نشریه علمی- پژوهشی

علوم و مهندسی آبخیزداری ایران
Iran-Watershed Management Science & Engineering

سال دوازدهم- شماره ۴۳- زمستان ۱۳۹۷ Vol. 12, No. 43, Winter 2019

ارزیابی مدل IHACRES در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه

مسعود گودرزی[۱]، برومند صلاحی[۲] و سید اسعد حسینی[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۰۸/۰۳ تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۴/۱۲

چکیده:

تغییر اقلیم اثرات مستقیمی بر منابع آب می‌گذارد. بهره‌برداری و استفاده مطلوب از منابع آب و مدیریت بهینه آن مستلزم شناخت بهتر مدل‌های هیدرولوژی است. با توجه به این که در بیشتر حوزه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام پارامترهای مورد نیاز جهت بررسی عکس‌العمل حوزه امکان‌پذیر نیست. بنابراین انتخاب مدلی که بتواند با ساختاری ساده و استفاده از حداقل اطلاعات ورودی، برآورد قابل قبولی از جریان رودخانه‌ای ارائه نماید، ضروری است. در این پژوهش با استفاده از مدل IHACRES، به ارزیابی عملکرد آن جهت شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای در سه مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه در طول دوره آماری پایه جهت بررسی تغییرات اقلیمی (۱۹۹۰-۱۹۶۱) پرداخته شد. بدین منظور ۱۰ شاخص NSE، MAE، MSE، RMSE، ER، R^2، $\log R^2$، $Inv\ sqrt\ R^2$ R^2 و R مورد بررسی قرار گرفت. نتایج حاصل از شاخص‌های مختلف نشان داد که مدل IHACRES دقت قابل قبولی را در شبیه‌سازی جریان‌های روزانه و ماهانه دارد. مقایسه بین جریان روزانه و ماهانه نیز نشان داد که نتایج شبیه‌سازی جریان ماهانه نسبت به جریان روزانه قابل قبول‌تر است. بررسی مقادیر جریان سالانه نیز نشان داد که مدل IHACRES مقادیر جریان سالانه را نسبت به مقادیر روزانه و ماهانه ضعیف‌تر شبیه‌سازی نموده و دارای دقت کمی است. بر اساس نتایج متوسط خطا بین جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل در طول دوره مورد بررسی در سطح حوزه برابر با ۶/۸ درصد است.

کلید واژه‌ها: *بارش- رواناب، شبیه‌سازی، جریان رودخانه‌ای، دریاچه ارومیه، IHACRES.*

مقدمه

تغییرات اقلیمی به عنوان یک نتیجه منطقی از افزایش غلظت گازهای گلخانه‌ای می‌تواند فرایندهای هیدرولوژیکی را تحت تأثیر قرار دهد [۱۰]. با توجه به شرایط موجود در بسیاری از حوزه‌های آبخیز کشور از لحاظ کمبود آمار و پیچیدگی زیاد اکوسیستم‌های هیدرولوژیکی و عدم شناخت کامل آنها استفاده از روش‌هایی که بتوان به کمک آنها میزان رواناب حاصل از بارندگی را در حوزه‌های فاقد آمار یا دارای آمار ناقص تخمین زد از اهمیت قابل توجهی برخوردار است [۱۷]. همچنین با توجه به افزایش جمعیت و گسترش فعالیت‌های اقتصادی در دشت‌های سیلابی و حاشیه رودخانه‌های اصلی، اهمیت مطالعات در مورد رواناب، حجم آب به دست آمده، بده و فراوانی طغیان‌های رودخانه‌های مختلف نیز افزایش می‌یابد. به علت لزوم این محاسبه‌ها، روش‌های مختلف تجزیه و تحلیل بارندگی و رواناب ارائه شده است که با گذشت زمان، این روش‌ها بهبود یافته و نتایج دقیق‌تری را ارایه می‌دهند [۶]. با توجه به این که در حوزه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام پارامترهای مورد نیاز برای بررسی عکس‌العمل حوزه میسر نمی‌باشد، انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار و با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز، پیش‌بینی با دقت قابل قبولی را ارائه کند امری ضروری به نظر می‌رسد [۲۰]. در این میان مدل‌های مفهومی بارش- رواناب مورد استفاده بیش‌تری قرار می‌گیرند. زمانی که لازم است فقط، جریان در خروجی حوزه آبخیز شبیه‌سازی شود، مدل‌های مفهومی اغلب بر انواع دیگر مدل‌ها ترجیح داده می‌شوند زیرا ضمن ارائه پاسخ خوب، به تلاش محاسباتی و داده‌های ورودی کمتری نیاز دارند [۴]. یکی از این مدل‌ها، مدل IHACRES می‌باشد که به علت نیاز به داده‌های کم‌تر و صرف زمان و هزینه زیاد برای تهیه داده‌ها، به آسانی می‌تواند در بسیاری از حوزه‌های آبخیز به کار برده شود [۷]. در این راستا یی و همکاران [۲۳] به ارزیابی عملکرد مدل IHACRES در سه حوزه آبخیز در استرالیا در مقیاس روزانه پرداختند. نتایج نشان داد که بر اساس معیار نش- ساتکلیف این مدل دارای کارآیی بالایی است و میزان خطای مطلق این مدل در جریان روزانه برابر با ۱۰ میلی‌متر در روز است. دی و کروک [۷] با استفاده از مدل IHACRES به ارزیابی جریان در دو حوزه آبخیز در آفریقای جنوبی

۱- نویسنده مسئول و استادیار پژوهشکده حفاظت خاک و آبخیزداری سازمان تحقیقات، آموزش و ترویج کشاورزی.پست الکترونیک:
massoudgoodarzi@yahoo.com
۲- استاد اقلیم‌شناسی دانشگاه محقق اردبیلی
۳- دکتری اقلیم‌شناسی از دانشگاه محقق اردبیلی

Archive of SID
www.SID.ir

پرداختند نتایج نشان داد این مدل از دقت قابل قبولی در شبیه‌سازی جریان برخوردار است. لیتلوود و همکاران [۱۴] با استفاده از دو مدلIHACRES و MGB جریان روزانه را در دو حوضه در کشور برزیل شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که مدل ساده‌تر IHACRES مبتنی بر هیدروگراف واحد به خوبی مدل پیچیده‌تر MGB عمل کرده است. کروک و جکمن [۵] قابلیت مدل IHACRES را در چهار حوزه آبخیز در استرالیا در مقیاس روزانه بررسی نمودند. نتایج حاصل بر اساس معیار نش- ساتکلیف عملکرد مناسب مدل را نشان داد. کارکانو و همکاران [۳] با استفاده از دو مدل IHACRES و شبکه عصبی مصنوعی به مدل‌سازی جریان روزانه در شمال ایتالیا پرداختند. نتایج حاصل عملکرد مناسب مدل IHACRES را نشان داد. مکینتر و القریشی [۱۵] با استفاده از سه مدل مختلف به محاسبه دبی و حجم جریان خروجی در حوضه وادی آهین در کشور عمان پرداختند. نتایج حاصل برتری مدل IHACRES نسبت به دو مدل دیگر را تأیید نمود. ویز و همکاران [۲۲] با استفاده از چهار مدل بارش- رواناب تأثیرات تغییرات اقلیمی بر روی فرآیندهای هیدرولوژی را در جنوب شرق استرالیا مورد بررسی قرار دادند. نتایج حاصل نشان داد که داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل IHACRES مطابقت بیشتری با داده‌های مشاهداتی در مقایسه با سایر مدل‌ها دارد. آبوشاندی و بوردر [۱] مدل IHACRES را جهت برآورد سیل و رگبار در مقیاس روزانه در شمال شرقی اردن به کار بردند. نتایج نشان داد عملکرد مدل در مقیاس روزانه ضعیف است ولی در وقایع رگباری توافق خوبی بین دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد. زارعی و همکاران [۲۵] به شبیه‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل بارش- رواناب IHACRES در حوزه آبخیز کسیلیان پرداختند. نتایج نشان داد که این مدل توانایی شبیه‌سازی جریان‌های روزانه و ماهانه را با دقت قابل قبولی دارد ولی در شبیه‌سازی سالانه از دقت کمتری برخوردار است و شبیه‌سازی جریان ماهانه نسبت به جریان روزانه نیز قابل قبول‌تر است. کمال و مساح‌بوانی [۱۱] به تأثیر تغییر و نوسانات اقلیمی بر رواناب حوضه قره‌سو با دخالت عدم قطعیت دو مدل هیدرولوژی SIMYED و IHACRES پرداختند. نتایج حاصل هماهنگی دو مدل در شبیه‌سازی تغییرات رواناب در حوضه مورد مطالعه را نشان داد. آشفته و بزرگ‌حداد [۲] به ارزیابی اثرات تغییرات اقلیمی بر منابع آب با استفاده مدل ریزمقیاس‌گردانی LARS-WG تحت سناریوی A2 مدل HadCM3 و مدل بارش- رواناب IHACRES در حوضه آیدوغموش در آذربایجان شرقی پرداختند. نتایج حاکی از کاهش متوسط بلندمدت رواناب سالانه در سه دوره زمانی آتی نسبت به دوره پایه بود. وردیان و همکاران [۲۱] به ارزیابی کارآیی مدل IHACRES در شبیه‌سازی جریان روزانه و ماهانه در حوزه آبخیز ناورود در استان گیلان پرداختند. نتایج نشان داد که کارایی مدل در شبیه‌سازی جریان ماهانه نسبت به جریان روزانه بیشتر است. دوستی و همکاران [۶] با استفاده از مدل IHACRES به شبیه‌سازی جریان روزانه در حوزه آبخیز تمر در استان گلستان پرداختند. نتایج حاصل نشان داد که عملکرد مدل در حوضه مورد مطالعه رضایت‌بخش بوده است. جریان رودخانه‌ای، یکی از دلایل عمده در فرسایش و کاهش حاصلخیزی خاک، رسوب‌گذاری در مخازن و کاهش کیفیت آب رودخانه می‌باشد. بنابراین شبیه‌سازی دقیق پاسخ حوضه به تغییرات دما و بارش مهم است و با توجه به مطرح شدن مبحث تغییرات اقلیمی و همچنین بحران خشک شدن دریاچه ارومیه در چند دهه اخیر در حوضه مورد بررسی این مسأله اهمیت بیشتری پیدا می‌کند و لزوم استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی که بتواند اثرات تغییرات اقلیمی را بر رواناب و وضعیت هیدروگراف‌های جریان، مورد بررسی قرار دهد و جریان رودخانه‌ای را در این حوضه شبیه‌سازی کند ضروری به نظر می‌رسد. لذا در این پژوهش به ارزیابی عملکرد مدل IHACRES در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای در سه مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه پرداخته شد.

مواد و روش‌ها

منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز دریاچه ارومیه با مختصات جغرافیایی ۴۴ درجه و ۷ دقیقه تا ۴۷ درجه و ۵۳ دقیقه طول شرقی و ۳۵ درجه و ۴۰ دقیقه تا ۳۸ درجه و ۳۰ دقیقه عرض شمالی در شمال غرب ایران قرار گرفته است. وسعت حوزه آبخیز دریاچه ارومیه۵۱۸۷۶ کیلومتر مربع است که ۳/۱۵ درصد مساحت کل کشور را در بر می‌گیرد [۸]. پژوهش حاضر بر روی شش ایستگاه هیدرومتری و چهار ایستگاه سینوپتیک واقع در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه انجام شده است. موقعیت حوزه آبخیز و ایستگاه‌های منطقه مطالعاتی در شکل (۱) و همچنین مشخصات ایستگاه‌های مورد بررسی در جدول (۱) آورده شده است. داده‌های مورد نیاز شامل آمار روزانه پارامترهای دما، بارش و دبی در طول دوره آماری پایه (۱۹۶۱-۱۹۹۰) جهت بررسی تغییرات اقلیمی می‌باشد.

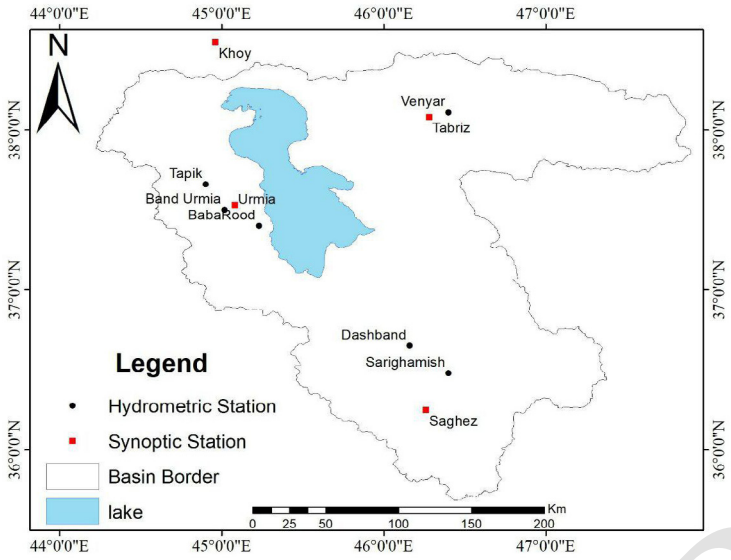
مدل بارش - رواناب IHACRES

این مدل یک مدل بارش- رواناب پیوسته و متری- مفهومی است که در ابتدا توسط جکمن و هورنبرگر (۱۹۹۳) برای استفاده در حوزه‌های معتدل توسعه یافته است؛ سپس برای رودخانه‌های موقت بهبود داده شد [۱۸، ۲۴]. اساس این مدل از دو مدول غیرخطی کاهش و مدول خطی هیدروگراف تشکیل می‌شود. به این منظور در ابتدا بارندگی (r_k) و دما (t_k) در هر گام زمانی (k) توسط مدول غیرخطی، به بارندگی موثر (u_k) تبدیل‌شده و سپس به وسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود [۱۱]. شکل (۲) چگونگی شبیه‌سازی بارش- رواناب در این مدل را نشان می‌دهد.

روابط به‌کاررفته در مدول غیرخطی کاهش به منظور تبدیل بارش به بارندگی مؤثر به شرح زیر است [۱۱]:

$$U_K = S_k \times r_k \qquad (۱)$$

Archive of SID
www.SID.ir



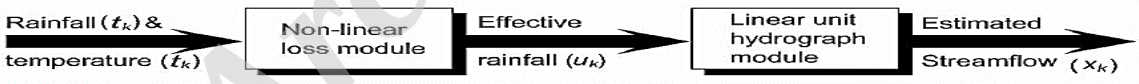
شکل ۱- موقعیت جغرافیایی ایستگاه‌های هواشناسی و هیدرومتری مورد مطالعه

Figure 1. Geographical position of meteorological and Hydrometric stations study

جدول ۱- مشخصات جغرافیایی ایستگاه‌های مورد مطالعه

Table 1. Geographical characteristics of stations study

Height(m)	Lat.	Long.	Type of the station	Station name
1522.8	36‘ 15“	46‘ 16“	synoptic	Saqez
1361	38‘ 5“	46‘ 17“	synoptic	Tabriz
1328	37‘ 4“	45‘ 3“	synoptic	Urmia
1103	38‘ 33“	46‘ 58“	synoptic	Khoy
1285	37‘ 24“	45‘ 14“	Hydrometric	Babarud
1390	37‘ 30“	45‘ 01“	Hydrometric	Band Urmia
1450	37‘ 40“	44‘ 54“	Hydrometric	Tapik
1450	38‘ 07“	46‘ 24“	Hydrometric	Veniar
1350	36‘ 39“	46‘ 10“	Hydrometric	Dashband
1380	36‘ 29“	46‘ 29“	Hydrometric	Sari Qamish



شکل ۲-چگونگی شبیه‌سازی بارش- رواناب در مدل IHACRES [۱۴]

Figure 2. How to simulate rainfall-runoff in IHACRES model

$$S_k = C \times n_k + \left(1 + \frac{1}{\tau_w(t_k)}\right) S_{k-1} \qquad s_0 = 0 \qquad (۲)$$

$$\tau_w(t_k) = \tau_w e^{0.062\ f(R-t_k)} \qquad \tau_w(t_k) > 1 \qquad (۳)$$

$$x_k = a^q x_{k-1} + b^q u_{k-1} + a^s x_{k-1} + b^s u_{k-1} \qquad (۴)$$

در روابط بالا، S_k ضریب رطوبتی حوزه[1] است که تابعی از تبخیر و تعرق در حوزه بوده و با روابط (۲ و ۳) بیان می‌گردد. در رابطه (۳) شاخص $t_w(t_k)$ را در رابطه (۱) در هنگامی‌که بارش رخ نمی‌دهد کنترل می‌کند که در آن R برابر با دمای مرجع، t_w ثابت زمان خشک شدن حوزه و f فاکتور تعدیل دما است. در رابطه (۱) پارامتر C به گونه‌ای تعیین می‌شود که حجم بارندگی مؤثر و رواناب مشاهداتی در دوره واسنجی یکسان گردد. سپس بارندگی مؤثر توسط مدول خطی هیدروگراف (رابطه ۱) به رواناب سطحی تبدیل خواهد شد. در رابطه (۴) پارامترهای q و s پارامترهای مربوط به تفکیک هیدروگراف حوزه به دو قسمت هیدروگراف سریع (q) و هیدروگراف آهسته (s) می‌باشند. به‌طورکلی در این روش سه پارامتر t_w، f و c (که به ترتیب مدت زمانی که طول می‌کشد تا حوزه خشک شود، فاکتور تعدیل دما، ظرفیت ذخیره رطوبت

1. Catchment Wetness Index

Archive of SID
www.SID.ir

حوزه) از مدول غیرخطی کاهش (روابط ۱ تا ۳) و سه پارامتر از چهار پارامتر b^s, b^q, a^q, a^s مدول خطی هیدروگراف (رابطه ۴) می‌بایست بر اساس داده‌های مشاهداتی برای حوزه مورد مطالعه کالیبره گردند [۱۱]. این سه پارامتر شامل t^q و t^s به ترتیب مدت زمانی که طول می‌کشد جریان سریع و آهسته کاهش یابد و v^s حجمی از جریان آهسته که در ایجاد جریان رودخانه مشارکت دارد را نشان می‌دهند [۲۵]. پس از جمع‌آوری داده‌های مورد نیاز از مراکز مربوطه دوره آماری ۱۹۶۱ تا ۱۹۹۰ که به عنوان دوره پایه جهت بررسی تغییرات اقلیمی و پیش‌بینی آینده پارامترهای اقلیمی مورد استفاده قرار می‌گیرد به عنوان دوره آماری مشترک انتخاب گردید. بخشی از این آمار (۷ تا ۱۰ سال) جهت واسنجی مدل و مابقی داده‌ها جهت ارزیابی مدل در نظر گرفته شد و در نهایت کل دوره مورد بررسی جهت مقایسه عملکرد مدل در سه مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه با استفاده از شاخص‌های عملکردی مختلف مورد شبیه‌سازی و بررسی قرار گرفت. در این تحقیق، از ۱۰ شاخص مختلف جهت ارزیابی عملکرد مدل IHACRES استفاده شد. ضریب کارآیی نش- ساتکلیف (NSE) [1] (رابطه (۵)). اگر مقدار NSE برابر با یک باشد، نشان دهنده این است که تناسب کامل بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد اگر این مقدار بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ باشد نتایج مدل رضایت‌بخش به شمار می‌رود و اگر بیشتر از ۰/۷۵ باشد، نتایج شبیه‌سازی مدل خوب توصیف می‌گردد [۱۶]؛ در واقع معیار کارآیی نش- ساتکلیف اهمیت نسبی واریانس مقادیر شبیه‌سازی شده را در مقایسه با واریانس داده‌های مشاهداتی نشان می‌دهد. ضریب تعیین نیز معیاری بدون بعد و بهترین مقدار آن برابر یک می‌باشد. رابطه (۶) نحوه محاسبه آن را نشان می‌دهد [۱۸]. سایر معیارها بر اساس معیار ضریب تعیین بنا نهاده شده‌اند با این تفاوت که مقادیر شبیه‌سازی شده با مقادیر ریشه مربعات (رابطه ۷)، لگاریتم (رابطه ۸) و عکس مقادیر (رابطه ۹) جایگزین شده‌اند و برای ارزیابی خطا در جریان‌های کم مناسب‌تر هستند [۱۴]. معیار خطای نسبی نیز بر اساس رابطه (۱۰) محاسبه می‌شود که مقادیر کمتر آن نشان‌دهنده خطای کمتر مدل در شبیه‌سازی جریان می‌باشد و به درصد بیان می‌گردد. میانگین مربعات خطا (رابطه ۱۱) که می‌تواند از صفر در عملکرد عالی تا بی‌نهایت تغییر کند [۱۲]. مجذور میانگین مربعات خطا به عنوان قیاسی برای نشان دادن اختلاف بین مقادیر شبیه‌سازی شده از مقادیر اندازه‌گیری به کار می‌رود این معیار که بصورت رابطه (۱۲) تعریف می‌شود به عنوان مرسوم‌ترین شاخص خطا به کار می‌رود [۱۳]. میانگین مطلق خطا (رابطه ۱۳) برای مقایسه عبارت به عبارت خطای نسبی مقادیر شبیه‌سازی شده با توجه به مقادیر اندازه‌گیری شده به کار می‌رود که به صورت رابطه زیر ارائه می‌گردد [۹]. ضریب همبستگی (رابطه ۱۴) ارتباط خطی بین دو متغیر را اندازه‌گیری می‌کند و یک ابزار ریاضی است که در پایه‌ریزی تحلیل‌های اقلیمی بسیار کاربرد دارد [۱۸].

1- Nash- Sutcliffe efficiency

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{t=1}^{N}(X_O - X_s)^2}{\sum_{t=1}^{N}(X_O - \overline{X}_O)^2} \quad (۵)$$

$$R^2 = \frac{\sum_{i=1}^{N} X_o X_s}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N} X_o{}^2 \sum X_s{}^2}} \quad (۶)$$

$$sqrtR^2 = 1 - \frac{\sum(\sqrt{X_o} - \sqrt{X_s})^2}{\sum(\sqrt{X_o} - \sqrt{\overline{X}_o})^2} \quad (۷)$$

$$logR^2 = 1 - \frac{\sum(ln(X_o+\varepsilon) - ln(X_s+\varepsilon))^2}{\sum(ln(X_o+\varepsilon) - ln(\overline{X}_o+\varepsilon))^2} \quad (۸)$$

$$InvR^2 = 1 - \frac{\sum\left(\frac{1}{X_o+\varepsilon} - \frac{1}{X_s+\varepsilon}\right)^2}{\sum\left(\frac{1}{X_o+\varepsilon} - \frac{1}{\overline{X}_o+\varepsilon}\right)^2} \quad (۹)$$

$$RE = \frac{X_o - X_s}{X_o} \times 100 \quad (۱۰)$$

$$MSE = \frac{1}{N}\sum_{i=1}^{N}(X_o - X_s)^2 \quad (۱۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N}(X_o - X_s)^2}{N}} \quad (۱۲)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{N}|X_o - X_s|}{N} \quad (۱۳)$$

$$R = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_o - \overline{X}_o)(X_s - \overline{X}_s)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(X_o - \overline{X}_o)^2 \sum(X_s - \overline{X}_s)^2}} \quad (۱۴)$$

در روابط فوق X_o داده‌های مشاهداتی، X_s داده‌های شبیه‌سازی شده، $\overline{X}_o$ میانگین داده‌های مشاهداتی، N تعداد داده‌ها و ε مقداری است که برای داده‌های صفر جریان مشاهداتی در نظر گرفته می‌شود.

نتایج

به منظور شبیه‌سازی جریان در مقیاس‌های روزانه، ماهانه و سالانه ابتدا مدل IHACRES واسنجی شده و در مرحله بعد مورد ارزیابی قرار گرفت، نتایج حاصل از پارامترهای محاسبه شده مدل برای ایستگاه‌های هیدرومتری مورد مطالعه در مرحله واسنجی که با استفاده از روش سعی و خطا در دوره‌های مختلف صورت گرفت در جدول (۲) آورده شده است. مقدار پارامتر v^s نشان دهنده میزان مشارکت جریان پایه در ایجاد جریان رودخانه‌ای است به گونه‌ای که مقادیر زیاد این پارامتر نشان‌دهنده وجود جریان پایه بیش‌تر در رودخانه می‌باشد. مقادیر بدست آمده در این پژوهش حاکی از وجود جریان پایه نسبتاً متوسط در ایجاد جریان رودخانه‌ای می‌باشد. مقدار پارامتر c (ظرفیت نگهداری رطوبت حوضه) نشان‌دهنده‌ی سرعت واکنش حوضه آبریز نسبت به بارش می‌باشد، به گونه‌ای که هرچه این مقدار بیش‌تر باشد حوضه واکنش آهسته‌تری نسبت به بارش

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۲- مقادیر پارامترهای به دست آمده از فرآیند واسنجی مدل IHACRES

Table 2. The values obtained from calibration process IHACRES model

c	tw	f	a^s	b^s	v^s	t^s	Variable
0.005	12	4	-0.97	0.03	0.99	27.32	Babarud
0.008	22	4	-0.97	0.026	1	37.45	Band Urmia
0.004	27	4	-0.97	0.026	1	37.9	Tapik
0.001	22	4	-0.95	0.05	0.96	19.32	Veniar
0.013	2	4	-0.97	0.03	1	32.8	Sari Qamish
0.004	2	3.5	-0.95	0.046	1	21.37	Dashband

جدول ۳- نتایج حاصل از دوره واسنجی و صحت‌سنجی مدل IHACRES

Table 3. The results of the calibration and validation of IHACRES model

Dashband	Sari Qamish	Veniar	Tapik	Band Urmia	Babarud	Assessing coefficient	Duration
0.59	0.67	.54	0.7	0.54	0.58	(R sqrt)	Calibration
0.74	0.68	0.72	0.65	0.67	0.65	(R^2 sqrt)	
0.82	0.65	0.82	0.61	0.7	0.6	(R^2 log)	
0.31	0.27	0.66	0.2	0.53	0.29	(R^2 Inv)	
2.3	19.4	11.3	14.6	2.92	10.2	Bias(mm)	
0.79	0.8	0.68	0.75	0.75	0.69	R^2(Month)	
0.37	0.46	0.42	0.42	0.3	0.44	(R sqrt)	Verification
0.62	0.49	0.64	0.52	0.46	0.56	(R^2 sqrt)	
0.78	0.44	0.77	0.57	0.55	0.58	(R^2 log)	
0.44	0.86	0.52	0.41	0.49	0.4	(R^2 Inv)	
28.1	20.5	16.9	22.4	33.1	40.1	Bias(mm)	
0.52	0.52	0.53	0.47	0.4	0.55	R^2(Month)	

نشان می‌دهد که بر اساس نتایج حاصل مقدار پارامتر یاد شده بسیار کم است و بنابراین حوضه مورد بررسی نسبت به بارش با سرعت زیادی واکنش نشان می‌دهد که ناشی از عدم و یا کمبود پوشش گیاهی و جنگلی و کاربری اراضی زراعی و مرتع است چرا که کاربری جنگلی و پوشش گیاهی مناسب باعث نگه داشت بارش می‌شود تا با تأخیر به جریان رودخانه اضافه شود.

جدول (۳) نیز وضعیت عملکرد مدل در دوره واسنجی و صحت‌سنجی را نشان می‌دهند بر اساس نتایج بدست آمده مدل IHACRES با ضریب تعیین بالای ۰/۵۴ بصورت روزانه و ۰/۶۸ بصورت ماهانه در دوره واسنجی و ضریب تعیین بالای ۰/۳۷ بصورت روزانه و ۰/۴ بصورت ماهانه در دوره صحت سنجی به خوبی توانسته است الگوی تغییرات جریان در حوضه مورد مطالعه را شبیه‌سازی کند از طرفی دیگر بر اساس نتایج حاصل، دقت مدل در شبیه‌سازی جریان در مقیاس ماهانه نسبت به مقیاس روزانه بیشتر است و مدل نتایج قابل قبول و رضایت‌بخشی را بر اساس معیارهای مورد بررسی ارائه نموده است. با توجه به نتایج بدست آمده در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی مدل در دو مقیاس روزانه و ماهانه می‌توان دریافت که نتایج صحت‌سنجی ضعیف‌تر از نتایج واسنجی مدل بوده و با این حال با استناد به مقادیر معیارهای مورد بررسی، نتایج ارزیابی مدل در مقیاس ماهانه رضایت‌بخش است. مقادیر مثبت و منفی بایاس نیز به ترتیب بیانگر کمتر و بیشتر بودن متوسط جریان محاسباتی نسبت به جریان مشاهداتی می‌باشد که باتوجه به نتایج حاصل در جدول (۳) مشخص گردید که مدل جریان محاسباتی را کمتر از جریان مشاهداتی شبیه‌سازی نموده است.

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان دوره پایه (۱۹۹۰-۱۹۶۱) در مقیاس ماهانه نیز بر اساس معیارهای ارزیابی در جدول (۴) آورده شده است با استناد به نتایج حاصل بین مقایر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مقیاس ماهانه تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید با این حال بر اساس نتایج، مدل توانایی خوب و مناسبی در شبیه‌سازی جریان در ایستگاه‌های مورد بررسی دارد (جدول ۴).

نتایج حاصل از ارزیابی عملکرد مدل در مقیاس سالانه نشان می‌دهد (جدول ۵) که مدل در مقیاس سالانه دارای عملکرد نسبتاً رضایت‌بخشی است که بالاترین ضریب کارآیی نش-ساتکلیف بدست آمده در این مقیاس مربوط به ایستگاه‌های تپیک و ساری‌قمیش هر دو با ضریب ۰/۵۱ است. مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده امکان ارزیابی کلی و سریع دقت مدل را فراهم می‌نماید به همین منظور، به مقایسه

Archive of SID
www.SID.ir

جدول ۴- ارزیابی عملکرد مدل در مقیاس ماهانه بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

Table 4. Performance Evaluation of Model in monthly scale between observation and simulation data

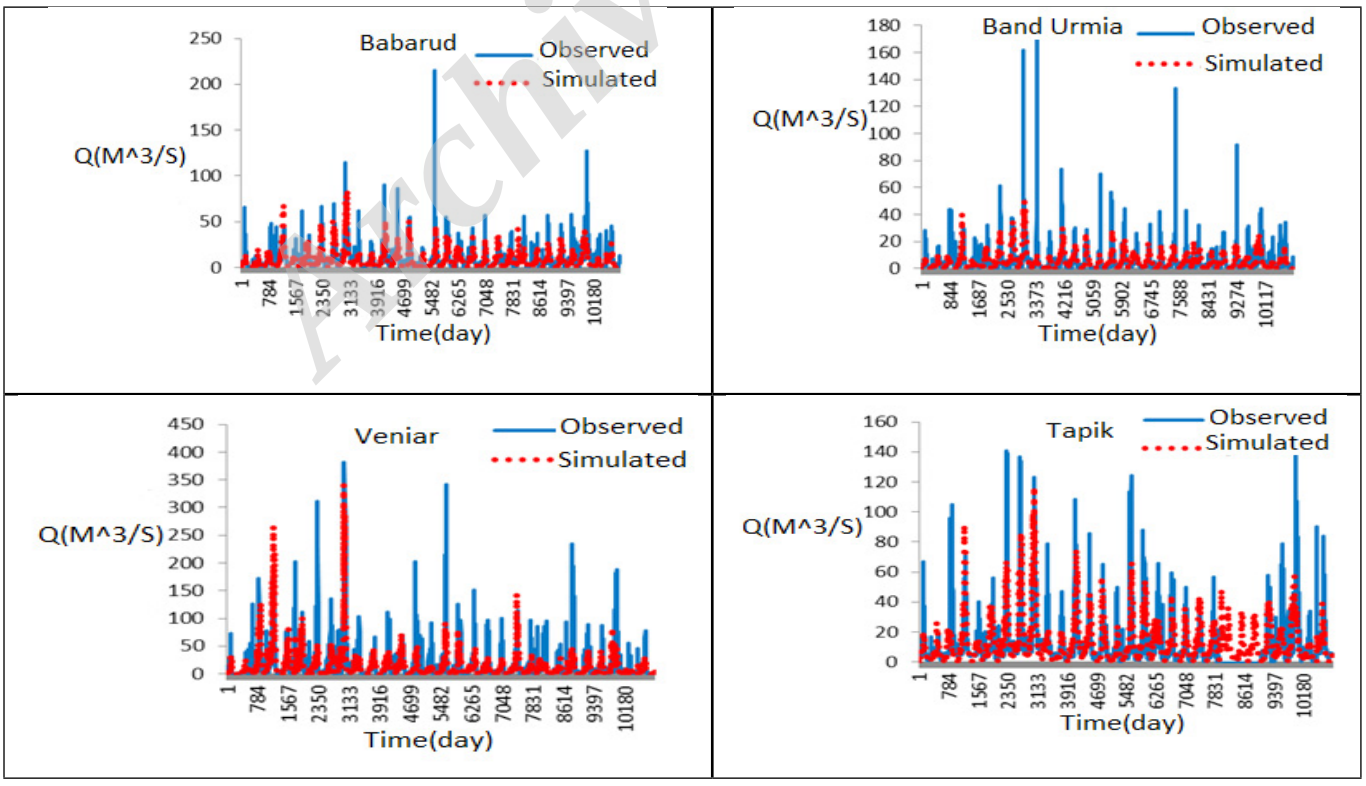
Dashband	Sari Qamish	Veniar	Tapik	Band Urmia	Babarud	Assessing coefficient
0.88	0.75	0.97	0.88	0.88	0.94	(R^2)
0.94	0.86	0.98	0.94	0.94	0.97	(R)
66.2	527	60.5	26	7.5	6.8	(MSE)
8.1	23	7.8	5.1	2.7	2.6	(RMSE)
4.9	19.6	4.4	3.7	1.94	1.76	(MAE)
8.5	8.3	5.6	25.5	36.2	7.5	(ER)
0.82	0.67	0.81	0.83	0.8	0.89	(NSE)

جدول ۵- ارزیابی عملکرد مدل در مقیاس سالانه بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده

Table 5. Performance Evaluation of Model in annual scale between observation and simulation data

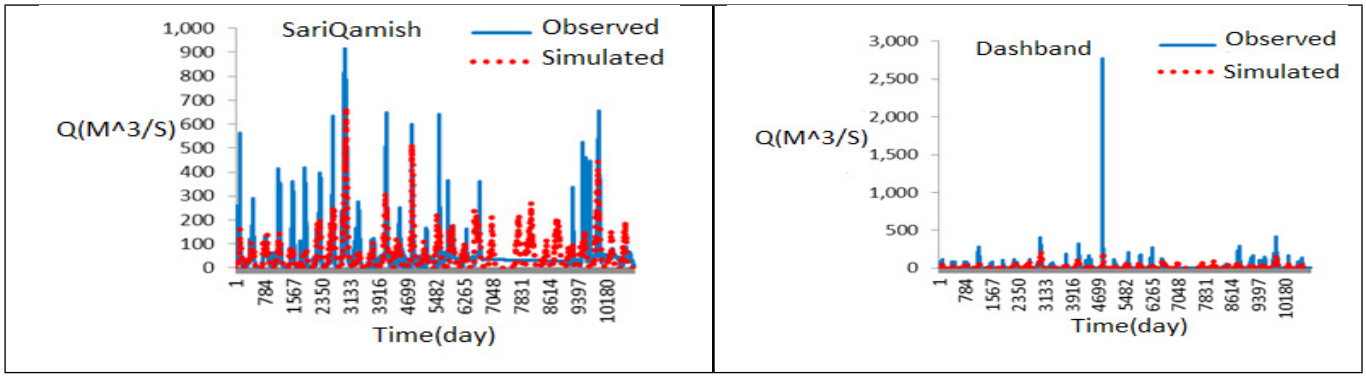
Dashband	Sari Qamish	Veniar	Tapik	Band Urmia	Babarud	Assessing coefficient
0.5	0.61	0.66	0.53	0.43	0.64	(R^2)
0.71	0.78	0.81	0.73	0.66	0.78	(R)
123.6	841.3	96.8	53.2	8.71	7.1	(MSE)
11.12	29	9.8	7.3	2.9	4.1	(RMSE)
13.1	35.8	13.3	8.95	3.5	5.3	(MAE)
77.6	2.3	25.9	78.5	5.1	13.3	(ER)
0.47	0.51	0.33	0.51	0.1	0.48	(NSE)

گرافیکی مقادیر جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در سه مقیاس روزانه، ماهانه و سالانه در دوره پایه برای هر یک از ایستگاه‌ها مورد بررسی پرداخته شد. باتوجه به نتایج حاصل به دست آمده می‌توان اظهار داشت که مدل جریان‌های کم حوضه را به خوبی شبیه‌سازی می‌کند اما در شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر در هر سه مقیاس زمانی توانایی کمی دارد و مقادیر کمتری را شبیه‌سازی می‌کند (شکل‌های ۳، ۴ و ۶).



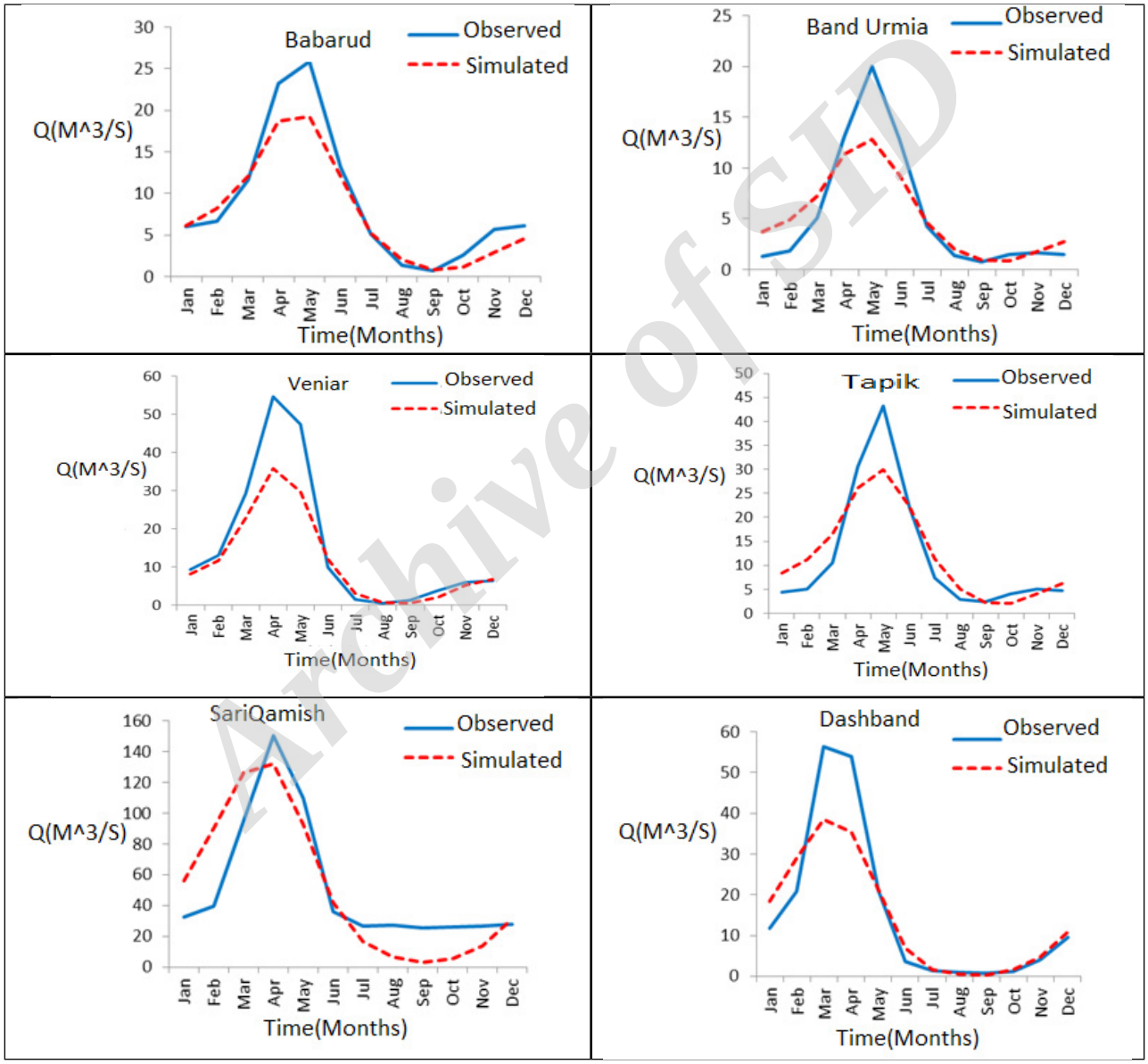
Archive of SID

www.SID.ir



شکل۳- مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مقیاس روزانه

Figure 3. Compares the observed and simulated Stream flow in day scale

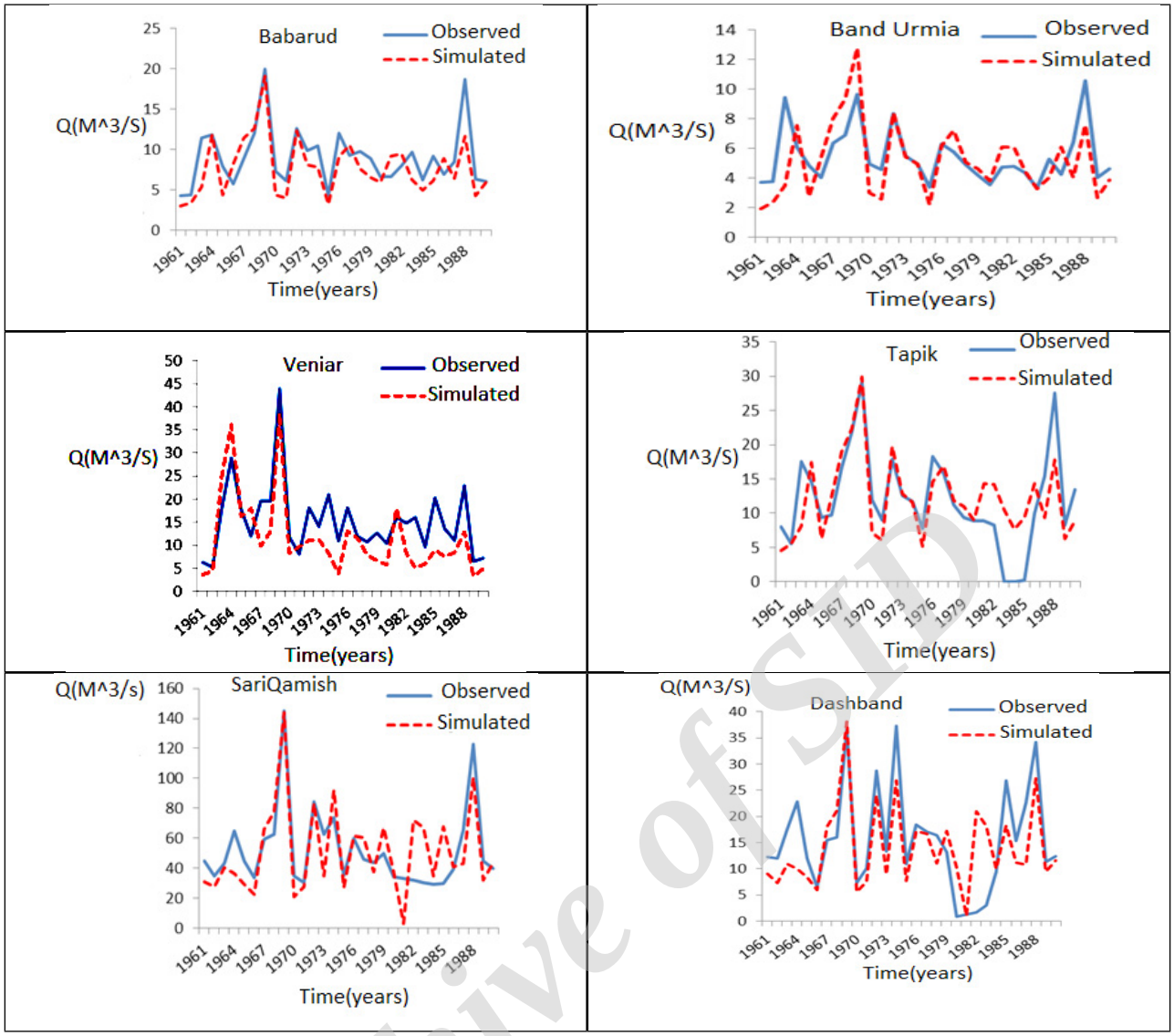


شکل۴- مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مقیاس ماهانه

Figure 4. Compares the observed and simulated Stream flow in month scale

Archive of SID

www.SID.ir



شکل ۵- مقایسه جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در مقیاس سالانه

Figure 5. Compares the observed and simulated Stream flow in annual scale

جدول ۶- متوسط بلندمدت جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده (m^3/sec)

Table 6. simulation and observation long-term Stream flow (m^3/sec)

Stations	Observed discharge	Stimulated discharge	Difference(%)
Dashband	15.48	14.00	9.60
SariQamish	51.86	51.00	1.70
Veniar	15.26	11.52	24.5
Tapik	11.89	12.13	2.00
Urmia band	5.45	5.19	4.70
Babarud	9.00	7.74	14.00

نتایج بدست آمده از شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای نشان می‌دهد که مدل در مقیاس‌های روزانه و ماهانه دارای عملکرد قابل قبول و خوبی است و نتایج شبیه‌سازی جریان ماهانه نیز نسبت به شبیه‌سازی جریان روزانه دقیق‌تر است؛ که خلاصه نتایج آن بطور متوسط بلندمدت در طول دوره مورد بررسی به تفکیک ایستگاه‌های هیدرومتری مورد بررسی در جدول (۶) آورده شده است. در مجموع با توجه به انحرافات کم مدل و شبیه‌سازی خوب مقادیر حداقل می‌توان گفت که عملکرد مدل در حوضه مورد بررسی رضایت‌بخش است. متوسط خطا بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده جریان در سطح حوضه نیز برابر با ۶/۸ درصد در کل دوره مورد بررسی است (جدول ۶).

Archive of SID
www.SID.ir

بحث و نتیجه‌گیری

با توجه به تغییرات اقلیمی و تنوع مدل‌های بارش- رواناب، انتخاب یک مدل مناسب برای حوزه، جهت افزایش بهره‌وری برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مهم است. این امر مستلزم ارزیابی عملکرد مدل‌های مختلف برای تشخیص قابلیت‌ها و محدودیت‌های مدل‌ها در حوزه‌های مورد بررسی است. بدین منظور در این پژوهش به ارزیابی عملکرد مدل IHACRES در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه پرداخته شد. با توجه به نتایج حاصل از واسنجی و صحت‌سنجی مدل در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای، بر اساس معیارهای عملکردی مختلف، مشخص شد که مدل در شبیه‌سازی جریان رودخانه‌ای در ایستگاه‌های مورد بررسی از دقت خوب و مناسبی برخوردار است و مقادیر جریان ماهانه را بهتر از مقادیر جریان روزانه و سالانه شبیه‌سازی می‌کند که با نتایج مطالعات زارعی و همکاران [۲۳] در حوزه آبخیز کسیلیان، آشفته و بزرگ‌حداد [۲] در حوضه آیدوغموش و وردیان و همکاران [۲۰] در حوضه ناورود مطابقت دارد. با استناد به معیارهای ارزیابی مورد استفاده به ویژه NSE نتایج ارزیابی مدل در دو مقیاس روزانه و ماهانه خوب و مناسب توصیف می‌گردد که با نتایج کروک و جکمن [۵] مطابقت دارد. بررسی مقادیر جریان سالانه نیز نشان داد که مدل IHACRES مقادیر سالانه را نسبت به مقادیر روزانه و ماهانه ضعیف‌تر شبیه‌سازی نموده و حتی در برخی ایستگاه‌ها مقادیر بدست آمده از معیار NSE غیرقابل قبول بوده که این نتیجه نیز مبنی بر دقت کم و عدم قابلیت مدل در مقیاس سالانه است که با مطالعات زارعی و همکاران [۲۳] نیز در این زمینه مطابقت دارد. همچنین بر اساس نتایج حاصل، مدل توانایی بالاتری در شبیه‌سازی جریان در زیرحوزه‌های با مساحت کم دارد که با مطالعات دای و کروک [۷] در چند حوزه آفریقای جنوبی مطابقت دارد. با توجه با نتایج حاصل از ارزیابی مدل IHACRES با استفاده از معیارهای عملکردی مختلف و همچنین به دلیل کاربری آسان، ورودی‌های کمتر و کاهش صرف زمان باتوجه به سطح دقت نشان داده شده در این پژوهش، می‌توان استفاده از این مدل را جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی جریان رودخانه‌ای در دو مقیاس روزانه و ماهانه در حوزه آبخیز دریاچه ارومیه توصیه نمود و از آن جهت بررسی اثرات تغییرات اقلیمی بر رواناب سطحی و جریان رودخانه‌ای طی دوره‌های آتی استفاده نمود.

منابع

1. Abushandi, E.H., and Broder, M. 2011. Application of IHACRES rainfall-runoff model to the Wadi Dhuliel arid catchment, Jordan. Journal of Water Clim. Change. 2: 56-71.

2. Ashofteh, P. and Bozorgt Haddad, O. 2013. Provide probabilistic approach to assess the impact of climate change on runoff, Journal of water resources engineering, 6:51-66. (In Persian)

3. Carcano, E.C., P. Bartolini, M. Muselli and Piroddi, L. 2008. Jordan recurrent neural vetwork versus IHACRES in modeling daily stream flows. Hydrology, 362: 291-307.

4. Cooper V. A. Nguyen V. T. V. and Nicel J. A. 2007. Calibration of conceptual rainfall-runoff models using global optimization methods with hydrologic process-based parameter constraints. Journal of Hydrology. 334(3-4):455-466.

5. Croke B. F. W. and Jakeman A. J. 2008. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semiarid regions. In: Weather H. S. Sorooshian S. and Sharma K. D. (Eds.), Hydrological Modeling in Arid and Semi-arid Areas. Cambridge University Press, Cambridge. Pp.41-48.

6. Dousti, M. Shahedi, K. Habibnezhad Roshan, M. and Miryaghoubzade, M.H. 2014. Using IHACRES semi-conceptual model to simulate daily flow (Case study: Tamar Basin), Journal of Water and Soil Conservation, 21(2): 277-292. (In Persian)

7. Dye, P.J., Croke, B.F.W. 2003. Evaluation of stream flow predictions by the IHACRES rainfall-runoff model in two South African catchments. Environmental Modeling and Software, 18: 705-712.

8. Golian, S. Abrishamchi, A, and Tajrishi, M. 2007. Oolicy analysis and exploitation of resources in the basin using system dynamics, Journal of Water and Wastewater, 63:70-80. (In Persian)

9. Hu, T.S. Lam, K.C. and Ng, S.T.2001. River flow time series prediction with a range dependent neural network. Hydrological Science Journal, 46: 729-745.

10. Ingol, E. and McKinney, D.C. 2009. Hidrologic model for Rio Conchos Basin: Calibration and Validation. CRWR Online Report 08-09. Bureau of Engineering Research, the University of Texas at Austin.

11. http://www.ce.utexas.edu/centers/crwr/reports/online.html.

12. Kamal, A R. and Massah. Bavani, A R. 2010. Climate Change and Variability Impact in Basin's Runoff with Interference of Tow Hydrology Models Uncertainty. Journal of Water and Soil. 24(5): 920-931. (In Persian)

13. Karamouz, M. Ramezani, F. and Razavi, S. 2007. Forecasting the long-term of rainfall through meteorological signals: Application of Artificial Neural Networks, Seventh

Archive of SID

www.SID.ir

International Congress on Civil Engineering. Tehran; P. 11 (In Persian)

14. Lin, J.Y. Cheng, C.T. and Chau, K.W. 2006. Using support vector machines for long-term discharge prediction. Hydrological Science Journal, 51: 599-612.

15. Littlewood, I.G. Clarke, R.T. Collischonn, W. and Croke, B.F.W. 2007. Predicting daily stream flow using rainfall forecasts, a simple loss module and unit hydrographs: Two Brazilian catchments. Environmental Modelling and Software, 22: 1229-1239.

16. McIntyre, N. and Al-Qurashi, A. 2009. Performance of ten rainfall-runoff models applied to an aarid catchment in Oman. Environmental Modelling and Software, 24: 726-738.

17. Motovilov, Y.G. Gottschalk, L. Engeland, K. and Rohde, A. 1999. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. Agriculture and Forest Meteorology, 98-99: 257-277.

18. Najafi, M R. 2002. Hydrological systems, modeling of rainfall - runoff, Tehran University Press, Vol 1. 578 p. (In Persian)

19. Schreider, S.Y., Jakeman, A.J., Pittock, A.B. 1996. Modeling rainfall–runoff from large catchments to basin scale: the Goulburn Valley, Victoria. Hydrological Processes, 10 (6): 863–876.

20. Sedaghatkerdar, A. and Fattahi, E. 2008. Warning of drought indices in Iran, Journal of Geography and Development, University of Sistan and Baluchestan; 6 (11): 76-59. (In Persian)

21. Sharifi, F. Safarpour, Sh. And Ayoub Zadh, S A. 2004. Evaluation AWBM2002 computer model to simulate the hydrological processes of a number of watersheds, research and development, 63: 35-42.

22. Vardian, F. Shahedi, K. Habibnezhad Roshan, M. and Zarei, M. 2014. Evaluate the efficiency of IHACRES rainfall-runoff models to simulate daily flow monthly Navroud catchment located in Gilan, Journal of Water and Wastewater, 8(15): 229-233. (In Persian)

23. Vaze, J. Post, D.A F. Chiew, H.S. Perraud, J.M. Viney N.R. and Teng. J. 2010. Climate non-stationarity-validity of calibrated rainfall–runoff models for use in climate change studies. Hydrology, 394: 447-457.

24. Ye, W. Bates, B.C. Viney, N.R. Sivapalan, M. abd Jakeman, A.J., 1997. Performance of conceptual rainfall–runoff models in low-yielding ephemeral catchments. Water Resources Research 33 (1), 153–166

25. Ye, W., Jakeman, A.J., Barnes, C.J. 1995. A parametrically efficient model for prediction of Streamflow in an Australian benchmark catchments with complex storage dynamics. Environment International, 21 (5): 539–544.

26. Zarei, M. Ghanbarpour, M.R. Habibnezhad Roshan, M. And Shahedi K. 2009. Streamflow Simulation Using IHACRES Rainfall-Runoff Model (Case Study: Kasilian Catchment). Iran-Watershed Management Science & Engineering. 3 (8): 11-20. (In Persian)

Archive of SID

www.SID.ir