هیدروژئومورفولوژی، شماره‌ی 20، سال 5، پاییز 1398، صص 204-187
Hydrogeomorphology, Vol.5, No.20, Fall 2019, pp (187-204)

واسنجی و ارزیابی عملکرد مدل IHACRES در شبیه‌سازی رواناب در زیرحوضه‌ی آبریز لنبران، اهرچای

محمد حسین رضایی مقدم*[1]، میراسدالله حجازی[2]، عبداله بهبودی[3]

1- استاد، ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

2- دانشیار، ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

3- دانشجوی دکتری، ژئومورفولوژی، دانشکده‌ی برنامه‌ریزی و علوم محیطی، دانشگاه تبریز، تبریز، ایران

وصول مقاله: 1398/05/13 تأیید نهایی مقاله: 1398/08/18

چکیده

حوضه‌های آبریز سیستم های بازی هستند که با توجه به پیچیدگی آن و برای دست یافتن به اهداف مورد نظر، اقدام به مدل‌سازی می‌شود. از طریق مدل‌سازی هزینه‌ی مطالعه برای سامانه های پیچیده کاهش می‌یابد، زیرا انجام آزمایشات صحرایی در سطح وسیع بسیار پرهزینه و یا غیرممکن هستند. همچنین از طریق تحلیل نتایج حاصل از مدل می‌توان بخوبی حوضه‌های آبریز را مدیریت کرد. در این پژوهش میزان عملکرد مدل بارش-رواناب IHACRES در شبیه‌سازی رواناب حوضه‌ی آبریز لنبران ارزیابی گردید. داده‌های ماهانه بارندگی و دمای ایستگاه ورزقان به عنوان متغیرهای ورودی برای شبیه‌سازی جریان و داده‌های مشاهداتی دبی در ایستگاه هیدرومتری کاسین برای سنجش دقت مدل IHACRES به کار گرفته شد. بر اساس سال های موجود، از داده‌های سال 2002-2000 برای سازگاری مدل و 2012-2003 برای واسنجی و 20016-2013 برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفتند. برای بررسی توانایی مدل IHACRES در شبیه‌سازی رواناب از معیار ضریب نش – ساتکلیف استفاده گردید. نتایج نشان داد که این ضریب 0/71 و 0/74 به ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی بدست آمد. بنابراین با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی مدل IHACRES با استفاده از معیارهای عملکردی مختلف و به دلیل کاربری آسان، و ورودی‌های کمتر و کاهش صرف زمان می‌توان استفاده از این مدل را جهت شبیه‌سازی و پیش‌بینی رواناب در مقیاس ماهانه در حوضه‌ی آبریز لنبران توصیه نمود و از آن جهت بررسی و مطالعه‌ی رواناب سطحی و جریان رودخانه‌ای طی دوره‌های آتی استفاده کرد.

کلمات کلیدی: مدل هیدرولوژیکی، IHACRES، اهرچای، کالیبراسیون.

* (نویسنده مسئول) Email:rezmogh@tabrizu.ac.ir

1- مقدمه

مطالعه‌ی پیچیدگی فرآیندهای هیدرولوژیکی در حوضه‌های آبریز بر اساس درک ویژگی-های بارش و خصوصیات حوضه هستند (گلشن و همکاران، 1396: 1). در راستای مدیریت حوضه های آبریز و جلوگیری از بروز ناسازگاری در اقدامات انجام شده در سطح حوضه‌ی آبریز به مدلی نیاز است که با توجه به اطلاعات و شرایط موجود کارایی شبیه سازی جریان خروجی از منطقه را داشته باشد (یانگ[1] و همکاران، 2014: 47). به دلیل محدودیت امکان اندازه‌گیری دبی جریان در زمان و مکان، استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی می‌تواند ابزاری برای پیش‌بینی و تخمین باشد که به تصمیم‌گیری صحیح در مدیریت منابع آب‌های سطحی کمک خواهد کرد (بیون[2]، 2001: 56). در این جهت تحقیقات محققان هیدرولوژی بسیاری از پیچیدگی های فرآیندهای بارش-رواناب را روشن می‌کند (یی[3] و یونگ، 1998: 61). به دلیل تأثیرگذاری عوامل مختلف رفتار هیدرولوژی یک حوضه‌ی آبریز به فرآیند نسبتاً پیچیده‌ای تبدیل می‌شود بنابراین برای شناخت و ارزیابی آن، اغلب از مدل‌های هیدرو لوژیکی استفاده می‌شود (امیری و همکاران، 1395: 534). انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار و با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی مورد نیاز، پیش‌بینی قابل قبولی را ارایه کند امری ضروری به نظر می‌رسد (گودرزی و همکاران، 1396: 83). مدل‌ها می‌توانند به منظور بررسی و مدیریت منابع آب، برآورد جریان رودخانه، پیش‌بینی سیل و طراحی عملیات مهندسی به دو گروه مدل‌های یکپارچه و توزیعی تقسیم نمود (بیون، 2001، بویج[4]، 2002، امیری و رودباری موسوی، 1395: 534). مدل‌های یکپارچه نسبت به مدل‌های توزیعی و نیمه‌توزیعی به اطلاعات کمتری نیاز دارند و از سوی دیگر نسبت به دیگر مدل‌ها سریع‌تر اجرا می‌شوند (گلشن و همکاران، 1396: 966) مدل IHACRES[5]، یک مدل

1- Yang et al.,
2- Beven
3- Ye & Young
4- Booij
1- Identification of unit hydrographs and component flows from rainfall, evaporation and streamflow data

مفهومی یکپارچه است که شامل مدل کاهشی غیرخطی و مدل روندیابی خطی است، علی-رغم توسعه نسبتاً اخیر IHACRES، این مدل در بین مدل‌های هیدرولوژیکی به طور گسترده و فزاینده‌ای پذیرفته شده است (سری ونگستون و تای شمبت[1]، 2011: 58). تعداد پارامترهای این مدل کم است، در حالی‌که به طور همزمان در مقایسه با مدل‌های توزیعی سعی شده جزئیات بیشتری از فرایندهای داخلی ارایه شود (کروک و جیکمن[2]، 2005، گلشن و همکاران، 1396: 966). در ایران مطالعات زیادی در زمینه‌های مختلف هیدرولوژی و مدیریت حوضه‌های آبریز صورت گرفته است که به برخی از کارهای انجام شده اشاره می شود. مرادی و همکاران (1397) در پژوهشی مقایسه‌ی سه روش مختلف برآورد تلفات بارش در مدل HEC-HMS در شبیه سازی رواناب حوضه‌ی قره‌سو کرمانشاه را بررسی نمودند. در این پژوهش، عملکرد مدل HEC-HMS با استفاده از سه روش مختلف تخمین شامل نفوذ شماره‌ی منحنی، گرین آمپت و اولیه – ثابت در پیش بینی حجم رواناب، جریان اوج و زمان رسیدن به اوج سیلاب ارزیابی شد و رخدادهای بارش – رواناب در این حوضه شبیه‌سازی شد.

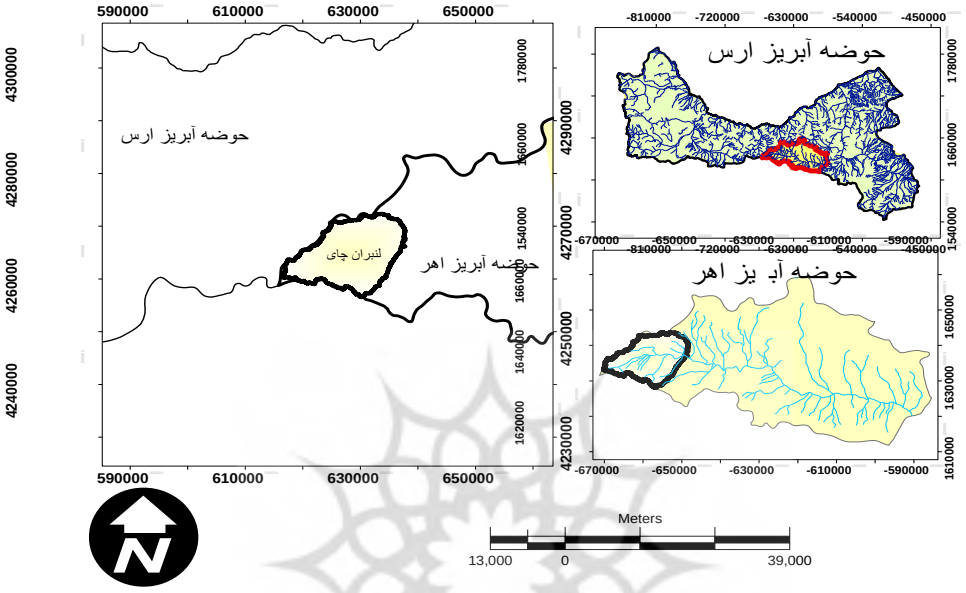
جهانبخش اصل و همکاران (1397) پژوهشی با عنوان شبیه‌سازی پیوسته بارش-رواناب حوضه‌ی شهرچای ارومیه با استفاده از مدل HEC-HMS انجام داده‌اند. نتایج نشان داد که این مدل توانایی شبیه‌سازی رفتار هیدلوژیک حوضه‌ی شهرچای و همچنین قابلیت استفاده از سامانه اطلاعات جغرافیایی به منظور دقت در تأمین ورودی‌های مدل را دارد. طالبی و همکاران (1398) در پژوهشی اولویت‌بندی سیل‌خیزی زیرحوضه‌ها با استفاده از مدل HEC-HMS و روش‌های تجربی در حوضه‌ی آبریز اسکندری را مطالعه و بررسی نمودند. با مقایسه اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در مدل HEC-HMS در دوره‌های بازگشت‌های مختلف، نتایج نشان داد که اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها در دوره‌ی بازگشت‌های مختلف از روندی خاص تبعیت می‌کند. بنابراین مدل HEC-HMS کارایی بیشتری در اولویت‌بندی زیرحوضه‌ها از لحاظ سیل‌خیزی نسبت به روش‌های تجربی دارد. منیشداوی و همکاران (1397) پژوهشی با

2- Sriwongsitanon & Taesombat
3- Croke et & Jakeman

عنوان شبیه‌سازی پیوسته فرآیند بارش – رواناب با بکارگیری مدل تلفات SMA در حوضه‌ی ابوالعباس با استفاده از مدل HEC-HMS انجام دادند. نتایج نشان داد که به علت کارستی بودن سطح وسیعی از حوضه، سهم جریان پایه در رواناب کل حوضه نسبت به رواناب مستقیم خیلی بیشتر است. به‌طوری‌که متوسط درصد رواناب مستقیم و جریان پایه در رواناب کل به ترتیب برابر با 9/05 و 90/95 درصد است. افراد زیادی در نقاط مختلف ایران در حوضه‌های متفاوت با مدل IHACRES به بررسی و مطالعه رواناب پرداخته‌اند که می‌توان به موارد زیر اشاره نمود: (زارعی و همکاران، 1390؛ خیرفام و همکاران، 1392؛ عبدالهی‌پور و همکاران، 1394؛ امیری و همکاران، 1395؛ قربانی و همکاران، 1395؛ رزاقیان و همکاران، 1395؛ گودرزی و همکاران، 1396؛ زندی دره‌غریبی، 1396؛ دودانگه و همکاران، 1397؛ گودرزی و همکاران، 1396). هم‌چنین از مدل IHACRES، در مناطق مختلف دنیا استفاده شده است، که می‌توان به مطالعات شرایدر و جیکمن[1] (2001)، کروک و جیکمن (2008)، کارلی[2] و همکاران (2004) در استرالیا، لیتل وود[3] و همکاران (2007)، کارکانو[4] و همکاران (2008)، مکینتر و القریشی[5] (2009)، ویز[6] و همکاران (2010)، آبوشاندی و بوردر[7] (2011) اشاره نمود.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

1- Schreider & Jakeman
2- Carlile et al.,
3- Littlewood et al.,
4- Carcano et al.,
5- McIntyre & Al-Qurashi
6- Vaze et al.,
7- Abushandi & Broder



شکل (1) نقشه‌ی موقعیت منطقه‌ی مورد مطالعه

Figure (1) Location map of the study area

2- مواد و روش

زیرحوضه‌ی لنبران در سمت ضلع شرقی رودخانه‌ی اهرچای واقع شده است. مساحت این زیرحوضه 20118 هکتار می‌باشد و سرشاخه‌ی اصلی رودخانه‌ی اهرچای محسوب می‌شود. محدوده‌ی مورد مطالعه در بین مختصات جغرافیایی ً17 و َ20 و °46 تا ً45 و َ34 و °46 طول‌های شرقی و ً49 و َ26 و °38 تا ً23 و َ35 و °38 عرض‌های شمالی قرارگرفته است. این حوضه از نظرتقسیمات کشوری در دهستان سینا از بخش مرکزی شهرستان ورزقان از توابع استان آذربایجان شرقی واقع شده است (شکل 1).

بررسی داده: داده‌های ماهانه بارندگی و دما ایستگاه ورزقان به عنوان متغیرهای ورودی برای شبیه‌سازی جریان و داده‌های مشاهداتی دبی در ایستگاه هیدرومتری کاسین برای سنجش دقت مدل IHACRES به کار گرفته شد. بر اساس سال‌های موجود، از داده‌های

2002-2000 برای سازگار شدن مدل و 2012-2003 برای واسنجی و 20016-2013 برای اعتبارسنجی مورد استفاده قرار گرفتند.

معرفی مدل: IHACRES یک مدل یکپارچه مفهومی متریک برای شبیه‌سازی بارش-رواناب می‌باشد که توسط جیکمن در سال 1990 توسعه یافت این مدل به 5 تا 7 متغیر برای واسنجی نیاز دارد و برای اجرا در حوضه‌های بزرگ مناسب است. در این پژوهش از نسخه 2 این نرم‌افزار استفاده شده است که برای حوضه‌های دارای داده‌های بارش، دما و رواناب کاربرد دارد. این مدل شامل دو بخش به هم پیوسته غیرخطی و خطی است که به ترتیب برای محاسبه تلفات و تبدیل بارش مؤثر به رواناب تعریف شده است (شکل 2).

شکل (2) ساختار مدل IHACRES
Figure (2) IHACRES model structure

تبدیل بارش به بارش مؤثر (بخش غیرخطی): در این بخش، بارش مؤثر از حاصل ضرب بارش کل در شاخص رطوبت خاک حوضه در هر بازه‌ی زمانی محاسبه می‌شود.

$$u_k \quad c(\ _k \quad I)^{\ p}\ r_k \qquad (1)$$

که در آن C ضریب تعادل حجم بارش، I آستانه شاخص رطوبت خاک، p فاکتور واکنش غیرخطی و r_k بارش مشاهداتی می باشد. $_k$ شاخص رطوبت خاک است که با استفاده از رابطه‌ی (2) محاسبه می‌گردد.

$$_k \quad r_k \quad 1 \quad \frac{1}{_k} \quad _{k\ 1} \qquad (2)$$

که در آن $_k$ برابر شدت خشکی خاک و به عنوان تابعی از دما است که با استفاده از رابطه‌ی (3) محاسبه می‌شود.

(3)

$$_k \quad _w \exp(f\ (T_{ref} \quad T_k)*0.062)$$

که در آن $_k$ شدت خشکی مبنا، f تابع تعدیل دما (تأثیر تغییر یک واحد دما بر میزان تلفات)، T_{ref} دمای مرجع و T_k دما در بازه زمانی مورد نظر هستند. بعد از محاسبه‌ی بارش مؤثر، هیدروگراف واحد کل با استفاده از بخش خطی در مدل محاسبه می‌گردد.

تبدیل بارش مؤثر به رواناب (بخش خطی): بخش خطی دارای سه پارامتر $_s$ ،v ،$\omega_{\S}$ ،$_q$ می‌باشد. ترکیب دو مؤلفه جریان سریع x_k^q و جریان آهسته x_k^s منجر به تولید رواناب x_k می‌شود که با استفاده از روابط (4) تا (6) محاسبه می‌گردد. *که در آن $_q$ و $_q$ به ترتیب، ثابت زمانی جریان سریع و $_s$ و $_s$ به ترتیب ثابت زمانی جریان آهسته هستند.*

(4)

$$x_k \quad x_k^{(q)} \quad x_k^{(s)}$$

(5)

$$x_k^{(q)} \qquad _q x_{k\ 1}^{(q)} \quad _q u_k$$

(6)

$$x_k \qquad \varepsilon_s x_{k\ 1}^{(s)} \quad _s u_k$$

این ضرایب با استفاده از روابط (7) و (8) محاسبه می‌شوند.

(7)

$$_q \quad \overline{In(\quad _q)}$$

(8)

$$_s \quad \overline{In(\quad _s)}$$

واسنجی مدل: با بررسی نتایج حاصل و پس از انتخاب چند دوره‌ی متفاوت برای کالیبره، دوره‌های باقی مانده که شامل 10 سال هستند برای واسنجی مدل انتخاب شدند. فرآیند واسنجی مدل شامل تخمین پارامترهای است که حداقل تابع هدف را مشخص می‌نمایند. در واسنجی مدل مقادیر ثابت زمانی خشکی آبریز $_w$ و فاکتور تعدیل دما f در بخش غیرخطی مدل به صورت دستی توسط کاربر انتخاب می‌شوند. در این مرحله بهترین مدل بر اساس مقادیر معیارهای ارزیابی ضریب تعیین ساده و تبدیل شده (جذر، لگاریتم و معکوس) انتخاب می‌گردد.

ارزیابی و اعتبارسنجی مدل: در ارزیابی نتایج شبیه‌سازی جریان در مدل از معیارهای آماری مختلفی استفاده می‌شود که در روابط 10 تا 16 ارائه شده است. در رابطه‌ی 10، معیار ضریب تعیین بر اساس رابطه‌ی میان مجذور مربعات خطا و واریانس مقادیر مشاهداتی بیان می‌گردد. این معیار برای ارزیابی مقادیر خطا در دبی‌های بالا به کار می‌رود. سایر معیارها براساس معیار ضریب تعیین بنا نهاده شده است، با این تفاوت مقادیر شبیه سازی شده با مقادیر ریشه مربعات رابطه‌ی (11)، لگاریتم رابطه‌ی (12) و عکس مقادیر رابطه‌ی (13)، جایگزین شده اند و برای ارزیابی مقادیر خطا در جریان‌های کم مقادیر مناسب‌تر هستند. معیارهای خطای نسبی و مجذور میانگین مربعات خطا براساس روابط 14 و 15 محاسبه می‌شوند.

(10)

$$R_{sqrt} \quad 1 \quad \frac{\sum_{i\ 1}^{n}(Q_o \quad Q_m)^2}{\sum_{i\ 1}^{n}(Q_o \quad \overline{Q_o})^2}$$

(11)

$$R_{sqrt}^2 \quad 1 \quad \frac{(\sqrt{Q_o} \quad \sqrt{Q_m})^2}{(\sqrt{Q_o} \quad \sqrt{Q_o})^2}$$

(12)

$$R^2 \log 0\,10 \left| \frac{(In(Q_o . \quad) \quad In(Q_m . \quad))^2}{(In(Q_o \quad \eta) 0\, In(Q_m \quad \eta))^2} \right.$$

(13)

$$R^2_{Inv} \quad 1 \quad \frac{\sum_{i\ 1}^{n} \left(\frac{1}{Q_o .} \quad \frac{1}{Q_m .} \right)^2}{\sum_{i\ 1}^{n} \left(\frac{1}{Q_o} \quad \frac{1}{Q_m} \right)^2}$$

(14)

$$RE \quad \left| \frac{Y_o \quad Y_m}{Y_o} \right| * 100$$

(15)

$$RMSE \cong \sqrt{\frac{\frac{1}{n} \sum_{i\ 1}^{n} (Q_o \quad Q_m)^2}{n}}$$

(16)

$$C_E \cong \frac{\frac{1}{n} \sum_{i\ 1}^{n} (Q_o \quad Q_{\bar{o}})^2 \quad \frac{1}{n} \sum_{i\ 1}^{n} (Q_o \quad Q_m)^2}{\frac{1}{n} \sum_{i\ 1}^{n} (Q_o \quad Q_{\bar{o}})^2}$$

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی

در روابط مذکور Q_o داده های مشاهداتی، $\overline{Q_o}$ میانگین داده های مشاهداتی، Q_m داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل، η هم مقداری است که برای داده‌های صفر جریان مشاهداتی در نظر گرفته می‌شود و n تعداد مشاهدات می‌باشد. در معیار خطای نسبی، قدر مطلق اختلاف نسبی مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده به صورت درصد بیان می‌گردد. در هر دو معیار مذکور، مقادیر کمتر، نشان‌دهنده‌ی خطای کمتر مدل در بر آورد دبی جریان می‌باشد. در معیار ضریب کارایی رابطه‌ی (16)، هر چه مقدار عددی ضریب مذکور به عدد

1 نزدیک‌تر باشد، حاکی از توانایی بالاتر مدل در شبیه‌سازی خواهد بود. مقدار عددی ضریب تعیین بین منفی بی‌نهایت تا یک متغیر است و مقدار یک نشان دهنده‌ی تطابق کامل می-باشد. هر چه مقادیر سایر ضرایب به عدد یک نزدیک‌تر باشد تناسب بین داده‌های شبیه‌سازی شده و داده‌های مشاهداتی بیشتر خواهد بود.

3- بحث و نتایج

به منظور شبیه‌سازی جریان در مقیاس ماهانه ابتدا مدل IHACRES واسنجی گردید و در مراحل بعدی مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج حاصل از پارامترهای محاسبه شده مدل برای ایستگاه هیدرومتری مورد مطالعه در مرحله‌ی واسنجی ، با استفاده از روش سعی و خطا در دوره‌های مختلف صورت گرفت. (جدول 1) عملکرد مدل IHACRES را در دوره‌ی واسنجی و اعتبارسنجی نشان می‌دهد. براساس نتایج به دست آمده ضریب نش – ساتکلیف 0/71 و 0/74 به ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی بدست آمد. طبق نظر موریاسی و همکاران (2007)، آی‌ال و همکاران (2017) و کرمی و خطیبی (1398) اگر ضریب کارایی مدل نش – ساتکلیف در ارزیابی مدل بین 0/75– 0/65 باشد نتیجه شبیه‌سازی خوب است (جدول 2). این موضوع با نتایج زندی دره غریبی و همکاران (1396) و نظری پویا و همکاران (1394) مطابقت دارد. برای بررسی بهتر، رابطه‌ی بین دبی مشاهده‌ای و شبیه سازی شده از رگرسیونی خطی استفاده گردید (شکل 5 و 6).

جدول (1) مقادیر پارامترهای بدست آمده از فرآیند واسنجی مدل IHACRES

Table (1) The values of the parameters obtained from the calibration process of the IHACRES model

متغیر	عملیات	دوره‌ی آماری	R^2	ضریب نش	دبی مشاهده‌ای	دبی شبیه‌سازی	متوسط قدر مطلق خطا
ایستگاه کاسین	واسنجی	2012-2003	0/82	0/71	1/38	1/35	0/83
	اعتبارسنجی	2016-2013	0/84	0/74	1/2	1/16	0/68

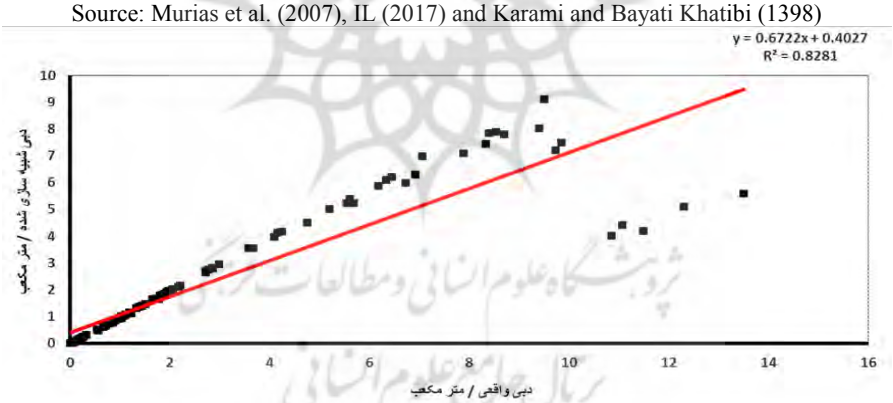
جدول (2) مقادیر و طبقات شاخص های R^2 و NS

Table (2) values and classes of R2 and NS indices

شاخص	مقادیر	طبقات
R2	0/5	ناکارآمد
	0/5 -0/6	رضایت‌بخش
	0/6 -0/7	خوب
	0/7 -1	خیلی خوب
NS	<0/4	ناکارآمد
	0/4 – 0/5	قابل قبول
	0/5 -0/65	رضایت‌بخش
	0/65 -0/75	خوب
	0/75 -1	خیلی خوب

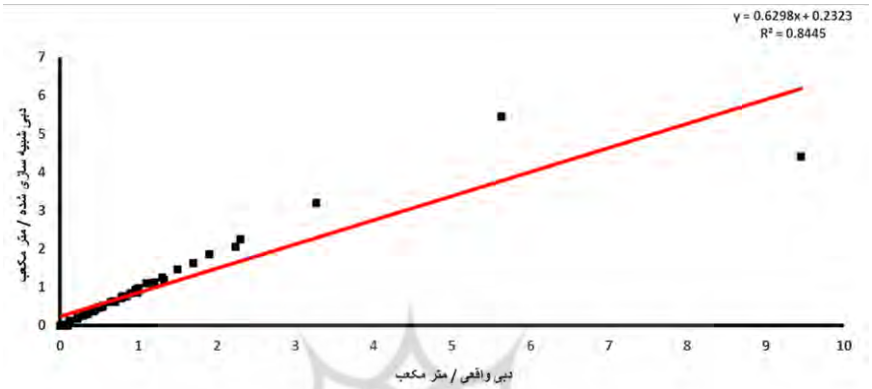
منبع: موریاسی و همکاران (2007)، آی ال (2017) و کرمی و بیاتی خطیبی (1398)

Source: Murias et al. (2007), IL (2017) and Karami and Bayati Khatibi (1398)



شکل (5) نمودار رابطه‌ی رگرسیون خطی بین دبی واقعی و شبیه‌سازی شده در مرحله‌ی واسنجی

Figure (5) graphs the linear regression relationship between the actual and simulated discharge in the calibration step.

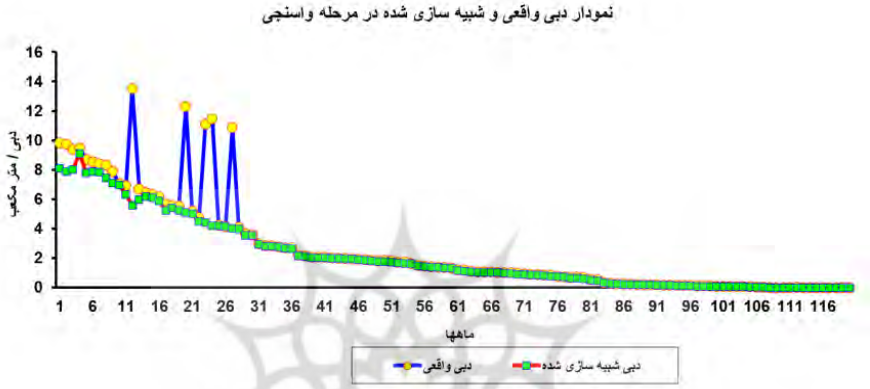


شکل (6) نمودار رابطه‌ی رگرسیون خطی بین دبی واقعی و شبیه‌سازی شده در مرحله‌ی اعتبارسنجی

Figure 6 shows the linear regression relationship between the actual and simulated discharge in the validation phase

هم‌چنین جهت مقایسه‌ی گرافیگی، مقادیر دبی مشاهداتی و شبیه‌سازی در مقیاس ماهانه در دوره‌ی پایه برای ایستگاه کاسین ترسیم گردید. با توجه به (شکل 7 و 8) می‌توان بیان کرد که مدل دبی‌های کمتر از 8 مترمکعب بر ثانیه را در این حوضه به خوبی شبیه سازی می کند اما در شبیه‌سازی دبی‌های بیشتر از 8 مترمکعب بر ثانیه توانایی کمی دارد و و هرچه مقدار دبی بیشتر می‌شود مقادیر را کمتر از دبی مشاهده‌ای شبیه‌سازی می‌کند به عبارتی دوره‌های سیلابی را کمتر از مقدار واقعی شبیه‌سازی می‌کند که یکی از دلایل آن شاید نبود آمار ایستگاه‌های متعدد دما، بارش و دبی در داخل حوضه‌ی مورد مطالعه باشد. نتایج به دست آمده با یافته‌های زارعی و همکاران (1390)، دی و کروک (2003) مبنی بر توانایی کم مدل در شبیه‌سازی دبی حداکثر هم‌خوانی دارد ولی با نتایج رحیمی فر و همکاران (1393) سازگاری نداشت. از آنجا که این مدل بیشتر برای مناطق خشک و نیمه‌خشک پیشنهاد شده است بنابراین برآورد میزان دبی ماهانه در این حوضه ارزیابی شد که در مجموع با توجه به نتایج بدست آمده می‌توان گفت که توانایی مدل در حوضه مطالعه شده برای دوره‌های کم آبی رضایتبخش است ولی برای دوره‌های پر باران و سیلابی کارایی ندارد. برای رسیدن به نتیجه مطلوب جهت پیش بینی جریان رودخانه بهتر است در صورت وجود از

داده های ایستگاه‌های متعدد و دبی روزانه به جای دبی ماهانه استفاده گردد تا کارایی مدل بهتر مشخص گردد.



شکل (7) نمودار دبی واقعی و شبیه‌سازی شده در مرحله‌ی واسنجی

Figure (7) is a real and simulated flow diagram in the calibration step

شکل (8) نمودار دبی واقعی و شبیه‌سازی شده در مرحله‌ی اعتبارسنجی

Figure (8) is a real and simulated discharge diagram in the validation stage

4- نتیجه‌گیری

با توجه به تنوع مدل‌های بارش – رواناب، انتخاب یک مدل مناسب برای حوضه‌های آبریز جهت افزایش بهره‌وری برنامه‌ریزی‌ها و مدیریت منابع آبی مهم است بدین منظور در این مطالعه به ارزیابی عملکرد مدل IHACRES در شبیه‌سازی رواناب در حوضه‌ی آبریز لنبران پرداخته شد. با توجه به نتایج حاصل از واسنجی و اعتبار سنجی، مدل در شبیه‌سازی رواناب براساس معیارهای عملکردی مختلف، مشخص گردید که مدل در شبیه‌سازی رواناب‌های کمتر از 8 مترمکعب بر ثانیه در ایستگاه مورد بررسی از دقت قابل قبول و مناسبی برخوردار است و مقادیر جریان ماهانه را بخوبی شبیه‌سازی می‌کند ولی در دبی‌های بیشتر از این مقدار و دوره‌های سیلابی کارایی خوبی در این حوضه ندارد. برای مشخص شدن کارایی بهتر مدل، پیشنهاد می‌شود اولاً از آمار ایستگاه‌های دبی‌سنجی متعدد و دبی روزانه به جای دبی ماهانه، در صورت وجود در یک حوضه استفاده شود تا نتایج آنها با هم مقایسه شوند. ثانیاً برای رسیدن به نتایج مطلوب این مدل به صورت مقایسه‌ای با سایر مدل‌های شبیه‌سازی در این حوضه و حوضه‌های همجوار استفاده گردد.

5- منابع

-Reference

Abdollahi Pur, A., Moazami Goodarzi, S., & Zakir Niri, M. (2015). Evaluation of Satellite Rainfall Algorithms in Simulation of Daily Sarogh Chi Flow Using IHACRES Model: *The Journal of water engineering*. 8, 59-71.

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

Amiri, A., & Rod Bari mousavi, M. (2016). Evaluation of IHACRES Hydrological Model in Simulation of Daily Discharge (Case Study: Paul and Shall Man Rivers): *The Journal of Eco hydrology*. 3(4), 533-543.

Ayele, G.T., Teshale, E.Z., Yu, B., Rutherfurd, I.D., Jeong, J. (2017). Streamflow and Sediment Yield Prediction for Watershed Prioritization in the Upper Blue Nile River Basin. *Ethiopia: Water*, 9(782), 1-29.

Beven, K.J. (2001). Rainfall-runoff modelling: The Primer, John Wiley and Sons Press, 360.

Booij, M.J. (2002). *Appropriate modeling of climate change impacts of river flooding*: Ph.D. Thesis, University Twente, Netherlands, 179.

Carcano, E.C., P. Bartolini, M. Muselli and L. Piroddi. (2008). Jordan Recurrent Neural Network Versus IHACRES in modeling daily stream flows: *Hydrology*, 362, 291-307.

Carlile, P.W., Croke, B.F.W., Jakeman, A.J. and Lees, B.G. (2004). Development of a semi distributed catchment hydrology model for simulation of land-use change streamflow and groundwater recharge within the Little river catchment: *NSW, In I.C. Roach (ed.). Regolith, CRC* LEME, 51, 54–56.

Croke, B.F.W. and A.J. Jakeman. (2008). Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi-arid regions: In: H.S. wheatear, S. Sorooshian and K.D. Sharma, (eds.) Hydrological Modelling in Arid and Semi-Arid Areas. *Cambridge University Press*. Cambridge, 41-48.

Croke, B.F.W., Andrews, F., Kasetsart, S., Cuddy, J. and Luddy, A. (2005). Redesign of the IHACRES rainfall-runoff model: In 29th Hydrology and Water Resources Symposium, 21–23 Febuary, Canberra, 333-339.

Dodangeh, E., Shahdi, K., Solimani, K. (2018). Application of Coppola theory to evaluate the performance of IHACRES hydrological model (Case study: Taleghan Watershed): *The Journal of Physics of Earth and Space*, 44(1), 71-88.

Dye, P.J. & Crok, B.F.W., (2003). Evaluation of Streamflow predictions by the IHACRES rainfall-runoff: *Environmental Modelling & Software*, 18, 705–712.

Ghorbani, KH., Sohrabiyan, E., Salary Jazi, M., & Abdul Hosseini, M. (2016). Forecasting the Impact of Climate Change on the Monthly River Flow Process Using IHACRES Hydrological Model (Case Study: Galichesh Watershed): *The Journal of Conservation of soil and water resources*, 5(4), 20-33.

Godarzie, M., Motamed Vasari, B., & Mir Hosseini, M. (2017). Evaluation of Application of IHACRES Model for Simulation of Surface Runoff under

Climate Change (Case Study: Can Watershed): *The Journal of Watershed Management Science and Engineering of Iran*, 11(38), 83-94.

Godarzie, M., Salahi, B., & Hosseini, A. (2018). Evaluation of IHACRES Model in Simulation of River Flow in Lake Urmia Watershed: *The Journal of Watershed Management Science and Engineering of Iran*. 12(43), 1-10.

Golshan, M., Ismaili, A., Afzali, A., & Jahanshahi, A. (2017). Comparison of IHACRES and HEC-HMS Hydrological Models for Flood Hydrograph Simulation: *The Journal of Iranian Natural Resources*, 4(70), 965-967.

Jahan Bakhsh Asl, S., Rezaieh Banafsheh, M., Rustam Zadeh, H., & Ally Nagad, M. (2018). Continuous Rainfall-Runoff Simulation of Urmia River Watershed Using HEC-HMS Model: *The Journal of Eco hydrology*, 16, 101-118.

Karami, F., & Bayati Khatibi, M. (2019). Modeling soil erosion and sediment yield prioritization in Satar Khan Watershed using MUSLE and SWAT models: *The Journal of Hydro geomorphology*. 15(18), 115-137.

Khirfam, H., Mustafa Zadeh, R., & Sadeghi, H. (2013). Daily discharge estimation using IHACRES model in some watersheds of Golestan province: *The Journal of Watershed Management*, 4(7), 114-126.

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

Lotfi Rad, M., Adib, A., & Hagigy, A. (2018). Estimation of daily runoff using IHACRES semi-conceptual model in Guilan Navrud Watershed: *The Journal of Eco hydrology*, 5(2), 449-460.

Macintyre, N. and A. Al-Qurashi. (2009). Performance of ten rainfall-runoff models applied to an arid catchment in Oman. *Environmental Modelling and Software*: 24, 726-738.

Manishdawi, A., Nikbakht Shahbazi, A., & Fathiyan, H. (2018). Continuous Simulation of Rainfall Process - Runoff Using SMA Loss Model in Aboul Abbas Watershed Using HEC-HMS Model: *The Journal of Iranian Soil and Water Research*, 49(2), 317-327.

Moradi, M., Din pajooh, Y., & Azizi, S. (2018). Comparison of Three Different Methods of Estimating Rainfall Loss in HEC-HMS Model in Runoff Simulation (Case Study: Ghare Sou Watershed in Kermanshah): *The Journal of Eco hydrology*, 5(2), 433-447.

Moriasi, D.N.; Arnold, J.G.; Van Liew, M.W.; Bingner, R.L.; Harmel, R.D.; Veith, T.L. (2007). Model evaluation guidelines for systematic quantification of accuracy in watershed simulations: ASABE, 50, 885–900.

Nazari poya, H., Kurdawni, P., & Faraji Rad, A. (2015). Calibration and Performance Evaluation of IHACRES and SWAT Hydrology Models in Runoff Simulation: *The Journal of Spatial analysis of environmental hazards*, 2(2), 99-112.

Rahimi Far, H., He sari, H., Omidi, N., & Asadi, A. (2014). Precipitation simulation-Runoff Rwansar Watershed using IHACRES software: *National Conference on Water*, Man and Land, Isfahan,1-12.

Razaghiyan, H., Shahdi, K., & Habib Najhad Roshan, M. (2016). Assessing the Impact of Climate Change on Runoff of Babel rood Watershed Using IHACRES Model: *The Journal of Irrigation and Water Engineering*. 7(26), 161-172.

Schreider, S, Yu, and A.J. Jakeman, (2001). Streamflow modelling on a Sub-daily time step in the Upper Murray basin: *Mathematical and Computer Modelling*, 33, 659-663.

Sriwongsitanon, N. and Taesombat, W. (2011). Estimation of the IHACRES model parameters for Flood Estimation of Ungauged catchments in the upper ping river basin: *Journal Kastsart (natural science),* 45, 917-931.

Talibi, A., Eslami, Z., & Abaci, A. (2019). Comparison of flood sub basin prioritization using HEC-HMS model and experimental methods in Eskandari Watershed: *The Journal of Watershed Management Science and Engineering of Iran*, 11(2), 336-343.

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

Yang, T.H., Ho, J.Y., Hwang, G.D. and Lin, G.F. (2014). An indirect approach for discharge estimation: a combination among micro-genetic algorithm,

hydraulic model, and in situ measurement: Flow Measurement and Instrumentation, 39, 46-53.

Ye, W., A.J. Jakeman and P.C. Young. (1998). Identification of improved rainfallrunoff models for an ephemeral low-yielding Australian catchment: *Environmental Modelling and Software*. 13, 59-74.

Zandi Dreh Gharibi, F., Khorsandi Kohestani, Z., Mazin, M., & Arman, N. (2017). Comparison of the Performance of Two Hydrological Models IHACRES and GR2M in Simulation of Monthly Flow of Dareh Takht Watershed: *The Journal of Irrigation Science and Engineering*, 40(2), 147-158.

Zarei, M., Ghanbarpour, M., Habib Najhad Roshan, M., & Shahdi, K. (2009). River Flow Simulation Using IHACRES Rainfall-Runoff Model Case Study: (Kasilian Watershed): *The Journal of Watershed Management Science and Engineering of Iran*. 3(8), 11-20.

Zarei, M., Habib Najhad Roshan, M., Shahdi, K., & Ghanbarpour, M. (2011). Calibration and Evaluation of IHACRES Hydrological Model to Simulate Daily Flow: *The Journal of water and soil*, 1(25), 101-114.

پژوهشگاه علوم انسانی و مطالعات فرهنگی
پرتال جامع علوم انسانی