بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر بارش و رواناب با استفاده از مدل‌های IHACRES (مطالعه موردی : رودخانه بشار)

حمیدرضا پناهی[۱]، حسین منتصری[۲*]، علی‌اکبر حکمت زاده[۳]، رضا خلیلی[۱]

۱ –کارشناس ارشد، مهندسی عمران گرایش مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه یاسوج

۲*– استادیار گروه مهندسی عمران،مهندسی و مدیریت منابع آب، دانشگاه یاسوج

۳ – دانشیار گروه مهندسی آب و سازه های هیدرولیکی، دانشکده مهندسی عمران و محیط زیست دانشگاه صنعتی شیراز

* ایمیل نویسنده مسئول: hmontaseri@yu.ac.ir

تاریخ دریافت : ۱۴۰۱/۰۵/۰۴ تاریخ پذیرش : ۱۴۰۱/۰۷/۱۸

چکیده

به علت محدودیت‌های مکانی و زمانی، اندازه‌گیری دبی رودخانه‌ها این کار با مشکلاتی روبه‌رو خواهد بود که در سال های اخیر محققین جهت بررسی و برآورد دبی رودخانه‌ها روی به طراحی مدل‌های هیدرولوژیکی آورده‌اند. وجود ابزاری برای برآورد دبی، می‌تواند به مدیریت هرچه بهتر آب‌های سطحی و استفاده بهینه از آن منجر گردد. علاوه بر این موارد، تغییر اقلیم، تغییرات کیفیت آب و مطالعات اکولوژی می‌توانند با استفاده از مدل‌های هیدرولوژی برآورد رواناب مورد ارزیابی قرار گیرند.یکی ازمدل های بررسی بارش–رواناب مدلIHACRES می باشد. مدل IHACRES همواره به دلیل احتیاج به داده‌های کم و قدرت بالا در برآورد روزانه موردتوجه قرار گرفته است. مدل بارش–رواناب IHACRES که داده‌های سری زمانی ماهانه دبی، بارش و دما را به‌عنوان ورودی مدل دریافت می کند و میزان تغییرات دبی رودخانه پیش‌بینی می‌شود. در بخش پیش‌بینی میزان تغییرات دبی و رواناب در آینده با استفاده از نرم‌افزار شبیه‌ساز بارش و رواناب IHACRES نتایج نشان می‌دهد که این مدل توانایی بالا در برآورد دبی برای حوضه‌هایی با دبی پایین دارد و برای دبی‌های زیاد کمتر مناسب است. نکته اصلی و ضروری در این مطالعه این است که عامل اصلی تأثیرگذار بر کاهش منابع آبی در دوره‌های آتی، افزایش درجه حرارت دما و درنتیجه آن افزایش میزان تبخیر و تعرق در حوضه رودخانه و عدم مدیریت مناسب منابع آبی می‌باشد.

کلمات کلیدی

" تغییر اقلیم "، " بارش و رواناب "، " مدل‌های IHACRES "، " رودخانه بشار "

۱- مقدمه

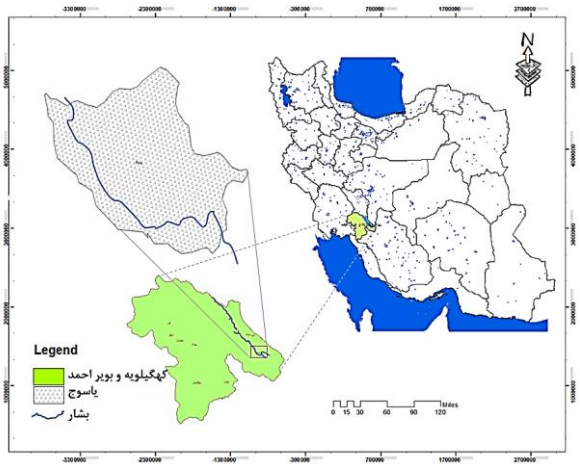
مدیریت موفق منابع آب مستلزم تحلیل کیفی اثرات تغییرات آب و هوا و شیوه های کاربری زمین بر جریان و کیفیت آب است (Tolcha and Waltner 2016). در حالی که دانش تخصصی می‌تواند نشانه‌هایی از چنین تأثیراتی ارائه دهد، تجزیه و تحلیل دقیق نیازمند استفاده از مدل‌های ریاضی برای جداسازی پویا تعادل آب (در مقیاس زمانی که فرآیندهای مهم در آن هستند) دارد (khalili et al. 2021). این شامل جداسازی نزولات جوی به تلفات ناشی از تبخیر و تعرق، رواناب به نهرها، تغذیه مجدد به سیستم های آب زیرزمینی و تغییرات در ذخیره سازی های کوتاه مدت حوضه است (Croke and Jakeman 2008). برخی از فرآیندهایی که باید در نظر گرفته شوند عبارتند از: تبخیر و تعرق و بازخورد به جو. پویایی پوشش گیاهی؛ سطح آب های زیرزمینی و تأثیر ناشی از آن بر غرقابی و شور شدن خاک؛ قابلیت اطمینان ظرفیت ذخیره سازی مخزن؛ دینامیک تالاب؛ رواناب شهری سیل؛ فرسایش در اراضی زراعی و مرتعی و همچنین فرسایش کانال و رسوب گذاری و عملکردهای اکوسیستم آبی.مناطق خشک و نیمه خشک معمولاً تحت تأثیر رویدادهای بارندگی شدید با درجه بالایی از تنوع مکانی قرار دارند. این معمولاً منجر به نمایه واکنش سریع می‌شود و در مناطقی که پوشش راداری آب‌وهوا وجود ندارد، چگالی ضعیف باران‌سنج مانع از برآورد دقیق عمق بارش و توزیع مکانی برای یک رویداد خاص می‌شود(Fauzi et al. 2019). بعلاوه، اگر فقط داده‌های بارندگی روزانه در دسترس باشد، کالیبراسیون مدل بارش–رواناب در یک گام روزانه به این معنی است که بیشتر اطلاعات موجود در هیدروگراف استفاده نمی‌شود (توجه داشته باشید که رواناب در اینجا به معنای جریان کل جریان است، نه فقط رواناب سطحی)(Xiang et al. 2022). یکی دیگر از ملاحظات مهم برای کالیبراسیون مدل ها برای حوضه های آبریز در مناطق خشک و نیمه خشک فراوانی رویدادها است (Mohammadi et al. 2021). چنین حوضه هایی نسبت به حوضه های آبریز در آب و هوای مرطوب تر، جریان جریان کمتری دارند. این بدان معنی است که دوره های کالیبراسیون طولانی تری برای کاهش عدم قطعیت در پارامترهای مدل مورد نیاز است. در غیر این صورت، مقادیر پارامتر با کاهش قابل توجهی در عملکرد در شبیه سازی در مقایسه با کالیبراسیون، تمایل بیشتری به خطاهای موجود در داده ها دارد(Carcano et al. 2008).مدل هیدرولوژیکی IHACRES برای برآورد میزان تغییرات دبی و رواناب معرفی می‌گردد. هدف آن کمک به مهندسین منابع آب برای توصیف رابطه بین رواناب و بارش حوضه آبخیز است. کاربردهای مدل به‌صورت زیر می‌باشد:۱–مدل-سازی وقوع رواناب۲– استخراج شاخص جریان آرام (عدد رینولدز)۳–مطالعات رژیم هیدرولوژیکی و تغییرات محیطی۴– بررسی روابط بین خصوصیات پاسخ دینامیکی۵– کنترل یا اطمینان از کیفیت داده‌های هیدرومتری۶– تئوری هیدرو گراف واحد و کاربردهای آن نام برد.مطالعاتی متعددی در زمینه مدل‌سازی بارش–رواناب رواناب با استفاده از مدل‌های IHACRES انجام \ذیرفت که به چند مورد

ازین مطالعات اشاره شد(Ghanim et al. 2022). (گودرزی و همکاران ۱۳۹۰) به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت رواناب حوضه‌های مناطق خشک و به‌طور موردی حوضه رودخانه اعظم هرات پرداخته‌اند. در این تحقیق از روش ریزگردانی تناسبی خروجی‌های مدل CGCM3-AR4 تحت سناریوی انتشار A2 و مدل بارش–رواناب مفهومی IHACRES استفاده‌شده است. نتیجه تحقیق نشان از افزایش دما در همه ماه‌ها و افزایش میزان رواناب در اکثر ماه‌ها در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی دارد. (Parracho, and Rocha 2016) برای منطقه پنسیلوانیا با استفاده از مدل‌های AOGCM و RCM و سناریوی انتشار A1B، سناریوهای بارش را در دروه آتی ۲۰۲۱–۲۰۵۰ و ۲۰۶۹–۲۰۹۸ تعیین کردند و گفتند که بارش منطقه مطالعه شده کاهش خواهد یافت. (Almazroui et al. 2016) با استفاده از نوعی مدل GCM (مدل CMIP3) تحت سه سناریوی انتشار A2 و A1B و B1 پیش‌بینی کردند که تا پایان قرن جاری، مناطق شمالی شبه جزیره عربستان نسبت به مناطق جنوبی افزایش دمای بیش‌تری را شاهد خواهند بود. همچنین مشخص شد که بارش در مناطق شمالی و جنوبی عربستان حدود ۱/۵ درصد برای هر دهه به‌ترتیب کاهش و افزایش خواهد یافت. (Ghorbani et al. 2016) پیش‌بینی اثر تغییر اقلیم بر روند ماهانه دبی با استفاده از مدل هیدرولوژیکی IHACRES (مطالعه موردی: حوضه گالیش) انجام داده‌اند. آن‌ها از مدل گردش عمومی جو HadCM3 و مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG برای این مطالعه استفاده کرده‌اند. نتایج پژوهش آن‌ها نشان داد تحت شرایط سناریوهای مختلف دما در ماه‌های مختلف افزایش و بارش سالانه کاهش می‌یابد.

۲- روش انجام تحقیق

• محدوده مورد مطالعه

حوضه موردمطالعه، حوضه رودخانه بشار واقع در محدوده جغرافیایی ۵۱° تا ۵۲° طول شرقی و ۳۰° تا ۳۱° عرض شمالی در جنوب غربی ایران است. مساحت حوضه ۲۸۰۰ کیلومترمربع و ارتفاع متوسط آن ۲۲۷۷ متر از سطح دریاست.



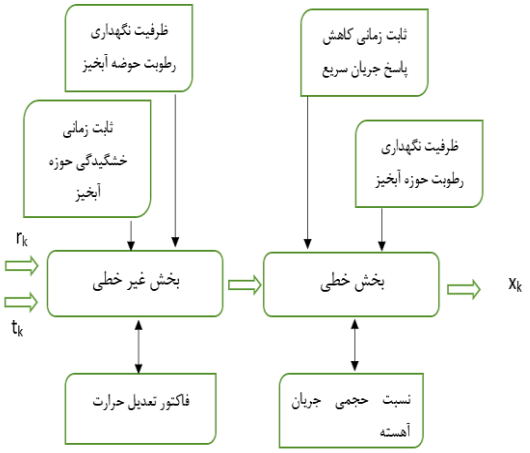
شکل ۱ : حوضه رودخانه بشار

• معرفی مدل هیدرولوژیکی IHACRES

یک مدل یکپارچه مفهومی متریک برای شبیه‌سازی بارش – رواناب می‌باشد که توسط جیکمن در سال ۱۹۹۰ توسعه یافت. مدل IHACRES همواره به دلیل احتیاج به داده‌های کم‌تر و قدرت بالا در برآورد روزانه موردتوجه بوده است (Javeed and Apoorva 2015). به علت محدودیت‌های فیزیکی و زمانی، اندازه‌گیری دبی رودخانه‌ها با مشکلاتی روبه‌رو است، محققین برای بررسی و برآورد دبی رودخانه‌ها روی به طراحی مدل‌های هیدرولوژیکی آورده‌اند(Abushandi and Merkel 2011). وجود ابزاری برای برآورد دبی، می‌تواند به مدیریت هرچه بهتر آب‌های سطحی و استفاده بهینه از آن منجر گردد. علاوه بر این‌ها، تغییر اقلیم، تغییرات کیفیت آب و تحقیقات اکولوژی می‌توانند با استفاده از مدل‌های هیدرولوژی برآورد رواناب مورد ارزیابی قرار گیرند. روابط هیدرولوژیکی بین بارش و رواناب همواره توسط محققین آب موردبررسی و آزمایش بوده است. مدل IHACRES همواره به دلیل احتیاج به داده‌های کم و قدرت بالا در برآورد روزانه موردتوجه بوده است. این مدل توسط کارنکو[1] و همکاران (۲۰۰۸) برای اهدافی مانند ارزیابی متغیرهای اقلیمی مانند تغییرات بارش، دما و نیز تغییرات ضریب رواناب مورداستفاده قرارگرفته است. با توجه به کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه‌های کوچک یا بالادست، توسعه آزمون‌های که بتواند آبدهی جریان را در مقیاس زمانی روزانه و در مکان دلخواه برآورد نماید از موارد ضروری است که به بهبود اطلاعات موردنیاز برای اهداف مدیریتی مرتبط با منابع آب منجر می‌گردد(Khalili, Montaseri, and Motaghi 2021).

این مدل به پنج تا هفت متغیر برای واسنجی نیاز دارد و برای اجرا در حوضه‌های بزرگ مناسب است. این مدل طبق شکل – شامل دو بخش به هم پیوسته غیرخطی و خطی است که به ترتیب برای محاسبه تلفات و تبدیل بارش مؤثر به رواناب تعریف‌شده است. دو بخش مدل IHACRES عبارتند از:

الف– یک بخش که بارش را در پایه زمانی K (r_k) به بارش مؤثر (u_k) و بارش مازاد که سرانجام به‌وسیله تبخیر از بین می‌رود (با فرض نفوذناپذیر بودن حوضه آبخیز) تبدیل می‌کند. این بخش تحت عنوان بخش تلفات نامیده می‌شود.



شکل ۲:ساختار مدل IHACRES

[1] Karenko

ب- یک تابع تبدیل خطی (یا هیدرو گراف واحد) که بارش مؤثر را به جریان مدل‌سازی شده (x_k) تبدیل می‌کند.

به‌منظور تبدیل بارش به بارندگی مؤثر در رابطه (۱) از ضریب رطوبتی حرارتی[1] که با S_k نشان داده می‌شود، استفاده می‌گردد.

$$U_k = S_k.r_k \quad , (0 < S_k < 1) \qquad (۱)$$

از طرفی دیگر ضریب رطوبتی حوضه تابعی از تبخیر و تعرق در حوضه بوده که با روابط زیر بیان می‌شود.

$$S_k = C.r_k + (1 - \frac{1}{\tau\omega(t_K)}).s_{k-1} \quad , \quad S_0 = 0 \qquad (۲)$$

$$\tau\omega(t_k) = \tau\omega.e^{0.062f\,(R - t_k)} \quad , \quad \tau\omega(t_k) > 1 \qquad (۳)$$

در رابطه (۱)، $\tau\omega(t_k)$ مقدار شاخص S_k را در رابطه (۳) هنگامی که بارش رخ نمی‌دهد کنترل می‌کند که در آن R برابر دمای مرجع، $\tau\omega$ ثابت زمانی خشک شدن حوضه و f فاکتور تعدیل دما، و t_k زمان مرجع است. در رابطه (۲) پارامتر C به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که حجم بارندگی مؤثر و رواناب مشاهداتی در دوره واسنجی یکسان گردد. برای تبدیل بارش مؤثر به رواناب (بخش خطی) که دارای سه پارامتر v_s، τ_s و τ_q می‌باشد، از ترکیب دو مؤلفه جریان سریع $x_k^{(q)}$ و جریان آهسته $x_k^{(s)}$ منجر به تولید رواناب x_k می‌شود از روابط (۴) تا (۶) محاسبه می‌شود. که در آن، α_q و β_q به ترتیب، ثابت زمانی جریان سریع و α_s و β_s به ترتیب ثابت زمانی جریان آهسته می‌باشد که از روابط (۷) و (۸) محاسبه می‌شوند.

$$X_k = x_k^{(q)} + x_k^{(s)} \qquad (۴)$$

$$X_k^{(q)} = -\alpha_q\, x_{k-1}^{(q)} + \beta_q \qquad (۵)$$

$$X_k^{(s)} = -\alpha_s\, x_{k-1}^{(s)} + \beta_s\, u_k \qquad (۶)$$

$$T_q = \frac{-\Delta}{ln(-\alpha_q)} \qquad (۷)$$

$$T_s = \frac{-\Delta}{ln(-\alpha_s)} \qquad (۸)$$

داده‌های موردنیاز مدل IHACRES شامل داده‌های مربوط به بارش و دما و رواناب مشاهده‌ای می‌باشد. سری زمانی بارندگی و درجه حرارت به‌عنوان ورودی‌های مدل و برای شبیه‌سازی جریان مورداستفاده قرار می‌گیرند. ولی داده‌های دبی رواناب مشاهده‌ای برای واسنجی مدل و بررسی دقت نتایج به دست آمده از شبیه‌سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد(Ehteram et al. 2022). در مرحله اول مدل مورد واسنجی قرار می‌گیرد. هدف از واسنجی مدل حداقل کردن تفاوت بین خروجی‌های شبیه‌سازی‌شده و مشاهداتی است. در فرآیند واسنجی مقادیر پارامترهای مدل تعیین و بهینه‌سازی می‌شوند. البته تعیین دقیق داده‌های ورودی مدل منجر به کاهش خطای مدل و در نتیجه نیاز کم‌تر به واسنجی می‌باشد(Shin and Jung 2022). دو سال آماری به‌عنوان دوره واسنجی و یک سال آماری به‌عنوان دوره اعتبار سنجی در نظر گرفته می‌شود. با توجه به حساسیت بیش‌تر مدل به دو پارامتر $\tau\omega$ و f، واسنجی مدل بر اساس این دو پارامتر انجام می‌شود. در ارزیابی و اعتبار سنجی نتایج شبیه‌سازی پیوسته جریان در مدل از معیارهای آماری مختلف استفاده می‌شود که در روابط **9** تا **12** ارائه شده است. در رابطه۹، معیار ضریب تعیین بر اساس رابطه میان مجذور مربعات خطا و واریانس مقادیر مشاهداتی بیان می‌گردد. این معیار برای ارزیابی مقادیر خطا در دبی‌های بالا به کار می‌رود. سایر معیارها بر اساس معیار ضریب تعیین بنا نهاده شده‌اند، با این تفاوت که مقادیر شبیه‌سازی‌شده با مقادیر ریشه مربعات (رابطه ۱۰)، لگاریتم (رابطه ۱۱) و عکس مقادیر (رابطه ۱۲)، جایگزین شده‌اند و برای ارزیابی مقادیر خطا در جریان‌های کم مقادیر مناسب‌تر هستند. مقدار عددی ضریب تعیین بین صفر تا یک متغیر است و مقدار یک نشان‌دهنده تطابق کامل می‌باشد. هر چه مقادیر سایر ضرایب به عدد یک نزدیک‌تر باشد، تناسب بین داده‌های شبیه‌سازی‌شده و داده‌های مشاهداتی بیشتر خواهد بود. در این روابط Q_O دبی مشاهداتی، Q_M دبی شبیه‌سازی‌شده و $\bar{Q_O}$ میانگین دبی‌های مشاهداتی می‌باشد. ε صدک ۹۰ از جریانهای غیر صفر مشاهده شده است(Bozorg-Haddad et al. 2022) .

$$\text{R Squared} \quad 1 - \frac{\sum (Q_O - Q_M)^2}{\sum (Q_O - \bar{Q_O})^2} \qquad (۹)$$

$$R^2_sqrt = \quad 1 - \frac{\sum (\sqrt{Q_O} - \sqrt{Q_M})^2}{\sum (\sqrt{Q_O} - \overline{\sqrt{Q_O}})^2} \qquad (۱۰)$$

$$R^2_log = \quad 1 - \frac{\sum (\ln(Q_O + \varepsilon) - \ln(Q_M + \varepsilon))^2}{\sum (\ln(Q_O + \varepsilon) - \overline{\ln(Q_O + \varepsilon)})^2}$$

$$R^2_inv = \quad 1 - \frac{\sum \left(\frac{1}{Q_O + \varepsilon} - \frac{1}{Q_M + \varepsilon}\right)^2}{\sum \left(\frac{1}{Q_O + \varepsilon} - \overline{\frac{1}{Q_O - \varepsilon}}\right)^2}$$

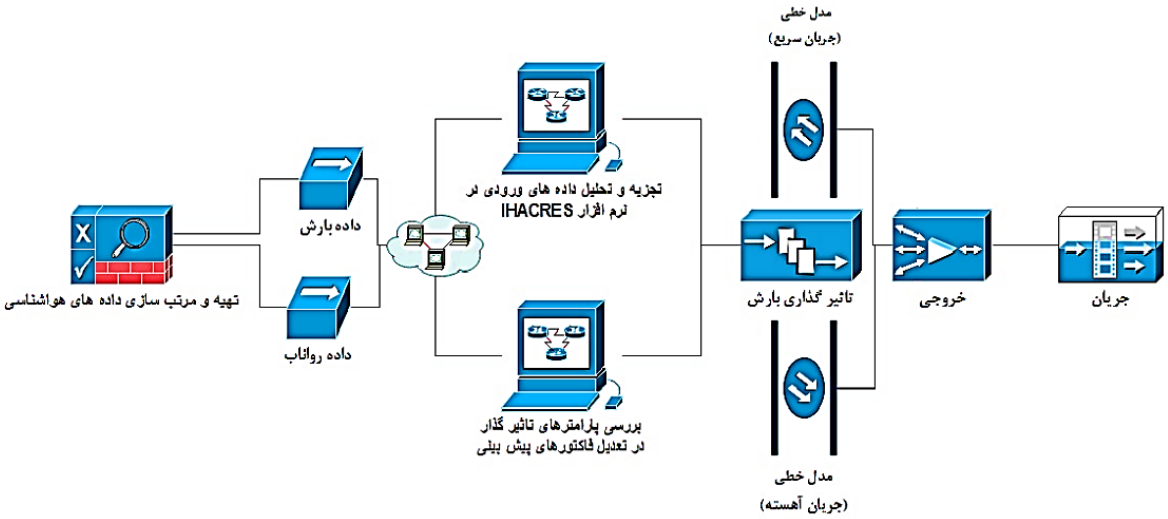
- **شبیه‌سازی بارش-رواناب**

در این تحقیق از مدل IHCRAES برای شبیه‌سازی بارش-رواناب استفاده می‌شود. به‌علت محدودیت‌های فیزیکی و زمانی، اندازه‌گیری دبی رودخانه‌ها با مشکلاتی روبه‌رو است، محققین برای بررسی و برآورد دبی رودخانه‌ها روی به طراحی مدل‌های هیدرولوژیکی آورده‌اند (Xiang et al. 2022). با توجه به کمبود ایستگاه‌های هیدرومتری در حوضه‌های کوچک یا بالادست، توسعه آزمون‌های که بتواند آبدهی جریان را در مقیاس زمانی روزانه و در مکان دلخواه برآورد نماید از مواردضروری است که به بهبود اطلاعات موردنیاز برای اهداف مدیریتی مرتبط با منابع آب منجر می‌گردد. جهت ارزیابی کار آیی مدل پارامترهای ضریب تعیین مدل[2](D)، ضریب ناش-ساتکلیف[3]، میانگین خطای نسبی پارامتر[4](ARPE) و خطای کل در حجم جریان[1] (Bias)

1 Catchment Wetness Index

[2] Coefficient of determinatation
[3] Nash- Sutcliffe coefficient
[4] Average relative parameter error

که توسط خود مدل محاسبه می‌شود و مورداستفاده قرار می‌گیرد. هرچه مقدار D بیش‌تر و مقادیر پارامتر ARPE کم‌تر باشد نتایج مدل ایده‌آل‌تر می‌باشد. مقادیر پارامتر Bias هم نشان‌دهنده بیش‌تر یا کم‌تر بودن جریان شبیه‌سازی‌شده نسبت به جریان مشاهداتی است و به‌عبارتی مشخص می‌کند که مدل جریان را بیش‌تر از واقعیت یا کم‌تر از واقعیت شبیه‌سازی می‌کند. پس از اعتبارسنجی مدل IHACRES و اطمینان از کار آیی آن، نتایج ریزمقیاس نمایی به آن واردشده و رواناب دهه آتی پیش‌بینی و مورد ارزیابی قرارگرفته می‌شود. در شکل – الگوی مدل IHACRES و چگونگی شبیه‌سازی بارش و رواناب را مشاهده می‌کنیم (B. Mohammadi, Safari, and Vazifehkhah 2022).



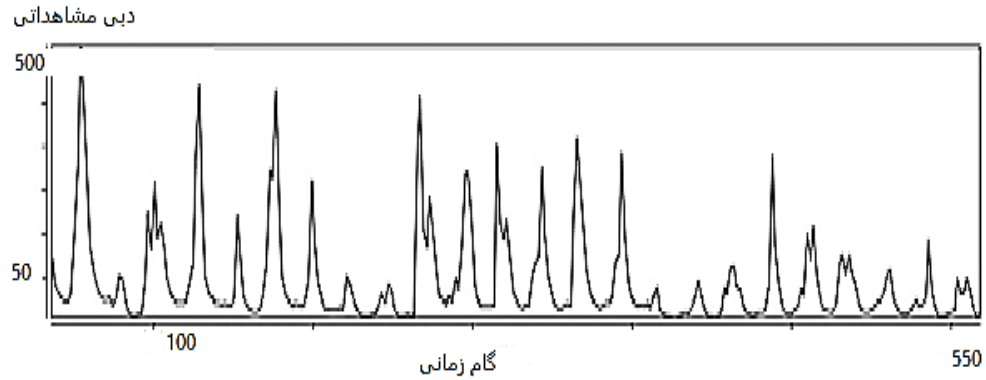
شکل ۳: الگوی مدل IHACRES، چگونگی شبیه‌سازی بارش-رواناب همراه با مدول های خطی و غیرخط

۳- نتایج

- **مدل سازی بارش-رواناب با نرم‌افزار IHACRES**

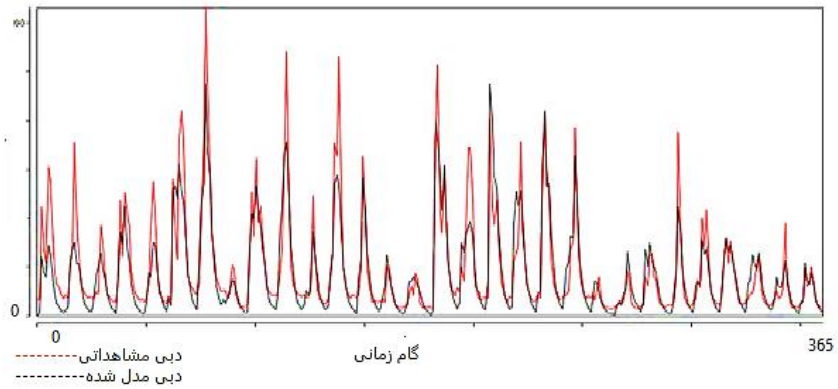
داده‌های ورودی به مدل IHACRES شامل دبی ماهانه، بارش ماهانه و دمای میانگین از سال آبی ۱۳۶۵-۱۳۶۶ تا ۱۳۹۴-۱۳۹۵ ایستگاه هیدرومتری پاتاوه شهرستان بویراحمد می‌باشد برای شبیه‌سازی بارش-رواناب حوضه رودخانه بشار در دوره ۲۰۱۹ (۱۳۹۸) تا ۲۰۵۱ (۱۴۳۰) با استفاده از مدل IHACRES، ابتدا داده‌های دوره ۶۶-۱۳۶۵ تا ۷۶-۱۳۷۵ برای واسنجی مدل و داده‌های مربوط به سال‌های ۷۷-۱۳۷۶ تا ۹۷-۱۳۹۶ برای صحت سنجی مورد استفاده قرار گرفت. لازم به ذکر است دوره زمانی مورد استفاده برای واسنجی مدل باید به‌گونه‌ای باشد که شامل دوره‌ی تر، خشک و نرمال باشد (شکل ۴).

[1] Overall error in flow volume



شکل ٤: دوره زمانی ۱۰ ساله مربوط به واسنجی مدل IHACRES

نتایج عملکرد مدل در دوره‌های واسنجی و صحت سنجی، با مقایسه رواناب مشاهداتی و شبیه‌سازی‌شده و با در نظر گرفتن معیارهای عملکردی (R-Squared و R^2-Sqrt و R^2-log و...)، محاسبه و نتایج در شکل ۵مشاهده می‌شود. هرچه ضرایب به یک نزدیک‌تر باشند حاکی از توانایی مدل در شبیه‌سازی خواهد بود.



شکل ۵: مقایسه مقادیر رواناب مشاهده‌ای و شبیه‌سازی‌شده توسط مدل در مرحله واسنجی

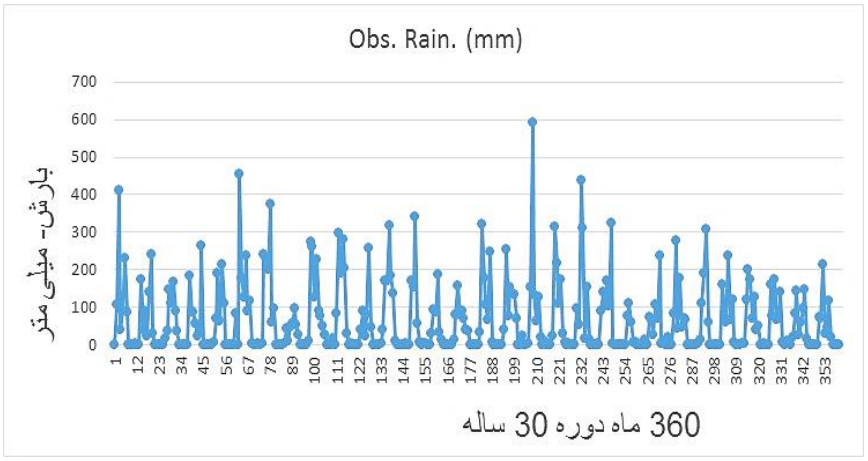
ارزیابی نتایج شبیه‌سازی پیوسته جریان در مدل طبق معیارهای آماری به‌صورت جدول ۱ می‌باشد. برای تبدیل بارش مؤثر به رواناب (بخش خطی) نیاز به سه پارامتر V_s، τ_s و τ_q می‌باشد و α_q و β_q به ترتیب، ثابت زمانی جریان سریع و α_s وβ_s به ترتیب ثابت زمانی جریان آهسته می‌باشد، که مقدار آن‌ها در زیر آورده شده است.

جدول۱: ارزیابی نتایج شبیه‌سازی پیوسته جریان

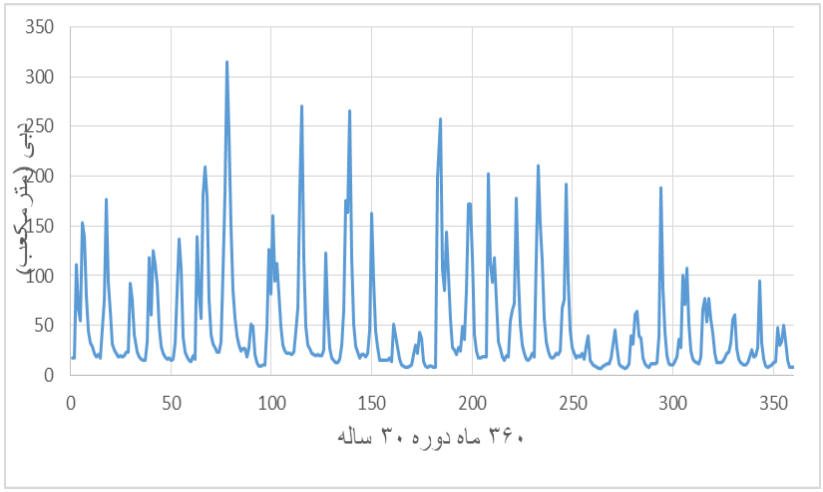
پارامتر	مقدار
ثابت زمانی جریان آهسته α_s	-۰,۵۸۱
ثابت زمانی جریان آهسته β_s	۰,٤۲٦
ثابت زمانی جریان سریع β_q	-۰,۰۱۵
τ_s	۱,۸٤۱
τ_q	۱,۰۱۵
τ_q	-۰,۰۱۵

- **نتایج حاصل از نرم‌افزار IHACRES**

پس از واسنجی مدل، سری زمانی روزانه بارش، دما و دبی حوضه به مدل معرفی می‌شود. و سری زمانی روزانه رواناب در دوره ۲۰۱۸ تا ۲۰۴۷ شبیه‌سازی می‌شود.سری زمانی بارش و تغییرات دبی دوره پایه استفاده‌شده در مقیاس ماهانه در این مطالعه در شکل‌های ۶ و ۷ آمده است. دوره آماری پایه دربرگیرنده سال‌های با وضعیت رطوبتی از ترسالی متوسط تا شدید و دوره‌های خشک‌سالی ضعیف تا متوسط می‌باشد، به‌طوری‌که در برخی از موارد موجب وقوع سیلاب شدید شهری می‌شود. شرایط اقلیمی، هیدرولوژیکی، پوشش حوضه و خصوصیات خاک حوضه موردمطالعه در روزهای از دوره آماری پایه موجب عدم تأثیر بارش بر وقوع رواناب خواهد شد. این شرایط مرتبط با رطوبت از دست رفته در روزهای خشک می‌باشد، که این موضوع موجب عدم وقوع سیلاب‌های شدید خواهد شد و هم‌چنین از خسارت‌های احتمالی ناشی از آن جلوگیری می‌کند.

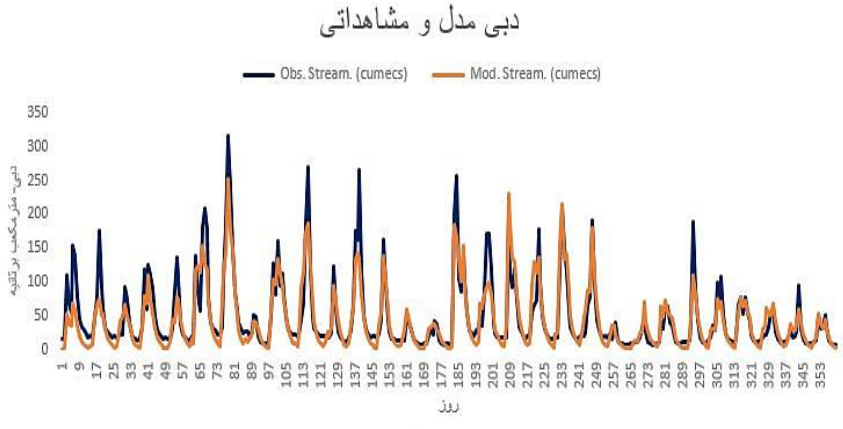


شکل ٦: سری زمانی بارش در مقیاس روز



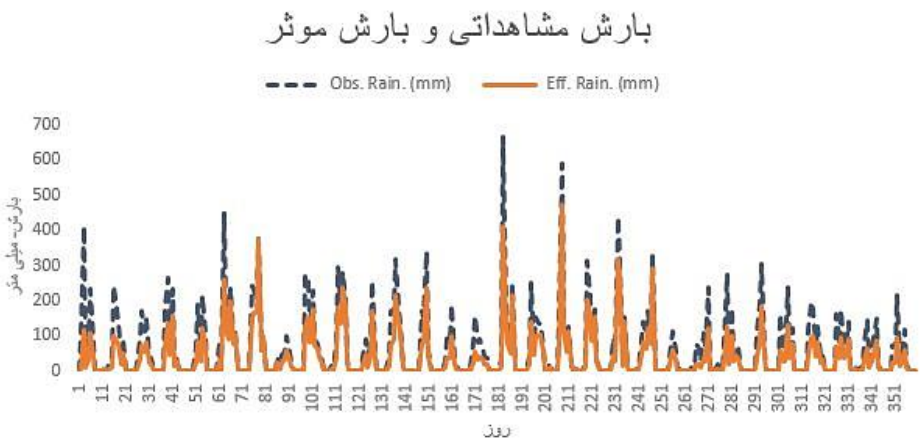
شکل ۷: هیدرو گراف جریان در مقیاس روز (تغییرات دبی در مقیاس ماهانه)

در شکل ۸میزان دبی محاسباتی و دبی مشاهده‌ای آمده است. که نتایج شکل ۸ نشان‌دهنده‌ی عملکرد قابل قبول در شبیه‌سازی رواناب و دبی-های بیشینه حوضه را دارد. باید توجه داشت که مدل واسنجی شده برای حوضه به‌طور کلی جریان‌های کم حوضه را به‌خوبی شبیه‌سازی می‌کند و در شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر مقادیر کم‌تری را شبیه‌سازی می‌کند. در نتیجه با توجه به شکل مشخص است که مدل توانایی بالایی در برآورد دبی‌های اوج ندارد.



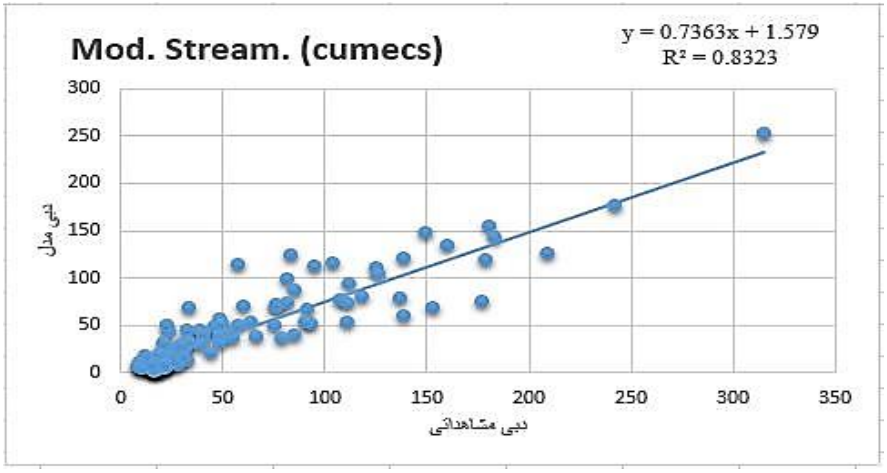
شکل ۸: دبی مدل و مشاهده‌ای

در شکل ۹ میزان بارش مشاهداتی و میزان بارش مؤثر که توسط مدل محاسبه شده است را مشاهده می‌کنیم.



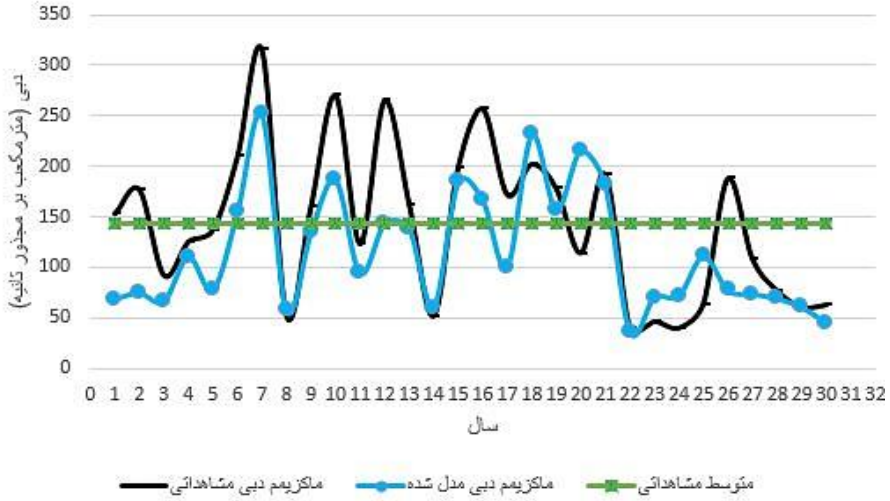
شکل ۹: میزان بارش مؤثر و بارش مشاهداتی

میزان ضریب تعیین در مرحله صحت سنجی (اعتبار سنجی) برابر ۰،۸۳ به دست آمد. نتایج حاصل در شکل ۱۰ آمده است.



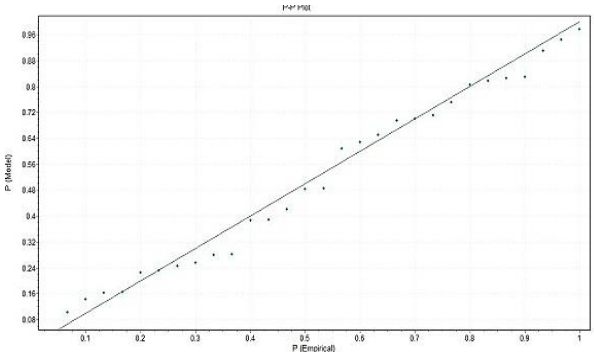
شکل ۱۰: نتایج صحت سنجی مدل IHACRES

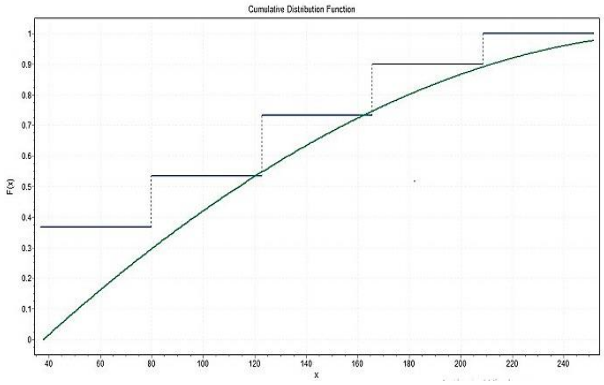
با توجه به شکل ۱۱ که نشان‌دهنده بیشینه دبی مشاهداتی و مدل شده و مقدار متوسط بیشینه مشاهداتی می‌باشد، مشاهده می‌گردد که میزان دبی بیشینه حوضه رودخانه بشار در آینده نسبت به دوره پایه (دوره مشاهداتی) کاهش چشمگیری خواهد داشت، البته در بعضی از سال‌ها نیز افزایش مشاهده می‌شود ولی تعداد سال‌های کاهش دبی بیشتر از سال‌های افزایش می‌باشد.



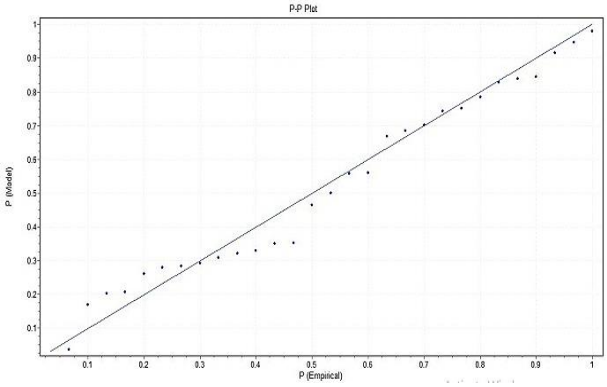
شکل ۱۱: مقایسه دبی بیشینه سالانه مدل شده و مشاهداتی توسط

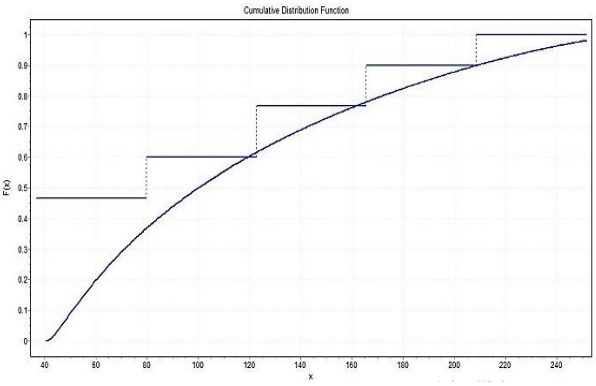
طبق شکل ۱۲ و ۱۳ بعد از تولید رواناب روزانه دوره آتی، سری زمانی مقادیر دبی بیشینه سالانه این دوره محاسبه شده و تابع توزیع احتمالاتی آن تعیین گردید. همین مراحل برای تعیین احتمال دبی بیشینه سالانه دوره پایه انجام گردید. نتایج نشان داد که توزیع لوگ پیرسون ۳ بهترین برازش برای داده‌های دبی بیشینه در هر دوره آتی و پایه دارد.





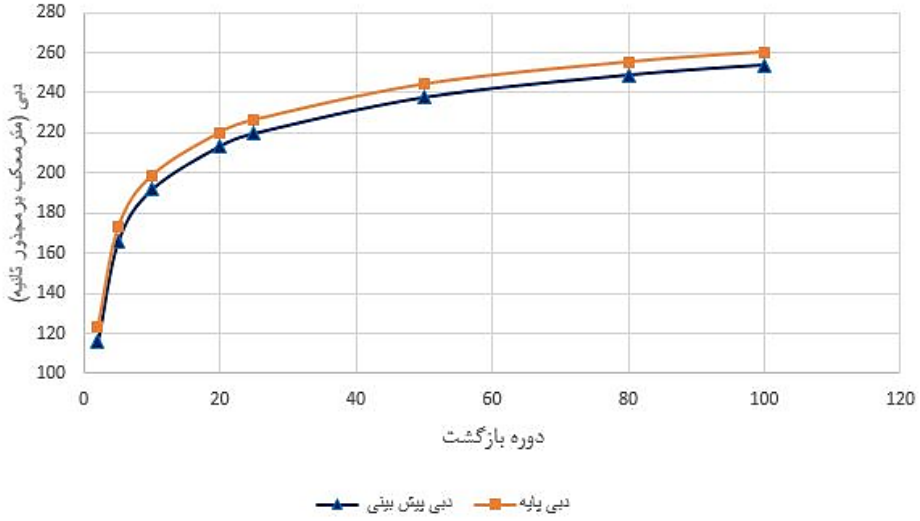
شکل ۱۲: تعیین تابع چگالی احتمال دبی بیشینه سالانه دوره پایه





شکل ۱۳:تعیین تابع چگالی احتمال دبی بیشینه سالانه دوره آتی پیش‌بینی‌شده

به‌منظور بررسی چگونگی تغییر رژیم دبی‌های بیشینه رودخانه بشار در دوره آتی نسبت به دوره پایه از شاخص شدت دبی در دوره بازگشت‌های مختلف استفاده شده است که نتایج حاصل در شکل ۱۴ مشاهده می‌گردد. با توجه به شکل ملاحظه می‌شود که شدت دبی‌های بیشینه (دبی‌های مشاهداتی و پیش‌بینی‌شده) تا ۲۰ سال اول تفاوت چندانی ندارند ولی با افزایش دوره بازگشت شدت آن افزایش خواهد یافت. همچنین دبی پیش‌بینی‌شده نسبت به دبی پایه کاهش خواهد داشت.



شکل ۱۴: میزان تغییرات دبی پایه و مشاهداتی در دروه بازگشت‌های مختلف

٤- نتیجه‌گیری

بخش پیش‌بینی میزان تغییرات دبی و رواناب در آینده با استفاده از نرم‌افزار مدل‌سازی بارش رواناب IHACRES نتایج نشان می‌دهد که این مدل توانایی بالا در برآورد دبی برای حوضه‌هایی با دبی پایین دارد و برای دبی‌های زیاد مناسب نیست. نکته اصلی و ضروری در این مطالعه این است که تأثیرگذاری اصلی بر کاهش منابع آبی در دوره‌های آتی، افزایش درجه حرارت دما و درنتیجه آن افزایش میزان تبخیر و تعرق در حوضه رودخانه می‌باشد.

منابع:

- گودرزی, الهه, محمدتقی دستورانی, علیرضا مساح بوانی ,علی طالبی. ۱۳۹۰. "بررسی اثرات تغییر اقلیم بر وضعیت رواناب حوزه های مناطق خشک مطالعه موردی: حوزه رودخانه اعظم هرات – یزد." چهارمین کنفرانس مدیریت منابع آب ایران .
- Abushandi, Eyad H, and Broder J Merkel. 2011. "Application of IHACRES Rainfall-Runoff Model to the Wadi Dhuliel Arid Catchment, Jordan." Journal of Water and Climate Change 2(1): 56–71.
- Almazroui, Mansour, Fahad Saeed, Md Nazrul Islam, and A K Alkhalaf. 2016. "Assessing the Robustness and Uncertainties of Projected Changes in Temperature and Precipitation in AR4 Global Climate Models over the Arabian Peninsula." Atmospheric Research 182: 163–75.
- Bozorg-Haddad, Omid et al. 2022. "System Dynamics Modeling of Lake Water Management under Climate Change." Scientific Reports 12(1): 1–17.
- Carcano, Elena Carla, Paolo Bartolini, Marco Muselli, and Luigi Piroddi. 2008. "Jordan Recurrent Neural Network versus IHACRES in Modelling Daily Streamflows." Journal of hydrology 362(3–4): 291–307.
- Croke, B F W, and A J Jakeman. 2008. "Use of the IHACRES Rainfall-Runoff Model in Arid and Semi Arid Regions." Hydrological modelling in arid and semi-arid areas: 41–48.
- Ehteram, Mohammad et al. 2022. "Optimal Operation of Hydropower Reservoirs under Climate Change." Environment, Development and Sustainability: 1–33.
- Fauzi, Manyuk, Alfian Malik, Doli Ananta Putra, and Andica Putra. 2019. "Application of Hybrid-Ihacres Models for Water Availability in Siak River." In MATEC Web of Conferences, EDP Sciences, 4017.
- Ghanim, Abdulnoor A J et al. 2022. "Prediction of Runoff in Watersheds Located within Data-Scarce Regions." Sustainability 14(13): 7986.
- Ghorbani, Kh, Elaheh Sohrabian, Meysam Salarijazi, and M Abdolhosseini. 2016. "Prediction of Climate Change Impact on Monthly River Discharge Trend Using IHACRES Hydrological Model (Case Study: Galikesh Watershed)."
- Javeed, Yusuf, and K V Apoorva. 2015. "Flow Regionalization under Limited Data Availability–Application of IHACRES in the Western Ghats." Aquatic Procedia 4: 933–41.
- Khalili, Reza, Hossein Montaseri, and Hamed Motaghi. 2021. "Evaluation of Water Quality in the Chalus River Using the Statistical Analysis and Water Quality Index (WQI)." Water and Soil Management and Modelling. http://mmws.uma.ac.ir/article_1324.html.
- khalili, reza, Mohammad Parvinnia, and Hamed Motaghi. 2021. "The Effects of Forecasted Precipitation Amount on Probable Maximum Precipitation and Probable Maximum Flood Parameters." Journal of Environmental Science Studies 5(4): 2982–89. http://www.jess.ir/article_113402.html.
- Mohammadi, Babak, Mir Jafar Sadegh Safari, and Saeed Vazifehkhah. 2022. "IHACRES, GR4J and MISD-Based Multi Conceptual-Machine Learning Approach for Rainfall-Runoff Modeling." Scientific Reports 12(1): 1–21.
- Mohammadi, Hassan, Reza khalili, and Sajad Mohammadi. 2021. "Forecasting Future Temperature and Precipitation under the Effects of Climate Change Using the LARS-WG Climate Generator (Case Study: South Zagros Region of Iran(." Nivar 45(114–115): 137–53. https://nivar.irimo.ir/article_146554.html.
- Parracho, A C, P Melo-Gonçalves, and A Rocha. 2016. "Regionalisation of Precipitation for the Iberian Peninsula and Climate Change." Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C 94: 146–54.
- Shin, Mun-Ju, and Yong Jung. 2022. "Using a Global Sensitivity Analysis to Estimate the Appropriate Length of Calibration Period in the Presence of High Hydrological Model Uncertainty." Journal of Hydrology 607: 127546.
- Tolcha, Wondimu, and István Waltner. 2016. "Performance Assessment of the IHACRES Model in the Upper Catchment of Dawa Sub-Basin, Borna Rangeland, Ethiopia." Engineering and Applied Sciences 1(2): 13–19.
- Xiang, Eugene Zhen, Wan Zurina, Ren Jie, and Cia Yik. 2022. "Streamflow Evaluation Using IHACRES Model in Kelantan River Basin, Malaysia."

Evaluating the effects of climate change on precipitation and runoff using IHACRES models (case study: Bashar River)

Hamidreza Panahi[1], Hossein Montaseri[2*], Ali Akbar Hekmatzadeh[3], Reza Khalili[1]

1. Master's degree in Civil Engineering, Water Resources Engineering and Management, Yasouj University
[*]2. Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Water Resources Engineering and Management, Yasouj University
3. Associate Professor, Department of Water Engineering and Hydraulic Structures, Faculty of Civil and Environmental Engineering, Shiraz University of Technology

[*]Email Address**:** hmontaseri@yu.ac.ir

Abstract

Introduction

Due to the space and time limitations, measuring the flow of rivers, this task will face problems that in recent years, researchers have turned to designing hydrological models to check and estimate the flow of rivers. The existence of a tool to estimate discharge can lead to the best possible management of surface water and its optimal use. In addition to these, climate change, water quality changes and ecological studies can be evaluated using runoff estimation hydrology models. Successful management of water resources requires a qualitative analysis of the effects of climate change and land use practices on water flow and quality. While expert knowledge can provide indications of such impacts, detailed analysis requires the use of mathematical models to dynamically disentangle the water balance (at the time scale at which important processes are involved). This includes separating precipitation into evapotranspiration losses, runoff to streams, recharge to groundwater systems, and changes in short-term watershed storage. Some of the processes to consider are: evapotranspiration. and feedback to Joe. vegetation dynamics; The level of underground water and its effect on waterlogging and soil salinization; Reliability of tank storage capacity; wetland dynamics; flood urban runoff; Erosion in agricultural and pasture lands as well as channel erosion and sedimentation and aquatic ecosystem functions. Arid and semi-arid regions are usually affected by heavy rainfall events with a high degree of spatial variability. This usually results in a fast response profile, and in areas without weather radar coverage, the poor density of rain gauges prevents accurate estimation of precipitation depth and spatial distribution for a particular event. Furthermore, if only daily precipitation data are available, precipitation model calibration -Runoff in a daily step means that most of the information in the hydrograph is not used (note that runoff here means total streamflow, not just surface runoff).). Another important consideration for calibrating models for watersheds in arid and semi-arid regions is the frequency of events. Such watersheds have less flow than watersheds in wetter climates. This means that longer calibration periods are needed to reduce the uncertainty in the model parameters. Otherwise, the parameter values are more prone to errors in the data, with a significant decrease in performance in the simulation compared to the calibration.

Methodology

In this research, IHCRAES model is used for rainfall-runoff simulation. Due to physical and time limitations, the measurement of river flow is facing problems, researchers have turned to designing hydrological models to investigate and estimate river flow. Due to the lack of hydrometric stations in small or upstream basins, the development of tests that can estimate the water flow on a daily time scale and in a desired location is one of the necessary things that leads to the improvement of the information needed for management purposes related to water resources. In order to evaluate the performance of the model parameters, the coefficient of determination of the model (D), the Nash-Sutcliffe coefficient, the average relative error of the parameter (ARPE) and the total error in the flow volume (Bias) which are calculated and used by the model itself. The higher the D value and the lower the ARPE parameter values, the more ideal the model results. Bias parameter values also indicate whether the simulated flow is more or less than the observed flow, and in other words, it specifies that the model simulates the flow more than the reality or less than the reality. After validating the IHACRES model and ensuring its effectiveness, exponential microscale results are entered into it and the runoff of the next decade is predicted and evaluated. In the figure, we can see the model of the IHACRES model and how to simulate rainfall and runoff.

Conclusion
In the section of predicting the amount of changes in discharge and runoff in the future using IHACRES rainfall and runoff simulation software, the results show that this model has a high ability to estimate discharge for basins with low discharge and is less suitable for high discharges. The main and essential point in this study is that the main factor affecting the reduction of water resources in the coming periods is the increase in temperature and, as a result, the increase in evaporation and transpiration in the river basin and the lack of proper management of water resources

Keywords
"Climate change", "rainfall and runoff", "IHACRES models", "Bashar river"