Archive of SID

علوم و مهندسی آبیاری
جلد ٤١، شماره‌ی۳، پاییز ۹۷، ص. ۱۱۷-۱۰۳

# بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه با استفاده از مدل بارش-رواناب IHACRES (مطالعه موردی: حوضه محمدآباد در استان گلستان)

فریبا نیرومند فرد[۱]، مهدی ذاکری نیا[۲*] و بهناز یازرلو[۳]

۱-دانش آموخته کارشناسی ارشد، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان.
۲*- نویسنده مسئول، دانشیار گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان a_zakerinia@yahoo.com
۳-دانشجوی دکتری مهندسی منابع آب، دانشگاه بیرجند.

تاریخ دریافت: ۹۵/۷/۴ تاریخ پذیرش: ۹۵/۱۲/۱

## چکیده

**یکی از روش‌های بررسی عکس‌العمل حوضه‌های آبخیز به بارش‌های محتمل، فرسایش و رسوبگذاری در مخازن استفاده از مدل‌های هیدرولوژیکی به عنوان ابزاری کارآمد برای شبیه‌سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی می‌باشد. تغییرات اقلیمی نیز در سال‌های اخیر باعث دگرگونی وضعیت منابع آبی جهان و به تبع آن تغییر بر رواناب رودخانه‌ها، محیطزیست، آب شرب و کشاورزی شده است. از این‌رو در این تحقیق تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب سطحی حوضه آبریز محمدآباد استان گلستان در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ میلادی مورد بررسی قرار گرفته است. به این منظور ابتدا مدل بارش-رواناب IHACRES برای منطقه مورد مطالعه در دوره مشاهداتی (۲۰۱۰-۱۹۸۲) واسنجی گردید؛ سپس بر اساس نتایج مدل HadCM3 تحت سناریوهای A1B ، A2 و B1 ، مقادیر دما و بارش برای دوره آتی ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل LAES-WG ریزمقیاس شده و به منظور شبیه‌سازی رواناب حوضه به مدل IHACRES معرفی گردید. در تعیین ارزیابی مدل IHACRES از معیارهای عملکرد، شامل ضریب نش(NS) ،ضریب تعیین ($R^2$) و معیارهای خطای Bias و RMSE استفاده شد. نتایج نشان داد که مقادیر این معیارها توسط مدل در دوره واسنجی به ترتیب 0/50، 0/50، 0/12 و 0/85 و در دوره صحت سنجی 0/49، 0/46، 0/11 و 0/95 می‌باشد. در نهایت نتایج حاصل از پیش‌بینی رواناب در دوره‌های اقلیمی آتی نشان می‌دهد که مجموع متوسط تغییرات رواناب سالانه درازمدت در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ به میزان ۱/۷۲ مترمکعب بر ثانیه در سناریوی A1B ، ٤/٨٦ متر مکعب بر ثانیه در سناریوی A2 و ۰/۲۵ متر مکعب بر ثانیه در سناریوی B1 نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۲ کاهش خواهد یافت.**

**کلید واژه‌ها:** تغییر اقلیم، مدل‌های هیدرولوژیکی، سناریو، مدلLARS-WG ، مدلIHACRES .

## مقدمه

از آنجایی‌که اهمیت آب در دوام و بقای حیات بر کسی پوشیده نیست، مسأله آب همواره در کانون توجه پژوهشگران و متخصصین بوده است. کشور ایران با برخورداری از موقعیت جغرافیایی و اقلیمی خاص خود، سهم اندکی از ریزش‌های جوی را دارد. به طوری که با دارا بودن میانگین بارندگی سالانه حدود ۲۴۰ میلی‌متر یعنی یک سوم مقدار جهانی (۸۶۰ میلی‌متر)، جزء اقلیم خشک و نیمه خشک محسوب می شود(Alizadeh, 1997). با توجه به شرایط موجود در بسیاری از حوضه‌های آبریز کشور از لحاظ کمبود آمار و پیچیدگی اکوسیستم‌های هیدرولوژیکی و عدم امکان شناخت کامل آنها، استفاده از روش‌هایی که میزان رواناب حاصل از بارندگی را در حوضه‌های فاقد آمار و یا دارای آمار ناقص تخمین زد از اهمیت قابل توجهی برخوردار است. یکی از این روش‌ها، استفاده از قابلیت‌های مدل‌های هیدرولوژیکی در شبیه-سازی فرآیندهای هیدرولوژیکی است که از اولین مراحل اقدامات مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب و نیز بررسی اثرات هیدرولوژیکی تغییر کاربری اراضی و نحوه بهره برداری از منابع‌طبیعی در یک حوضه آبریز می‌باشد که در حوضه‌های دارای آمار کامل می‌توان فرآیندهای هیدرولوژیکی از قبیل رواناب را شبیه‌سازی کرده و با کمترین هزینه و حداقل زمان برای برآورد میزان رواناب در حوضه‌های مشابه با حوضه مورد مطالعه و فاقد آمار یا دارای آمار ناقص به کار برد، (Namdorost, 2002). اقلیم سیستم پیچیده‌ای است که عمدتا به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر است. تغییر اقلیم به آرامی در حال گسترش به سرتاسر کره زمین و تأثیر آن بر منابع آب، کشاورزی و پارامترهای اقلیمی در مقیاس منطقه‌ای است. افزایش گازهای گلخانه‌ای موجب افزایش دمای کره زمین، افزایش سطح آب و دمای اقیانوس‌ها شده که نهایتا موجب افزایش تبخیر از سطح دریا و به دنبال آن افزایش رطوبت و بارش در سطح جهان خواهد شد. اما پاسخ تمامی نقاط کره زمین به پدیده گرمایش جهانی صرفا به صورت

www.SID.ir

Archive of SID

افزایش بارش نخواهد بود. به دلیل تغییر الگوهای فشاری، برخی نقاط با کاهش بارش، مواجه خواهند شد. مهمترین تبعات تغییر اقلیم، تأثیرگذاری آن بر پدیده‌های حدی، نظیر طوفان، سیل، تگرگ، خشکسالی، امواج گرمایی و سرماهای نابهنگام است. به‌طوری که انتظار می‌رود پدیده‌های حدی طی دهه‌های آینده روند افزایشی داشته باشند(Babaeian et al., 2009) . از یک طرف بروز خشکسالی‌ها و از طرف دیگر وقوع سیلاب‌های مخرب، هر ساله خسارات زیادی به بار می‌آورد. از این رو، نیاز به برنامه-ریزی‌های محیطی در زمینه منابع آب از اهمیت قابل ملاحظه‌ای برخوردار است. از آنجا که درحوضه‌های آبریز امکان اندازه‌گیری تمام کمیت‌های مورد نیاز برای بررسی عکس العمل حوضه وجود ندارد، لذا انتخاب مدلی که بتواند در عین سادگی ساختار، با استفاده از حداقل اطلاعات ورودی موردنیاز پیش‌بینی، با دقت قابل‌قبولی را ارائه کند، امری ضروری به نظر می‌رسد (Sharifi et al., 2004). LARS-WG5 یکی از مولدهای داده‌های تصادفی هواشناسی می‌باشد که برای تولید داده‌های بارش روزانه، تابش روزانه و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل روزانه در یک ایستگاه تحت شرایط اقلیمی حاضر و آینده به‌کار می‌رود، (Semenov and Brooks., 1998) نسخه اولیه LARS-WG در بوداپست مجارستان در سال ۱۹۹۰ به‌عنوان بخشی از پروژه ارزیابی ریسک‌های کشاورزی ابداع شد. هسته اصلی این مدل استفاده از توزیع نیمه تجربی است که به دفعات از آن استفاده شده است. دقت بالای این مدل در تولید داده‌های آب وهوایی (دما و بارش) مربوط به ۱۸ ایستگاه در کانادا، (Williams 1991) و ۲۰ ایستگاه در اقلیم‌های متفاوت انگلیس توسط (Semenov, 2008)، گزارش شده است. نتایج (Babaeian and Nagafineik., 2006) نیز بیانگر قابلیت بالای این مدل در شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی در دوره آماری و همچنین استفاده از آن برای ارزیابی تغییر اقلیم در دهه‌های آتی است. (Zarghami et al., 2011)، با ریز مقیاس نمایی تغییرات آب و هوایی توسط مدل LARS-WG تحت سناریوهای A1B، A2 و B1 با استفاده از خروجی مدل HADCM3، افزایش ۲/۳ درجه‌ای دما و کاهش ۳ درصدی بارش در طی سال های ۲۰۲۰ تا ۲۰۹۰ را برای استان آذربایجان شرقی گزارش نمودند. (Zarghami et al., 2015) کارایی مدل IHACRESدر شبیه‌سازی روزانه رواناب حوضه ناورود را با استفاده از معیارهای ارزیابی ناش- ساتکلیف و میانگین خطای کل (Bias) مورد بررسی قرار دادند. آن‌ها از آمار بارش، دما و دبی با گام زمانی روزانه و با بهره‌گیری از داده‌های موجود در ایستگاه های خلیان وخرجگیل طی سال‌های آبی ۱۳۹۰- ۱۳۸۵، استفاده نمودند. نمایه ناش ساتکلیف و میانگین خطای کل در دوره واسنجی، به ترتیب ۵۷/. و ۸/۵۳ و در مرحله آزمون ۴۸/. و ۱۴/۹ بدست آمد. همچنین نشان دادند که مدل مورد استفاده دارای دقت قابل‌قبولی در شبیه‌سازی‌جریان حوضه مورد مطالعه دارد. مدل بارش-رواناب IHACRES تاکنون به صورت وسیعی مورد آزمایش قرار گرفته است، (Croke and Jakeman., 2008). تحقیقات نشان می‌دهد که پیش‌بینی جریان توسط IHACRES در بسیاری از موارد بهتر از مدل‌های توزیعی بوده است، (Ye et al., 1997). کاربرد این مدل در هر دو دوره واسنجی و ارزیابی آسان می‌باشد. همچنین داده‌های ورودی به آسانی قابل دسترس بوده و محاسبات کوتاه می‌باشند، (Kheyrfam et al., 2009) ، در پژوهشی جریان رودخانه‌ای را، برای حوضه آبریز چهل‌چای (استان گلستان)، با استفاده از مدل بارش-رواناب IHACRES شبیه‌سازی نمودند. نتایج نشان داد که مدل بارش-رواناب IHACRES قادر به شبیه‌سازی دبی روزانه برای حوضه آبخیز چهل‌چای با ضریب همبستگی ۰/۵۱۴ است. (Masah Bavani and Aashofteh., 2010) ، در بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر دبی‌های حداکثر در آذربایجان شرقی، از مدل IHACRES در شبیه‌سازی جریان استفاده نمودند. نتایج مدل برای دوره‌های واسنجی و اعتبارسنجی، به‌ترتیب با مقادیر همبستگی ۷۹ ٪ و ۷۰ ٪ قابل قبول ارزیابی نمودند. با وجود این که مدل IHACRES برای مناطق معتدل تهیه شده است، اما با توجه به عمومیت آن، امکان کاربرد آن در حوضه‌ها و شرایط اقلیمی مختلف وجود دارد. (Abushandi and Broder., 2011) ، در تحقیقی در حوضه‌ای در شمال شرقی اردن با اقلیم خشک، مدل IHACRES رابه کار گرفتند. آن‌ها نتایج قابل قبولی در خصوص بارش موثر و جریان به دست آوردند. به‌طوریکه امکان استفاده از مدل مربوطه برای پیش‌بینی جریان در مناطق فاقد داده، ترسیم نمودند. (Zareei et al., 2009)، برای شبیه‌سازی جریان حوضه آبریز کسیلیان واقع در استان مازندران از مدل بارش- رواناب IHACRES استفاده کردند. مدل در حوضه آبریز کسیلیان واسنجی و مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج بررسی نشان داد که مدل، توانایی شبیه‌سازی داده‌های روزانه و ماهانه را با قابلیت قابل قبولی دارد، (۰/۳۶<NSE<۰/۷۵)، ولی قابلیت شبیه‌سازی داده‌های سالانه را ندارد. (Hosseini et al., 2015)، در مطالعه‌ای به‌منظور ارزیابی اثراتی که نیاز به سناریوهای اقلیمی محلی داشتند، به تشریح روشی برای انتخاب مدل‌های مختلف اقلیمی پرداختند. این روش، بر مبنای استفاده از یک مولد آب و هوایی با توانایی تولید سناریوهای اقلیمی روزانه در مقیاس ایستگاهی بود.

در تحقیق حاضر برای بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر جریان روزانه حوضه آبریز محمدآباد، از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG5 که یکی مولدهای داده‌های تصادفی هواشناسی می‌باشد استفاده شد و سپس توسط مدل بارش-رواناب IHACRES با مقایسه رواناب‌های دروه‌های گذشته با دوره‌های آتی متأثر از شرایط تغییر اقلیم، کارایی مدل IHACRES در پیش‌بینی رواناب روزانه برای حوضه آبریز محمدآباد بررسی گردید.

www.SID.ir

Archive of SID

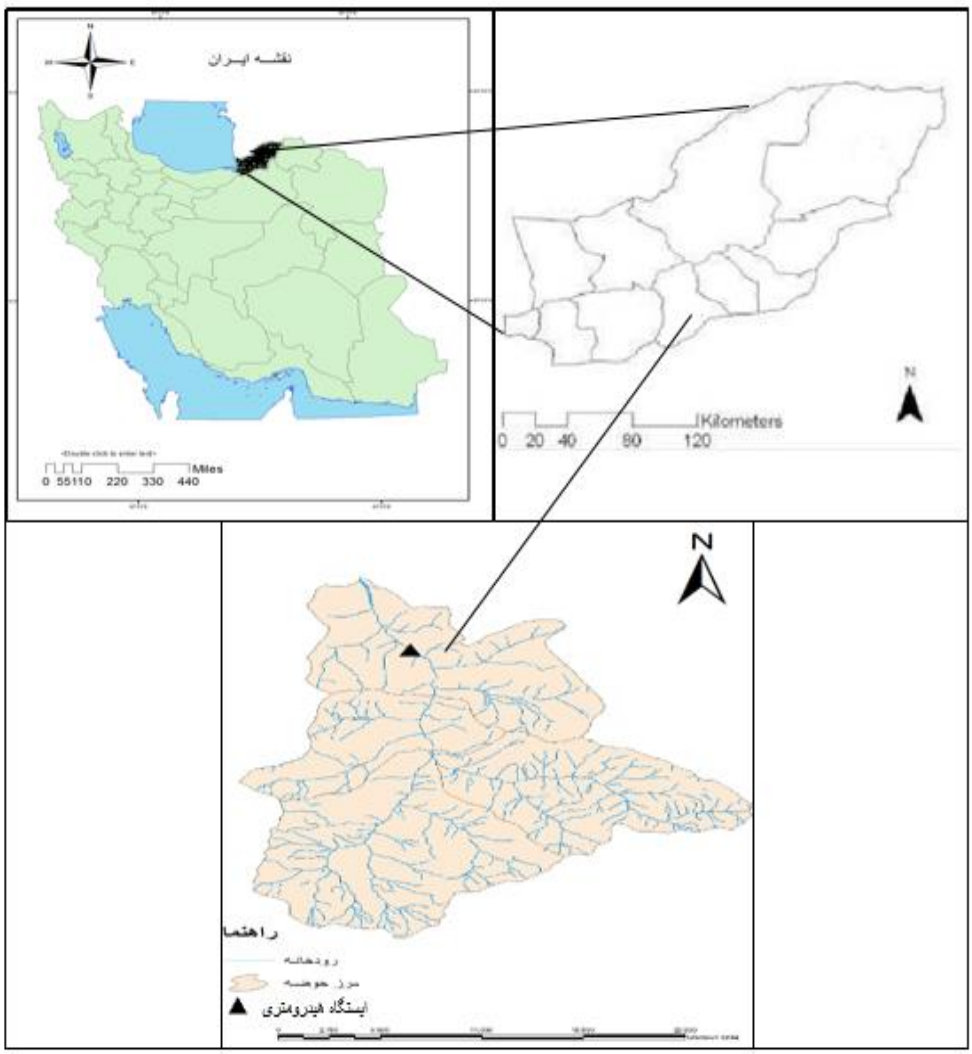

## مواد و روش‌ها

### معرفی منطقه مورد مطالعه

در این پژوهش حوضه آبریز محمدآباد انتخاب گردید. این حوضه از زیر حوضه‌های گرگانرود استان گلستان می‌باشد. این حوضه دارای مساحت ۳۸۷/۵ کیلومتر مربع و محیط ۸۹ کیلومتر می‌باشد، از نظر جغرافیایی در طول شرقی ″۵۵ ′۴۹ °۵۴ و عرض شمالی ″۳۴ ′۴۲ °۳۶ قرار دارد. حداکثر و حداقل ارتفاع حوضه به‌ترتیب۳۵۰۰ و ۵۰۰ متر با ارتفاع متوسط ۱۹۰۶ متر و شیب متوسط ۱۰/۳ درصد می‌باشد. طول آبراهه اصلی رودخانه ۱۶/۷۵ کیلومتر و شیب آبراهه اصلی ۹/۹۵ درصد می‌باشد. حوضه مورد مطالعه دارای ایستگاه باران‌سنجی معمولی به نام سرمو و یک ایستگاه هیدرومتری است. ایستگاه باران‌سنجی سرمو در ارتفاع ۵۰۰ متری و در طول جغرافیایی ′۶۷ °۴۰ و عرض جغرافیایی ′۵۲ °۳۰ قرار دارد. ایستگاه هیدرومتری در ارتفاع ۵۰۰ متری و در طول جغرافیایی ′۷۸ °۴۰ و عرض جغرافیایی ′۳۲ °۳۰ قرار دارد که در سال ۵۵-۱۳۵۴ تأسیس گردیده است.شکل (۱) موقعیت این حوضه را نشان می‌دهد.

### مدل‌های گردش عمومی جو و سناریوهای انتشار

مدل‌های گردش عمومی جو (GCM) معتبرترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی هستند. مدل‌های GCM بر پایه قوانین فیزیکی می‌باشند. تاکنون مدل‌های گردش عمومی مختلفی در مراکز مختلف تحقیقاتی تدوین و طراحی شده است. از آن جمله می‌توان به مدل‌های ECHAM4، HadCM3، CSIRO، CGCM، GFDL-30، NCAR و CCSR اشاره کرد.




**شکل ۱- موقعیت جغرافیایی حوضه آبریز محمدآباد**

www.SID.ir

Archive of SID


**سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای**

از آنجایی‌که مهمترین ورودی مدل‌های گردش عمومی جو، میزان انتشار گازهای گلخانه‌ای در دوره‌های آتی بوده و از طرفی پیش‌بینی میزان انتشار این گازها در دوره‌های آتیتوأم با عدم قطعیت، از این‌رو سناریوهای مختلفی تحت عنوان سناریوهای انتشار که در برگیرنده چگونگی تغییرات این گازها در آینده می باشد، ارائه شد (Roshan et al.,2012). IPCC در سال ۱۹۹۸ سری جدید سناریوهای انتشار را با نام SRES ارائه داد. گروه SRES سه خانواده سناریو با نامهای A1، A2 ، B1 و B2 را برای توصیف ارتباط بین فرآیندهای تولیدکننده گازهای گلخانه‌ای و آئروسل ها و نحوه تغییرات آنها طی قرن بیست و یکم در مناطق مهم‌کره زمین به‌کار گرفت. سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای مورد نظر در پژوهش حاضر به همراه خصوصیات آن‌ها، در جدول (۱) آورده شده است.

**معرفی مدل LARS_WG**

LARS-WG5 یکی از مولدهای داده‌های تصادفی هواشناسی در مقیاس روزانه است که به‌وسیله آن و با استفاده از خروجی مدل GCM اقدام به تولید داده‌های روزانه بارش و درجه حرارت‌های حداکثر و حداقل در ایستگاه مورد نظر می‌کند. مدل مزبور الگوهای عددی هستند که خروجی مدل گردش عمومی جو را با استفاده از روش‌های آماری، به گونه‌ای ریزگردانی می‌کنند که به مقدار واقعی در مقیاس ایستگاهی بسیار شباهت داشته باشد. مدل LARS-WG از سه بخش اصلی شامل واسنجی، ارزیابی و تولید داده‌های هواشناسی در آینده تشکیل می شود. مدل در مرحله واسنجی، نیاز به مشخص کننده رفتار اقلیم در دوره گذشته دارد. در مطالعه حاضر این فایل با استفاده از دوره (۲۰۱۰-۱۹۸۲)، به عنوان دوره پایه، تهیه گردید. در این پژوهش از مدل HADCM3 با روش ریز مقیاس‌نمایی LARS-WG برای تولید داده‌های بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و ساعت آفتابی روزانه استفاده گردید. سناریوهای بکار گرفته در مدل عمومی جو م A1B، A2و B1 انتخاب شدند. ارزیابی داده-های تولید شده در دوره پایه با استفاده از ملاک‌های آماری ضریب تعیین $R^2$ (Determination Coefficient)، میانگین مربعات خطا RMSE (Root of Mean Squares Error)، میانگین انحراف خطا MBE (Mean of Bias Error) و میانگین خطای مطلق MAE (Mean of Absolute Error) به شرح روابط (۱) تا (۴) انجام گردید.

$$R^2 = \frac{[\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{Y})(Y_i-\bar{Y})]^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_i-\bar{X})^2\sum_{i=1}^{n}(Y_i-\bar{Y})^2} \quad (۱)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-Y_i)^2}{n}} \quad (۲)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_i-Y_i)}{n} \quad (۳)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^{n}|X_i-Y_i|}{n} \quad (۴)$$

در انتها، Xiو Yi به ترتیب i امین داده مشاهده شده و شبیه سازی شده توسط مدل، $\bar{X}$ و $\bar{Y}$ میانگین کل داده‌های Xi و Yi و n تعداد کل نمونه‌های مورد ارزیابی می‌باشند. پس واسنجی و ارزیابی مدل LARS-WG اقدام به اجرای مرحله سوم یا تولید داده برای اقلیمی‌دوره۲۰۴۰-۲۰۱۱ گردید.

**مدل IHACRES**

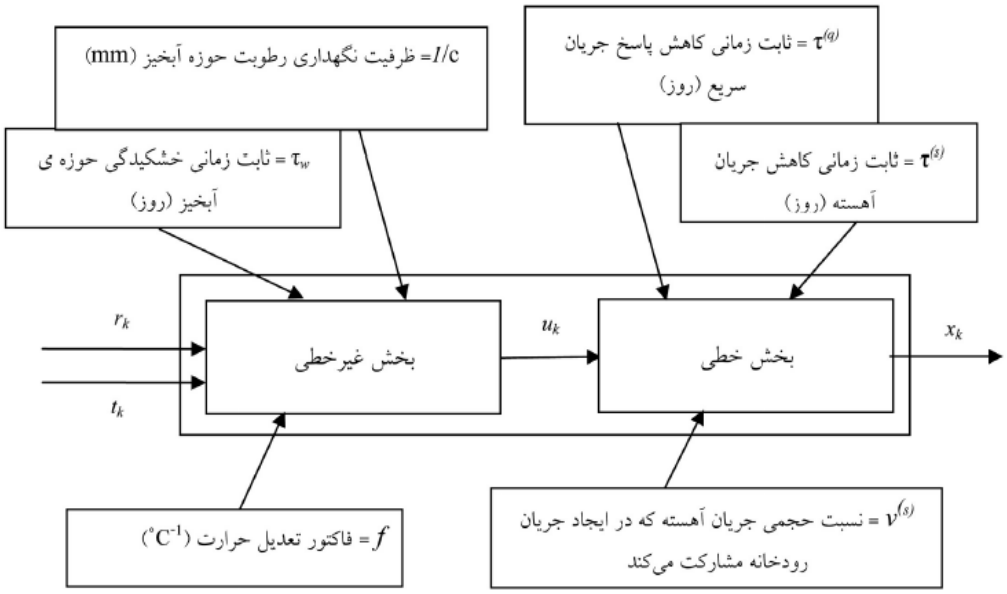
مدل بارش-رواناب IHACRES مشترکاً توسط مرکز مدیریت و ارزیابی جامع حوضه آبخیز (ICAM) دانشگاه ملی استرالیا، کانبرا و مرکز اکولوژی و هیدرولوژی (CEH) انجمن تحقیقات زیست-محیطی انگلستان توسعه یافته است. در تحقیق حاضر بسته نرم افزاری IHACRES که توسط (Croke, 2005a) توسعه یافته تحت عنوان ICP(Plus Classic IHACRES)، مورد استفاده قرار گرفت. این مدل شامل پنج تا هفت متغیر برای واسنجی نیاز دارد. مدل ICP برای اجرا در حوضه‌های بزرگ استفاده می نمایند. در مطالعه حاضر از نسخه IHACRES v2.1 که برای حوضه‌های دارای داده‌های پیوسته بارش، دما و رواناب کاربرد دارد، استفاده شده است. این مدل مطابق شکل (۲) 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.

**جدول۱- خصوصیات سناریوهای انتشار A1B، A2 و B1**

| سناریوی انتشار | ویژگی |
|---|---|
| A1B | رشد سریع اقتصادی، بیشینه رشد جمعیت در نیمه ی قرن و پس از آن روند کاهشی، رشد سریع فناوری های نوین و مؤثر |
| A2 | رشد سریع جمعیت جهان، اقتصاد ناهمگن و همسو با شرایط منطقه‌ای در سراسر جهان |
| B1 | همگرایی جمعیت در سطح جهان، تغییر در ساختار اقتصاد، کاهش مواد آلاینده و معرفی منابع پاک و مؤثر |

www.SID.ir

Archive of SID


**شکل ۲- ساختار کلی مدل IHACRES**

**تبدیل بارش به بارش مؤثر (بخش غیرخطی)**

در این بخش، بارش مؤثر از حاصل ضرب بارش کل در شاخص رطوبت خاک حوضه در هر بازه زمانی محاسبه می‌شود.

$$U_k = [C(\varphi_k - I)]^p r_k \qquad (۵)$$

که در آن C ضریب تعادل حجم بارش، I آستانه شاخص رطوبت خاک، P فاکتور واکنش غیرخطی و $r_K$ بارش مشاهداتی می‌باشد. $\varphi_k$ شاخص رطوبت خاک است که با استفاده از (رابطه۶) محاسبه می‌گردد.

$$\varphi_k = r_k + (1 - \frac{1}{\tau_k})\varphi_{k+1} \qquad (۶)$$

که در آن $\tau_k$، شدت خشکی خاک و به عنوان تابعی از دما است که با استفاده از (رابطه ۷) محاسبه می‌شود.

$$\tau_k = \tau_w \exp(f(T_{ref} - T_k) \times 0.062 \qquad (۷)$$

که در آن، $\tau_w$ خشکی خاک مبنا، $f$ تابع تعدیل دما (تأثیر تغییر یک واحد دما بر میزان تلفات)، $T_{ref}$ دمای مرجع و $T_k$دما بر بازه زمانی مورد نظر هستند. بعد از محاسبه 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 $V_s$ و $\tau_s$ ،$\tau_q$ می‌باشد. ترکیب دو مؤلفه جریان سریع $s_k^{(q)}$ و جریان آهسته $x_k^{(s)}$ منجر به تولید رواناب $X_k$ می‌شود که با استفاده از (رابطه‌های ۸ تا ۱۰) محاسبه می‌گردد.

$$X_k = S_k^{(q)} + X_k^{(s)} \qquad (۸)$$

$$X_k^{(q)} = -\alpha_q X_{k-1}^{(q)} + \beta_q U_k \qquad (۹)$$

$$X_k^{(s)} = -\alpha_s X_{k-1}^{(s)} + \beta_s U_k \qquad (۱۰)$$

که در آن، $\alpha_q$ و $\beta_q$ به ترتیب، ثابت زمانی جریان سریع و $\alpha_s$ و $\beta_s$ به ترتیب ثابت زمانی جریان آهسته می‌باشند که با استفاده از رابطه (۱۱) و (۱۲) به‌دست می‌آیند.

$$\tau_q = \frac{-\Delta}{ln(-\alpha_q)} \qquad (۱۱)$$

$$\tau_s = \frac{-\Delta}{ln(-\alpha_s)} \qquad (۱۲)$$

که در آن، $\Delta$ بازه زمانی و $\tau_q$ و $\tau_s$ ثابت زمانی فروکش برای جریان سریع و آهسته در مخازن متوالی (بر حسب روز) می‌باشند. نسبت حجمی جریان سریع و آهسته به صورت رابطه (۱۳) درنظر گرفته می‌شوند.

$$V_q = 1 - V_s = \frac{\beta_q}{1+\alpha_q} = 1 - \frac{\beta_s}{1+\alpha_s} \qquad (۱۳)$$

www.SID.ir

Archive of SID


**داده‌های مورد نیاز مدل IHACRES**

مدل مذکور به سه سری زمانی داده‌ها نیاز دارد، که اینها عبارتند از:

۱-داده‌های بارندگی بر حسب میلی‌متر یا اینچ باشد.

۲-داده‌های درجه حرارت بر حسب درجه سلسیوس، فارنهایت و یا کلوین.

۳-داده‌های جریان رودخانه بر حسب مترمکعب در ثانیه، میلی‌گرم در پایه زمانی، میلی‌متر در هر پایه زمانی، لیتر بر ثانیه یا فوت مکعب بر ثانیه.

**ارزیابی مدل بارش-رواناب**

در مدل IHACRES از آمار روزانه دما، تبخیر، بارش و رواناب مشاهداتی ایستگاه محمدآباد استفاده گردید. پس از بررسی عملکرد مدل برای دوره‌های مختلف، دوره (۱۹۹۱-۱۹۸۷) برای واسنجی و دوره (۲۰۱۰-۲۰۰۷) برای صحت‌سنجی انتخاب شدند. برای ارزیابی مدل از معیارهای ضریب تعیین ($R^2$ Determination Coefficient)، جذر میانگین مربعات خطا RMSE ( Root of Mean Squares Error)، متوسط خطای مطلق MAE ( Mean of Absolute Error) و ناش-ساتکلیف NS (Nash–Sutcliffe) استفاده شد که در روابط زیر ارائه شده است:

$$NS = \left[1 - \frac{\sum_{i=1}^{n}(X_O - X_S)^2}{\sum_{i=1}^{n}(X_O - \overline{X_O})^2}\right] \qquad (۱۴)$$

شاخص کارایی ناش-ساتکلیف برای ارزیابی توانایی شبیه‌سازی بکار می‌رود. اگر مقدار NS برابر ۱ باشد، تناسب کاملی بین داده‌های مشاهداتی و شبیه‌سازی شده وجود دارد. NS برابر با صفر، نشان دهنده آن است که مدل، در مقایسه با مقادیر میانگین داده‌های مشاهداتی خنثی است. NS بزرگتر از ۰/۷۵، شبیه‌سازی خوب ، NS بین ۰/۳۶ و ۰/۷۵ بیانگر رضایت بخش بودن نتایج شبیه سازی است.

## نتایج و بحث

تغییر در دما و بارش جزء اولین اثرات تغییر اقلیم در یک منطقه است. این تغییرات در شاخص های هیدرولوژیکی حوضه تأثیرگذار خواهد بود. در این قسمت در ابتدا به بررسی وضعیت دما و بارش مشاهداتی منطقه مورد مطالعه پرداخته و در پایان تأثیر تغییرات دما و بارش منطقه بر رواناب حوضه تحت مدل بارش-رواناب در دوره آتی تعیین می شود.

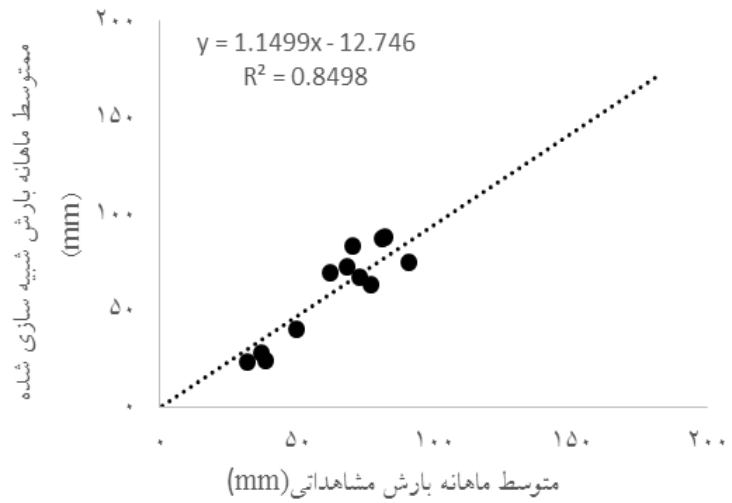
نتایج حاصل از ارزیابی داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل و داده‌های واقعی دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۲) در جدول (۲) نشان داده شده است. ضریب تبیین برای بارندگی بالا بدست آمده است. از میان شاخص‌های ارزیابی، میانگین انحراف خطا (MBE) کوچک تر می باشد. همچنین با توجه به این که اختلاف چندانی بین مقادیر شبیه‌سازی شده و پیش‌بینی شده در دوره پایه، مشاهده نمی‌شود و مقادیر، بیش‌تر حول محور یک به یک متمرکز هستند (شکل۳)، از این رو، توانایی مدل در شبیه‌سازی مورد تأیید قرار می‌گیرد. در شکل (۴) نمودار مقایسه متوسط بارش‌های ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۲) رسم گردیده، که نتایج نشان از این دارد که بیشترین مقدار افزایش بارش ماهانه شبیه‌سازی شده در ماه ژانویه و بیشترین مقدار کاهش در ماه مارس می‌باشد. نمودار متوسط بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه‌سازی شده تحت سه سناریو، در دوره آینده (۲۰۴۰-۲۰۱۱) و دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۲) در شکل (۵) رسم گردید. براساس نتایج در ماه‌های ژانویه، فوریه، اکتبر، نوامبر، دسامبر و در ماه سپتامبر تحت سناریوهای A1B و B1 شاهد افزایش بارش و در ماه سپتامبر در سناریوی A2 و نیز در سایر ماه‌ها شاهد کاهش بارش نسبت به دوره مشاهداتی خواهیم بود. طبق نمودار بیشترین افزایش بارش، تحت هر سه سناریو، در ماه دسامبر و بیشترین کاهش بارش در هر سه سناریو، در ماه ژولای مشاهده می‌شود. بیشترین افزایش بارش تحت سناریوی B1 در ماه دسامبر به میزان ۱۴۶/۱۵ میلی‌متر و بیشترین مقدار کاهش بارش ماهانه تحت سناریوی A2 در ماه ژولای به میزان ۲۱/۷۶ میلی‌متر می‌باشد. همچنین در شکل (۶) مشاهده می‌شود که دمای حوضه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ برای سناریوی A1B بین ۰/۱۶ تا ۱/۰۱، برای A2 بین ۰/۱۷ تا ۱/۰۳ و برای B1 بین ۰/۱۶ تا ۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه افزایش یافته است.

**جدول۲- ارزیابی مدل در دوره پایه (۲۰۱۰-۱۹۸۲) با استفاده از آماره‌های واسنجی**

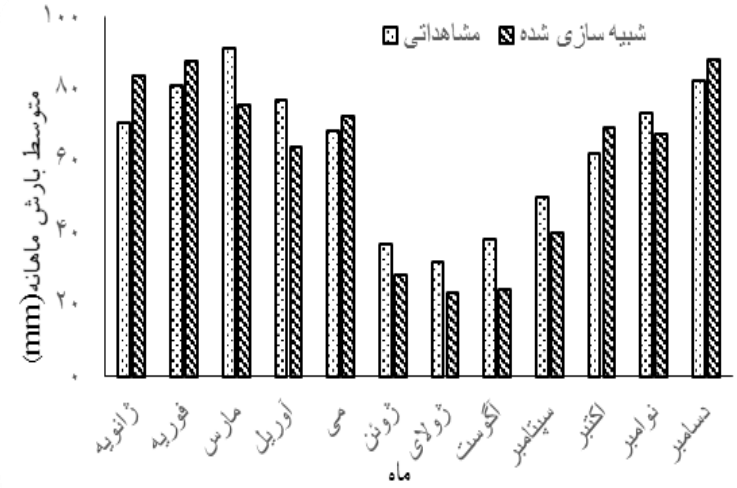
| متغییر | $R^2$ | RMSE | MBE | MAE |
|---|---|---|---|---|
| بارندگی | ۰/۸۴ | ۰/۳۴ | ۰/۰۹ | ۰/۳۲ |

www.SID.ir

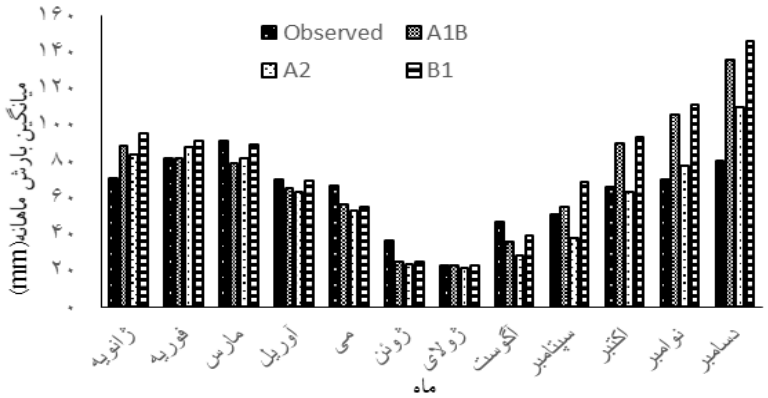
Archive of SID


**شکل ۳- متوسط ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده در دوره آماری (۲۰۱۰-۱۹۸۲) در ایستگاه سرمو**




**شکل ٤-متوسط بارش ماهانه مشاهداتی و شبیه سازی شده در دوره‌پایه(۲۰۱۰-۱۹۸۲)**

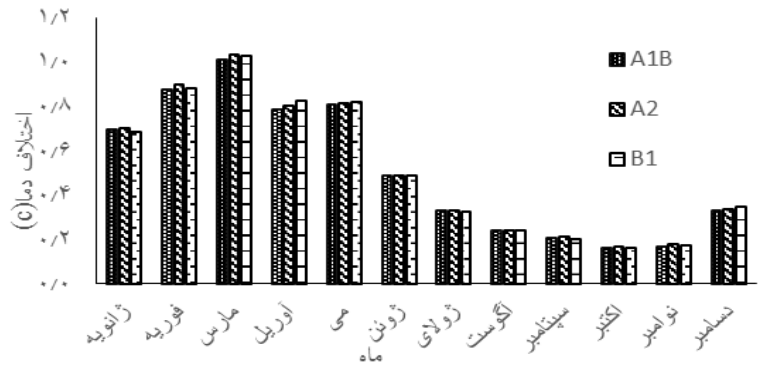



**شکل۵- میانگین ماهانه بارش مشاهداتی و شبیه‌سازی شده تحت سه سناریو در دوره آینده (۲۰٤۰-۲۰۱۱) و دوره پایه(۲۰۱۰-۱۹۸۲)**

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ٦- تغییرات دما در دوره های (۲۰٤۰-۲۰۱۱) تحت سناریوهای تغییر اقلیم نسبت به دوره**

**شبیه سازی بارش رواناب توسط مدل IHACRES**

پارامترهای بهینه شده برای حوضه محمدآباد V(s)، T(s)، T(q)، C، F، و τ(w) به ترتیب بیانگر نسبت حجمی جریان اهسته در ایجاد جریان رودخانه ، ثابت زمانی کاهش جریان آهسته(روز)، ثابت زمانی کاهش پاسخ جریان سریع(روز)، ظرفیت نگهداری رطوبت حوضه آبریز (میلی‌متر)، فاکتور تعدیل دما (درجه سانتیگراد) و ثابت زمانی خشکیدگی حوضه آبریز(روز) می‌باشد. هم‌چنین نتایج عملکرد حوضه به ترتیب در جداول (۳) و (۴) آورده شده است. پس از اجرای مدل برای حوضه محمدآباد و انجام واسنجی با روش سعی و خطا، مقایسه گرافیکی مقادیر روزانه شبیه‌سازی شده و مشاهداتی دبی برای مرحله واسنجی در سال‌های ۱۹۸۷ تا ۱۹۹۱ و صحت‌سنجی در سال‌های ۲۰۰۷ تا ۲۰۱۰ به ترتیب در شکل‌های (۷) و (۸) ارائه شده است.

براساس نتایج به‌دست آمده از آماره‌های خطا در جدول (۴)، مدل توانسته است جریان را تا حد قابل قبولی شبیه‌سازی کند. با توجه به عملکرد مدل در دو مرحله واسنجی و صحت‌سنجی در شکل‌های (۷) و (۸) می‌توان دریافت که عملکرد مدل در شبیه‌سازی جریان در مرحله واسنجی بهتر از مرحله صحت‌سنجی بوده است. این نتیجه با نتایج (Croke and Jakeman, 2008 (، (Zareei et al.,2010) مطابقت دارد. پارامتر V(s) نشان دهنده مشارکت جریان پایه در ایجاد جریان رودخانه‌ای می‌باشد و مقادیر زیاد این پارامتر نشان دهنده وجود جریان پایه بیشتر رودخانه است. C حجم رطوبت ذخیره شده در حوضه بر حسب میلی‌متر است و نشان دهنده سرعت واکنش حوضه آبریز نسبت به بارش می‌باشد. مقدار به‌دست آمده برای این عامل در این حوضه بسیار کم بوده و بنابراین حوضه نسبت به بارش با سرعت کمتری واکنش نشان می‌دهد، که علت آن را احتمالاً می‌توان در وجود پوشش جنگلی در بخش‌هایی از حوضه دانست که باعث تأخیر در تولید جریان می‌شود. مقادیر پارامتر Bias نشان دهنده بیشتر یا کمتر بودن جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل نسبت به جریان مشاهداتی است و یا به عبارتی مشخص می‌کند که مدل جریان را بیش از واقعیت شبیه‌سازی نموده یا کمتر. با استناد به این نکته و با توجه به مقادیر خطا در حجم جریان (BIAS= ۰/۱۲) در مرحله واسنجی و (BIAS= ۰/۱۱) در مرحله صحت‌سنجی، جریان شبیه سازی شده توسط مدل IHACRES، بیشتر از جریان مشاهداتی بوده است.بر اساس انحرافات کم مدل در پارامترهای خطا و مقادیر پارامتر ضریب تعیین می‌توان به این نتیجه رسید که عملکرد مدل در حوضه مورد نظر قابل‌قبول بوده است و مدل توانایی نسبتا خوبی در شبیه‌سازی جریان‌های حداکثر داشته است.

**پیش‌بینی رواناب دردوره‌های اقلیمی آتی توسط مدل IHACRES**

پس از واسنجی مدل، سری زمانی رواناب ماهانه حوضه در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ برای نمونه‌های دما و بارش تولید شده حاصل از مدل LARS-WG برای هر سه سناریوی A1B، A2 و B1 با استفاده از مدل IHACRES شبیه‌سازی شد. سپس متوسط رواناب ماهانه دراز مدت (۳۰ ساله) در دوره آتی با متوسط رواناب ماهانه دوره مشاهداتی در هر سه سناریو مورد بررسی قرار گرفت. نتایج نشان می‌دهد که متوسط رواناب سالانه درازمدت در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ به میزان ۱۶۵/۶۴ متر مکعب بر ثانیه در سناریو A1B، ۲۳۱/۸۸ متر مکعب بر ثانیه در A2 و ۱۲۶/۱۸ متر مکعب بر ثانیه در B1 نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۲ کاهش خواهد یافت (جدول ۵). شکل (۹) تغییرات بلند مدت ماهانه رواناب شبیه‌سازی شده توسط مدل را در دوره‌ی آتی نسبت به دوره مشاهداتی نشان می دهد.

با توجه به نتایج شکل (۹) در برخی از ماه‌های سال، افزایش، و در برخی دیگر دارای کاهش رواناب در دوره آتی می باشد. افزایش رواناب در هر سه سناریو در ماه‌های ژانویه، فوریه، مارس، اکتبر، نوامبر و دسامبر؛ و در سایر ماه‌ها، کاهش را نشان می‌دهد.

www.SID.ir

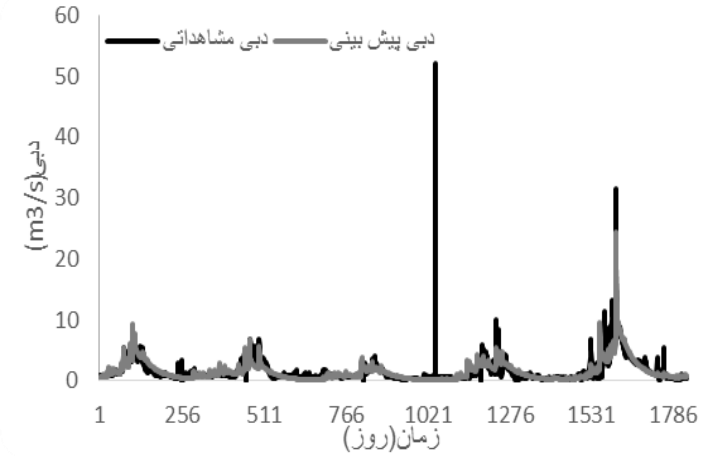
Archive of SID


**جدول ۳- مقادیر پارامترهای بهینه شده از مرحله واسنجی مدل IHACRES حوضه محمدآباد**

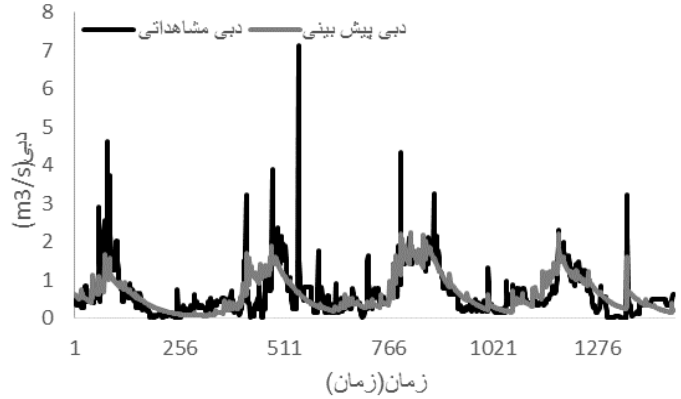
| پارامتر | V(s) | T(s) | T(q) | C | F | τ(w) |
|---|---|---|---|---|---|---|
| مقادیر بهینه | ۰/۸۹ | ۴۸/۲۸ | ۱/۶ | ۰/۰۰۰۰۹ | ۱/۷ | ۵۹ |

**جدول ٤- نتایج عملکرد مرحله واسنجی و صحت سنجی دبی رودخانه توسط مدل IHACRES**

| دوره | $R^2$ | ARPE | BIAS | RMSE | MAE | NS |
|---|---|---|---|---|---|---|
| واسنجی | ۰/۵۰ | ۰/۱۸ | ۰/۱۲ | ۰/۸۵ | ۰/۵۷ | ۰/۵۰ |
| صحت سنجی | ۰/۴۶ | ۰/۰۱ | ۰/۱۱ | ۰/۹۵ | ۰/۵۵ | ۰/۴۹ |




**شکل۷- سری زمانی رواناب مشاهداتی و پیش بینی شده توسط مدل IHACRES در دوره واسنجی**




**شکل ۸- سری زمانی رواناب مشاهداتی و پیش بینی شده توسط مدل IHACRES در دوره صحت سنجی**

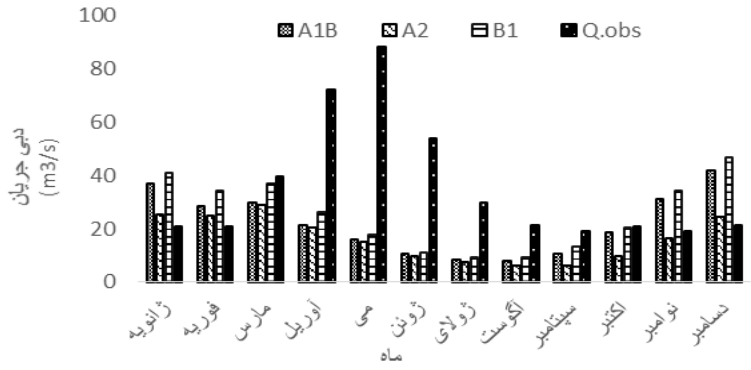
**جدول۵- پارامتر آماری سالانه دبی تجت سناریوهای A1B، A2 و B1 در مدل IHACRES**

| سناریوها و دوره پایه | مجموع متوسط سالانه دبی (متر مکعب بر ثانیه) |
|---|---|
| $A_1B$ | ۲۶۱/۹۴ |
| $A_2$ | ۱۹۵/۶۹ |
| $B_1$ | ۳۰۱/۳۹ |
| ۱۹۸۲-۲۰۱۰ | ۴۲۷/۵۸ |

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل ۹- میانگین درازمدت ماهانه رواناب، طی دوره مشاهده شده و دوره‌های تغییرات اقلیمی سناریوهای A1B، A2 وB1**

## نتیجه‌گیری

در تحقیق حاضر، تأثیر پدیده تغییر اقلیم بر رواناب حوضه محمدآباد واقع در استان گلستان در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ توسط مدل اقلیمی LARS-WG و سه سناریوی A1B، A2 و B1 مدل گردش عمومی HADCM3 مورد تجزیه و تحلیل قرار گرفت. نتایج حاصل نشان داد که دمای حوضه، در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ برای هر سه سناریو نسبت به دوره پایه افزایش خواهد یافت. مشاهده می‌شود که بارش ماهانه تحت هر سه سناریو در ماه دسامبر افزایش یافته است. در دو سناریوی A1B و B1 در ماه ژولای و سناریوی A2 در ماه آگوست کاهش بارش ماهانه را نسبت به دوره مشاهداتی دارد که در نهایت بیشترین افزایش بارش، تحت سناریوی B1، در ماه دسامبر، به میزان ۰/۸۲ میلی‌متر و بیشترین کاهش بارش ماهانه، تحت سناریوی A2، در ماه آگوست به میزان ۰/۳۸ می‌باشد. از طرفی بیشترین افزایش رواناب تحت سناریوی B1 در ماه دسامبر به میزان ۱/۲۱ مترمکعب بر ثانیه و بیشترین کاهش رواناب تجت سناریوی A2 در ماه می به میزان ۰/۸۲ متر مکعب بر ثانیه می‌باشد. نتایج به‌دست آمده از این مطالعه در قسمت بارش با پژوهش (Mehdizadeh et al., 2011) ، در حوضه سد گلستان که با استفاده از مدل CGCM3 برای سال‌های ۲۰۵۰-۲۰۲۱ تحت دو سناریوی A2 و B1 انجام گرفت و بطور کلی نتایج نشان می‌دهد که بارش میانگین ماهانه در فصل‌های تابستان و بهار کاهش و در فصل‌های زمستان و پاییز افزایش می‌یابد، مطابقت دارد. همچنین براساس پژوهش مهدی‌زاده، در ایستگاه کریم‌ایشان با اقلیم مرطوب تغییرات در بارش برای سناریوی A2 با شدت بیشتری رخ خواهد داد. اما در این پژوهش که از سه سناریو انتشار استفاده شده است، در ایستگاه سرمو با اقلیم معتدل بیشترین تغییرات بارش تحت سناریو B1 در پاییز و اوایل زمستان و اواخر تابستان مورد انتظار خواهد بود. همچنین پژوهشی که (Babaeian et al., 2009)، بر روی ۴۳ ایستگاه سینوپتیک کشور برای دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ انجام دادند، نشان داد که بررسی نتایج بر روی شمال‌شرق کشور، بیانگر جابجایی الگوی بارش به سمت انتهای فصل سرد می‌باشد در صورتی که نتایج اشاره شده در متن شکل (۵) برای ایستگاه مورد نظر، بارش در فصل پاییز تحت سه سناریو افزایش بیشتری نسبت به ماه‌های سرد دارد و می‌توان گفت بارش از ماه‌های سرد به ماه‌های معتدل (پاییز) جابجایی پیدا کرده است، بطوریکه ماه‌های سرد سال در اولویت بعدی قرار می‌گیرند. در نهایت نتایج نشان می‌دهد مجموع متوسط تغییرات رواناب سالانه درازمدت در دوره ۲۰۴۰-۲۰۱۱ به میزان ۱/۷۲ مترمکعب بر ثانیه در سناریوی A1B ، ۴/۸۶ متر مکعب بر ثانیه در سناریوی A2 و ۰/۲۵ متر مکعب بر ثانیه در سناریوی B1 نسبت به دوره ۲۰۱۰-۱۹۸۲ کاهش خواهد یافت.

## منابع

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

2- Alizadeh, A.,1997.*Principles of Applied Hydrology*, Ninth Edition, Astan Quds Razavi Publishing Center. Ferdowsi University of Mashhad. (In Persian).

www.SID.ir

Archive of SID


3- Babaeian, E., Nagafineik, Z., Zabolabasi, F., Habeibei, M,. Adab, H. and Malbisei, SH., 2009. Climate Change Assessment over Iran During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO- G Model, *Journal of Geography and Development*,16, pp. 135-152. (In Persian).

4- Babaeian, E. and Nagafineik, Z., 2006. Introduction and evaluation of LARS-WG model for modeling meteorological parameters of Khorasan province, *Journal of Nivar*, 63, pp. 24-30. (In Persian).

5- Croke, B.F.W. and Jakeman, A.J.2008. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi arid regions, pp 41-48, In: Wheatear, H.S.

6- Croke, B.F.W. Andrews, F. Jakeman, A.J. Cuddy, S.M. and Luddy, A. 2005a. Redesign of the IHACRES rainfall runoff model. In: Proceedings of the 29th Hydrology and Water Resources Symposium. *Engineers Australisa*.

7- Crook, B.F.W. Andrews, F. Spate, J. and Cuddy, S.M. 2005b. IHACRES User Guide. Technical Report 2005/19, second sd. ICAM, School of Resources, Environment and Society, The Australian National University, Canberra.pp 39.

8- Hosseini, S.H., Ghorbani, M.A,. and Masah Bavani, A., 2015. Rainfall-runoff modeling in climate change conditions in order to predict future flows in the Sufichea area. *Watershed Management Research Center* , 6 (11), pp. 1-14. (In Persian).

9- Kheyrfam, H., Mostafazadeh., R. and Sadeghi., H.R.,2012. Estimation of daily discharge using IHACRES model in some watersheds of Golestan province. *Journal of Management of Watersheds,* 7, pp. 114-127. (In Persian).

10- Mahdizadeh, S., Meftahholaghi, M., Seyseghasemi, S. and Mosaedi, A., 2011. The Effect of Climate Change on Precipitation in Golestan Dam Basin. *Journal of Soil and Water Research*, 18(3), pp.117-132. (In Persian).

11- Masah Bavani, A. and Ashofteh, P.S., 2010. Effect of deformation on maximum discharge (Case study: Aydoghmoosh watershed, East Azarbaijan province). *Journal of Agricultural Science and Technology, Water and Soil Science*, 53(14), pp. 25-39. (In Persian).

12- Namdorost, J.,2002. Simulation of the effect of hydrological parameters on runoff runoff in some watersheds of Iran. Thesis Master. Watershed group. Faculty of Natural Resources and Naval Sciences. Tarbiat Modares University, P 44. (In Persian).

13- Roshan, GH., Khoshakhlagh., F. and Azizi., GH., 2012. Appropriate model for atmospheric circulation of atmosphere for the estimation of Iran's temperature and precipitation values under global warming conditions. *Geography and Development of the Tenth Year*, 27, pp.19. (In Persian).

14- Sadeghi, s.H., Ghasemiye, H. and Sadatinegad, S.j., 2015.Evaluation of the Efficiency of IHACRES Hydrological Model in Wet Areas (Case Study: Nervood Basin, Guilan). *Journal of Soil and Water Sciences - Agricultural and Natural Resources Sciences and Technology*, 73, pp. 73-83. (In Persian).

15- Semenov, M.A. 2008. Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator. *Climate Research*, 35, pp 203-212.

16- Semenov, M.A. and Brooks, R.J. 1998. Comparison of the WGEN and LARS-WG stochastic weather generators for diverse climates. *Climate Research*,10, pp 95-107.

www.SID.ir

Archive of SID



17- Sharifi, F., Safapor, SH. And Ayobzadeh, S.A.,2004. Evaluation of AWBM2002 Computer Modeling in Simulation of Hydrological Processes of Some Iranian Watersheds. *Research and Construction* , 36, pp. 35-42. (In Persian).

18- Williams, A.G. 1991. Modeling future climates: From GCMs to statistical downscaling approaches, *University of Toronto at Scarborough*, p 56.

19- Ye, W. Bates, B.C. Viney, N.R. Sivapalan, M. and Jakeman, A.J. 1997. Performance of Conceptual rainfall-Runoff Modeles in Low-Yielding Ephemeral Catchments. *Water Resources Research*. 33(1), pp 153-160.

20- Zareei, M.,Habibnegad Roshan, M., Shahedi., K. and Ghanbari, M.R.,2010. Calibration and evaluation of the IHACRES hydrologic model for simulation of daily flow. *Journal of Soil and Water (Agricultural Sciences and Technology)*, 25 (10), pp 104-114. (In Persian).

21- Zareei, M.,Habibnegad Roshan, M., Shahedi., K. and Ghanbari, M.R.,2009. River Flow Simulation Using the IHACRES Rainfall-Runoff Model (Case Study: Kasilian Watershed). *Iran Watershed Science and Engineering*, 8(3), pp 11-20. (In Persian).

22- Zarghami, M., Abdi, A., Babaeian, E., Hasanzadeh, Y. and Kanani, R.,2011.Effects of Climate Change in the Channels in the East of the Republic of Azerbaijan. *In the Iranian press, Worldwide and Planetary Change, available online on June 30, 2011*, pp. 30-6. (In Persian).

www.SID.ir