

مقایسه عملکرد دو مدل هیدرولوژیکی IHACRES و GR2M در شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه آبخیز دره تخت

فاطمه زندی دره‌غریبی^۱، زهره خورسندی کوهانستانی^{۲*}، ملیحه مزین^۳ و نسیم آرمان^۴

- ۱- دانشجوی کارشناسی ارشد گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان.
- ۲- نویسنده مسئول، استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان khorsandi_zohre@yahoo.com
- ۳- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان.
- ۴- استادیار گروه مرتع و آبخیزداری، دانشکده منابع طبیعی، دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء بهبهان.

تاریخ پذیرش: ۹۵/۱/۲۲

تاریخ دریافت: ۹۴/۸/۴

چکیده

مدل‌سازی فرایند بارش-رواناب از اهمیت به‌سزایی برخوردار می‌باشد. نتایج مدل‌های بارش-رواناب به‌طور مستقیم در مسائلی از قبیل مدیریت منابع آب، کنترل سیلاب و طراحی سازه‌های هیدرولیکی مورد استفاده قرار می‌گیرد. با توجه به تنوع مدل‌های بارش-رواناب در دسترس، انتخاب یک مدل مناسب برای حوضه از جهت بهره‌وری و مدیریت منابع آب مهم می‌باشد. در این پژوهش کارایی دو مدل بارش-رواناب IHACRES و GR2M در شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه دره تخت در بازه زمانی ۹۲-۱۳۷۹ مورد ارزیابی قرار گرفت. مدل‌ها در حوضه مورد مطالعه، واسنجی و اعتبارسنجی گردیدند. میزان خطای بین مقادیر جریان مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده بر اساس معیارهای نش، مجذور میانگین مربعات خطا و خطای کل در حجم جریان برآورد گردید. شبیه‌سازی‌ها حاکی از عملکرد رضایت‌بخش دو مدل در شبیه‌سازی جریان است. همچنین نتایج نشان داد که مدل IHACRES با ضریب نش ۰/۷ و معیار خطای ۵۶/ نسبت به مدل GR2M از عملکرد بهتری برخوردار بود.

کلید واژه‌ها: شبیه‌سازی، مدل هیدرولوژیکی، GR2M، IHACRES، حوضه دره تخت.

Comparing The Performance of Two Hydrological Models, IHACRES And GR2M For Simulating Monthly Flow of Dareh-Takht Basin

F. Zandi Dareh Gharibi¹, Z. Khorsandi Kouhanestani^{2*}, M. Mozayan³ and N. Arman⁴

- 1- M. Sc student, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan.
- 2* - Corresponding Author, Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan.
- 3- Assistant Professor, Department of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan.
- 4- Assistant Professor, Department Of Range and Watershed Management, Faculty of Natural Resources, Behbahan Khatam Alanbia University of Technology, Behbahan.

Received: 26 October 2015

Accepted: 10 April 2016

Abstract

Modeling of the rainfall-runoff process is important. The Results of the rainfall-runoff models have been used directly on issues such as water resource management, flood control and design of hydraulic structures. According to variety of accessible rainfall runoff models, selecting an appropriate model for a basin is important in terms of productivity and water resources management. In this study the performance of two rainfall-runoff models, IHACRES and GR2M in simulation of monthly flow were evaluated in Darhe Tkaht basin between 2000 and 2013 time. The models in the study region were calibrated and validated. The error between observed and simulated flow values was estimated based on the criteria Nash, root mean square error and the total flow volume error. Simulations is indicative satisfactory performance of two models in

monthly flow simulation. In addition, the results show that the HACRES model simulate monthly flow with The Nash coefficient 0.7 and RMSE 0.56, better than the GR2M model.

Keywords: Simulation, Hydrological model, GR2M, IHACRES, Dareh-Takht basin.

مقدمه

مدل IHACRES از مدل‌های توزیعی بهتر است. به طوری که لیتل‌وود و همکاران^۹ (۲۰۰۷) برای شبیه‌سازی جریان روزانه در دو حوضه آبخیز با رژیم جریان متفاوت در کشور برزیل بر حسب دو مدل^{۱۰} MGB و IHACRES، مک اینتایر و القریشی^{۱۱} (۲۰۰۹)، با هدف محاسبه دبی اوج و حجم جریان خروجی حوضه‌ی وادی آهین^{۱۲} در کشور عمان با استفاده از سه مدل، KINEROS2، IHACRES و رگرسیون خطی و همچنین واز و همکاران^{۱۳} (۲۰۱۰)، با استفاده از چهار مدل بارش-ورناب، SIMHYD، SMARG و SACRAMENTO، IHACRES اثر اقلیمی را روی واکنش‌های هیدرولوژیکی ۶۱ حوضه جنوب‌شرق استرالیا مورد بررسی قرار دادند و نشان دادند که عملکرد مدل‌های ساده مانند مدل IHACRES نسبت به یک مدل پیچیده بهتر است. مدل GR2M نخستین‌بار توسط مخلوف و میشل^{۱۴} (۱۹۹۴) و ملهی و همکاران^{۱۵} (۲۰۰۶)، برای برآورد جریان ماهانه در حوضه‌های کوچک فرانسه استفاده شد که عملکرد مدل (>0.70) (نش) بسیار خوب بوده است.

هوارد و مایلهوت^{۱۶} (۲۰۰۸)، مدل GR2M را برای برآورد دبی در حوضه‌های کشور کانادا استفاده کردند. نتایج این تحقیق نشان داد که بعد از واسنجی این مدل دبی را با دقت بهتری شبیه‌سازی می‌کند. دزتزا و همکاران^{۱۷} (۲۰۰۸)، در غرب آفریقا برای شبیه‌سازی رواناب عملکرد مدل‌های GR2M و مدل بیلان آب را با استفاده از یک پایگاه مدل‌سازی نیمه توزیعی در ۴۹ زیرحوضه مورد آزمون قراردادند. نتایج نشان داد که مدل GR2M از عملکرد مناسبی برخوردار بود. اکان و فیستیکوگلو^{۱۸} (۲۰۱۴)، برای ارزیابی اثر تغییرات اقلیم بر رواناب سطحی در حوضه‌ی ازیمز ترکیه با استفاده از مدل GR2M رواناب را شبیه‌سازی کردند. نتایج نشان داد که مدل GR2M با وجود ساختار ساده، قابلیت در حد مدل‌های پیچیده دارد و با توجه به معیار ارزیابی نش که $84/27$ به دست آمد، مدل مذکور در شبیه‌سازی رواناب موفق بوده است. رواسوکا و همکاران^{۱۹} (۲۰۱۴)، برای شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه رودخانه‌ای در زیمباوه از مدل GR2M استفاده کردند. نتایج نشان داد که عملکرد مدل با وجود ورودی‌های کم کاملاً رضایت بخش بوده و این مدل می‌تواند به عنوان یک ابزار مناسب برای

شبیه‌سازی رایانه‌ای بارش-رواناب از اوایل دهه‌ی ۱۹۶۰ شروع شده، و در چهار دهه‌ی گذشته به طور فزاینده‌ای توسعه داده شده و مورد استفاده قرار گرفته است (خرزانی و همکاران، ۱۳۹۴) و به عنوان یک فن‌آوری برای مدیریت منابع آب و طراحی هیدرولوژیکی محسوب می‌شود (بوقتون^۱، ۲۰۰۵). که دلایل اصلی این امر را می‌توان ظاهر شدن مدل‌ها و روش‌های جدید، توسعه موسسات تحقیقاتی و افزایش تقاضا برای ابزار توسعه‌یافته، در کنار افزایش فشار بر منابع آب دانست (دولت آبادی و زمردیان، ۱۳۹۲). شبیه‌سازی با مدل‌های بارش-رواناب همچنین از محورهای اصلی هیدرولوژی علمی (رواسوکا و همکاران^۲، ۲۰۱۴) و مدیریت محیط زیست است. امروزه مدل‌های هیدرولوژیکی به طور گسترده و برای مقاصد مختلف (هرناندز و همکاران^۳، ۲۰۱۳) از جمله پیش‌بینی جریان آینده حوضه (کروک و همکاران^۴، ۲۰۰۵)، ارزیابی پاسخ حوضه به نوسانات اقلیمی (اکان و فیستیکوگلو^۵، ۲۰۱۴)، و تحقیقات کیفیت آب (گودرزی و همکاران، ۱۳۹۱) استفاده می‌شوند. مدل‌های هیدرولوژیکی که برای شبیه‌سازی حوضه‌های آبریز مورد استفاده قرار می‌گیرند عموماً به دو گروه یکپارچه^۶ و توزیعی^۷ تقسیم می‌شوند. زمانی که لازم است فقط جریان در خروجی حوضه آبخیز شبیه‌سازی شود، مدل‌های یکپارچه مفهومی، اغلب بر انواع دیگر مدل‌ها ترجیح داده می‌شوند. زیرا ضمن ارائه پاسخ خوب، به تلاش محاسباتی و داده‌های ورودی کمتری نیاز دارند (کوپر و همکاران^۸، ۲۰۰۷). از آنجا که در حوضه‌های آبخیز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های موردنیاز، برای بررسی عکس‌العمل حوضه میسر نمی‌باشد لذا انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار، با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز، پیش‌بینی قابل‌قبولی را ارائه دهد امری ضروری به نظر می‌رسد. در بین مدل‌های بارش-رواناب مدل‌های یکپارچه GR2M و IHACRES به دلیل داده‌های اندک مورد نیاز بدون صرف زمان و هزینه زیاد برای تهیه داده‌ها، به آسانی می‌تواند در بسیاری از حوضه‌های آبخیز با شرایط اقلیمی و هیدرولوژی مختلف به کار برده شوند (رواسوکا و همکاران، ۲۰۱۴؛ هرناندز و همکاران، ۲۰۱۳). همچنین تحقیقات محققین مختلف نشان داده است که

9- Littlewood *et al.*

10- Modelo de Grandes Bacias

11- McIntyre and Al-Qurashi

12- Wadi Ahin

13- Vaze *et al.*

14- Makhlof and Michel

15- Mouelhi *et al.*

16 - Huard and Mailhot

17 - Dezettera *et al.*

1- Boughton

2- Rwasoka *et al.*

3- Hernandez *et al.*

4- Croke *et al.*

5- Okkan and Fistikoglu

6- Lumped

7- Distributed

8- Cooper *et al.*

که در آن، ETP: توان تبخیر و تعرق (میلیمتر در روز در ماه)، P: ضریب روشنایی یا درصد متوسط ساعات روشنایی روزانه در ماه مورد نظر، T: دمای متوسط ماهانه (درجه سانتیگراد) و a و b ضرایب اقلیمی است.

برای تجزیه و تحلیل داده‌ها و ارزیابی مدل‌ها از معیارهای ناش-ساتکلیف^۲، جذر میانگین مربع خطا (RMSE)^۳ و اریبی^۴ استفاده شد. هرچه مقدار معیار ناش-ساتکلیف به یک نزدیک‌تر نتایج مدل‌ها ایده‌آل‌تر است (۱۵). به عبارتی اگر میزان معیار ناش-ساتکلیف بزرگ‌تر از ۰/۷۵ باشد نتایج شبیه‌سازی خوب توصیف می‌شود، اما زمانی که مقدار معیار ناش-ساتکلیف ۰/۷۵-۰/۳۶ است نتایج مدل رضایت بخش است (موتوویلو و همکاران^۵، ۱۹۹۹). اریبی، خطای کل در حجم جریان است که نشان دهنده بیشتر یا کمتر بودن جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است. به عبارت دیگر نشان می‌دهد که مدل جریان را کمتر یا بیشتر از میزان جریان مشاهده شده شبیه‌سازی می‌کند (کروک و همکاران، ۲۰۰۵). جذر میانگین مربع خطا یکی از معیارهای خطا است که کمتر شدن آن به منزله اختلاف حداقل، بین داده‌های شبیه‌سازی شده و مشاهداتی است و نشان از عملکرد بهتر مدل دارد.

ساختار مدل‌های مورد استفاده

مدل IHACRES

مدل IHACRES^۶ (تعیین هیدروگراف‌های واحد و اجزای جریان ناشی از داده‌های بارش، تبخیر و جریان رودخانه) یک مدل یکپارچه مفهومی-متریکی می‌باشد که توسط جک من در سال ۱۹۹۰ توسعه یافت (بیساو و همکاران^۷، ۲۰۱۰). نرم افزار مربوط به مدل IHACRES از طریق سایت <http://www.toolkit.net.au/ihacres> قابل دریافت است. اساس این روش از دو مدول غیرخطی کاهش و مدول خطی هیدروگراف تشکیل می‌شود. به این منظور ابتدا بارندگی (I_k) و دما (t_k) در هر گام زمانی k توسط مدول غیرخطی، به بارندگی مؤثر U_k تبدیل شده و سپس به وسیله مدول خطی هیدروگراف واحد به رواناب سطحی در همان گام زمانی تبدیل می‌شود (شکل ۲). روابط به کار رفته در مدول غیرخطی کاهش به منظور تبدیل بارش به بارندگی مؤثر در حوضه به شرح زیر است:

$$U_k = S_k \times r_k \quad (2)$$

مدیریت منابع آب به ویژه در مناطق با داده‌های ناکافی در نظر گرفته شود. هرناندز و همکاران (۲۰۱۳)، به منظور شبیه‌سازی رواناب حوضه رودخانه نازاس^۱ از مدل GR2M استفاده کردند نتایج نشان داد بین مقادیر شبیه‌سازی جریان و مقادیر مشاهده‌ای همبستگی خوبی وجود دارد و کارایی مدل درحد رضایت‌بخش بوده است. با توجه به تنوع مدل‌های بارش-رواناب در دسترس، انتخاب یک مدل بارش-رواناب مناسب برای حوضه به جهت بهره‌وری، برنامه‌ریزی و مدیریت منابع آب مهم می‌باشد. بنابراین انتخاب مدل، نیاز به تشخیص قابلیت و محدودیت مدل‌های هیدرولوژی حوضه دارد. مدل‌های پیوسته می‌توانند درک بهتری از پاسخ هیدرولوژی حوضه آبریز در اثر تغییر اقلیم و تغییر پوشش گیاهی ناشی از آن ایجاد کنند، زیرا پدیده تغییر اقلیم و تغییر در پوشش گیاهی یک پدیده تدریجی بوده و بنابراین، این تغییرات در مدل‌های پیوسته بهتر می‌تواند مورد شبیه‌سازی قرار گیرد. از این رو، در این مقاله عملکرد دو مدل یکپارچه GR2M و IHACRES برای شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه دره‌تخت مورد ارزیابی قرار گرفته است.

مواد و روش‌ها

منطقه مطالعاتی

حوضه آبخیز دره‌تخت در شمال شرقی استان لرستان و در دامنه‌ی شمال شرقی اشترانکوه واقع شده است. این حوضه با مساحت ۳۳ کیلومترمربع یکی از زیرحوضه‌های رودخانه دز، با اقلیم سرد و مرطوب می‌باشد. این منطقه از نظر موقعیت جغرافیایی در $33^{\circ}14'$ تا $33^{\circ}18'$ عرض شمالی و $49^{\circ}25'$ تا $49^{\circ}30'$ طول غربی واقع شده است. حداکثر و حداقل ارتفاع آن از سطح دریا به ترتیب ۳۸۸۸ متر و ۱۹۸۰ متر و متوسط بارش سالیانه آن (در دوره ۹۲-۱۳۷۹) ۷۲۴ میلی‌متر می‌باشد. شکل (۱)، موقعیت منطقه مورد مطالعه را در استان لرستان و ایران نشان می‌دهد.

روش پژوهش

در این پژوهش ابتدا آمار و داده‌های مورد نیاز مربوط به ایستگاه‌های باران‌سنجی، تبخیرسنجی، هواشناسی و هیدرومتری منطقه مورد نظر از سازمان‌های مربوطه جمع‌آوری شد. بر اساس آمار موجود، سال‌های ۹۲-۱۳۷۹ به عنوان دوره مشترک آماری انتخاب گردید. با توجه به عدم ثبت داده‌های تبخیر مربوط به فصول سرد در ایستگاه تبخیرسنجی، از روش بلانی کریدل برای برآورد تبخیر و تعرق پتانسیل استفاده گردید:

$$ETP = a + bp(0/46T + 8/13) \quad (1)$$

2 - Nash-Sutcliffe Efficiency

3- Root Mean square Error

4 - Bias

5 - Motovilov *et al.*

6- Identification of hydrographs and componets from rainfall, evaporation and stream

7 - Besaw *et al.*

1 - NAZAS

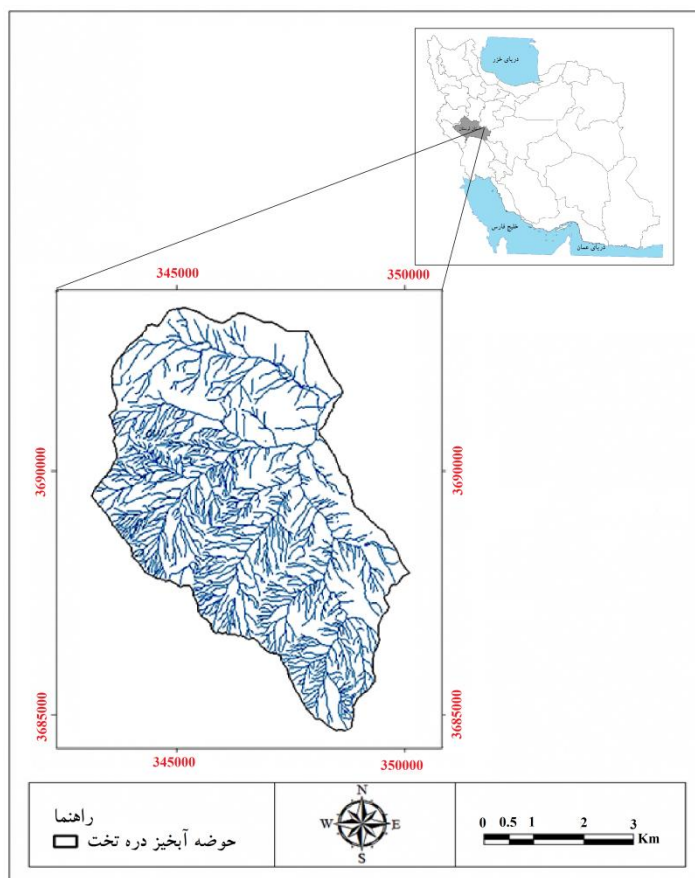
زندى دره غریبی و همکاران: مقایسه عملکرد دو مدل هیدرولوژیکی IHACRES و GR2M در...

در رابطه (۸) پارامترهای q و s، پارامترهای مربوط به تفکیک هیدروگراف حوضه به دو قسمت هیدروگراف سریع (q) و هیدروگراف کند (s) می‌باشند. به طور کلی در این روش سه پارامتر T_w ، f و C از مدول غیرخطی کاهش (معادله‌های ۵ تا ۷) و سه پارامتر از چهار پارامتر a^s ، a^q ، b^s و b^q از مدول خطی هیدروگراف (رابطه ۸) باید بر اساس داده‌های مشاهداتی مربوط به حوضه مورد مطالعه واسنجی شوند. شکل، ساختار کلی مدل IHACRES را نشان می‌دهد.

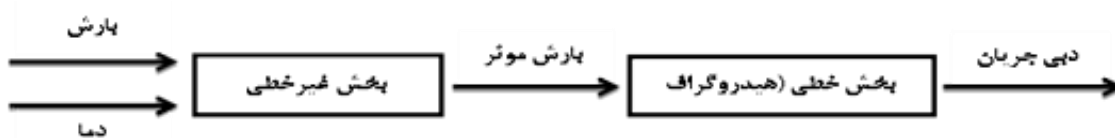
$$S_k = C \times r_k + \left(1 + \frac{1}{T_w(t_k)}\right) \tag{۳}$$

$$T_w(T_k) = T_w e^{0.062f(R-t_k)} \tag{۴}$$

$$X_k = a^{q_{xk-1}} + b^{q_{uk-1}} + a^{s_{xk-1}} + b^{s_{uk-1}} \tag{۵}$$



شکل ۱- موقعیت حوضه آبخیز دره تخت نسبت به استان لرستان و ایران



شکل ۲- ساختار کلی مدل هیدرولوژیکی IHACRES (لیتلوود و همکاران، ۲۰۰۷)

نتیجه زهکش شدن به آبراهه یا مصرف به لایه‌های زیرین نفوذ نموده و در نتیجه سطح ذخیره رطوبتی خاک به مقدار S می‌رسد (معادله‌های ۱۱ و ۹):

$$S = \frac{S_2}{\left[1 + \left(\frac{S_2}{X_1}\right)^3\right]^{\frac{1}{3}}} \quad (11)$$

$$p_2 = s_2 - s \quad (12)$$

P_3 کل آبی است که به صورت جریان سطحی و جریان زیر قشری و زیرزمینی به بیرون (بستر آبراهه) نشت می‌کند و به صورت معادله (۱۳) است:

$$p_3 = p_1 + p_2 \quad (13)$$

وقتی که مقدار در آبراهه (مخزن روندیابی) جریان می‌یابد باعث می‌شود تا تراز مخزن روندیابی از وضع موجود R_1 به R_2 افزایش یابد (معادله ۱۴):

$$R_2 = R_1 + p_3 \quad (14)$$

مقدار R_2 تحت تاثیر تبدلات آب زیرزمینی با بیرون سطح حوضه آبخیز قرار گرفته و به R_3 تنزل می‌یابد (معادله ۱۵):

$$R_2 = X_2 \cdot R_1 \quad (15)$$

مقدار این ضریب برای حوضه‌های تغذیه کننده منابع آب زیرزمینی در موقعیت ایستگاه آب‌سنجی دارای اندازه کمتر از یک و در صورت زهکش نمودن جریانات زیر قشری و آب زیرزمینی خارج از حوضه بیشتر از یک و در صورت نداشتن تبادل جریان برابر با یک است. بیشینه ظرفیت مخزن روندیابی برابر با ۶۰ میلی‌متر فرض شده و تخلیه آن موجب ایجاد عمق جریان خروجی از حوضه برابر با Q می‌شود (معادله ۱). شکل (۳) دیاگرام مدل GR2M را نشان می‌دهد.

$$Q = \frac{R_2^2}{R_2 + 60} \quad (16)$$

مدل GR2M

مدل GR2M^۱ یک مدل هیدرولوژیکی یکپارچه بوده که توسط مرکز تحقیقات کشاورزی و محیط زیست فرانسه توسعه یافته است و برای بازسازی جریان از بارش و تبخیر و تعرق پیشنهاد شده است (هرناندز و همکاران، ۲۰۱۳). این مدل به صورت رایگان از طریق سایت <http://webgr.irstea.fr/modeles/lang> قابل دریافت است. داشتن تنها دو پارامتر آزاد نشان‌دهنده مزیت این مدل نسبت به مدل‌های مشابه است. پارامترهای مدل شامل X_1 : ظرفیت پذیرش رطوبت در لایه‌های خاک (میلیمتر)، X_2 : ظرفیت تبادل آبی حوضه با بیرون از خود (میلیمتر). در این مدل فرض می‌شود که حوضه آبخیز دارای حداکثر ظرفیت پذیرش رطوبت (در لایه‌های خاک) برابر با x_1 میلی‌متر می‌باشد. در نتیجه در زمان شروع شبیه‌سازی جریان میزان ذخیره رطوبتی حوضه برابر با S است. وقتی بارش (P) اتفاق می‌افتد. بخشی از آن به درون زمین نفوذ می‌کند و ذخیره رطوبتی S_1 را افزایش می‌دهد (معادله ۹) و بخشی از آن که به زمین نفوذ نمی‌کند به جریان سطحی تبدیل می‌شود (معادله ۱۰).

$$S_1 = \frac{s + x_1 \varphi}{1 + \frac{s}{x_1}} \quad (6)$$

$$\varphi = \tanh\left(\frac{p}{x_1}\right) \quad (7)$$

$$p_1 = p - s - s_1 \quad (8)$$

با توجه به میزان تبخیر و تعرق پتانسیل، ارتفاع ذخیره رطوبتی حوضه از S_1 به S_2 کاهش پیدا می‌کند (معادله ۹):

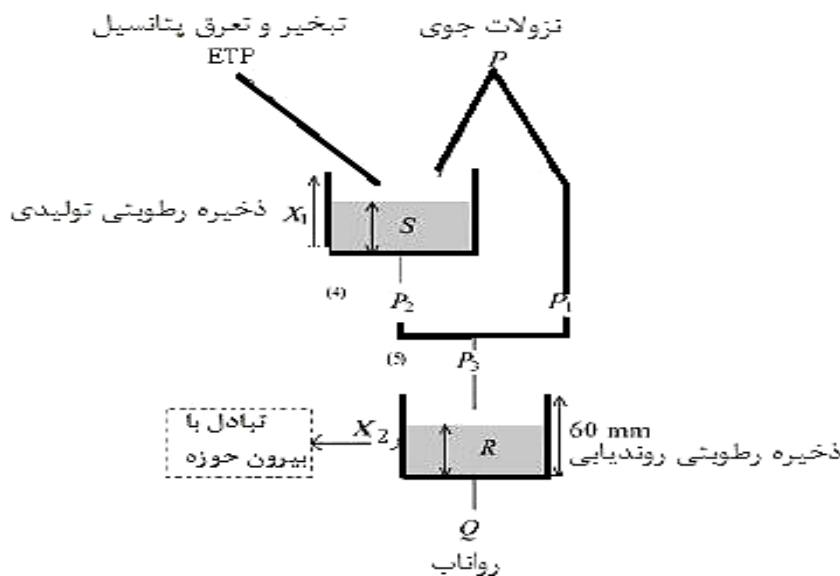
$$S_2 = \frac{s_1(1 - \varphi)}{1 + \varphi \left(1 - \frac{s_1}{x_1}\right)} \quad (9)$$

$$\varphi = \tanh\left(\frac{ETP}{x_1}\right) \quad (10)$$

از میزان ذخیره رطوبتی S_2 ، ارتفاعی برابر P_3 برای تبدیل شدن به جریان زیر قشری و افزوده شدن به ذخیره آب زیرزمینی در

1- GR2M: monthly two parameter rainfall-runoff model (GR2M stands modèle du Génie Rural à 2 paramètres au pas de temps Mensuel)

زندی دره غریبی و همکاران: مقایسه عملکرد دو مدل هیدرولوژیکی IHACRES و GR2M در...



شکل ۳- دیاگرام مدل GR2M

پارامتر^(۵) v مدل IHACRES در جدول (۱)، نشان‌دهنده میزان مشارکت جریان پایه در ایجاد جریان رودخانه است. به طوری که هر چه مقدار آن زیادتر نشان دهنده وجود جریان پایه بیشتر در رودخانه است. مقدار بدست آمده آن در این پژوهش حاکی از وجود جریان پایه‌ی بسیار زیاد در ایجاد جریان رودخانه‌ای می‌باشد که این امر می‌تواند ناشی از نوع پوشش و زمین شناسی حوضه آبخیز دره‌تخت باشد. به طوری که زارعی و همکاران (۱۳۹۰) طی تحقیقی در حوضه آبخیز کسلیان با کاربری جنگل به مقداری مشابه و لیتلود و همکاران (۲۰۰۷)، در حوضه‌ای با کاربری غالب زراعت و مرتع به مقادیر کمتری برای این پارامتر دست یافتند. پارامتر $1/C$ در مدل IHACRES ظرفیت نگهداری رطوبت حوضه آبخیز است. به گونه‌ای که هر چه مقدار آن بیشتر باشد حوضه واکنش آهسته‌تری نسبت به بارش نشان می‌دهد. بر اساس نتایج پژوهش مقدار پارامتر $1/C$ در مقایسه با مقدار به دست آمده توسط لیتلود و همکاران (۲۰۰۷)، (۱/۲۴۶)، زارعی و همکاران (۱۳۹۰) (۱/۴۶۴) کمتر است که این امر ناشی از آهکی و دولومیتی بودن جنس سازندهای حوضه آبخیز دره‌تخت (بهرامی و همکاران، ۱۳۹۰) است که منجر به ننگه‌داشت کم بارش، افزایش نفوذ و کاهش رطوبت حوضه شده است. جدول (۲) مقادیر شاخص‌های ارزیابی مدل IHACRES و شکل‌های (۴) و (۵) مقایسه ظاهری هیدروگراف ماهانه مشاهده ای و شبیه‌سازی شده مدل را برای دوره واسنجی و اعتبارسنجی و شکل (۶) میزانی از بارش را که در ایجاد جریان رودخانه حوضه دره‌تخت در طول دوره آماری مشارکت داشته، نشان می‌دهند. بر اساس نتایج به دست آمده، مدل IHACRES با ضریب نش 0.7 در دوره واسنجی و 0.65 در دوره اعتبارسنجی، دارای توانایی لازم برای شبیه‌سازی مقادیر ماهانه دبی حوضه دره‌تخت است.

نتایج و بحث

پس از جمع‌آوری اطلاعات پایه حوضه و تهیه آمار و اطاعات بارندگی، تبخیر و تعرق، دما و دبی در گام زمانی ماهانه برای یک دوره آماری ۱۴ ساله از سال ۹۲-۱۳۷۹ مدل‌های IHACRES و GR2M به منظور شبیه‌سازی جریان ماهانه در حوضه آبخیز دره‌تخت اجرا شدند.

شبیه‌سازی جریان توسط مدل IHACRES

در مدل IHACRES از آمار دما، بارش و دبی مشاهداتی ایستگاه دره‌تخت به عنوان ورودی‌های مدل برای شبیه‌سازی استفاده شد. مدل در طول سال‌های آماری ۸۸-۱۳۸۴، واسنجی شد. فرآیند واسنجی مدل از طریق آزمون سعی و خطا صورت گرفت به صورتی که هر بار دوره‌ای انتخاب و عمل شبیه‌سازی توسط مدل صورت گرفت در نهایت دوره‌ای که مدل بهترین شبیه‌سازی را داشت به عنوان دوره واسنجی انتخاب شد. سپس در طول سال‌های ۹۲-۱۳۸۸ مورد اعتبارسنجی قرار گرفت. جدول ۱ مقادیر بهینه پارامترها IHACRES را نشان می‌دهند. $T(w)$: ثابت زمانی خشک شدن حوضه، f : فاکتور تعدیل دما، $1/C$: ظرفیت ذخیره رطوبت حوضه آبخیز، v :^(۵) حجمی از جریان آهسته که در جریان رودخانه مشارکت دارد، δ : تاخیر بین بارش و جریان است که مدل آن را برای دوره واسنجی محاسبه می‌کند، τ و $\tau^{(۴)}$:^(۵) به ترتیب ثابت زمانی فروکش برای جریان سریع و آهسته در مخازن متوالی می‌باشند که مقادیر آنها در جدول (۱) ارائه شده است.

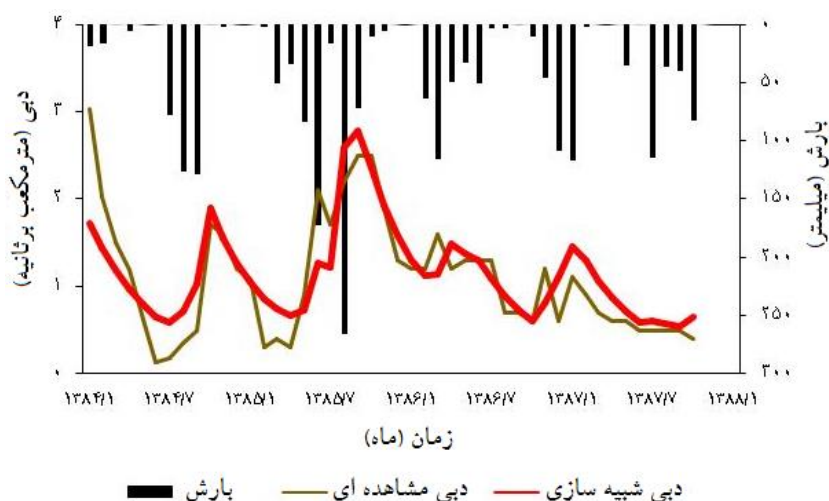
با توجه به نتایج جدول (۱)، مقدار حاصل از پارامتر δ در حوضه دره‌تخت مشخص می‌شود که مدل IHACRES تاخیر بین بارش و جریان ناشی از آن را در دوره واسنجی صفر محاسبه نموده، یعنی بین بارش و جریان، تاخیری مشاهده نشده است. مقدار

جدول ۱- مقادیر پارامترهای بهینه مدل IHACRES در مقیاس ماهانه

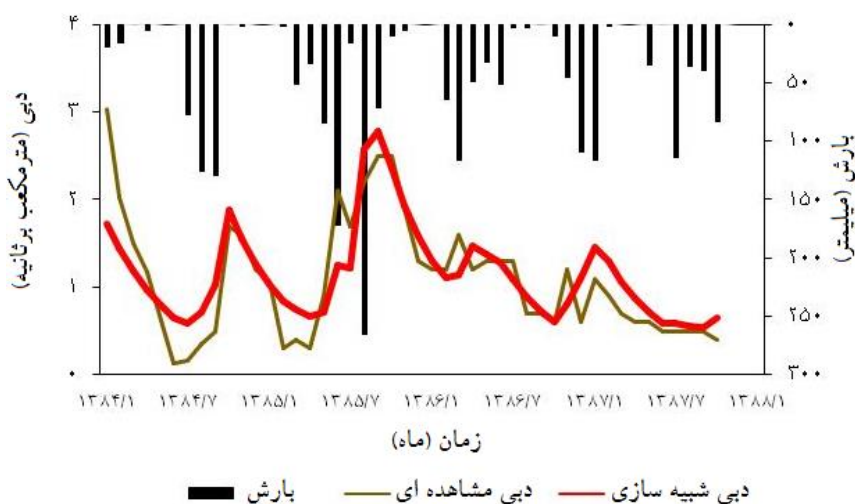
پایه زمانی	$\tau^{(s)}$ (روز)	$\tau^{(q)}$ (روز)	1/C (میلیمتر)	f (درجه سانتیگراد ⁻¹)	$T_{(w)}$ (روز)	δ
ماهانه	۵/۰۰۴	—	۲۰۰	۳/۲	۲	۰

جدول ۲- نتایج واسنجی و اعتبار سنجی مدل IHACRES برای کل دوره

دوره	جذر میانگین مربع خطا	ناش-سانتکیف	ارایی
واسنجی	۰/۲۸	۰/۷	-۰/۰۱۷۹
اعتبارسنجی	۰/۵۶	۰/۶۵	۰/۰۸



شکل ۴- نتایج مدل IHACRES برای شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه آبخیز دره تخت در مرحله واسنجی



شکل ۵- نتایج مدل IHACRES برای شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه آبخیز دره تخت در مرحله اعتبارسنجی

به عبارت دیگر علاوه بر اینکه بخش عمده‌ای از بارش حوضه در بخش اول مدل IHACRES (بخش تلفات) به بارش موثر تبدیل

طبق نتایج تحقیق (شکل ۶) میزان بارش مؤثر که در ایجاد جریان رودخانه حوضه دره تخت مشارکت داشته برای کل دوره آماری مورد استفاده حدود ۱/۵ برابر بارش کل حوضه بوده است.

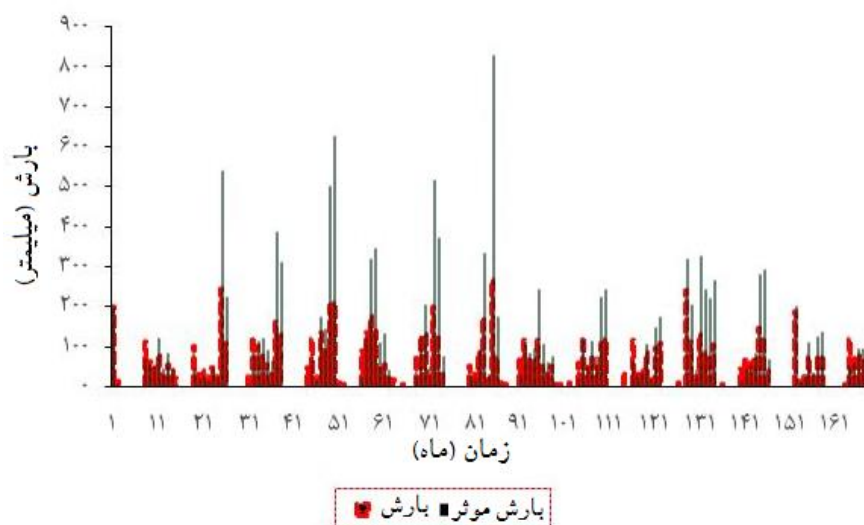
زندگی دره غریبی و همکاران: مقایسه عملکرد دو مدل هیدرولوژیکی IHACRES و GR2M در...

لایه‌های خاک و ضریب X_2 ، ظرفیت تبادل حوضه با بیرون از خود است که به ترتیب در دوره واسنجی و اعتبارسنجی برابر، ضریب X_1 ، $3/02$ و $8/21$ و ضریب X_2 ، $0/81$ و $2/79$ ، همچنین معیارهای ارزیابی مدل و وضعیت عملکرد مدل GR2M در دوره واسنجی و اعتبارسنجی در جدول (۳) نشان داده شده است. با توجه به نتایج عملکرد مدل GR2M، این مدل با ضرایب $0/65$ و $0/62$ به ترتیب برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی الگوی تغییرات جریان حوضه را شبیه سازی کرده است (شکل‌های ۷ و ۸).

شده، ذوب برف در فصل بهار نیز موجب افزایش بارش مؤثر و سرانجام ورود آن به جریان رودخانه شده است.

شبیه‌سازی جریان با مدل GR2M

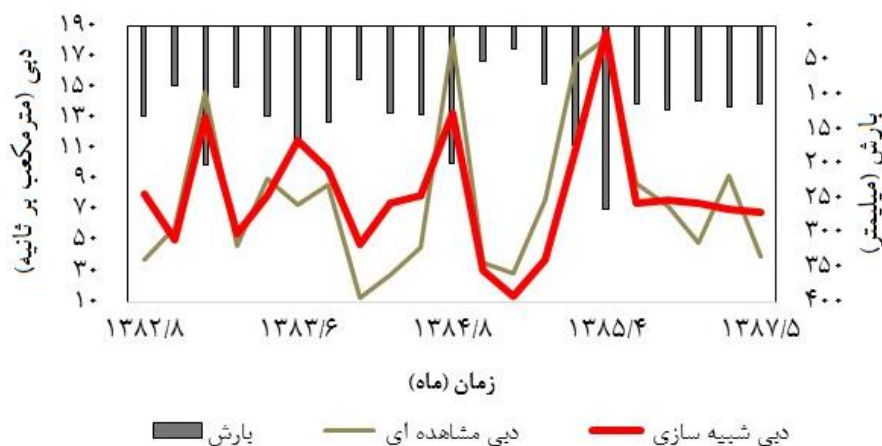
داده‌های مورد نیاز برای مدل GR2M بارش، تبخیر و تعرق و دبی می‌باشد. مدل GR2M نیز ابتدا از طریق آزمون سعی و خطا واسنجی (۸۷-۱۳۸۲)، سپس اعتبارسنجی (۹۲-۱۳۸۸) گردید. مقادیر پارامترهای واسنجی شده مدل GR2M که به صورت سعی و خطا انجام شده است شامل ضریب X_1 ، ظرفیت پذیرش آب در



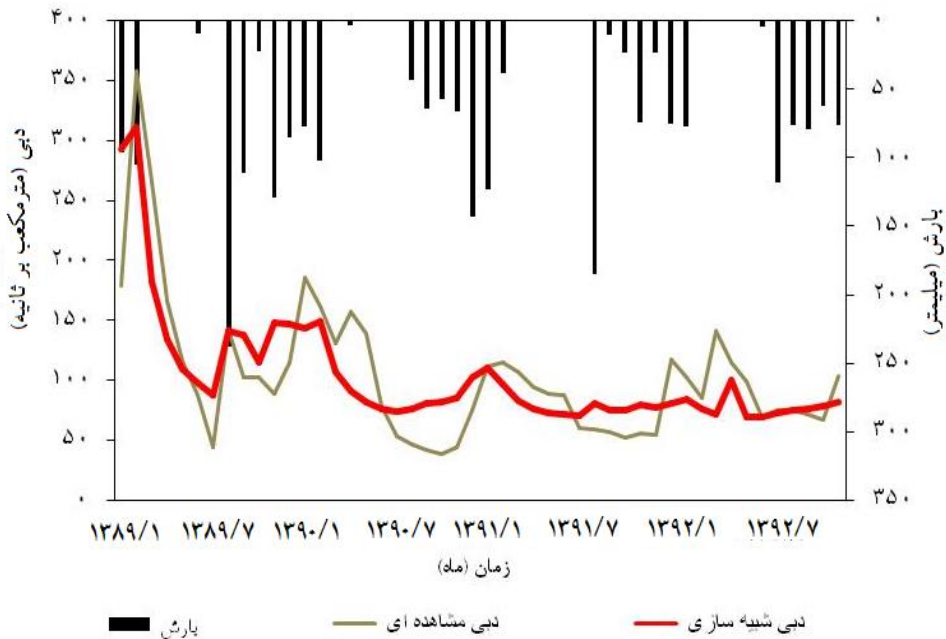
شکل ۶- مقادیر بارش و بارش مؤثر محاسبه شده توسط مدل IHACRES در مقایسه ماهانه برای کل دوره آماری

جدول ۳- مقادیر پارامترها و شاخص‌های ارزیابی مدل GR2M در مقیاس ماهانه

دوره	(X_1 و X_2)	جذر میانگین مربع خطا	ناش-ساتکلیف	ارایی
واسنجی	($3/02$ و $0/81$)	۸/۹۳	۰/۶۵	-۰/۶۶
اعتبارسنجی	($8/21$ و $2/79$)	۱۳/۹۷	۰/۶۲	۲/۰۸



شکل ۷- نتایج مدل GR2M برای شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه آبخیز دره تخت در مرحله واسنجی



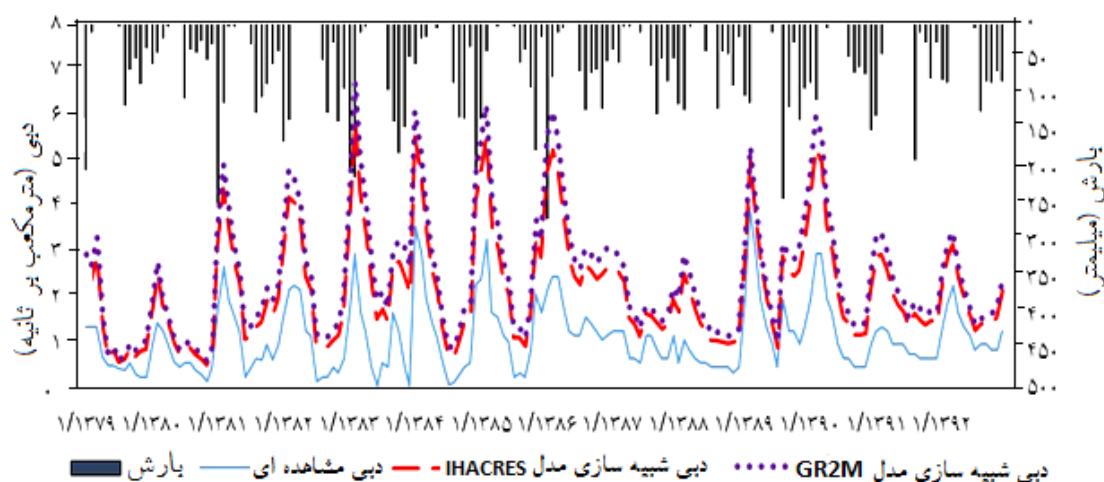
شکل ۸- نتایج مدل GR2M برای شبیه‌سازی جریان ماهانه حوضه آبخیز دره تخت در مرحله اعتبارسنجی

حوضه دارد و مقادیر بیشتری را برای این دبی‌ها شبیه‌سازی کرده است که منجر به پایین آمدن ضریب نش در دوره اعتبارسنجی شده است. با استناد به معیارهای ارزیابی مدل‌ها در جدول‌های (۲) و (۳) که شامل ضریب نش، مجذور میانگین مربعات خطا و خطای کل در حجم جریان می‌باشند و همچنین با توجه مقایسه ظاهری هیدروگراف مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده مدل‌ها (شکل ۹)، دو انتخاب می‌کند که بهترین شکل منحنی تداوم جریان را توصیف کند. عملکرد مدل GR2M طبق شکل (۹)، نسبت به مدل IHACRES ضعیف تر است. با توجه به نتایج شکل (۹) هر دو مدل جریان را بیشتر از جریان مشاهده‌ای شبیه‌سازی کرده‌اند به عبارتی مدل‌ها رفتار بیش‌برآوردی^۱ داشتند. با توجه به اینکه کاربری منطقه مورد مطالعه کشاورزی است، دلیل این امر می‌تواند برداشت آب از بالادست رودخانه توسط ساکنین منطقه باشد.

مقایسه ظاهری هیدروگراف‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده امکان ارزیابی کلی و سریع دقت مدل‌ها را فراهم می‌نماید. بر این اساس، مقایسه گرافیکی مقادیر جریان ماهانه مشاهده‌ای و شبیه سازی شده توسط دو مدل GR2M و IHACRES در شکل (۹) ارائه شده است. با توجه به شکل (۹) مدل GR2M همانند مدل IHACRES توانایی پایینی در برآورد مقادیر دبی‌های حداکثر مدل شبیه‌سازی قابل‌قبولی (ضریب نش بالای ۰/۶) از جریان ماهانه حوضه دره‌تخت داشتند. با توجه به اینکه حوضه دره‌تخت یک حوضه برف گیر است و بخشی از رواناب حوضه ناشی از ذوب برف است. ساختار مدل GR2M به گونه ای است که فرآیند ذوب برف را در نظر نمی‌گیرد، ولی مدل IHACRES به صورت غیر مستقیم پدیده ذوب برف رو در نظر می‌گیرد. به عبارتی مدل IHACRES در مرحله واسنجی در بخش ساخت مدول خطی و غیر خطی، کاربر از پنج تابعی که در مدل طراحی شده تابعی را

1- overestimate

زندگی دره غریبی و همکاران: مقایسه عملکرد دو مدل هیدرولوژیکی IHACRES و GR2M در...



شکل ۹- هیدروگراف جریان مشاهداتی و شبیه‌سازی شده مدل‌های GR2M و IHACRES در طول کل دوره آماری

(کروک و همکاران، ۲۰۰۵). با توجه به نتایج جدول‌های شماره (۲) و (۳) مشخص می‌شود که دو مدل در دوره واسنجی، جریان را کمتر از جریان مشاهداتی شبیه‌سازی نمودند و در دوره اعتبارسنجی بالعکس جریان را بیشتر از جریان مشاهداتی شبیه‌سازی کرده‌اند. با توجه به نتایج و موارد بحث شده می‌توان به این جمع‌بندی رسید که مدل‌های GR2M و IHACRES با توجه به انحرافات کم مدل‌ها و توانایی نسبتاً خوب در شبیه‌سازی جریان ماهانه، عملکرد رضایت بخشی در حوضه مورد مطالعه دارند که این نتایج با نتایج بسیاری از تحقیقات گذشته مله‌ی و همکاران (۲۰۰۶)، پری‌توسیرا و همکاران^۲ (۲۰۱۳)، رواسوکا و همکاران (۲۰۱۴)، مطابقت دارد. همچنین با توجه به کاربری آسان، ورودی‌های محدودتر این مدل‌ها و در دسترس بودن این ورودی‌ها در اکثر حوضه‌های آبخیز کشور، استفاده از مدل‌های فوق می‌تواند در زمینه‌های مختلف از جمله ارزیابی و تخمین اثر هیدرولوژی در تغییر پوشش زمین و مدیریت زمین، بررسی اثر هیدرولوژیکی نوسانات اقلیمی، پژوهش‌های اکولوژی و پژوهش‌های کیفیت آب مفید باشد و پیشنهاد می‌شود کارایی این مدل‌ها در سایر حوضه‌های آبخیز کشور مورد ارزیابی قرار گیرند.

سپاسگزاری

این تحقیق با حمایت مالی دانشگاه صنعتی خاتم الانبیاء (ص) بهبهان صورت گرفته است. در انتها از جناب آقای مهندس مهدی زارعی که راهنمایی‌های ایشان در انجام هر چه بهتر تحقیق مؤثر بوده صمیمانه تشکر و قدردانی می‌نماییم.

نتیجه‌گیری

با توجه به دامنه متنوع مدل‌های هیدرولوژی در دسترس، انتخاب مناسب‌ترین مدل برای افزایش بهره‌وری دشوار است. بنابراین، نیاز به ارزیابی مقایسه‌ای برای تشخیص قابلیت و محدودیت مدل‌های حوضه در منطقه مطالعاتی دارد. در این مطالعه از دو مدل بارش-رواناب IHACRES و GR2M در مقیاس ماهانه استفاده شد. با نگاهی به نتایج حاصل از دو مرحله واسنجی و اعتبارسنجی (جدول‌های ۲ و ۳) دو مدل GR2M و IHACRES می‌توان دریافت که نتایج اعتبارسنجی مدل‌ها ضعیف‌تر از نتایج واسنجی بوده که این نتایج با نتایج کروک و همکاران (۲۰۰۵)، رواسوکا و همکاران (۲۰۱۴) دلولی و همکاران^۱ (۲۰۱۴) مطابق مبنی بر کارایی ضعیف‌تر این دو مدل در مرحله ارزیابی نسبت به مرحله واسنجی دارد. در مجموع در بخش‌هایی از طول دوره نتایج مدل‌ها رضایت‌بخش بوده و در دوره‌هایی نیز روند شبیه‌سازی ضعیف بوده، این موضوع می‌تواند مربوط به ۱- عدم همبستگی بین داده‌های بارش و رواناب باشد چرا که حوضه مذکور دارای بارش برف بوده اگرچه این بارش برف در ابتدا انباشته شده و تأثیری روی رواناب ندارد ولی ممکن است در روزهای غیر بارانی با افزایش دما ناگهان ذوب شود سبب افزایش ناگهانی رواناب در نتیجه عدم همبستگی بین داده‌های بارش و رواناب و متعاقباً سبب کاهش کارایی مدل‌ها شود ۲- مربوط به حساسیت مدل‌ها به طول دوره واسنجی (زارعی و همکاران، ۱۳۹۰؛ کروک و همکاران، ۲۰۰۵) ۳- خطای مربوط به ساختمان ریاضی مدل‌ها (مله‌ی و همکاران، ۲۰۰۶) باشد. مقادیر مثبت و منفی آریبی به ترتیب بیانگر کمتر و بیشتر بودن متوسط جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل‌ها نسبت به جریان مشاهداتی است

منابع

- ۱- بهرامی، ش. مقصودی، م. و. بهرامی، ک. ۱۳۹۰. بررسی نقش تکنیک در ناهنجاری مورفومتری شبکه‌ی زهکشی در چهار حوضه‌ی آبخیز در زاگرس. پژوهش‌های جغرافیا طبیعی، ۷۶(۲): ۵۱-۷۰.
- ۲- خزائی، م.ر. ذبیحون، ب. و تقیان، ب. ۱۳۹۴. شبیه‌سازی جریان روزانه حوضه آبریز در شرایط کمبود داده. علوم و تکنولوژی محیط زیست، ۱۷(۱): ۷۷-۹۰.
- ۳- دولت آبادی، س. و زمردیان، م.ع. ۱۳۹۲. شبیه‌سازی هیدرولوژیکی حوضه فیروزآباد با استفاده از مدل SWAT. فصلنامه علمی و پژوهشی مهندسی آبیاری و آب، ۱۴(۴): ۳۸-۴۸.
- ۴- زارعی، م. حبیب‌نژادروشن، م. شاهدی، ک. م. و قنبرپور، م.ر. ۱۳۹۰. کالیبراسیون و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی IHACRES به منظور شبیه‌سازی جریان روزانه. نشریه آب و خاک (علوم و صنایع کشاورزی)، ۲۵(۱): ۱۱۴-۱۰۴.
- ۵- گودرزی، م. ا. ذهبیون، ب. مساح بوانی، ع.ر. و کمال، ع.ر. ۱۳۹۱. مقایسه عملکرد سه مدل هیدرولوژی SWAT، IHACRES و SIMHYD در شبیه‌سازی رواناب حوضه قره‌سو. مدیریت آب و آبیاری، ۲(۱): ۴۰-۲۵.
- 6- Besaw, L. E. Rizzo, D. Bierman, M. and P. R. Hackett. 2010. Advances in ungauged streamflow prediction using artificial neural networks. *Journal of Hydrology*, 386(1): 27-37.
- 7- Boughton, W. 2005. Catchment water balance modelling in Australia 1960–2004. *Agricultural Water Management*, 71(2): 91-116.
- 8- Cooper, V. Nguyen, A. and V.T.V. Nicell. 2007. Calibration of conceptual rainfall–runoff models using global optimization methods with hydrologic process-based parameter constraints. *Journal of Hydrology*, 334(3): 455-466.
- 9- Croke, B.F.M. Andrews, W. Spate, F. and J. Cuddy. 2005. IHACRES user guide. Technical Report 2005/19. Second ed. ICAM, School of Resources. Environment and Society. The Australian National University. Canberra. <http://www.toolkit.net.au/ihacres>.
- 10- Dezettera, A. Girardb, S. Paturela, J.E. Mahec, G. Ardoine-Bardinc, S. and E. Servatc. 2008. Simulation of runoff in West Africa: Is there a single data-model combination that produces the best simulation results?. *Journal of Hydrology*, 354(1): 203-212.
- 11- Djellouli, F. Bouanani, A. and K. Baba-Hamed. 2014. RAINFALL-RUNOFF Modeling By a Global Approach: Case of the Basin Louza River (Oued El Hammam-Mactaa-Nw Algerien). The International Seminar on The Hydrogeology and Environment, Issn: m, Available From: <http://dspace.univ-ouargla.dz/jspui/handle/123456789/7865>.
- 12- Hernandez, d.C. ramirez, g.D. gonzalez, m.R. caciano, r.T. and J.E Avalos. 2013. Adjustment and validation of hydrological model GR2M in upper basin Nazas. *Agrofaz*, 13(2): 81-89.
- 13- Huard, D. and Mailhot, A. 2008. Calibration of hydrological model GR2M using Bayesian uncertainty analysis, *water resources research*, 44(2), w0242: 1-19.
- 14- Littlewood, I.G. Clarke, R.T. Collischonn, W. and B.F.M. Croke. 2007. Predicting daily streamflow using rainfall forecasts. A simple loss module and unit hydrographs: Two Brazilian catchments. *Environmental Modeling and Software*, 22(9): 1229-1239.
- 15- Makhoulouf, Z. and C. Michel. 1994. A two-parameter monthly water balance model for French watersheds. *Journal of Hydrology*, 162(3): 299-318.
- 16- McIntyre, N. and A. Al-Qurashi. 2009. Performance of ten rainfall–runoff models applied to an arid catchment in Oman. *Environmental Modelling and Software*, 24(6): 726-738.

زندى دره غریبی و همکاران: مقایسه عملکرد دو مدل هیدرولوژیکی IHACRES و GR2M در...

- 17-Motovilov, Y.G. Gottschalk, L. Engeland, K. and A. Rohde. 1999. Validation of a distributed hydrological model against spatial observations. *Agriculture and Forest Meteorology*, 99:257-277.
- 18- Mouelhi, S. Michel, C. Perrin, C. and V. Andréassian. 2006. Linking stream flow to rainfall at the annual time step: the Manabe bucket model revisited. *Journal of Hydrology*, 328(1): 283-296.
- 19-Okkan, U. and O. Fistikoglu. 2014, evaluating climate change effects on runoff by statistical downscaling and hydrological model GR2M. *Theoretical and Applied Climatology*, 117(1-2): 343-361.
- 20-Prieto Sierra, C. Garcia Alonso, E. Mínguez Solana, R. and R. Medina Santamaría. 2013. Proposal of a lumped hydrological model based on general equations of growth–application to five watersheds in the UK. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions*, 10(7): 9309-9361.
- 21-Rwasoka, D.T. Madamombe, C.E. Gumindoga, W. and A.T. Kabobah. 2014. Calibration, validation, parameter indentifiability and uncertainty analysis of a 2–parameter parsimonious monthly rainfall-runoff model in two catchments in Zimbabwe. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*. 67: 36-46.
- 22-Vaze, J. Post, D. A. Chiew, F. H. S. Perraud, J. M. Viney, N. R. and J. Teng, 2010. Climate non-stationarity–validity of calibrated rainfall–runoff models for use in climate change studies. *Journal of Hydrology*, 394(3): 447-457.