Archive of SID



# ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز بابلرود با استفاده از مدل IHACRES

هادی رزاقیان[۱]؛ کاکا شاهدی[۲]؛ محمود حبیب نژاد روشن[۳]

تاریخ دریافت: ۱۳۹۴/۱۱/۰۱
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۵/۰۶/۱۴

## چکیده

حوزه آبخیز بابلرود در استان مازندران در سالیان اخیر حوادث اقلیمی متفاوتی را تجربه نمود. بر این اساس لزوم بررسی هر چه بیشتر تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب این حوزه آبخیز مورد تأکید قرار می‌گیرد. این کار از طریق مدل‌های تغییر اقلیم که قادر به شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی هستند؛ انجام می‌پذیرد. به‌دلیل عدم پیش‌بینی پارامترهای آب و هواشناسی در مقیاس نقطه‌ای توسط مدل‌های تغییر اقلیم، ابزار واسطی به‌نام مولد هواشناسی ابداع گردید که توسط آن می‌توان تغییر اقلیم را در مقیاس نقطه‌ای و ایستگاه موردنظر ارزیابی کرد. در این تحقیق با استفاده از این روش، داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 با به‌کارگیری نرم افزار LARS-WG طبق سه سناریوی A2، B1 و A1B برای دوره‌های زمانی اول (۲۰۶۵-۲۰۴۶) و دوم (۲۰۹۹-۲۰۸۰) ریزمقیاس شدند. نتایج حاصل از ارزیابی تغییراقلیم، تغییر میزان بارش در حوضه مورد مطالعه را از ۴۳- تا ۳۲+ درصد بیان نمود. این حدود تغییرات با افزایش بارش در ماه‌های پربارش و کاهش شدید بارندگی در ماه‌های کم بارش تابستان همراه بود. همچنین افزایش دمای سالانه به‌طور میانگین حدود ۱/۴ سانتی‌گراد تا ۳/۶ سانتی‌گراد، به‌ویژه در ماه‌های گرم سال نمود بیشتری خواهد داشت. پس از این مرحله مقادیر پیش‌بینی شده دما و بارش توسط مدل اقلیمی HadCM3، به مدل بارش-رواناب IHACRES داده شد و تغییرات دبی در دو دوره اول و دوم مشخص گردید. میانگین دبی ماهانه دوره پایه (۱۷/۴۲ متر مکعب) نسبت به میانگین دوره اول (۱۴/۸۲ متر مکعب) و میانگین دوره دوم (۱۴/۲۰ متر مکعب) بیشتر بود که این موضوع به کاهش ۱۵ تا ۱۸/۵ درصدی در میزان میانگین رواناب ماهانه اشاره دارد. براساس یافته های این پژوهش افزایش دما و کاهش میزان بارش در طی سال‌های آینده منجر به کاهش رواناب و منابع آبی موجود به‌واسطه فرآیند تبخیر و خشکی بیشتر حوزه آبخیز خواهد شد که به تبع آن با تأثیر بر اقلیم منطقه در آینده‌ای نه چندان دور، تعداد و شدت وقایع سیل و خشکسالی افزایش خواهد یافت.

**واژه‌های کلیدی: مدل بارش-رواناب، مولد آب و هواشناسی، بابلرود، HadCM3 .**

[۱]. استادیار گروه علوم کشاورزی و منابع طبیعی و محیط زیست، دانشگاه پیام نور، تهران، ۰۹۱۱۲۱۴۱۸۴۸، hrazzaghian@yahoo.com (مسئول مکاتبه)

[۲]. دانشیار و عضو هیات علمی گروه علوم مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۰۹۱۱۹۶۳۲۱۴۹، k.shahedi@sanru.ac.ir

[۳]. استاد و عضو هیات علمی گروه علوم مهندسی آبخیزداری، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری، ۰۹۱۱۱۵۲۲۱۰۲، m.habibnejad@sanru.ac.ir

www.SID.ir

Archive of SID



## مقدمه

فرآیند تغییر اقلیم به‌ویژه تغییرات دما و بارش، مهم‌ترین بحث مطرح در قلمرو علوم محیطی می‌باشند. این پدیده به‌دلیل ابعاد علمی و کاربردی آن (اثرات محیطی و اقتصادی- اجتماعی) از اهمیت فزآینده‌ای برخوردار است؛ چرا که سیستم‌های انسانی وابسته به عناصر اقلیمی مانند کشاورزی، صنایع و امثال آن بر مبنای ثبات و پایداری اقلیم، طراحی شده و عمل می‌نمایند (خزانه‌داری و همکاران، ۱۳۸۸). تغییر اقلیم با ایجاد پدیده خشکسالی و تأثیر بر میزان شدت و تداوم آن، موجب کاهش پوشش گیاهی و به تبع آن تأثیر بر پاسخ‌های هیدرولوژیک در سطح حوزه آبخیز می‌گردد (Guardiola et al., 2011). همچنین افزایش دمای هوا در اثر تغییر اقلیم، موجب تغییر رژیم بارشی از برف به سمت باران، تغییر مقدار و شدت رواناب، نسبت برف به باران و میزان آب ذخیره شده در توده برف خواهد شد و میزان بارش روی برف، در ارتفاعات میانی و پست کوهستان کاهش و در مناطق مرتفع افزایش می‌یابد که در نهایت بر دبی اوج جریان روزانه تأثیرگذار خواهد بود (Surfleet and Tullos, 2013). گزارش هیات بین الدول تغییر اقلیم (IPCC) نشان می‌دهد تغییر اقلیم موجب تغییر در ویژگی‌های هیدرولوژیک در چند دهه اخیر در سطح جهان شده، به‌طوری‌که بارندگی و جریان‌های سطحی در عرض‌های جغرافیایی بالا و میانی بیشتر و در عرض‌های پایینی کمتر و احتمال مواجهه با رخدادهای حداکثر اقلیمی مانند سیلاب و خشکسالی افزایش یافت (IPCC، 2007). برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف در دوره‌های آتی، می‌بایست در ابتدا مقدار متغیرهای اقلیمی در آینده شبیه‌سازی گردد. مدل‌های مختلفی برای شبیه‌سازی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی وجود دارد که یکی از این مدل‌ها، IHACRES می‌باشد. این مدل به‌علت داده‌های اندک مورد نیاز، بدون صرف زمان و هزینه زیاد برای تهیه داده‌ها، به‌آسانی می‌تواند در بسیاری از حوزه‌های آبخیز به‌کار برده شود (Croke et al., 2005). به‌طوری‌که این مدل برای داده‌های با پایه زمانی ۶ دقیقه تا یک ماه و برای حوزه های آبخیز با مساحت های متنوع از ۴۹۰ متر مربع در چین تا ۱۰۰۰ کیلومترمربع در انگلستان استفاده شده است (Littlewood et al., 2007). مطالعات متعددی روی تأثیرات تغییر اقلیم بر منابع آب شامل تأثیر روی کمیت آب، هیدرولوژی و تقاضای آب انجام شده است. تأثیر سناریوهای تغییر اقلیم بر رواناب در ۱۲ حوضه رودخانه‌های هند برای دوره ۲۰۶۰-۲۰۴۱ مورد مطالعه قرار گرفت (Gosain et al., 2006). نتایج مطالعه آن‌ها دلالت بر کاهش جریان و افزایش شدت سیلاب و خشکسالی دارد. برای شبیه‌سازی اثرات روند تغییرات اقلیمی گذشته در حوضه سن جاکینتو تگزاس، از مدل SWAT استفاده شد (Muttiah and Wurbs, 2002). نتایج مطالعه آن‌ها نشان داد که افزایش جریان رودخانه می‌تواند سیلابی شدن بیش‌تر را به‌همراه داشته باشد. این در حالی است که فراوانی جریان‌های نرمال و جریان‌های کمینه کاهش یافته است. برای پیش‌بینی تأثیر تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌های استان آذربایجان شرقی بر اساس خروجی‌های مدل HadCM3 از مدل LARS-WG، از شبکه عصبی مصنوعی استفاده شد (Zarghami et al., 2011). آنها نتیجه گرفتند جریان رودخانه‌ها در دوره آتی کاهش خواهد یافت. به‌منظور ارزیابی پیش‌بینی‌های جریان در دو حوزه آبخیز آفریقای جنوبی از مدل IHACRES استفاده شد (Dye and Croke, 2003) و این نتیجه حاصل شد که جریان پیش بینی شده در حوضه لامبرچباس در دو دوره گوناگون (در دوره پیش از جنگل‌کاری $R^2$=0.81 و Bias=25.8 mm/yr و در دوره پس از جنگل‌کاری $R^2$=0.81 وBias=8.4 mm/yr) دقت قابل قبولی داشته است. شبیه‌سازی جریان در حوضه گروت- نیلریور نیز برای دوره‌های نسبتاً کوتاه دو الی سه سال قابل قبول بوده، اما کارآیی مدل در دوره‌های زمانی

www.SID.ir

Archive of SID



طولانی‌تر به‌دلیل پیش‌بینی‌های ضعیف در برخی سال‌های معین کاهش یافته بود. دلیل اصلی این امر ارزیابی‌های ضعیف بارش حوضه در برخی سال‌ها نسبت داده شده است. زارعی و همکاران (۱۳۸۹)، با استفاده از مدل IHACRES برای شبیه‌سازی جریان روزانه در حوزه آبخیز کسیلیان و زیرحوضه معرف آن استفاده کردند. نتایج تحقیق حاکی از عدم وجود تأخیر بین بارش و جذب آن در دو حوضه بوده است. همچنین با توجه به مقادیر خطا در حجم جریان (Bias)، متوسط جریان شبیه‌سازی شده توسط مدل IHACRES در دو حوضه بیش از جریان مشاهداتی است. مدل IHACRES برای حوزه آبخیز خشک WadiDhuliel در شمال‌شرق اردن به‌کار برده شد (Abushandi and Broder, 2011). آن‌ها داده‌های بارش و رواناب ۱۹ حادثه طوفان را در طول سال‌های ۱۹۸۶ تا ۱۹۹۲ در این تحقیق به‌کار بردند. برآورد سیل در مقیاس‌های روزانه و در مقیاس حوادث طوفان انجام شد. همچنین مدل به‌منظور مقابله با حوادث شدید برای بارش برف توسعه یافته بود. نتایج نشان داد عملکرد مدل IHACRES در مقیاس روزانه ضعیف است ولی در حوادث طوفان توافق خوبی بین دبی مشاهده شده و شبیه‌سازی وجود دارد. Kling et al. (2012) به بررسی تغییرات رواناب در حوضه دانوب تحت اثر سناریوهای تغییر اقلیم پرداختند. آن‌ها در این تحقیق از ۲۱ مدل RCM تحت سناریوی A1B و مدل بارش رواناب HBV استفاده کردند. در تحقیق آن‌ها همه مدل‌ها یک افزایش ۲ تا ۵ درجه سانتیگراد افزایش دما را تا پایان قرن ۲۱ نشان دادند. همچنین اکثر مدل‌ها افزایش بارش و کاهش ۵ تا ۳۰ درصدی رواناب را برای سال‌های آتی پیش‌بینی کردند. عبدالهی پور و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیق خود از مدل بارش-رواناب IHACRES برای شبیه‌سازی جریان روزانه رودخانه ساروق چای ازحوزه ابخیز زرینه رود استفاده نمود. نتایج شبیه‌سازی نشان داد که درهردودوره واسنجی و صحت سنجی مقادیر براوردی مدل خصوصا درمقادیر دبی اوج کمتر ازمقادیر مشاهداتی بوده است. سهرابیان و همکاران (۱۳۹۴) در تحقیقی به بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه با دخالت مدل هیدرولوژی تحت سه سناریو A1B، A2 و B1 در حوضه گالیکش استان گلستان پرداختند. بر اساس آن نتایج مدل IHACRES نشان داد که رواناب در دوره آتی نسبت به دوره مشاهداتی در هر سه سناریو به‌ترتیب به میزان ۶/۳۷، ۴/۴۳ و ۷/۹۴ متر مکعب بر ثانیه کاهش پیدا کرده که نشان از تأثیر تغییر اقلیم بر رواناب حوضه در دوره آتی دارد.

تحقیق حاضر به‌واسطه در دسترس بودن داده‌های بسیار بلند مدت و روزانه، به ارزیابی فرآیند تغییر اقلیم و تأثیر آن بر رواناب حوزه آبخیز بابلرود در دو دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ با استفاده از ریزمقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو HadCM3 می‌پردازد. این عمل در قالب سه سناریوی اقلیمی A2 (بدبینانه)، B1 (خوش بینانه) و A1B (متعادل) با استفاده از نرم افزار LARS-WG و شبیه‌سازی رواناب با استفاده از مدل بارش-رواناب IHACRES انجام پذیرفت.

## مواد و روش‌ها

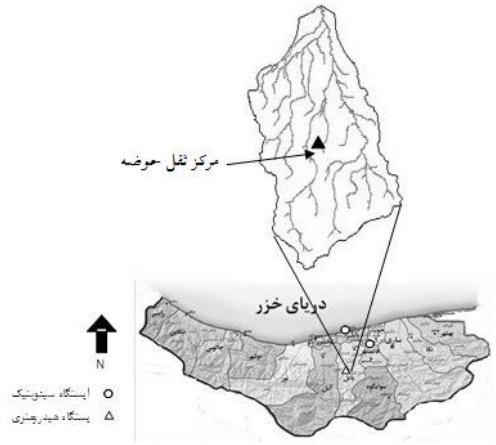
### منطقه مطالعه

استان مازندران در بخش جنوبی دریای خزر، با وسعت ۲۳۷۵۶ کیلومتر مربع شامل حدود ۳۰ حوزه آبخیز کوچک و بزرگ می‌باشد. حوزه آبخیز بابلرود یکی از ده حوزه آبخیز بزرگ استان در بخش مرکزی این استان، با مساحتی بالغ بر ۱۴۳۰ کیلومتر مربع، بین ۵۲ درجه و ۳۸ دقیقه تا ۵۲ درجه و ۵۵ دقیقه طول شرقی و ۳۶ درجه و ۲ دقیقه تا ۳۶ درجه و ۲۲ دقیقه عرض شمالی قرار گرفت (شکل ۱). این حوزه آبخیز دارای ۵ زیر حوضه اصلی به نام‌های بابلک، اسکلیم‌رود، کارسنگ‌رود، آذررود و اراضی پست می‌باشد (کاویان و صفری، ۱۳۹۱).

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل (۱): موقعیت حوضه و ایستگاه‌های مورد مطالعه در استان مازندران**

**تغییر اقلیم**

یکی از انواع مدل‌های گردش عمومی جفت شده جوی - اقیانوسی که در مرکز هادلی سازمان هواشناسی انگلیس طراحی و توسعه یافت؛ مدل HadCM3 می باشد. مدل مذکور از دو مؤلفه جوی و اقیانوسی به نام‌های مدل جوی (HadAM3) و مدل اقیانوسی (HadOM3) تشکیل گردید. قدرت تفکیک بالای مؤلفه اقیانوسی، مهمترین مزیت این مدل می‌باشد. دیگر مزیت این مدل هماهنگی خوب بین مؤلفه‌های جوی و اقیانوسی آن می‌باشد (IPCC، 2007). باید توجه داشت که در صورت استفاده از روش مناسب و معتبر در ریزمقیاس نمایی خروجی مدل‌های گردش عمومی جو، این مدل‌ها ابزار مناسبی برای پیش‌بینی وقایع حدی هستند. از سوی دیگر این مدل‌ها قادر به تولید سری‌های زمانی طولانی مدت هستند که می‌توان به‌کمک آن‌ها به آنالیز تغییرات احتمالی وقایع حد در دوره‌های آینده تا سال ۲۱۰۰ نیز پرداخت (Guardiola et al., 2011).

**خانواده سناریوها**

خانواده سناریوهای انتشار، به سناریوهایی اطلاق می‌شود که دارای موضوع و زمینه مشترکی هستند. در گزارش‌های سوم و چهارم هیات بین الدول تغییر اقلیم، در مورد شش خانواده از سناریوهای انتشار بحث گردید که مطابق آن‌چه در گزارش‌های مذکور آمد، شامل A1F، A1B، A1T، A2، B1 و B2 می‌باشد. سناریوهای انتشار که در این پژوهش مورد استفاده قرار گرفته اند دارای مشخصات زیر هستند:

الف- سناریوی A2 (بدبینانه)؛ این سناریو شامل دنیایی است که در آن کشورها به‌طور مستقل عمل کرده و به خود متکی هستند،جمعیت دنیا به‌طور پیوسته افزایش می‌یابد و توسعه اقتصادی، منطقه محور است.

ب- سناریوی B1 (خوش‌بینانه)؛ بر اساس این سناریو، جهان یکپارچه و همگرا با رشد جمعیت در نیمه قرن (۲۰۵۰) و کاهش تدریجی پس از آن که از این نظر مشابه آنچه در سناریوی A1 ذکر شد همراه است. در سناریوی B1، شاهد تغییر سریع ساختار اقتصادی از نظر خدمات و اطلاعات اقتصادی و همچنین معرفی منابع فنآوری پاک ومؤثر و کاهش مواد آلاینده خواهیم بود (Nigel and Lloyd, 2014).

ج- سناریوی A1B (متعادل)؛ زیرمجموعه خانواده A1 بوده که در آن جهان یکپارچه در نظر گرفته می شود. افزایش تعاملات اجتماعی و فرهنگی در دنیا، رشد اقتصادی سریع، گسترش سریع فناوری‌های

www.SID.ir

Archive of SID



جدید و کارآمد و افزایش جمعیت جهان در سال ۲۰۵۰ به ۹ میلیارد نفر و سپس کاهش تدریجی آن، از خصوصیات این سناریو می‌باشد. بر مبنای تاکید بر فناوری، سه زیر مجموعه A1T، A1F و A1B برای خانواده A1 وجود دارند که به‌ترتیب بر استفاده از منابع انرژی غیرفسیلی، سوخت‌های فسیلی و کاربرد متعادل انواع منابع انرژی تاکید دارد (Nigel and Lloyd, 2014).

**مراحل ارزیابی تغییرات رواناب**

**مدل بارش- رواناب IHACRES**

یکی از کاربردی‌ترین مدل‌ها که به‌عنوان مدل تغییر اقلیم قادر به شبیه‌سازی رواناب می‌باشد، مدل IHACRES با نام اختصاری ICP[1] می‌باشد که از دقت خوبی نیز برخوردار می باشد. مدل بارش- رواناب IHACRES به‌طور مشترک توسط هیدرولوژیست‌های مرکز مدیریت و ارزیابی جامع حوزه آبخیز (ICAM) دانشگاه ملی استرالیا، کانبرا و مرکز اکولوژی و هیدرولوژی (CEH) انجمن تحقیقات زیست محیطی انگلستان توسعه یافت.

در تحقیق حاضر بسته نرم‌افزاری IHACRES مورد استفاده قرار گرفته که از این پس آورده می‌شود. IHACRES یک مدل مفهومی و یکپارچه است و دارای دو بخش می باشد: 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 حوزه آبخیز) تبدیل می‌کند. این بخش تحت عنوان بخش تلفات نامیده می‌شود. ب- یک تابع تبدیل خطی (یا هیدروگراف واحد) که بارش مؤثر را به جریان مدل‌سازی شده ($x_k$) تبدیل می‌کند. بخش تابع تبدیل مبتنی بر تئوری سیستم‌های خطی است روابط به کار رفته در مدول غیرخطی کاهش به‌منظور تبدیل بارش به بارندگی مؤثر در حوضه به‌شرح ذیل است (Box and Jenkins, 1970).

$$U_k=r_k\times S_k \quad (۱)$$

$$S_k=C\times r_k+(1+\frac{1}{r_k\times(t_k)})S_{k-1} \quad (۲)$$

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

$$X_k=a^qX_{k-1}+b^qU_{k-1}+a^sX_{k-1}+b^sU_{k-1} \quad (۴)$$

که در آن‌ها، $S_k$ ضریب رطوبتی حوضه است که تابعی از تبخیر- تعرق در حوضه بوده و با رابطه های ۲ و ۳ بیانه می‌شود. در رابطه ۳، $\tau_w(t_k)$ مقدار شاخص $S_k$ را در رابطه ۲ در هنگامی‌که بارش رخ نمی‌دهد، کنترل می‌کند که در آن R دمای مرجع، $\tau_w$ ثابت زمانی خشک شدن حوضه و f فاکتور تعدیل دما است. در رابطه ۳ پارامتر C به‌گونه‌ای تعیین می‌شود که حجم بارندگی مؤثر و رواناب مشاهداتی در دوره واسنجی یکسان گردد. سپس بارندگی مؤثر توسط مدول خطی هیدروگراف (رابطه ۴) به رواناب سطحی تبدیل خواهد شد. در رابطه ۴ پارامترهای q و s، پارامترهای مربوط به تفکیک هیدروگراف سریع (q) و هیدروگراف کند (s) می‌باشند. به‌طور کلی در این روش سه پارامتر τw، f و c از مدول غیرخطی کاهش (روابط ۱، ۲ و ۳) و سه پارامتر از چهار پارامتر $a^q$، $a^s$، $b^q$ و $b^s$ از مدول خطی هیدروگراف (رابطه ۴) باید بر اساس داده‌های مشاهداتی برای حوضه مورد مطالعه کالیبره شوند. بهترین مقادیر اولیه (τw و f) از طریق جداول و گراف‌های مشخص شده در خروجی ICP قابل تعیین می‌باشند (Littlewood et al., 2007). در عمل جستجو برای یک (τw و f) بهینه قابل قبول ممکن است در ابتدا به یک تعامل بین مقدار بالا برای ضریب تعیین[2] ($R^2$) و یک مقدار پایین میانگین خطای نسبی پارامتر[3] (ARPE) محدود شود. مقادیر $R^2$ مقادیر $R^2$ و ARPE به‌ترتیب از روابط ۵ و ۶ به‌دست می‌آیند.

[1]. IHACRES Classic Plus

[2]. Coefficient of determination
[3]. Average relative parameter error

www.SID.ir

Archive of SID



$$R^2=1-\frac{\sum(\sqrt{Q_s}-\sqrt{Q_0})^2}{\sum(\sqrt{Q_0}-\sqrt{Q_0})^2} \quad (۵)$$

$$APRE=\left[\left(\frac{\sigma_{a_1}}{a_1}\right)^2+\left(\frac{\sigma_{a_2}}{\sigma_{a_2}}\right)^2+\left(\frac{\sigma_{b_0}}{b_0}\right)^2+\left(\frac{\sigma_{b_1}}{b_1}\right)^2\right]/4 \quad (۶)$$

بعد از آن‌که یک مدل قابل قبول با استفاده از $R^2$ و APRE مشخص شد؛ شاخص های تناسب دیگر مدل ICP مانند ضریب تشخیص کالیبراسیون[1] مدل (D) و مجموع خطا در حجم جریان[2](BIAS) می‌توانند برای کمک به انتخاب یک مدل نهایی همان‌طور که نشان داده خواهد شد، استفاده شوند. BIAS و D توسط مدل IHACRES و با استفاده از روابط ۷ و ۸ محاسبه می‌شوند.

$$BIAS=\frac{\sum(Q_O-Q_M)}{n} \quad (۷)$$

$$D=1-\left[\frac{\sum(Q_O-Q_M)^2}{\sum(Q_O-Q_O)^2}\right] \quad (۸)$$

در روابط بالا BIAS تعداد خطا در حجم جریان(mm/yr)، $Q_O$ جریان روزانه مشاهده شده، $Q_M$ جریان روزانه شبیه سازی شده، n تعداد داده می باشد. پارامتر های D، APRE و BIAS توسط مدل مورد محاسبه قرار گرفته، هر چه مقادیر D بیشتر و مقدار APRE کمتر باشد نتایج مدل ایده آل‌تر است (Littlewood et al., 2007). پارامتر BIAS هم نشان دهنده کمتر یا بیشتر بودن جریان شبیه‌سازی نسبت به مقدار واقعی است (Croke et al., 2005).

## داده‌های مورد نیاز مدل

مدل IHACRES به سه سری زمانی داده نیاز دارد که عبارتند از؛ ۱- داده بارندگی که می‌تواند بر حسب میلی‌متر یا اینچ باشد. ۲- داده‌های درجه حرارت (درجه سلسیوس، فارنهایت و یا کلوین). ۳- داده‌های مشاهده‌ای جریان رودخانه (متر مکعب بر ثانیه، میلی‌گرم بر لیتر در پایه زمانی، میلی‌متر در پایه زمانی، لیتر بر ثانیه یا فوت مکعب بر ثانیه).

سری زمانی بارندگی و درجه حرارت به‌عنوان ورودی مدل و برای شبیه‌سازی جریان استفاده می‌شوند. در حالی‌که داده جریان برای کالیبراسیون مدل و همچنین بررسی دقت نتایج حاصل از شبیه-سازی مورد استفاده قرار می‌گیرد.

در این تحقیق به‌منظور شناسایی تغییر اقلیم در حوضه آبخیز مورد مطالعه و انتخاب مدل اقلیمی مورد نظر با توجه به داده‌های موردنیاز مدل، از آمار بلندمدت و در دسترس ایستگاه‌های هواشناسی بابلسر (۶۵ سال) و قراخیل(۴۵ سال)، برای میزان تشعشع و ساعات آفتابی وایستگاه‌های کلیماتولوژی و هیدرومتری گلوگاه بندپی (۴۱ سال) و اداره آب بابل (۵۰ سال) به ترتیب در مرکز ثقل حوضه و خروجی حوضه (شکل ۱)، برای مقادیر بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و دبی روزانه که دارای آمارِ بلند مدت و بدون نقص در دوره آماری ۳۰ ساله پایه (۲۰۱۱-۱۹۸۲) بودند؛ استفاده شد (جدول ۱).

پس از جمع‌آوری داده‌ها و اطلاعات برای محدوده مطالعاتی، نسبت به آزمون همگنی داده‌ها و اصلاح داده‌ها اقدام شد. در مرحله بعد، توانمندی مدل LARS-WG در مدل‌سازی اقلیم دوره‌ی پایه ایستگاه‌های مورد مطالعه، بر اساس سناریوی حالت پایه و با استفاده از پارامترهای آماری مورد بررسی قرار گرفت. به‌طور کلی توانمندی مدل مولد داده‌های آب و هوا، اثرات مستقیمی بر ارزیابی تغییر اقلیم در منطقه مورد مطالعه دارد. بنابراین توانمندی این مدل مطابق داده‌های ۳۰ سال دیده‌بانی (۲۰۱۱ - ۱۹۸۲) مورد ارزیابی قرار گرفت. برای ارزیابی خروجی‌های مدل، داده‌های دیده‌بانی و مدل‌سازی شده با یکدیگر مقایسه شدند. این کار از طریق مقایسه داده‌های متغیرهای بارش، ساعات آفتابی، دمای کمینه و دمای بیشینه

[1]. Coefficient of determination
[2]. Overall error in flow volume

www.SID.ir

Archive of SID



دوره آماری بیشینه دوره آماری و داده‌های تولید شده توسط مدل و با استفاده از روش آماری، نقشه و نمودار انجام شد. در مرحله بعد خروجی‌های مدل منتخب تحت سه سناریوی متفاوت اقلیمی A2 (بدبینانه) و B1 (خوش بینانه) و A1B (متعادل) در دو دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ در مقیاس جهانی به‌دست آمد و به مقیاس ایستگاهی تبدیل شدند. در این بخش، از تکنیک‌های کوچک مقیاس‌سازی مانند مدل LARS-WG با توجه به در دسترس بودن داده و امکانات جهت تبدیل نتایج مدل جهانی به منطقه‌ای استفاده شد. در نهایت با استفاده از نتایج به دست آمده، فرآیند تغییر اقلیم حوضه آبخیز بابلرود، تحت سناریوهای اقلیمی مذکور مورد بررسی و ارزیابی قرار گرفت.در مرحله بعد داده‌های بارش، دما و دبی مشاهده‌ای در دوره آماری ۳۰ ساله (۲۰۱۱-۱۹۸۲) به‌عنوان ورودی‌های مدل IHACRES به‌منظور انجام واسنجی و صحت‌سنجی استفاده شد. پس از این مرحله مقادیر پیش‌بینی شده دما و بارش توسط مدل اقلیمی HadCM3، به مدل بارش- رواناب IHACRES داده شد و تغییرات دبی در دو دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ مشخص گردید.

**جدول (۱): مشخصات ایستگاه‌های مورد استفاده**

| نام ایستگاه | نوع ایستگاه | طول جغرافیایی | عرض جغرافیایی | ارتفاع ایستگاه (متر) | سال تاسیس |
|---|---|---|---|---|---|
| بابلسر | هواشناسی سینوپتیک | ۵۲°۳۹ ´ | ۳۶°۴۳ ´ | -۲۱ | ۱۳۳۰ |
| قراخیل | هواشناسی کلیماتولوژی | ۵۲°۴۶ ´ | ۳۶°۲۷ ´ | ۱۵ | ۱۳۵۰ |
| گلوگاه بندپی | کلیماتولوژی و هیدرومتری | ۵۲°۳۷ ´ | ۳۶°۱۸ ´ | ۲۰۰ | ۱۳۵۴ |
| اداره آب بابل | کلیماتولوژی و هیدرومتری | ۵۲°۳۹ | ۳۶°۳۲ ´ | ۰ | ۱۳۲۸ |

## نتایج و بحث

### بررسی توانمندی مدل LARS-WG

با تحلیل آماری نتایج مدل‌سازی ملاحظه شد، بین دماهای بیشینه، کمینه و ساعت آفتابی دیده‌بانی و مدل‌سازی شده تطابق بسیار خوبی وجود داشته و تنها در مورد بارش تفاوت بسیار کمی بود که با نتایج بابائیان و همکاران (۱۳۸۸) هماهنگی داشت. به‌طور کلی نتایج، حاکی از توانمندی مدل LARS-WG در مدل‌سازی اقلیم دوره پایه حوزه آبخیز بابلرود بر اساس سناریوی حالت پایه دارد.

### ارزیابی تغییر اقلیم در دو دوره پیش بینی

در جداول ۲ و ۳ مقادیر میانگین بارش و دمای ماهانه در دوره پایه، دوره اول و دوره دوم تحت سه سناریوی اقلیمی A2، B1 و A1B حاصل از خروجی مدل HadCM3 بیان شد. میانگین بارش ماهانه در همه سناریوها در اکثر ماه‌های سال به جز ماه‌های پربارش (مارس، آوریل، اکتبر و نوامبر) با کاهش مواجه گردید که با نتایج بختیاری و همکاران (۱۳۹۴) مبنی بر افزایش بارش در ماه‌های پر بارش و کاهش بارش در سایر ماه‌ها هماهنگی دارد. میزان میانگین بارندگی سالانه در دوره دوم (۱۰۲۶ میلی‌متر) نسبت به دوره اول (۱۰۳۵ میلی‌متر) و دوره پایه (۱۰۷۲ میلی‌متر) با کاهش نسبتا زیادی مواجه شده است. البته تحلیل تغییرات دمایی حوزه آبخیز نشان می‌دهد دمای سالانه در دوره اول به‌طور میانگین حدود ۱/۴ درجه سانتی‌گراد و در دوره دوم ۳/۶ درجه سانتیگراد نسبت به میانگین دوره پایه (۱۷ درجه سانتی‌گراد) افزایش خواهد داشت که این افزایش در نتایج اکثر تحقیقات از جمله Surfleet and Tullos (2013) آمده است.

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول (۲): مقادیر بارش مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده(میلی‌متر) در دوره‌های مورد پیش‌بینی تحت سه سناریوی متفاوت**

| دوره | ماه | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | می | ژوئن | جولای | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| دوره پایه ۲۰۱۱-۱۹۸۲ | | ۷۸/۹ | ۸۳/۶ | ۱۰۰ | ۷۴/۱ | ۶۸/۹ | ۶۳/۷ | ۵۸/۹ | ۸۱/۷ | ۱۱۹/۵ | ۱۵۹ | ۱۰۴/۳ | ۷۹/۷ |
| دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ | A1B | ۶۶/۶ | ۷۹/۳ | ۹۷/۱ | ۹۲/۵ | ۶۴/۴ | ۵۹/۶ | ۳۹/۹ | ۴۷/۶ | ۱۱۱/۸ | ۱۸۶/۹ | ۱۲۰/۱ | ۶۵/۲ |
| | B1 | ۶۸/۴ | ۷۷/۱ | ۹۲/۹ | ۸۸/۲۰ | ۵۸/۹ | ۶۰/۰ | ۴۵/۷ | ۵۸/۱ | ۱۱۴ | ۱۷۳/۵ | ۱۲۱/۸ | ۷۶/۱ |
| دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ | A2 | ۵۵/۶ | ۷۹/۷ | ۱۱۱ | ۸۰/۶ | ۶۹/۷ | ۵۷/۴ | ۳۵/۵ | ۷۱/۵ | ۱۱۸/۳ | ۲۱۰ | ۱۰۸/۷ | ۷۴/۹ |
| | A1B | ۶۸/۹ | ۸۰/۴ | ۹۸/۰ | ۸۹/۷ | ۵۶/۶ | ۵۰/۷ | ۳۴/۶ | ۴۰/۴ | ۱۰۶/۷ | ۲۱۲/۴ | ۱۵۲/۷ | ۸۵/۱ |
| | B1 | ۶۴/۴ | ۷۰/۲ | ۹۴ | ۹۴/۱ | ۶۶/۴ | ۶۱/۴ | ۴۱/۲ | ۴۷/۴ | ۱۰۳/۴ | ۱۷۵/۹ | ۱۲۸/۷ | ۷۸/۲ |
| | A2 | ۷۰/۰ | ۷۷/۹ | ۹۰/۲ | ۸۲/۴ | ۵۱/۰ | ۴۴/۳ | ۲۹/۳ | ۴۵/۴ | ۹۵/۲ | ۱۶۴/۶ | ۱۲۰/۲ | ۷۶/۹ |

**جدول (۳): مقادیر دمای مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده(درجه سانتی‌گراد) در دوره‌های مورد پیش‌بینی تحت سه سناریوی متفاوت**

| دوره | ماه | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | می | ژوئن | جولای | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| دوره پایه ۲۰۱۱-۱۹۸۲ | | ۷/۵ | ۸/۰ | ۱۰/۴ | ۱۵/۴ | ۲۰/۰ | ۲۴/۱ | ۲۶/۲ | ۲۶/۶ | ۲۳/۸ | ۱۹/۰ | ۱۳/۶ | ۹/۲ |
| دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ | A1B | ۸/۷ | ۹/۲ | ۱۲/۰ | ۱۷/۱ | ۲۱/۹ | ۲۵/۷ | ۲۸/۵ | ۲۸/۹ | ۲۵/۵ | ۲۰/۵ | ۱۵/۰ | ۱۱/۰ |
| | B1 | ۱۱/۷ | ۱۰/۲ | ۱۳/۸ | ۱۳/۵ | ۹/۶ | ۷/۰ | ۴/۵ | ۴/۴ | ۱۱/۳ | ۳۳/۰ | ۳۲/۳ | ۱۹/۲ |
| دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ | A2 | ۱۰/۸ | ۹/۸ | ۱۵/۹ | ۱۴/۴ | ۱۱/۱ | ۷/۱ | ۴/۰ | ۴/۹ | ۱۲/۲ | ۴۵/۲ | ۳۴/۲ | ۲۰/۰ |
| | A1B | ۹/۵ | ۹/۹ | ۱۳/۰ | ۱۸/۳ | ۲۳/۲ | ۲۷/۱ | ۳۰/۱ | ۳۰/۸ | ۲۷/۲ | ۲۱/۹ | ۱۶/۱ | ۱۱/۹ |
| | B1 | ۱۱/۶ | ۹/۰ | ۱۲/۸ | ۱۳/۸ | ۱۱/۰ | ۷/۸ | ۴/۳ | ۳/۴ | ۸/۸ | ۳۱/۹ | ۳۳/۷ | ۲۰/۳ |
| | A2 | ۱۱/۳ | ۹/۹ | ۱۲/۹ | ۱۱/۹ | ۷/۸ | ۴/۶ | ۲/۳ | ۲/۳ | ۷/۳ | ۲۷/۲ | ۲۸/۴ | ۱۷/۷ |

www.SID.ir

Archive of SID



**ارزیابی تغییرات رواناب**

**واسنجی و ارزیابی مدل IHACRES**

مدل IHACRES برای حوزه آبخیز بابلرود در مقیاس روزانه در طول سال‌های آماری ۱۹۹۱-۱۹۸۲ مورد واسنجی و در کل دوره آماری ۲۰۱۱-۱۹۹۲ مورد ارزیابی قرار گرفت. نتایج واسنجی و ارزیابی مدل در طول دوره آماری در جداول ۴ و ۵ ارایه شده است. در جداول زیر Q بخشی از بارش است که در کل دوره واسنجی و ارزیابی در ایجاد جریان رودخانه مشارکت داشته و P بارش کل دوره واسنجی یا ارزیابی بوده و بر حسب میلی‌متر بر سال محاسبه می‌شوند. نتایج شبیه سازی در طول دوره ارزیابی مدل (۲۰۱۱-۱۹۸۲) در برخی از سال‌ها (مانند ۲۰۰۶ و ۲۰۰۷) ضعیف بود که این امر به واسطه وقوع خشک سالی در سالهای مذکور (با میانگین بارش به ترتیب ۶۸۹ و ۸۷۰ میلی‌متر) بود که کروک و همکاران(۲۰۰۴) در راهنمای بسته نرم افزار مدل IHACRES تاثیر وقوع خشک‌سالی در شبیه سازی ضعیف مدل را مورد تاکید قرار دادند.

با توجه به نمودار ۲ و بررسی متغیر Bias در جداول ۴ و۵ مشخص گردید که توانایی مدل IHACRES در شبیه سازی دبی‌های حداکثر چندان مناسب نبود؛ به‌طوری‌که با توجه به مقادیر Bias، مدل دبی‌های کمتری را نسبت به دبی های حداکثر مشاهداتی شبیه سازی کرده است که با یافته های زارعی و همکاران (۱۳۸۹) و Dye and Crock (2003) مبنی بر توانایی کم مدل در شبیه سازی دبی‌های سریع و سیلابی هم‌خوانی داشت. ولی با نتایج رحیمی فر و همکاران (۱۳۹۳) دائر بر شبیه سازی کمتر از دبی مشاهداتی سازگاری نداشت. اما در مجموع با توجه به انحرافات کم مدل و شبیه سازی خوب مقادیر جریان معمول وحداقل، ضریب تعیین ۰/۶۵ در دوره واسنجی و ۰/۵۴ در دوره صحت سنجی، مدل IHACRES می‌تواند الگوی تغییرات رواناب منطقه مورد مطالعه را به طور مناسبی شبیه سازی کند.

**جدول (۴): نتایج واسنجی در حوضه بابلرود به‌تفکیک سال**

| سال | Bias (mm/yr) | D | Q (mm/yr) | P (mm/yr) |
|---|---|---|---|---|
| ۱۹۸۲ | -۳/۳۷ | ۰/۴۱ | ۲۴۶/۳۵ | ۱۰۰۶/۷۵ |
| ۱۹۸۳ | -۳/۴۰ | ۰/۶۲ | ۲۸۴/۵۰ | ۱۱۱۵/۰۵ |
| ۱۹۸۴ | ۳۶/۲۹ | ۰/۶ | ۳۷۱/۶۰ | ۱۲۵۹/۳۰ |
| ۱۹۸۵ | -۱۴/۶۷ | ۰/۳۴ | ۲۹۷/۵۵ | ۱۰۲۰/۲۹ |
| ۱۹۸۶ | -۲۵/۵۹ | ۰/۵۵ | ۳۰۱/۵۲ | ۹۷۰/۲۵ |
| ۱۹۸۷ | ۳۲/۸۱ | ۰/۵۵ | ۳۰۵/۱۰ | ۱۰۶۶/۹۲ |
| ۱۹۸۸ | ۱۶۱/۰۸ | ۰/۳۷ | ۳۶۰/۸۵ | ۱۲۱۵ |
| ۱۹۸۹ | ۱۹/۶۱ | ۰/۵۶ | ۲۵۲/۴۲ | ۹۴۶/۰۹ |
| ۱۹۹۰ | ۲۵/۶۰ | ۰/۳۴ | ۲۹۲/۸۷ | ۱۱۶۷/۱۹ |
| ۱۹۹۱ | -۴۱/۱۹ | -۰/۲۵ | ۳۱۰/۲۰ | ۱۰۸۶/۹۷ |

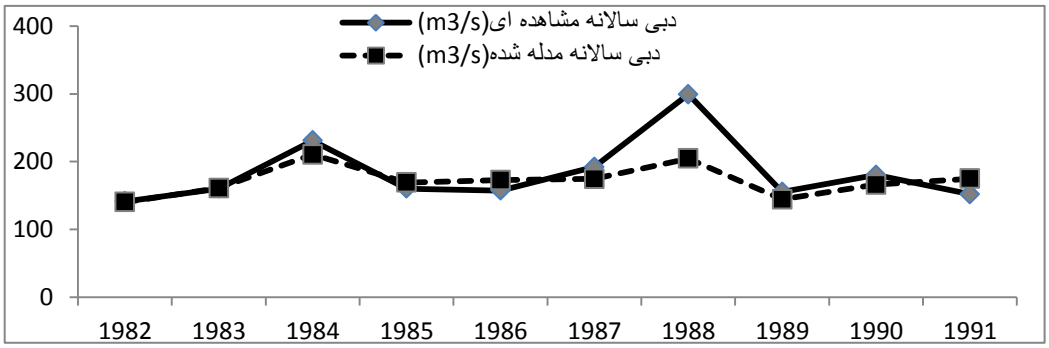
**جدول (۵): نتایج ارزیابی مدل در حوضه بابلرود طی دو دوره**

| سال | Bias (mm/yr) | D | Q (mm/yr) | P (mm/yr) |
|---|---|---|---|---|
| ۱۹۹۱-۱۹۸۲ | -۳/۴۱ | ۴۰ | ۲۶۵/۶ | ۱۰۶۳/۵ |
| ۲۰۱۱-۱۹۸۲ | ۷۲/۵۵ | ۲۵ | ۳۰۳/۵ | ۱۰۲۱/۳ |

www.SID.ir

Archive of SID






**شکل (۲): عملکرد مدل در شبیه‌سازی دبی سالانه در حوزه بابلرود در مرحله صحت سنجی(۱۹۹۱-۱۹۸۲)**

**پیش‌بینی تغییرات دبی**

جدول ۶ مقادیر میانگین دبی ماهانه را در دوره‌های پایه، اول و دوم تحت سه سناریوی اقلیمی نشان می‌دهد. نتایج نشان از افزایش مقادیر جریان در ماه‌های اکتبر، نوامبر، می و ژوئن در همه سناریوها می‌باشد. با توجه به نتایج جدول ۲ و پیش‌بینی افزایش بسیار زیاد بارش در ماه‌های پربارش در سال‌های آتی، پیش‌بینی افزایش مقادیر جریان در این ماه‌ها دور از انتظار نخواهد بود که با نتایج ذهبیون و همکاران (۱۳۸۹) هماهنگی دارد. همچنین افزایش ناچیز مقادیر دبی در ماه‌های می و ژوئن نسبت به دوره پایه، به افزایش درصد مشارکت رواناب حاصل از ذوب برف در این ماه‌ها بر می‌گردد که پیش‌بینی روند افزایشی دما در این ماه‌ها (جدول ۳) و همچنین نتایج Silwal et al. (2016) بر این موضوع تاکید دارد. کاهش میزان دبی در سایر ماه‌های سال در همه سناریوها پیش‌بینی شده است به‌طوری‌که متوسط دبی ماهانه برحسب مترمکعب بر ثانیه در دوره پایه (۱۷/۴۲) نسبت به متوسط دوره اول (۱۴/۸۲) و دوره دوم (۱۴/۲۰) بیشتر می‌باشد که این موضوع به کاهش ۱۵ تا ۱۸/۵ درصدی در میزان میانگین رواناب ماهانه اشاره دارد که با تحقیقات Chen et al. (2014) و سهرابیان و همکاران (۱۳۹۴) مبنی بر افزایش دما در طی سال‌های آینده و کاهش میزان بارش، کاهش رواناب و منابع آبی موجود به واسطه فرآیند تبخیر و خشکی بیشتر حوزه آبخیز خواهد شد، سازگاری دارد.

www.SID.ir

Archive of SID



**جدول (۶): مقادیر دبی مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده (مترمکعب برثانیه) در دوره‌های مورد پیش‌بینی تحت سه سناریوی متفاوت**

| دوره | ماه | ژانویه | فوریه | مارس | آوریل | می | ژوئن | جولای | آگوست | سپتامبر | اکتبر | نوامبر | دسامبر |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| دوره پایه ۲۰۱۱-۱۹۸۲ | | ۲۰/۴ | ۲۴/۲ | ۲۸/۲ | ۱۴/۴ | ۱۰/۰ | ۵/۹ | ۶/۰ | ۷/۵ | ۱۶/۳ | ۲۶/۹ | ۲۵/۱ | ۲۴/۳ |
| دوره ۲۰۶۵-۲۰۴۶ | A1B | ۱۰/۸ | ۹/۹ | ۱۴/۴ | ۱۴/۳ | ۱۰/۹ | ۷/۶ | ۴/۲ | ۳/۴ | ۱۰/۰ | ۳۶/۴ | ۳۴/۳ | ۱۷/۳ |
| | B1 | ۱۱/۷ | ۱۰/۲ | ۱۳/۸ | ۱۳/۵ | ۹/۶ | ۷/۰ | ۴/۵ | ۴/۴ | ۱۱/۳ | ۳۳/۰ | ۳۲/۳ | ۱۹/۲ |
| دوره ۲۰۹۹-۲۰۸۰ | A2 | ۱۰/۸ | ۹/۸ | ۱۵/۹ | ۱۴/۴ | ۱۱/۱ | ۷/۱ | ۴/۰ | ۴/۹ | ۱۲/۲ | ۴۵/۲ | ۳۴/۲ | ۲۰/۰ |
| | A1B | ۱۴/۲ | ۱۱/۲ | ۱۵/۰ | ۱۴/۱ | ۹/۴ | ۵/۸ | ۳/۱ | ۲/۴ | ۸/۴ | ۴۳/۱ | ۴۶/۶ | ۲۶/۳ |
| | B1 | ۱۱/۶ | ۹/۰ | ۱۲/۸ | ۱۳/۸ | ۱۱/۰ | ۷/۸ | ۴/۳ | ۳/۴ | ۸/۸ | ۳۱/۹ | ۳۳/۷ | ۲۰/۳ |
| | A2 | ۱۱/۳ | ۹/۹ | ۱۲/۹ | ۱۱/۹ | ۷/۸ | ۴/۶ | ۲/۳ | ۲/۳ | ۷/۳ | ۲۷/۲ | ۲۸/۴ | ۱۷/۷ |

## نتیجه‌گیری

در این تحقیق جهت ارزیابی اثر تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز بابلرود در دوره‌های ۲۰۶۵-۲۰۴۶ و ۲۰۹۹-۲۰۸۰ میلادی، خروجی مدل گردش عمومی جو HadCM3 با سناریوهای A1B، A2 و B1 از طریق مدل LARS-WG ریز مقایس نمایی شدند. سپس مقادیر پیش‌بینی شده دما و بارش، به مدل بارش-رواناب IHACRES داده شد و تغییرات دبی در دو دوره مشخص گردید که دارای نتایج زیر بود: میزان بارش در حوزه آبخیز بابلرود در دوره‌های مورد پیش بینی از ۴۳- تا ۳۲+ درصد متغیر خواهد بود. همچنین دمای سالانه به‌طور میانگین حدود ۱/۴ سانتی‌گراد (دوره اول) تا ۳/۶ سانتیگراد (دوره دوم) افزایش خواهد داشت. یافته های این تحقیق بیانگر کاهش بیشتر میزان میانگین دبی سالانه در دوره دوم تحت هر سه سناریو می‌باشد که علت آن کاهش بیشتر بارندگی و افزایش دما در دوره دوم نسبت به دوره‌های اول و پایه می‌باشد. بر این اساس افزایش بارش و دبی در ماه‌های پربارش و افزایش دما و کاهش بارندگی ودبی در ماه‌های کم بارش با تأثیر بر اقلیم منطقه در آینده‌ای نه چندان دور، تعداد و شدت وقایع حدی سیل و خشکسالی را افزایش خواهد داد. کما اینکه در سالیان اخیر شاهد حوادث غیرمترقبه مذکور در سطح حوزه آبخیز بابلرود بودیم که لزوم بررسی هر چه بیشتر تأثیر تغییر اقلیم بر مؤلفه‌های هیدرولوژیک حوزه آبخیز را مورد تأکید قرار می‌دهد.

www.SID.ir

Archive of SID



## منابع:

بابائیان، ا.، ز.، ف.، نجفی نیک، م.، زابل عباسی، ح.، حبیبی نوخندان، ادب، و ش. ملبوسی. ۱۳۸۸. ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ با استفاده از ریز مقیاس نمایی داده‌های مدل گردش عمومی ECHO-G. مجله علمی- پژوهشی جغرافیا و توسعه، شماره۱۶، ص ۱۵۲-۱۳۵.

بختیاری، ب.، ش.، پورموسویو ن. سیاری. ۱۳۹۴. بررسی اثر تغییر اقلیم بر منحنی‌های شدت-مدت-فراوانی ایستگاه بابلسر طی دوره زمانی ۲۰۳۰-۲۰۱۱. نشریه آبیاری و زهکشی. (۸) ۴: ۷۰۴-۶۹۴.

خزانه‌داری، ل.، ف. زابل‌عباسی، ش. قندهاری، م. کوهی و ش. عباسی. ۱۳۸۸. دورنمای وضعیت خشکسالی ایران طی سی سال آینده. مجله جغرافیا و توسعه ناحیه‌ای، شماره ۱۲، ص۱۷-۱.

ذهبیون، ب.، م. گودرزی، و ع. مساح‌بوانی. ۱۳۸۹. کاربرد مدل SWAT در تخمین رواناب حوضه در دوره‌های آتی تحت تاثیر تغییر اقلیم. نشریه پژوهش‌های اقلیم شناسی، سال اول، شماره ۳ و ۴،ص ۵۸-۴۳.

رحیمی فر, ه.، ه.، حصادی، ن.، امیدی و آ.، اسدی، ۱۳۹۳. شبیه سازی بارش رواناب حوضه روانسر با استفاده از نرم افزار IHACRES، همایش ملی آب، انسان و زمین، اصفهان، ص ۱۲-۱.

زارعی، م.، م. حبیب‌نژادروشن، ک. شاهدی و م. ر. قنبرپور. ۱۳۸۹. کالیبراسیون و ارزیابی مدل هیدرولوژیکی IHACRES به‌منظور شبیه‌سازی جریان روزانه. نشریه آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۱، ص ۱۱۴-۱۰۴.

سهرابیان، ا.، م. مفتاح‌هلقی، خ. قربانی، س. گلیان و م. ذاکری نیا. ۱۳۹۴. بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر آبدهی حوضه با دخالت مدل هیدرولوژی (حوضه گالیکش استان گلستان). نشریه پژوهش‌های حفاظت آب و خاک، جلد ۲۲، شماره ۲۳، ص ۱۲۵-۱۱۱.

عبدالهی پور, آ.، ص. معظمی گودرزی و م. ذاکری نیری. ۱۳۹۴، شبیه سازی دبی روزانه با استفاده از مدل بارش_رواناب IHACRES مطالعه موردی:حوزه آبخیز ساروق چای زرینه رود، کنفرانس بین المللی دستاوردهای نوین در محیط زیست و مدیریت شهری، تهران،ص ۹۲-۸۱.

کاویان، ع.، و ع. صفری. ۱۳۹۱. تعیین مدل مناسب برای برآورد رسوبدهی با استفاده از روش‌های آماری ( حوضه آبخیز بابلرود). نشریه تحقیقات کاربردی علوم جغرافیایی، سال سیزدهم، شماره ۳۰، ص ۱۳۰-۱۱۱.

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

Box G. E. P. and G. M. Jenkins. 1970. Time Series Analysis: Forecasting and Control. Holden-Day, San Francisco.230p.

Chen, J., J. Xia, C. Zhao, S. H. Zhang, G. Fu, L. Ning. 2014. The mechanism and scenarios of how mean annual runoff varies with climate change in Asian monsoon areas, Journal of Hydrology, 517:595-606.

Croke, B. F. W., F. Andrews, J. Spate and S. M Cuddy. 2005. IHACRES user guide.Technical Report 2005/19. Second Edition. iCAM, School of Resources,Environment and Society, The Australian National University, Canberra.http://www.toolkit.net.au/ihacres.

Nigel W. A. and B. Lloyd. 2014. The global-scale impacts of climate change on water resources and flooding under new climate and socio-economic scenarios. Journal of Climatic Change. 122:127–140

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

Gosain, A., S. Rao and D. Basuray. 2006. Climate change impact assessment on hydrology of Indian river basins. Current Science. 90: 3. 346-353.

www.SID.ir

Archive of SID



Guardiola, M., P. A. Troch, D. D. Breshears,
T. E. Huxman, M. B. Switanek, M. Durcik, N.S. Cobb. 2011. Decreased streamflow in semi-arid basins following drought-induced tree die-off, Journal of Hydrology, 406:225-233.

Kling, H., M. Fuchs, M. Paulin. 2012. Runoff conditions in the upper Danube basin under an ensemble of climate change scenarios J. Hydrol., 424–425 (2012), pp. 264–277

IPCC. 2007. Summary for policy makers climate change: The physical science basis. Contribution of working group I to the forth assessment report. Cambridge University Press, 881p.

Littlewood L. 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.

Muttiah, R. S., and R. A. Wurbs. 2002. Modeling the impacts of climate change on water supply reliabilities. Water International. 27: 3. 407-419.

Silwal, G., Kayastha, R., and Mool, P. 2016. Application of Temperature Index Model for Estimating Daily Discharge of Sangda River Basin, Mustang, Nepal, Journal of Climate Change, 2(1), pp. 15-26.

Surfleet, C. G. and D. Tullos. 2013. Variability in effect of climate change on rain-on-snow peak flow events in a temperate climate, Journal of Hydrology, 479: 24–34.

Zarghami M., A. Abdi, I. Babaeian, Y. Hassanzadeh and R. Kanani. 2011. Impacts of climate change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. Journal of Global Change. 1698: 1-10.

www.SID.ir

Archive of SID



# Evaluation of the climate change effect on Babol-rood watershed runoff using IHACRES model

**Hadi Razzaghian[۱], Kaka Shahedi[۲], Mahmud Habibnejad-roshan[۳]**

**Abstract:**
Babolroud watershed in Mazandaran province in recent years experienced different climate events. On this basis, emphasize necessity to investigate further on impact of climate change on watershed runoff. This work is done by climate change models that able to simulate climatic variables. Due to the forecast lack of meteorological parameters in the point scale by climate change models, weather generator tool interface was developed by which it can be evaluated climate change in point scale and the desired station. In this study, using this method, the data model HadCM3 general circulation of the atmosphere with the use of LARS-WG software according to A2, B1 and A1B three scenarios for first time periods (2046-2065) and second (2080-2099) were. The results revealed that change in rainfall in Babul-rod watershed varies between -43% to +32%. This variation ranges accompany with rainfall increase in rainy months and severe decrease in months with low rain, respectively. Also, Increase in annual temperature in average was $1.4^{c}$ to $3.6^{c}$, especially in warm months. After this step the values of temperature and precipitation predicted by the HadCm3 climate model introduced to IHACRES rainfall-runoff model and changes in discharge determined in both the first and second periods, respectively. Average monthly flow($m^3/s$) in the base period (17.42) was higher than the average of the first period (14.82) and the average of the second period (14.20) which it refers to reduction of 15 to 18.5 percent the average monthly runoff. According to the study, rising temperatures and reduced rainfall throughout the coming years lead to reduce runoff and water resources due to more evaporation and aridity will watershed that consequently affects the climate of the region in the near future, the number and intensity of floods and droughts will increase.

**Key words: HadCM3, Rainfall-Runoff model, Weather generating, Babolrood.**

[1]. Assistant Professor of Agricultural Sciences and Natural Resources Department, Payam -e-Noor University, Tehran, hrazzaghian@yahoo.com.
[2]. AssociateProfessor of Agricultural Sciences and Natural Resources Department, Sari University
[3]. Professor of Agricultural Sciences and Natural Resources Department, Sari University

www.SID.ir