقیه در گام های زمانی روزانه محاسبه می کند. در زیر شماتیکی از ساختار مدل بیلان آب AWBM نمایش داده شده است (شکل ۲).



شکل ۲- شماتیکی از ساختار مدل بیلان آب AWBM

### نتیجه گیری

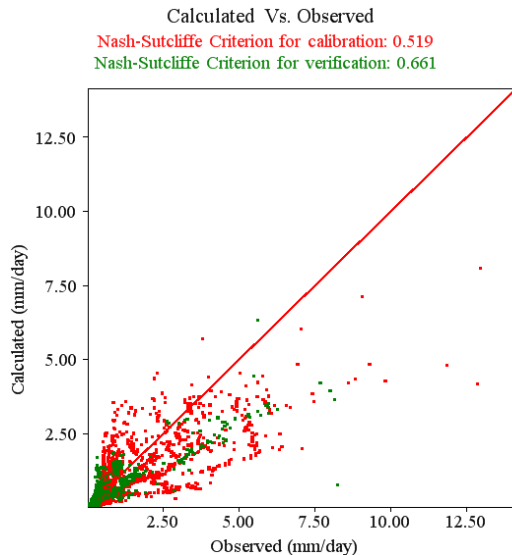
در این قسمت بخشی از نتایج شبیه سازی بارش-رواناب حوضه آبریز معرف امامه با استفاده الگوریتم بهینه ساز واسنجی خودکار جستجو الگو در مدل بیلان آب AWBM ارائه شده است. جریان روزانه شبیه سازی شده توسط مدل مذکور با جریان مشاهداتی روزانه در ایستگاه های باغ تنگه و کمرخانی در دوره واسنجی و صحت سنجی مقایسه شده اند و نتایج در قالب گراف و جدول ارائه شده است. نتایج تحقیق حاکی از نتایج مطلوب و موفقیت آمیز مدل با استفاده از الگوریتم بهینه ساز واسنجی خودکار جستجو الگو براساس معیارهای ارزیابی و توابع هدف پژوهش است. شکل ۳ هیدروگراف رواناب مشاهداتی روزانه حوضه معرف امامه استان تهران را طی سال های ۲۰۰۷-۲۰۰۱ به همراه دوره هایی که رواناب کمینه و بیشینه در آن اتفاق افتاده را نشان می دهد.



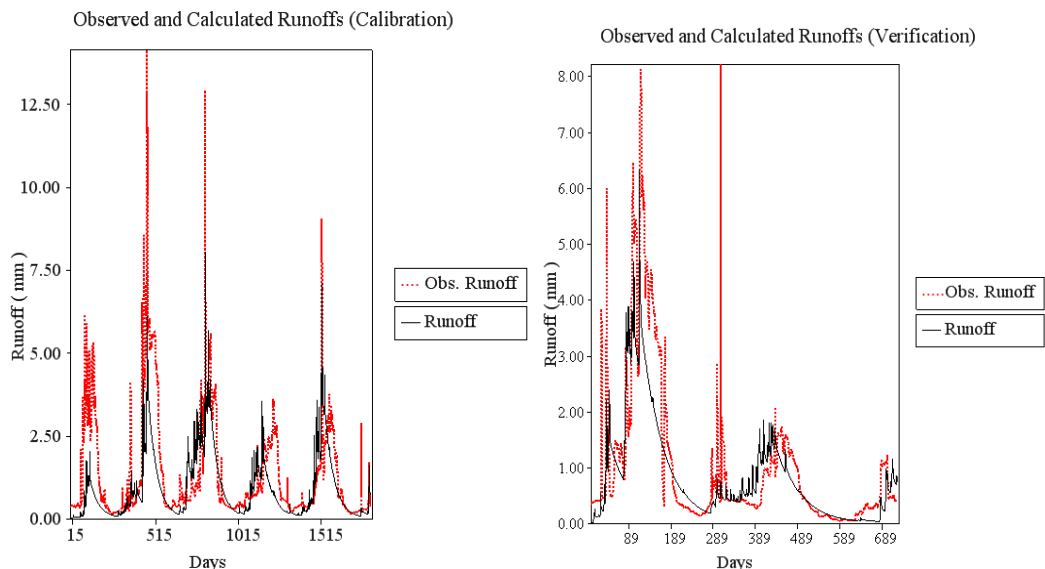
شکل ۳- هیدروگراف رواناب مشاهداتی روزانه حوضه معرف امامه در دوره شبیه سازی به همراه دوره رواناب حداقل و حداکثر.

### نتایج اجرای مدل بیلان آب AWBM با استفاده از بهینه ساز واسنجی خودکار جستجو الگو

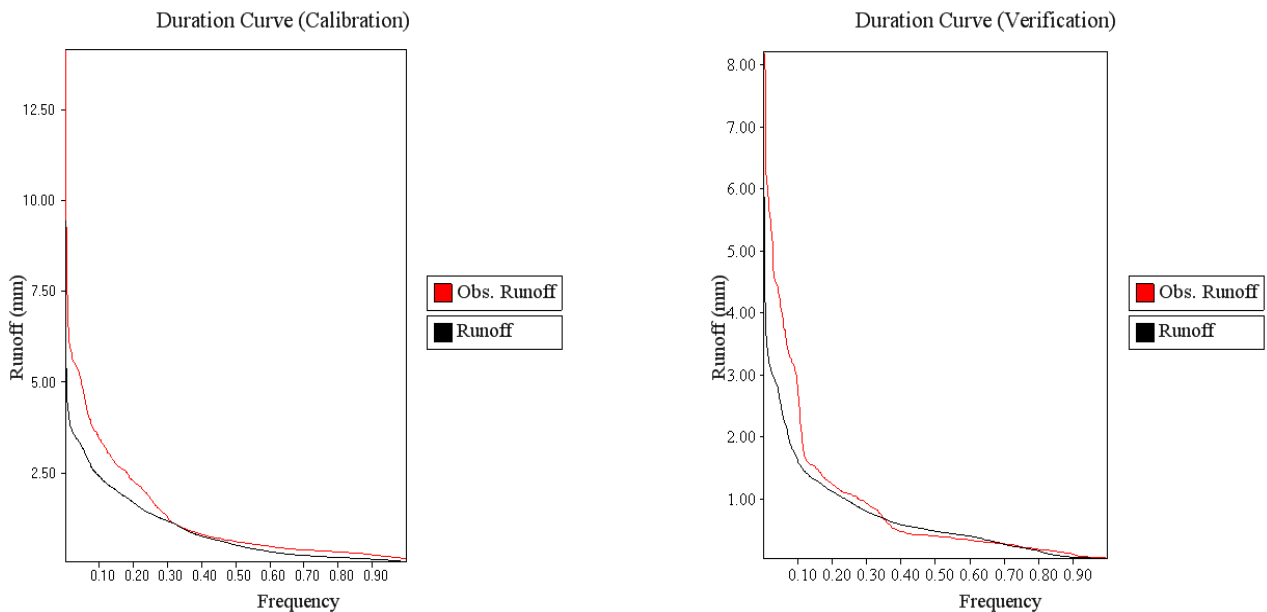
گراف پراکندگی مقادیر رواناب مشاهداتی و شبیه سازی شده برای مدل هیدرولوژیکی بارش-رواناب AWBM در شکل ۴ ارائه شده است. همچنین هیدروگراف رواناب مشاهداتی و شبیه سازی شده برای دوره های واسنجی و صحت سنجی به ترتیب از چپ به راست در شکل ۵ آورده شده است. همچنین منحنی تداوم جریان مشاهداتی و شبیه سازی شده برای دوره های واسنجی و صحت سنجی به ترتیب از چپ به راست در شکل ۶ ارائه گشته اند. در انتها هیدروگراف کلی رواناب مشاهداتی و شبیه سازی شده در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل ۴- گراف پراکندگی رواناب شبیه سازی شده و مشاهداتی مدل بیلان آب AWBM.

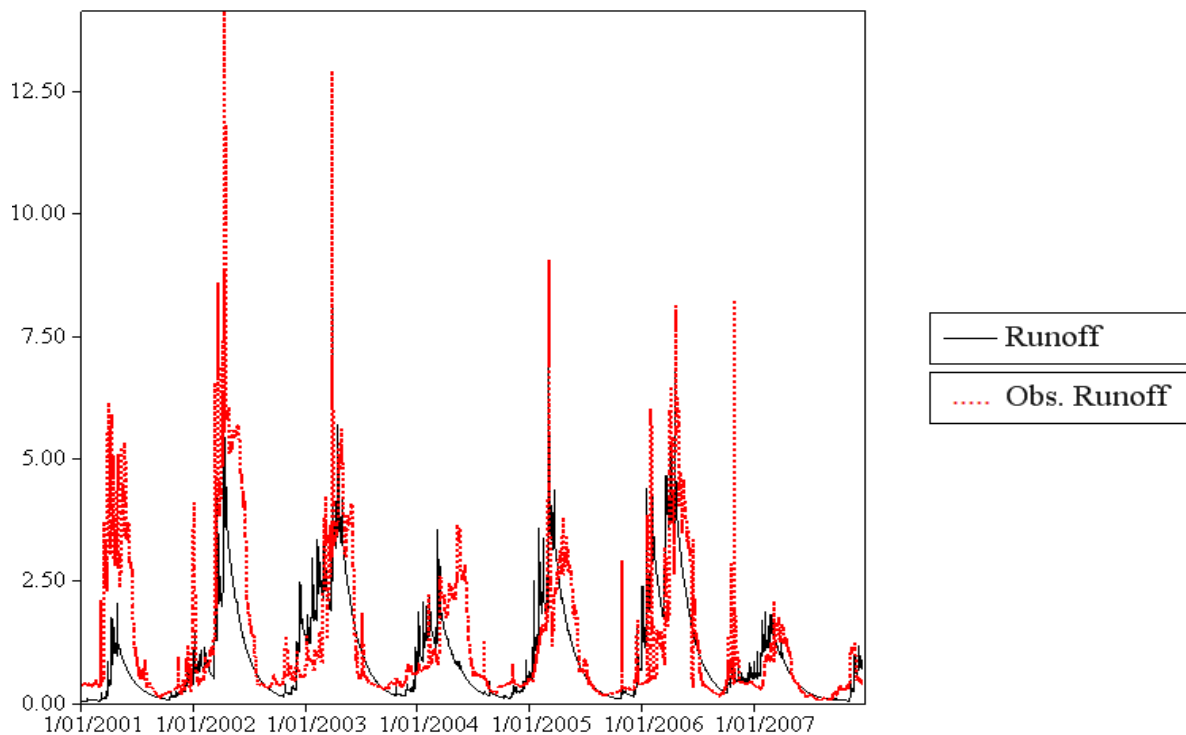


شکل ۵- هیدروگراف رواناب مشاهداتی و شبیه سازی شده مدل بیلان آب AWBM برای دوره واسنجی و صحت سنجی به ترتیب از چپ به راست.



شکل ۶- منحنی تداوم رواناب

مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل بیلان آب AWBM برای دوره واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب از چپ به راست.



شکل ۷- هیدروگراف رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل بیلان آب AWBM.

مقادیر کمی توابع هدف برای دوره‌های واسنجی و صحت‌سنجی اجرای مدل بیلان آب AWBM با استفاده از بهینه‌ساز واسنجی خودکار جستجو الگو در جدول ۳ آورده شده است. همچنین مقادیر کمی پارامترهای مدل مذکور در مرحله واسنجی در جدول ۴ ارائه گشته است.

جدول ۳- نتایج شبیه سازی مدل بیلان آب با استفاده از الگوریتم بهینه ساز واسنجی خودکار جستجو الگو.

مرحله	RMSE	R <sup>2</sup>	NSE
واسنجی	۱/۰۹۹	۰/۷۶۸	۰/۵۱۹
صحت سنجی	۰/۸۸۳	۰/۸۷۴	۰/۶۶۱

جدول ۴- مقادیر کمی پارامترهای مدل بیلان آب AWBM برای مرحله واسنجی.

پارامتر	A <sub>1</sub>	A <sub>2</sub>	BFI	C <sub>1</sub>	C <sub>2</sub>	C <sub>3</sub>	K <sub>Base</sub>	K <sub>Surf</sub>
مقدار	۰/۱۳۴	۰/۴۳۳	۰/۹۲۸	۰	۱۱۴/۱	۱۹۶/۹	۰/۹۸۱	۰/۲۸۳

با توجه به نمودار پراکندگی و هیدروگراف های شبیه سازی شده و مشاهداتی حاصل از مدل این پژوهش می توان نتیجه گرفت که این مدل توانایی شبیه سازی مقادیر بیشینه جریان را در بعضی قسمت های هر دو دوره واسنجی و صحت سنجی نداشته اما مقادیر کمینه و متوسط جریان را به خوبی شبیه سازی کرده است. نتایج واسنجی مدل، همبستگی مناسب شبیه سازی مدل با داده های اندازه گیری شده رواناب رودخانه امامه در حوضه معرف امامه استان تهران را نشان می دهد. عموماً اگر شاخص نش- ساتکلیف بیشتر از ۰/۷۵ باشد مدل عالی و کامل، و اگر بین ۰/۳۶ تا ۰/۷۵ باشد رضایت بخش و اگر کمتر از ۰/۳۶ باشد غیر قابل قبول فرض می شود (Huang و Zhou, ۲۰۰۹). بر این اساس می توان نتیجه گرفت که نتایج حاصل از شبیه سازی رواناب حوضه معرف امامه با استفاده از مدل بیلان آب AWBM رضایت بخش است و از این مدل می توان برای برآورد مقادیر متوسط رواناب در زمینه مدیریت منابع آب استفاده کرد.

### قدردانی

بدین وسیله از دانشگاه تهران، شرکت مدیریت منابع آب ایران- دفتر مطالعات پایه، شرکت سهامی آب منطقه ای استان تهران و سازمان هواشناسی کشور به خاطر تأمین امکانات لازم جهت انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه قدردانی می شود.

### منابع

- اکبرپور، م، رهنما، م، بارانی، غ، (۱۳۸۲)، "مقایسه شبکه عصبی مصنوعی و مدل HEC-HMS در فرآیند بارندگی-رواناب"، چهارمین کنفرانس هیدرولیک ایران، دانشکده مهندسی دانشگاه شیراز، صص ۱۰۳۲-۱۰۲۵.
- جهانگیر، ع، رائینی، م، ضیاءاحمدی، م، (۱۳۹۷)، "شبیه سازی فرآیند بارش-رواناب با شبکه عصبی مصنوعی (ANN) و مقایسه با مدل HEC-HMS در حوضه معرف کارده"، مجله آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، جلد ۲۲، شماره ۲، صص ۸۴-۷۲.
- رشیدی، ب، عراقی نژاد، ش، ابراهیمی، ک، (۱۳۹۶)، "افزایش دقت شبیه سازی رواناب با کاربرد مدل WAPABA"، تحقیقات آب و خاک ایران، صص ۹۴-۸۷.
- سلطانی، س، مرید، س، (۱۳۸۱)، "مقایسه مدل های تفهیمی با شبکه عصبی مصنوعی در شبیه سازی بارش-رواناب"، مجموعه مقالات ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز، صص ۱۰۸۵-۱۰۹۴.
- مدرسی، ف، عراقی نژاد، ش، ابراهیمی، ک، (۱۳۹۵)، "ارزیابی استراتژی های میانگین گیری وزنی رتبه ای در ترکیب مدل های پیش بینی کننده جریان (مطالعه موردی: رودخانه کرخه)"، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، صص ۲۵-۱۵.
- میثاقی، ف، محمدی، ک، (۱۳۸۱)، "شبیه سازی بارش-رواناب و روندیابی رودخانه با استفاده از شبکه های عصبی مصنوعی"، مجموعه مقالات ششمین سمینار بین المللی مهندسی رودخانه، دانشگاه شهید چمران، اهواز، صص ۴۶۲-۴۵۵.



نورانی، وحید، صالحی، ک، (۱۳۸۷)، "مدل سازی بارش-رواناب با استفاده از شبکه عصبی فازی و مقایسه آن با روش های شبکه عصبی فازی"، چهارمین کنگره ملی مهندسی عمران، دانشگاه تهران، صص ۸-۱.

Araghinejad, S., 2006. Application of Artificial Neural Network Ensembles in Probabilistic Hydrological Forecasting, *Water Resources Research* 42 (3).

Araghinejad, S., 2013. *Data-driven Modelling: Using MATLAB® in Water Resources and Environmental Engineering*, Springer Science & Business Media.

Araghinejad, S., Karamouz, M., 2005. Long-Lead Streamflow Forecasting Using Artificial Neural Networks and Fuzzy Inference System, *Iran Water Resources Research* 1(2), 29-41.

Audet, C & Dennis Jr, J.E., 2002. Analysis of generalized pattern searches. *SIAM Journal on Optimization*, 13(3): 889-903.

Bashar, K., 2012. Comparative Performance of Soil Moisture Accounting Approach in Continuous Hydrologic Simulation of the Blue Nile. *Nile Basin Water Science & Engineering Journal*, 5:2. 10p.

Behmanesh, J., A. Jabari, M. Montaseri & H. Rezaei 2014. Comparing AWBM and SimHyd models in rainfall-runoff modeling (case study: Nazlou Chay catchment in west Azarbijan). 24th Year, 52(4). (In Persian).

Boughton, W. 2002. *AWBM Catchment Water Balance Model, Calibration and Operation Manual*, 30p.

Chang, C.T., Zhao, M.Y., Chau, K.W. and Wu, X.Y. 2006. Using genetic algorithm and TOPSIS for Xinanjiang model calibration with single procedure. *Journal of Hydrology*. 316(1-4):129-140.

Chen, J & B.J, Adams. 2006. Integration of artificial neural networks with conceptual models in rainfall-runoff modelling. *J Hydrol* 318:232-249.

Chiew F.H.S., M.C. Peel. & A.W. Western. 2002. Application and testing of the simple rainfall-runoff model SimHyd. In: *Mathematical Models of Watershed Hydrology*, Water Resources Publication, and Littleton. Colorado.

Franchini, M. and Galeati, G. 1997. Comparing several genetic algorithm schemes for calibration of conceptual rainfall-runoff models. *Hydrol. Sci. J.* 42(3):357-380.

Hafezparast, M., Araghinejad, S., Fatemi, SE., Bressers, JTA., 2013. A Coceptual Rainfall-Runoff Model Using the Auto Calibrated NAM Models in the Sarisoo River, *Hydrology: Current Research* 4(1).

Lin, GF. and Wang, C.M. 2007. A nonlinear rainfall-runoff model embedded with an calibration method – Part 2: The automated calibration method. *Journal of Hydrologt.* 341 (3-4):196-206.

Lorrai, M., Secchi, H.M, (1995). "Neural nets for modeling rainfall-runoff transformation watercourses management. Vol 9, 299-313.

Modaresi, F., Araghinejad, S., Ebrahimi, K., 2017. A Comparative Assessment of Artificial Neural Network, Generalized Regression Neural Network, Least-Square Support Vector Regression, and K-Nearest Neighbor Regression for Monthly Streamflow Forecasting in Linear and Nonlinear Conditions. *Water Resources Management* 31/260, no. 31 (2017):1-16.