مقایسه کارایی سه مدل هیدرولوژیکی AWBM، Sacramento و IHACRES در یک حوضه واحد (مطالعه موردی: حوضه معرف امامه استان تهران)

محمدرضا محمدی‌وند [۱]، شهاب عراقی‌نژاد[۲]،کیومرث ابراهیمی*[۳]، فرشته مدرسی [۴]

۱- دانشجوی کارشناسی ارشد مهندسی منابع آب دانشگاه تهران

۲- دانشیار گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

۳- استاد گروه مهندسی آبیاری و آبادانی دانشگاه تهران

۴- دکتری مهندسی منابع آب دانشگاه تهران

*نویسنده مسئول: **EbrahimiK@ut.ac.ir**

چکیده

مدل‌های هیدرولوژیکی نمایش ساده‌ای از سیستم هیدرولوژی واقعی هستند که به مطالعه درباره کارکرد حوضه در واکنش به ورودی‌های گوناگون و فهم بهتر از فرآیندهای هیدرولوژیکی کمک می‌کنند. با توجه به تنوع مدل‌های بارش – رواناب در دسترس، انتخاب یک مدل بارش – رواناب مناسب برای حوضه از جهت بهره‌وری برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مهم می‌باشد. بنابراین انتخاب مدل، نیاز به تشخیص قابلیت و محدودیت مدل‌های هیدرولوژیکی دارد. ازاین‌رو، در این مطالعه کارایی سه مدل بارش – رواناب AWBM[۱]، SacramentoوIHACRES[۲] در شبیه‌سازی رواناب حوضه معرف امامه استان تهران مورد ارزیابی و مقایسه قرار گرفته است. هدف از این مطالعه، شبیه‌سازی و تعیین رواناب ناشی از بارش و محاسبه جریان روزانه در خروجی حوضه آبریز منتخب است. مدل‌های AWBM و Sacramento در نرم‌افزار RRL[۳] موجود بوده و برای بدست آوردن روابط بارش – رواناب حوضه انتخاب شده‌اند. آماده‌سازی داده‌ها در محیط نرم‌افزار سامانه اطلاعات جغرافیایی (GIS 10.4.1) انجام شده است. در این مطالعه با داده‌هایی نظیر بارش روزانه، تبخیر روزانه، دما روزانه و جریان مشاهداتی روزانه، رواناب روزانه خروجی از حوضه مورد شبیه‌سازی قرار گرفته است. ازجمله معیارهای ارزیابی در این مطالعه، ضریب نش-ساتکلیف[۴](NSE)، ضریب تعیین[۵] (R^2) و یک معیار خطا (جذر میانگین مربعات خطا[۶]) می‌باشد. نتایج این تحقیق گویای نتایج قابل قبول و مطلوب هر سه مدل هیدرولوژیکی در حوضه منتخب است، همچنین کارایی بهتر مدل هیدرولوژیکی IHACRES با توجه به معیارهای ارزیابی و توابع هدف در هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی نسبت به دو مدل دیگر را نشان می‌دهد.

کلمات کلیدی: مدل بارش – رواناب، حوضه معرف امامه استان تهران، AWBM، Sacramento، IHACRES

مقدمه

1 Australian Water Balance Model

2 Identification of unit Hydrographs And Component flows from Rainfall, Evaporation and Streamflow data

3 Rainfall Runoff Library

4 Nash-Sutcliffe

5 Coefficient of Determination

6 Root Mean Square Error (RMSE)

یکی از مهم‌ترین مسائلی که همواره در مهندسی آب و هیدرولوژی موردتوجه محققین بوده است، شبیه‌سازی رواناب یا دبی رودخانه به‌منظور انجام برنامه‌ریزی‌ها یا پیشگیری از خسارت‌ها بوده است. روش‌های شبیه‌سازی با توجه به ساختار مدل‌ها و رویکرد به مسئله، به انواع مختلفی تقسیم‌بندی می‌شوند. هر مدل شبیه‌سازی به‌واسطه خصوصیات ذاتی خود دارای مقادیر خطای شبیه‌سازی است که با توجه به فیزیک و نوع مسئله شبیه‌سازی، این میزان خطا متفاوت خواهد بود. بدیهی است که نمی‌توان مدلی را به‌عنوان مدل برتر و برآورده‌کننده نیازهای شبیه‌سازی در تمامی شرایط، تدوین کرد. در این مطالعه ضمن ارائه مدل‌های شبیه‌سازی هیدرولوژیکی دارای ساختار متفاوت، به بیان و مقایسه آن‌ها پرداخته می‌شود.

یکی از موانع اصلی که همواره بر سر راه توسعه مدل‌های بارش – رواناب قرار داشته است، دشواری و زمان‌بر بودن محاسبات در این مدل‌ها است. در دهه ۶۰ میلادی، با رونق گرفتن استفاده از رایانه‌ها در علوم مهندسی، نسل جدیدی از مدل‌های بارش – رواناب توسعه داده شدند. امروزه به دلیل عملکرد خوب این مدل‌ها، به طور گسترده‌ای توسط محققان علوم آب مورد استفاده قرار می‌گیرند.

دهقانی و همکاران (۱۳۹۱) جریان روزانه در حوضه آبخیز کسیلیان را با مدل WetSpa و شبکه عصبی فازی را شبیه-سازی کردند. در این تحقیق از آمار باران، تبخیر و دمای ایستگاه سنگده و آمار دبی ایستگاه ولیک‌بن طی سال‌های ۱۳۸۲ تا ۱۳۸۸ استفاده‌شده است. نتایج شبیه‌سازی با مدل WetSpa نشان داد که این مدل به‌خوبی توانسته جریان پایه رودخانه را با معیار ناش‌ساتکلیف ۰/۶۴ در مرحله آزمون شبیه‌سازی نماید ولی در شبیه‌سازی جریان‌های سیلابی با خطا همراه است که دلیل آن را می‌توان به کوچک بودن حوضه آبخیز و کوتاه بودن زمان پیمایش اشاره کرد. همچنین این مدل به‌خوبی توانسته بیلان آب حوضه آبخیز کسیلیان را شبیه‌سازی کند. آنالیز حساسیت پارامترهای مدل نشان داد که ضریب افت آب زیرزمینی از بیشترین حساسیت و ضریب روز درجه بارش از کمترین حساسیت برخوردار است. همچنین شبکه عصبی - فازی تطبیقی با ورودی باران با یک روز تأخیر و تبخیر با یک روز تأخیر با معیار ناش‌ساتکلیف ۰/۸۰ در دوره آزمون پاسخ‌های قابل‌قبول‌تری نسبت به مدل WetSpa داشت.

حسین‌زاده چهکندک و همکاران (۱۳۹۴)، کارایی دو مدل بارش – رواناب Sacramento و SimHyd در حوضه سد امیرکبیر مورد مقایسه و ارزیابی قرار داده‌اند. ازجمله معیارهای ارزیابی در این مطالعه، ضریب ناش‌ساتکلیف، تعیین (R^2) و یک معیار خطا (RMSE) هستند. شبیه‌سازی‌ها نشان داد مدل SimHyd با ضریب ناش‌ساتکلیف ۰/۶۱ و معیار خطای ۱۰/۰۱ و مدل Sacramento با ضریب ناش‌ساتکلیف ۰/۴۷ و معیار خطای ۱۱/۶۸ بیشترین و کمترین کارایی را در دوره واسنجی دارند. این مقادیر برای دوره صحت‌سنجی ۰/۵۶ ناش‌ساتکلیف و ۹/۵ معیار خطا برای SimHyd و ۰/۲۱ و ۶/۷۲ برای Sacramento می‌باشند. نتایج نشان می‌دهد که مدل SimHyd در شبیه‌سازی رواناب حوضه موردمطالعه عملکرد بهتری در هر دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی داشته است.

مردانی و همکاران (۱۳۹۵)، به مقایسه و ارزیابی مدل‌های مفهومی بارش – رواناب IHACRES و SimHyd در حوضه آبخیز جونقان پرداختند. مدل‌های متعددی برای تخمین دبی حوضه‌های آبخیز ارائه شده است که در این پژوهش از دو مدل مفهومی و یکپارچه IHACRES و SimHyd که ساده می‌باشند و نیاز به داده‌های ورودی کمی دارند جهت شبیه‌سازی جریان روزانه در حوضه آبخیز جونقان استفاده شد. طول دوره آماری در این تحقیق ده سال بود که در این بازه زمانی مشترک واسنجی و اعتبارسنجی داده‌ها صورت گرفت و جهت ارزیابی نتایج مدل‌ها از معیارهایی نظیر ضریب تعیین،

ضریب ناش – ساتکلیف و مجذور میانگین مربعات خطا استفاده شد. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که IHACRES نتایج بهتری در شبیه‌سازی ارائه داده است.

هدف از این مطالعه، ارزیابی و مقایسه نتایج شبیه‌سازی و تعیین رواناب ناشی از بارش و محاسبه جریان روزانه در خروجی حوضه آبریز معرف امامه استان تهران با استفاده از سه مدل هیدرولوژیکی AWBM، Sacramento و IHACRES است.

مواد و روش‌ها

یکی از روش‌هایی که در زمینه‌های مختلف علمی استفاده شده و می‌تواند فرآیند پیچیده بارش – رواناب را شبیه‌سازی کند، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی دارای ساختار متفاوت است. در این تحقیق بررسی کارآمدی مدل‌های هیدرولوژیکی در شبیه‌سازی فرآیند بارش – رواناب و مقایسه نتایج آن‌ها در حوضه آبریز معرف امامه در استان تهران است.

با توجه به اهمیت انتخاب تابع هدف، در این مطالعه عملکرد مدل‌ها با توابع هدف زیر مورد بررسی قرار گرفته است. در این مطالعه برای واسنجی مدل‌های هیدرولوژیکی و همچنین مقایسه نتایج حاصل از اجرای مدل‌ها با اعمال تغییرات مورد نظر، از سه ضریب نش-ساتکلیف (رابطه ۱)، ضریب تعیین (رابطه ۲) و یک معیار خطا (جذر میانگین مربعات خطا) (رابطه ۳) استفاده شده است. اولین تابع، ضریب نش – ساتکلیف می‌باشد که مقدار آن از منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است. در صورتی‌که مقدار آن برابر با صفر یا کمتر از آن شود، بیانگر این است که میانگین دبی مشاهداتی بهتر از مقادیر دبی شبیه-سازی شده توسط مدل است و اگر مقدار آن برابر با یک شود تطابق کامل بین مقادیر دبی مشاهداتی و دبی شبیه‌سازی شده برقرار می‌باشد (رابطه ۱). دومین معیار ضریب تعیین بوده که نشان می‌دهد بین مقادیر دبی مشاهداتی و دبی شبیه-سازی چه درجه‌ای از همبستگی وجود دارد (رابطه ۲). سومین معیار ارزیابی در این تحقیق جذر میانگین مربعات خطا بوده که از جمله معیارهای ارزیابی خطا می‌باشد و کمتر شدن آن به منزله اختلاف حداقل بین داده‌های دبی شبیه‌سازی شده و دبی مشاهداتی است و نشان از عملکرد بهتر مدل دارد (رابطه ۳).

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

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

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

در روابط فوق، Q_{obs}^{t}= دبی مشاهداتی در زمان t، Q_{sim}^{t}= دبی شبیه‌سازی شده در زمان t، $\overline{Q_{obs}}$= متوسط دبی‌های مشاهداتی در کل دوره شبیه‌سازی، $\overline{Q_{sim}}$= متوسط دبی‌های شبیه‌سازی شده در کل دوره مشاهداتی و T = تعداد کل دوره‌های مشاهداتی (گام‌های زمانی) است.

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوضه آبریز امامه یک حوضه معرف در استان تهران و از زیرحوضه‌های سد لتیان که به منظور مدل‌سازی جریان آب در این مطالعه انتخاب شده است (شکل ۱). این حوضه در طول‌های جغرافیایی "۰۰′۵۱°۳۲ تا "۰۰′۵۱°۳۹ شرقی و

عرض‌های جغرافیایی "۰۰′۳۵ °۵۱ تا "۰۰′۳۵ °۵۷ 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 راحت‌آباد و کوسا و از جنوب به رودخانه جاجرود و دهکده کمرخانی محدود شده است. این حوضه آبریز یکی از سرشاخه‌های رودخانه جاجرود است و پس از عبور از روستاهای امامه و کلوکان در پایین‌دست روستای کلوکان (پس از عبور از ایستگاه آب‌سنجی کمرخانی) به شاخه اصلی رودخانه جاجرود می‌پیوندد. بیشترین ارتفاع حوضه در بخش شمالی ۳۸۵۰ متر و کمترین آن در محل خروجی ۱۷۵۰ متر است.

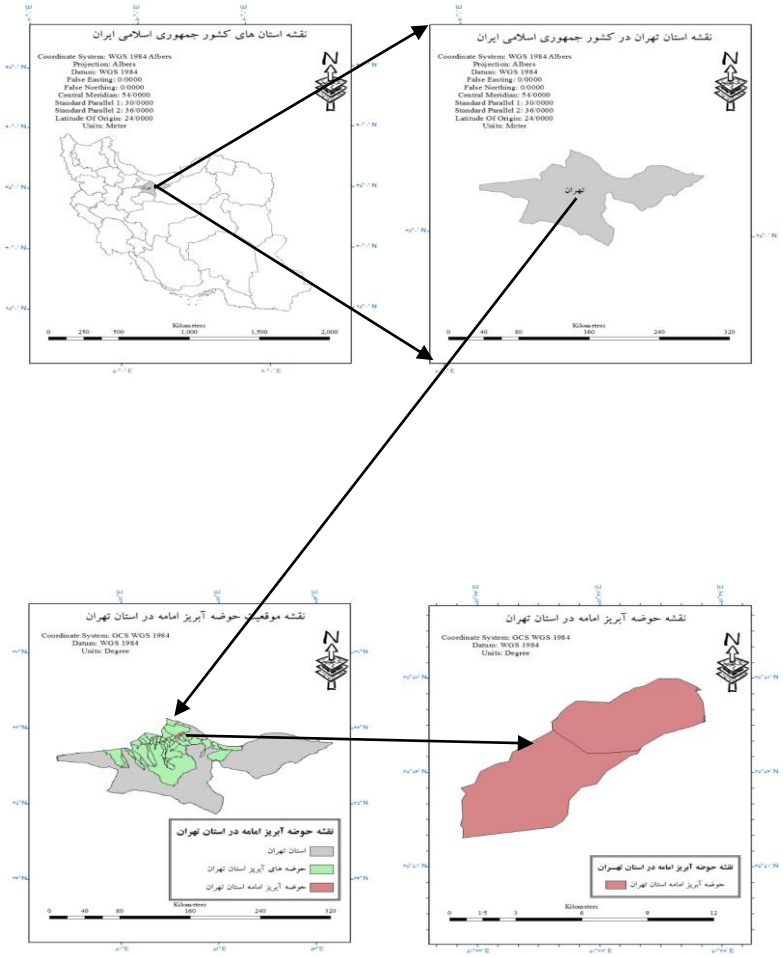
به منظور اجرای این تحقیق، از داده‌های ایستگاه‌های هواشناسی امامه و کلوکان و ایستگاه‌های آب‌سنجی کمرخانی در خروجی حوضه و باغ‌تنگه به دلیل موقعیت ایستگاه‌ها و همچنین وجود داده‌های کافی استفاده شد. پس از جمع‌آوری بانک داده‌ها، پیش‌پردازش داده‌ها از قبیل مرتبط بودن، کفایت و درستی اجرا شد. برای پیش‌بینی جریان رودخانه (Q) از متغیرهای هواشناسی از قبیل داده‌های میانگین بارندگی روزانه (P)، داده‌های میانگین روزانه دما (T)، داده‌های میانگین روزانه تبخیر و تعرق (ET) و همچنین داده‌های دبی مشاهداتی روزانه استفاده شد. برخی از مشخصات فیزیکی حوضه در جدول ۱ نشان داده شده است.

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

مساحت حوضه (Km^2)	محیط حوضه (Km)	طول آبراهه اصلی (Km)	ضریب شکل	شیب متوسط رودخانه (٪)	ارتفاع متوسط (m)
۳۷/۲	۳۱	۱۳	۱/۴۲	۹/۲	۲۶۵۰

طول مستطیل معادل (Km)	عرض مستطیل معادل (Km)	شیب متوسط حوضه (٪)	قطر دایره معادل (Km)	طول آبراهه اصلی(Km)
۱۲/۱۴	۳/۰۶	۵۴/۳	۶/۸۸۴	۱۲/۹۴

در حوضه آبریز امامه دو ایستگاه هواشناسی امامه و کلوکان در داخل حوضه قرار دارند و ایستگاه راحت‌آباد (این ایستگاه ۴/۵ کیلومتری شرق امامه قرار دارد) که خارج از حوضه می‌باشد. در این حوضه دو ایستگاه آب‌سنجی وجود دارد، به نام‌های باغ‌تنگه که در بالادست ایستگاه هواشناسی امامه و دهکده امامه قرار دارد و ایستگاه کمرخانی که خروجی حوضه است و در فاصله کمتر از ۱۰۰ متری محل تلاقی با رودخانه جاجرود تأسیس شده است.

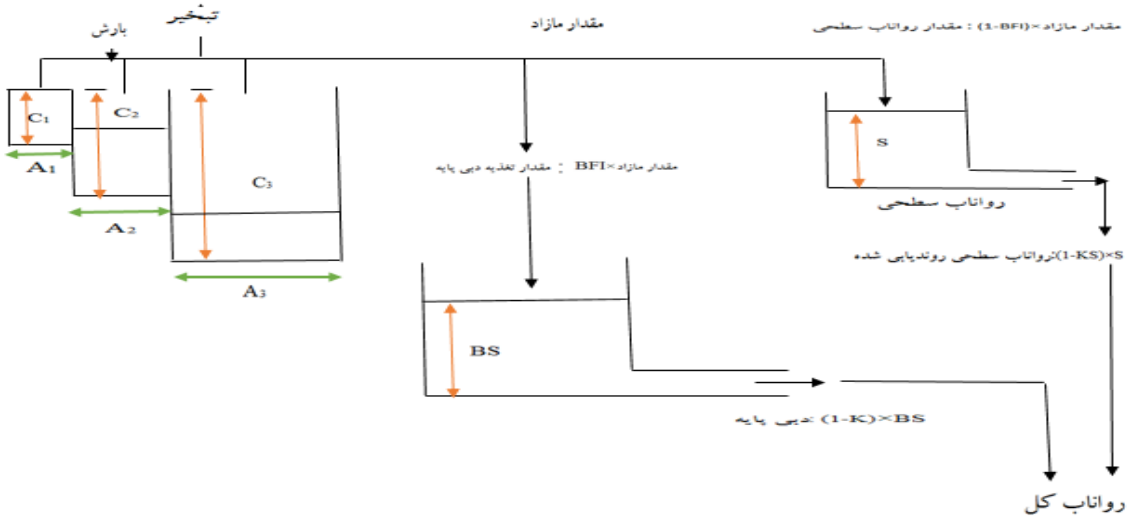


شکل۱- نمایی از موقعیت حوضه معرف امامه استان تهران در کشور جمهوری اسلامی ایران.

مدل تعادل آب استرالیایی (AWBM)

مدل تعادل آب استرالیایی یک مدل کامپیوتری است که اولین بار در سال ۱۹۹۳ برای شبیه‌سازی بارش – رواناب توسط بوتون ارائه شد. مدل AWBM براساس تئوری جریان از سطوح جزئی اشباع که مشابه تئوری جریان سطحی اشباع است، توسعه یافته و برتری‌های آن بر سایر مدل‌های شبیه‌سازی بارش – رواناب عبارتند از: ۱- داده‌های مورد نیاز مدل به آسانی در دسترس هستند، ۲- مدل سه پارامتره است و در رودخانه‌های فصلی که آب پایه ندارند، مدل یک پارامتره می-شود، ۳- ساختار مدل به نسبت ساده است، ۴- مدل رواناب را در زمان‌های مختلف از مناطق مختلف محاسبه می‌کند. مدل AWBM از ظرفیت‌های ذخیره سطحی (C_1، C_2 و C_3) با مساحت‌های (A_1، A_2 و A_3) برای شبیه‌سازی سطوح رواناب استفاده می‌کند و بیلان آبی هر سطح ذخیره‌ای را مستقل از بقیه در گام‌های زمانی روزانه محاسبه می‌کند.

در زیر شماتیکی از ساختار مدل هیدرولوژیکی AWBM نمایش داده شده است(شکل ۲).



شکل ۲- شماتیکی از ساختار مدل هیدرولوژیکی AWBM.

BFI : ضریب دبی پایه[1]

S : حجم موجود در روندیابی ذخیره سطحی[2]

BS : حجم موجود در ذخیره دبی پایه[3]

K : ضریب ثابت روزانه فروکش دبی پایه[4]

KS : ضریب ثابت روزانه فروکش رواناب سطحی[5]

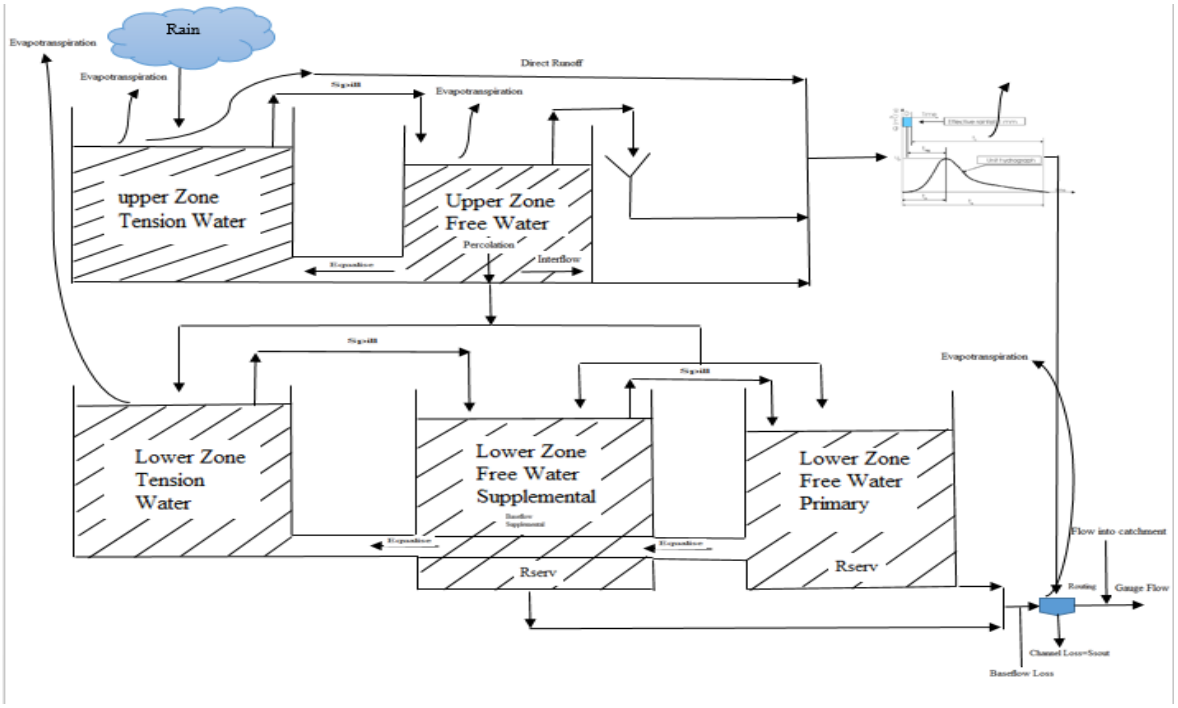
مدل Sacramento

مدل Sacramento یک مدل مفهومی بارش – رواناب است که توسط NWSRFS[6] برای پیش‌بینی سیلاب در ایالات متحده توسعه پیدا کرده است. این مدل یکی از مدل‌هایNWSRFS برای تبدیل ورودی بارش به خروجی جریان آبراهه‌ای است که دارای ۱۶ پارامتر مختلف است.

مدل هیدرولوژیکی Sacramento از رطوبت موجود در خاک جهت شبیه‌سازی بیلان آبی در حوضه آبریز استفاده می-کند. ذخیره رطوبتی موجود در خاک به وسیله بارش افزوده می‌شود و به وسیله تبخیر و جریان خروجی آب از سطح ذخیره کاهش می‌یابد.

در زیر شماتیکی از ساختار مدل هیدرولوژیکی Sacramento نمایش داده شده است(شکل ۳).

1 Baseflow Index
2 Current volume in Surface Routing Store
3 Current Volume in Baseflow Store
4 Daily Baseflow Recession Constant
5 Daily Surface Flow Recession Constant
6 National Weather Service RiveSr Forecast System

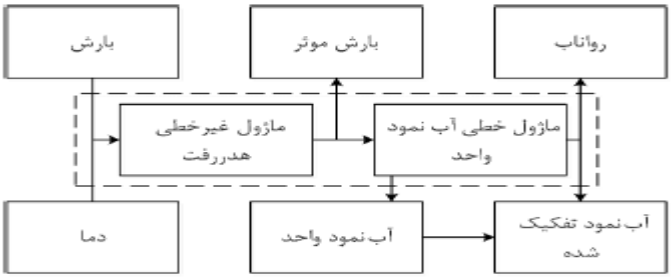


شکل ۳- شماتیکی از ساختار مدل هیدرولوژیکی Sacramento.

مدل IHACRES

مدل بارش – رواناب IHACRES، توسط جیکمن و هورنبرگر[1] در سال ۱۹۹۳، برای اهدافی نظیر ارزیابی متغیرهای اقلیمی، از قبیل تغییرات بارندگی، دما و نیز تغییرات ضریب رواناب، توسعه داده شده است. این مدل همواره به دلیل نیاز کم به داده‌ها و قدرت بالا در تخمین داده‌های روزانه مورد توجه محققان، به خصوص در زمینه بررسی‌های اقلیمی، بوده است. این مدل قادر است تا بدون صرف زمان و هزینه زیاد، نتایج قابل قبولی را در سطح یک حوضه آبریز ارائه کند.

مبانی این مدل براساس دو ماژول غیرخطی هدررفت [2] و خطی آب‌نمود واحد[3] طراحی شده است. برای شبیه‌سازی آب-نمود رواناب، مدل ابتدا بارندگی (P) و دما (T) را در هر گام زمانی t توسط ماژول غیرخطی، به بارندگی مؤثر (u) تبدیل می‌کند. سپس به وسیله ماژول خطی آب‌نمود واحد و بارندگی مؤثر محاسبه شده در مرحله پیشین، رواناب سطحی را در هر گام زمانی تخمین می‌زند. روند نمای مدل در شکل ۴ ترسیم شده است.



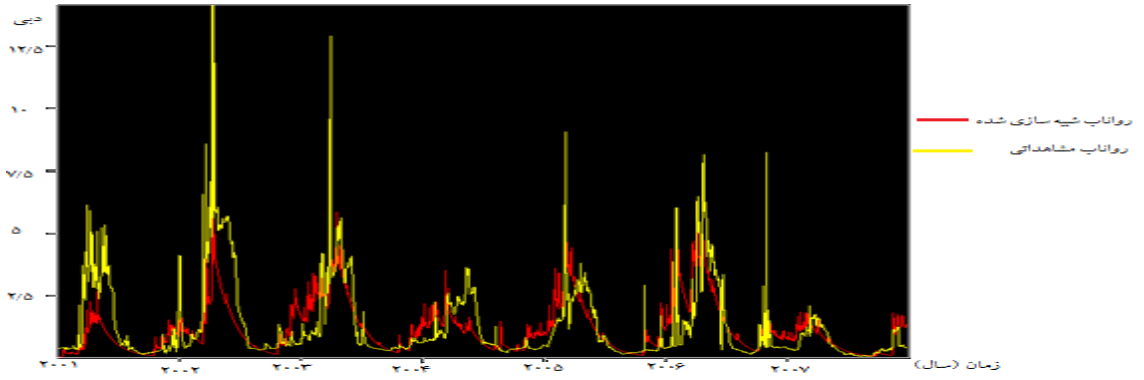
شکل ۴- روند نمای مدل IHACRES.

1 Jakerman and Hornberger
2 Non-Linear Loss Module
3 Linear Unit Hydrograph Module

نتیجه‌گیری

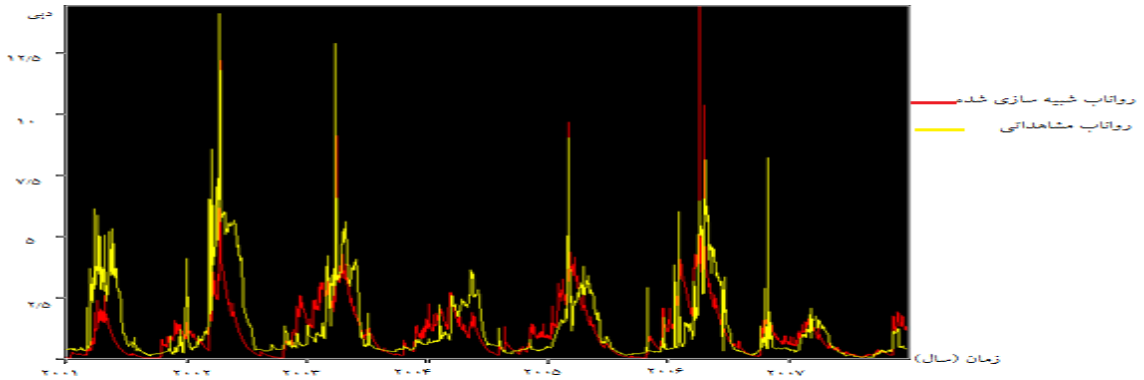
در این قسمت بخشی از نتایج شبیه‌سازی بارش – رواناب حوضه آبریز معرف امامه استان تهران با استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی AWBM، Sacramento و IHACRES ارائه شده است. جریان روزانه شبیه‌سازی شده توسط مدل های مذکور با جریان مشاهداتی روزانه در ایستگاه‌های باغ‌تنگه و کمرخانی در دوره واسنجی و صحت‌سنجی مقایسه شده‌اند و نتایج هر یک از مدل‌ها به صورت جداگانه ارائه گشته است. . تعداد ۷ سال داده۲۰۰۷-۲۰۰۱ یعنی ۲۵۵۶ داده بارش روزانه، ۲۵۵۶ داده تبخیر روزانه و ۲۵۵۶ داده رواناب مشاهداتی روزانه در این مطالعه مورد استفاده قرار گرفته که پنج سال (۱۸۲۶ داده روزانه) جهت واسنجی مدل‌ها و دو سال(۷۳۰ داده روزانه) جهت صحت‌سنجی مدل‌ها به کار گرفته شده‌اند.

نتایج اجرای مدل هیدرولوژیکی بارش- رواناب AWBM برای دوره واسنجی و صحت‌سنجی در شکل ۵ نمایش داده شده است.



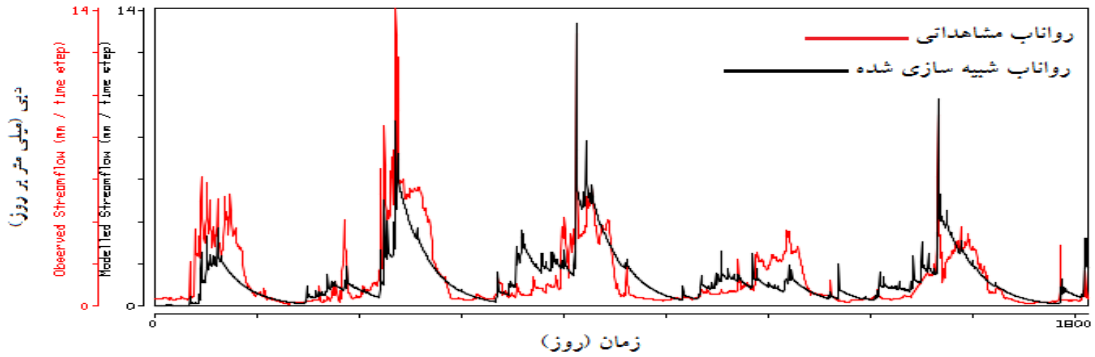
شکل۵- هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای دوره واسنجی و صحت‌سنجی مدل هیدرولوژیکی AWBM.

نتایج اجرای مدل هیدرولوژیکی بارش- رواناب Sacramento برای دوره واسنجی و صحت‌سنجی در شکل ۶ نمایش داده شده است.



شکل۶- هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای برای دوره واسنجی و صحت‌سنجی مدل هیدرولوژیکی Sacramento.

نتایج اجرای مدل هیدرولوژیکی بارش- رواناب IHACRES در شکل ۷ نمایش داده شده است.



شکل۷- هیدروگراف شبیه‌سازی شده و مشاهده‌ای مدل هیدرولوژیکی IHACRES.

نتایج کلی اجرای سه مدل هیدرولوژیکی مذکور در دو دوره واسنجی و صحت‌سنجی به ترتیب در جدول ۲ و ۳ آورده شده است.

جدول۲- نتایج اجرای سه مدل هیدرولوژیکی برای دوره واسنجی.

NSE	R2	RMSE	
۰/۵۵۶	۰/۷۶۱	۱/۰۵۵۳	AWBM
۰/۵۰۸	۰/۷۲۸	۱/۱۱۱	SACRAMENTO
۰/۶۰	۰/۶۰	۱/۰۱۵	IHACRES

جدول۳- نتایج اجرای سه مدل هیدرولوژیکی برای دوره صحت‌سنجی.

NSE	R2	RMSE	
۰/۷۱۰	۰/۸۷۷	۰/۸۸۴	AWBM
۰/۶۶۶	۰/۸۶۲	۱/۰۰۲۳	SACRAMENTO
۰/۸۰۴	۰/۷۹۳	۰/۶۲۳	IHACRES

قدردانی

بدین‌وسیله از دانشگاه تهران، مدیریت منابع آب ایران- دفتر مطالعات پایه، سازمان آب منطقه‌ای استان تهران و سازمان هواشناسی کشور به خاطر تأمین امکانات لازم جهت انجام این تحقیق و تهیه مقالات مربوطه تشکر و قدردانی می-شود.

منابع

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.

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.

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).

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 Forcasting in Linear and Nonlinear Conditions. Water Resources Management 31/260, no. 31 (2017):1-16.