



## "مقاله پژوهشی"

# ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر آبدهی رودخانه نکارود حوضه سد گلورد

حسینعلی زبردست رستمی<sup>۱</sup>، محمود رائینی سرجاز<sup>۲</sup> و محمدعلی غلامی سفیدکوهی<sup>۳</sup>

۱- دانشجوی دکتری آبیاری و زهکشی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
۲- استاده، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری (نویسنده مسؤل: raeni@yahoo.com)  
۳- دانشیار، گروه مهندسی آب، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی ساری  
تاریخ ارسال: ۹۸/۱۰/۰۲ تاریخ پذیرش: ۹۸/۱۱/۱۲  
صفحه: ۲۰۵ تا ۲۱۶

### چکیده مبسوط

**مقدمه و هدف:** تغییر اقلیم یکی از مهم‌ترین مسائلی است که در دهه‌های اخیر بخش‌های مختلف زندگی انسان را تحت تاثیر قرار داده است. با توجه به آشکارشدن تغییرات اقلیمی در اکثر مناطق دنیا و اثر آن بر بخش‌های مختلف چرخه آب، آگاهی از وضعیت منابع آب به منظور مدیریت صحیح منابع و برنامه‌ریزی برای آینده ضروری است. این پژوهش به بررسی و پیش‌بینی آبدهی رودخانه حوضه سد گلورد تحت شرایط اقلیمی آینده در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ می‌پردازد.

**مواد و روش‌ها:** برای بررسی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی از مدل HadGEM2-EM تحت دو سناریو RCP 2.6 و RCP 8.5 و نرم‌افزار LARS-WG تغییرات اقلیمی استفاده شد. همچنین، به منظور مدل‌سازی جریان رودخانه از مدل بارش-رواناب IHECRAS برای دوره مشاهداتی واسنجی (۱۹۹۹-۱۹۸۵) و اعتبارسنجی (۲۰۰۵-۱۹۹۹) شد.

**یافته‌ها:** یافته‌های شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی نشان داد که بیش‌ترین افزایش دمای کمینه و بیشینه با سناریوی RCP 2.6 در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و در سناریوی RCP 8.5 در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ رخ خواهد داد. یافته‌های مدل‌سازی جریان رودخانه در دوره مشاهداتی گویای همبستگی معنی‌دار ( $r=0/61$ ) مدل در مرحله واسنجی و صحت‌سنجی ( $r=0/79$ ) بود. از یافته‌های سناریوهای خوش‌بینانه (RCP 2.6) و بدبینانه (RCP 8.5) و با به‌کارگیری مدل IHECRAS رواناب حوزه طی دوره‌های آینده شبیه‌سازی شد. بیشترین تغییر مقدار بارش در هر دو سناریو طی دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ رخ خواهد داد. همچنین نتایج شبیه‌سازی جریان رودخانه نشان داد که میزان جریان رودخانه به‌طور متوسط در چهار دوره آینده در سناریو RCP 2.6 به ترتیب ۴، ۸/۷، ۱۳ و ۵ درصد و در سناریو RCP 8.5، ۹، ۲۰، ۱۸ و ۱۷ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش می‌یابد.

**نتیجه‌گیری:** با توجه به روند کاهشی آبدهی نکارود در دهه‌های آینده، اهداف پیش‌بینی‌شده برای سد گلورد برای تامین آب شرب، کشاورزی، صنعت و... با کمبودهای قابل ملاحظه مواجه خواهد بود.

**واژه‌های کلیدی:** تغییر اقلیم، ریزمقیاس‌سازی، شبیه‌سازی جریان، نکارود

### مقدمه

تغییر اقلیم یکی از چالش‌های مهمی است که زندگی انسان را تحت تاثیر قرار می‌دهد. تغییر در چرخه هیدرولوژیکی یکی از پیامدهای تغییر اقلیم می‌باشد که اثرات قابل توجهی بر منابع آب و خاک دارد. این پدیده سامانه‌های زیست‌شناختی و فیزیکی در سراسر جهان را پیش از این تحت تاثیر قرار داده و در آینده نیز آن‌ها را متاثر خواهد ساخت (۱۸). تأثیرات منفی تغییرات اقلیم در آینده به سبب نگرش جوامع به توسعه سریع صنعت و توجه کمتر به محیط زیست ممکن است تشدید آن را در پی داشته باشد. پژوهش‌ها نشان می‌دهد که این پدیده می‌تواند بر سیستم‌های مختلف شامل منابع آب، کشاورزی، محیط‌زیست، صنعت و اقتصاد و... تأثیرات منفی داشته باشد (۱۶). تغییر الگوهای اقلیمی به‌ویژه دما و بارندگی، می‌تواند فرآیندهای هیدرولوژیکی، منابع آب در دسترس برای کشاورزی، شرب، صنعت، زندگی جانوری در رودخانه‌ها و نیروی برقایی را تحت تاثیر قرار دهد (۱۰). بررسی علل تغییر اقلیم و چگونگی روند آن در گذشته و آینده از یک طرف و اثرات احتمالی آن بر منابع آب از طرف دیگر، می‌تواند بخشی از مسائل و مشکلات آینده منابع آب را روشن نماید. اگرچه تغییرات دمایی یکی از اثرات آشکار و قابل اندازه‌گیری تغییر اقلیم می‌باشد اما این پدیده اثرات دیگری از جمله تغییر در میزان رطوبت جو، بارندگی و جریانات جوی نیز ایجاد می‌کند که کل سیستم را تحت تاثیر قرار می‌دهد. به‌طور کلی افزایش

دما موجب افزایش ظرفیت نگهداری رطوبت در جو می‌شود. با افزایش ۱ دما ۷٪ به ظرفیت نگهداری رطوبت جو زمین افزوده می‌شود (۱۱). افزایش ظرفیت رطوبت و مقدار بخار آب جو منجر به تغییر در خصوصیات بارندگی و وقوع بارش‌های شدید می‌شود. تغییر اقلیم خصوصیات بارش نظیر مقدار، شدت، فراوانی، دوره و نوع بارش را دچار تغییر می‌کند و روی ویژگی‌های مقادیر فرین اثرگذار می‌باشد (۱۱). بررسی تغییرات اقلیمی و آثار آن بر منابع آب به‌ویژه رواناب می‌تواند زمینه‌ساز اتخاذ سیاست‌های راهبردی آینده مدیریت منابع آب باشد. بدون توجه به این واقعیت که اقلیم در حال تغییر است، نمی‌توان برنامه‌ریزی واقع‌بینانه‌ای را در زمینه بهره‌برداری بهینه از منابع آب انجام داد. مقدار رواناب سطحی یکی از شاخص‌های مهم در طراحی سازه‌های آبی و توسعه کشاورزی است؛ از این‌رو پیش‌بینی تغییرات این شاخص در بحث مدیریت آینده منابع آب بسیار مهم است (۲۳). مقدار رواناب، آبدهی رودخانه‌ها، شدت سیلاب و خشکسالی، همگی متاثر از دما و بارش‌اند که از مهم‌ترین عناصر اقلیمی هستند. از این‌رو با توجه به تغییرات اقلیمی و تاثیر آن بر فرآیندهای هیدرولوژیکی، بررسی این تأثیرات بر پارامترهای هیدرولوژیکی ضروری است. امروزه مدل‌های گردش عمومی جو، قوی‌ترین ابزار برای تولید سناریوهای اقلیمی هستند. روش‌های غیرمستقیم متعددی برای شبیه‌سازی سامانه‌های طبیعی و برآورد دقیق‌تر و جامع‌تر این سامانه‌ها وجود دارد.

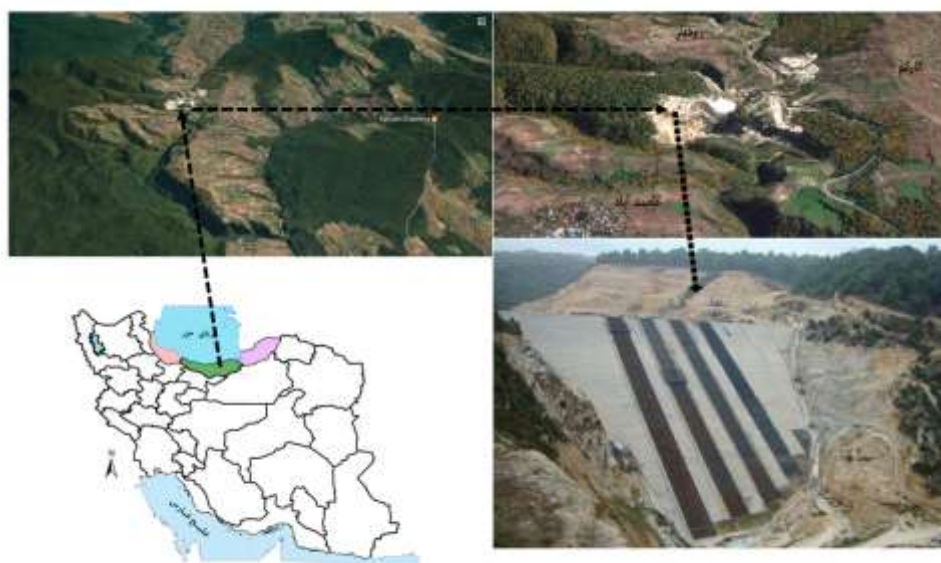
گردش عمومی جو (GCM) پرداختند. نتایج اجرای مدل HadCM2 نشان داد که میزان بارندگی کشور تا دهه ۲۱۰۰ حدود ۲/۵ درصد کاهش می‌یابد. گودرزی و همکاران (۶) به بررسی کارایی مدل LARS-WG در تولید داده‌های روزانه بارش، دمای کمینه و بیشینه و ساعت آفتابی در حوزه آبخیز قره‌سو استان گلستان در ایستگاه گرگان پرداختند. آن‌ها برای اثبات کارایی مدل در اولین گام مدل را برای دوره ۱۹۷۰-۱۹۹۹ اجرا کردند و میانگین‌های ماهانه آینده و تولیدشده پارامترهای اقلیمی مذکور با استفاده از آزمون T استیوننت و در سطح ۹۵ درصد مورد مقایسه قرار گرفتند که نتایج آن‌ها نشان داد تفاوت معنی‌داری بین داده‌های تولیدشده از مدل و داده‌های واقعی وجود ندارد. امروزه با توجه به رشد جمعیت و افزایش تقاضای منابع آب سالم و به‌دلیل نمایان شدن پدیده تغییر اقلیم و اثرات منفی آن، توجه به مدیریت منابع آب تحت تاثیر تغییر اقلیم بیش از پیش به‌چشم می‌خورد. این امر موجب شده است که مدیران و کارشناسان مربوط به بخش آب، به تجزیه و تحلیل و پیش‌بینی وضعیت اقلیم در آینده و ارزیابی اثرات این پدیده برای کنترل و کاهش اثرات آن بر منابع آب بپردازند. در این پژوهش نیز برای بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آبی حوضه سد گلورد از مدل ریزمقیاس‌گردانی آماری LARS-WG و خروجی مدل جهانی HadGEM2-EM و سناریوهای اقلیمی RCP2.6 و RCP8.5 برای شبیه‌سازی و پیش‌بینی تغییرات اقلیمی و تأثیرات آن بر تغییرات رواناب سطحی با استفاده از مدل بارش-رواناب IHECRAS استفاده خواهد شد.

## مواد و روش‌ها

### منطقه مورد پژوهش

حوضه نکارود با مساحت ۱۹۹۲ کیلومترمربع در استان مازندران واقع شده است. سد گلورد در بالادست روستای گلورد بر روی رودخانه نکارود احداث شده است. مساحت حوضه سد گلورد ۱۴۸۰ کیلومترمربع است و ساختگاه سد در ارتفاع ۶۴۶ متر بالاتر از سطح آزاد دریا می‌باشد. رودخانه نکارود دائمی بوده و میانگین بلندمدت رواناب آن در محل آبریز به سد نزدیک به ۱۱۲ میلیون مترمکعب در سال می‌باشد. شکل یک گستره ساختگاه سد را نشان می‌دهد (۷).

یکی از این روش‌ها مدل‌سازی یا شبیه‌سازی هیدرولوژیکی است. این فرآیندها در محدوده زمان و مکان بیش‌ترین تغییرات را داشته و شبیه‌سازی آن‌ها به‌لحاظ ماهیت غیرخطی و ابعاد زیاد همواره با مشکلات زیادی همراه است. زانگ و لیو (۲۷) به ارزیابی اثرات بالقوه تغییرات آب و هوایی در طول دوره ۲۰۹۹-۲۰۷۰ تحت سناریوهای انتشار (A2A و GG02) در زمینه هیدرولوژی، هدررفت خاک و تولید محصول در فلات لس جنوب چین پرداختند. نتایج بررسی نشان داد که مدل GCM افزایش بارندگی بین ۳۳-۳۲ درصد، افزایش دمای بیشینه به‌میزان ۴/۳-۲/۳ درجه سانتی‌گراد و افزایش دمای کمینه به‌میزان ۳/۳-۳/۵ درجه سانتی‌گراد را برای کل منطقه پیش‌بینی کرد. میلهات و همکاران (۱۴) تغییرات بارندگی در اثر پدیده تغییر اقلیم را با استفاده از تجزیه‌وتحلیل مدل‌های آب و هوایی (CRCM) طی دو دوره ۱۹۹۰-۱۹۶۱ و ۲۰۷۰-۲۰۴۱ بررسی کردند. نتایج نشان داد که دوره بازگشت رویداد ۲ و ۶ ساعته به ۰/۵ و ۲۱ و ۴۲ ساعته به ۰/۳۳ کاهش می‌یابد. همچنین نتایج تحقیقات ایشان نشان داد که بارش‌های حدی در آینده از جریانات همرفتی بدست خواهد آمد. جکسون و همکاران (۱۲) با استفاده از ۱۳ مدل GCM به بررسی اثر تغییر اقلیم بر آب‌های زیرزمینی حوزه Donana واقع در جنوب غرب اسپانیا پرداختند. نتایج حاکی از آن است که تا سال ۲۰۸۰ تغذیه آب‌های زیرزمینی ۱۴ تا ۵۷ درصد و سطح آب زیرزمینی یک تا ۱۷ متر کاهش خواهد یافت. هوانگ و همکاران (۹) با استفاده از دو مدل CCLM<sup>۲</sup> و REMO<sup>۳</sup> و سناریوهای A1، B1 و A1B به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر جریان رودخانه‌ای در آلمان پرداختند. نتایج نشان داد که طی دوره‌های (۲۰۶۰-۲۰۲۱، ۲۱۰۰-۲۰۶۱) جریان رودخانه نسبت به دوره پایه (۲۰۰۰-۱۹۶۱) کاهش پیدا می‌کند. تام و همکاران (۲۴) با استفاده از LARS-WG و مدل فیزیکی بارش-رواناب WetSpa و مدل جریان آب زیرزمینی SEAWAT در مناطق ساحلی در مرکز ویتنام با استفاده از سناریو انتشار گاز A1B نشان دادند که تا سال ۲۰۵۰ میزان بارندگی به‌طور چشمگیری افزایش خواهد یافت. عباسی و همکاران (۱) در پژوهشی به ارزیابی تغییر اقلیم ایران در دهه‌های آینده (۲۰۲۵ تا ۲۱۰۰ میلادی) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل



شکل ۱- محدوده مورد مطالعه و ساختگاه سد گلورد  
Figure 1. Study area and construction site of Gelevard Dam

بارش موثر به رواناب تعریف شده است (۳ و ۱۵). استفاده از آمار طولانی مدت در واسنجی مدل می‌تواند در بهبود نتایج مدل‌سازی نقش چشم‌گیری داشته باشد (۳). با تجزیه و تحلیل آمار ایستگاه آب‌سنجی گلورد، ۷۰ و ۳۰ درصد داده‌ها به ترتیب برای واسنجی و اعتبارسنجی انتخاب شد.

### نتایج و بحث

نتایج مقایسه آماری داده‌های مشاهده‌ای و شبیه‌سازی شده متغیرهای ماهانه بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه طی دوره پایه ۱۹۸۵ الی ۲۰۰۵ نشان می‌دهد مدل توانسته است در سطح معنی‌داری ۵ درصد (جداول ۲ الی ۵) این متغیرها را شبیه‌سازی نماید.

جدول یک شاخص‌های آماری مدل ریزمقیاس‌سازی LARS-WG برای متغیرهای اقلیمی را نشان می‌دهد. با توجه به نتایج حاصل از ارزیابی مشخص گردید که مدل LARS-WG در متغیرهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش ماهانه به ترتیب با ضریب تبیین ۰/۹۹، ۰/۹۹ و ۰/۷۴ کارایی خوبی دارد. نتایج ارزیابی مدل HadGEM2-EM در تولید سناریو برای دوره‌های آینده با استفاده از معیارهای آماری (MAE، PBIAS و RMSE) در جداول ۲ الی ۵ نشان داده شده است.

### مدل‌های گردش عمومی جو<sup>۱</sup>

در این پژوهش از مدل ریزمقیاس‌سازی GCM بر اساس مدل HadGEM2-EM تحت سناریوهای اقلیمی RCP 2.6، RCP 4.5 و RCP 8.5 استفاده شد. بررسی تغییرات اقلیمی بر مبنای سناریوهای تولیدشده در دو حالت خوش‌بینانه و بدبینانه بر تغییرات جریان رودخانه مورد ارزیابی قرار گرفت. بدین‌منظور متغیرهای دمای بیشینه، دمای کمینه، دمای میانگین، ساعت آفتابی و بارش از داده‌های ایستگاه‌های اقلیم-شناسی و باران‌سنجی گلورد طی دوره آماری ۱۹۸۵ الی ۲۰۰۵ دریافت شد. سپس از این متغیرها به‌عنوان ورودی مدل‌های ریزمقیاس‌سازی استفاده شد.

### ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی

از مدل LARS-WG<sup>۲</sup> برای ریزمقیاس‌سازی داده‌های اقلیمی استفاده شد برای انتخاب مدل مناسب گردش عمومی جو و سناریوی برتر داده‌های ریزمقیاس‌سازی شده با داده‌های مشاهده‌ای آینده مورد ارزیابی قرار گرفت و عملکرد هر یک از سناریوها با استفاده از معیارهای RMSE، MAE، PBIAS و  $R^2$  مورد مقایسه قرار گرفت (۶).

### مدل هیدرولوژی

این پژوهش از نسخه IHACRES v2.1 استفاده شد که برای حوضه‌هایی با داده‌های پیوسته بارش، دما و رواناب کاربرد دارد. این مدل شامل دو بخش به هم‌پیوسته غیرخطی و خطی است که به ترتیب برای محاسبه هدررفت و تبدیل

جدول ۱- شاخص‌های آماری مدل ریزمقیاس‌سازی LARS-WG در دوره پایه ۱۹۸۵-۲۰۰۵

Table 1. Statistical Indices of LARS-WG in the basic period 1985-2005

| PBAIS | MAE   | RMSE  | R <sup>2</sup> | متغیر (ماهانه) |
|-------|-------|-------|----------------|----------------|
| -۱/۳۳ | -۰/۰۴ | ۰/۵۲  | ۰/۹۹           | دمای کمینه     |
| -۰/۳۹ | ۰/۰۸۶ | ۰/۵۸  | ۰/۹۹           | دمای بیشینه    |
| ۷/۳۵  | ۶/۸۱  | ۱۰/۸۳ | ۰/۷۴           | بارش           |

جدول ۲- شاخص‌های آماری مدل HadGEM2-EM تحت سناریوهای مختلف برای دوره آماری ۲۰۲۱-۲۰۴۰

Table 2. Statistical indicators of HadGEM2-EM model under different scenarios for the statistical period of 2021-2040

| HadGEM2-EM |         |         | معیار ارزیابی | متغیر            |
|------------|---------|---------|---------------|------------------|
| RCP 8.5    | RCP 4.5 | RCP 2.6 |               |                  |
| ۰/۶۵       | ۰/۶۵    | ۰/۶۵    | RMSE          | ساعت آفتابی (hr) |
| -۰/۳۱      | -۰/۳۶   | -۰/۳۴   | MAE           |                  |
| -۶/۱۷      | -۶/۸۲   | -۶/۶۸   | PBAIS         |                  |
| ۰/۷        | ۰/۷۴    | ۰/۷۱    | R             |                  |
| ۰/۰۴۸      | ۰/۰۲۵   | ۰/۰۳    | p value       |                  |
| ۲/۲۸       | ۲/۰۹    | ۱/۹۸    | RMSE          | دمای کمینه (C°)  |
| -۱/۵۲      | -۱/۳۵   | -۱/۳۴   | MAE           |                  |
| ۸۳/۹۴      | ۷۳/۴    | ۶۳/۳۳   | PBAIS         |                  |
| ۰/۹۸       | ۰/۹۸    | -۰/۹۸   | R             |                  |
| ۰/۰۰۶      | -۰/۰۰۸  | ۰/۰۰۵   | p value       |                  |
| ۲/۵۱       | ۲/۲۵    | ۲/۱۶    | RMSE          | دمای بیشینه (C°) |
| -۱/۸۵      | -۱/۷۲   | -۱/۶۸   | MAE           |                  |
| -۱۳/۳۱     | -۱۲/۲۴  | -۱۱/۸۷  | PBAIS         |                  |
| ۰/۹۷       | ۰/۹۸    | -۰/۹۸   | R             |                  |
| ۰/۰۰۲      | -۰/۰۰۱  | ۰       | p value       |                  |
| ۱۶/۵۵      | ۱۵/۷۶   | ۱۶/۶۳   | RMSE          | بارندگی (mm)     |
| ۶/۳۸       | ۷/۸۶    | ۸/۰۱    | MAE           |                  |
| ۴/۴۱       | ۶/۸۸    | ۶/۶۷    | PBAIS         |                  |
| ۰/۲۸       | -۰/۴۸   | -۰/۳۶   | R             |                  |
| ۰/۰۹۶      | -۰/۰۴۱  | ۰/۰۴۷   | p value       |                  |

جدول ۳- شاخص‌های آماری مدل HadGEM2-EM تحت سناریوهای مختلف برای دوره آماری ۲۰۴۱-۲۰۶۰

Table 3. Statistical indicators of HadGEM2-EM model under different scenarios for the statistical period of 2041-2060

| HadGEM2-EM |         |         | معیار ارزیابی | متغیر            |
|------------|---------|---------|---------------|------------------|
| RCP 8.5    | RCP 4.5 | RCP 2.6 |               |                  |
| ۰/۶        | ۰/۶۶    | -۰/۵۶   | RMSE          | ساعت آفتابی (hr) |
| -۰/۳۴      | -۰/۳۲   | -۰/۲۶   | MAE           |                  |
| -۶/۴۸      | -۶/۴    | -۵/۱۷   | PBAIS         |                  |
| ۰/۷۸       | ۰/۷۱    | -۰/۷۹   | R             |                  |
| ۰/۰۲       | ۰/۰۴    | ۰/۰۴۹   | p value       |                  |
| ۲/۸۲       | ۲/۳۶    | ۲/۲۸    | RMSE          | دمای کمینه (C°)  |
| -۲/۱۸      | -۱/۶۹   | -۱/۶۱   | MAE           |                  |
| ۸۴/۸۶      | ۷۴/۷۶   | ۷۶/۹۹   | PBAIS         |                  |
| ۰/۹۸       | ۰/۹۸    | -۰/۹۸   | R             |                  |
| ۰/۰۰۱      | -۰/۰۰۲  | ۰/۰۰۳   | p value       |                  |
| ۲/۰۴       | ۲/۵۷    | ۲/۴۵    | RMSE          | دمای بیشینه (C°) |
| -۲/۴۹      | -۱/۹۹   | -۱/۸۸   | MAE           |                  |
| -۱۷/۵۴     | -۱۴/۱   | -۱۳/۴   | PBAIS         |                  |
| ۰/۹۸       | ۰/۹۸    | -۰/۹۸   | R             |                  |
| ۰          | -۰/۰۰۱  | ۰/۰۰۱   | p value       |                  |
| ۱۴/۸۲      | ۱۴/۵۸   | ۱۴/۲    | RMSE          | بارندگی (mm)     |
| ۵/۹۸       | ۶/۳۸    | ۵/۷۲    | MAE           |                  |
| ۴/۲۵       | ۵/۲۱    | ۴/۰۵    | PBAIS         |                  |
| ۰/۵        | ۰/۵۴    | -۰/۵۶   | R             |                  |
| ۰/۰۸       | -۰/۰۶   | -۰/۰۸   | p value       |                  |

جدول ۴- شاخص‌های آماری مدل HadGEM2-EM تحت سناریوهای مختلف برای دوره آماری ۲۰۶۱-۲۰۸۰  
 Table 4. Statistical indicators of HadGEM2-EM model under different scenarios for the statistical period of 2061-2080.

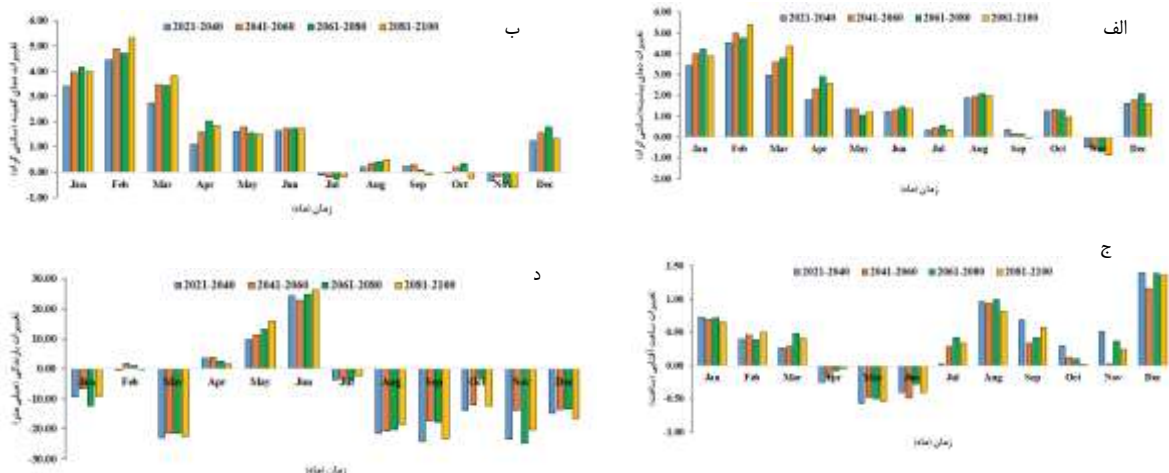
| HadGEM2-EM |         |         | معیار ارزیابی | متغیر            |
|------------|---------|---------|---------------|------------------|
| RCP 8.5    | RCP 4.5 | RCP 2.6 |               |                  |
| ۰/۵۵       | ۰/۶۵    | ۰/۶۲    | RMSE          | ساعت آفتابی (hr) |
| -۰/۳۱      | -۰/۳۳   | -۰/۳۷   | MAE           |                  |
| -۵/۹       | -۶/۴۹   | -۷/۰۲   | PBAIS         |                  |
| ۰/۸۱       | ۰/۷۲    | ۰/۷۸    | R             |                  |
| ۰/۰۲       | ۰/۰۳    | ۰/۰۲    | p value       |                  |
| ۳/۶۱       | ۲/۷۱    | ۲/۳۱    | RMSE          | دمای کمینه (C°)  |
| ۲/۹        | -۲/۰۲   | -۱/۶۲   | MAE           |                  |
| ۱۱۴/۲      | ۸۶/۴۲   | ۷۸/۰۹   | PBAIS         |                  |
| ۰/۹۸       | ۰/۹۸    | ۰/۹۸    | R             |                  |
| .          | ۰/۰۰۱   | ۰/۰۰۳   | p value       |                  |
| ۳/۸۸       | ۲/۹۷    | ۲/۵۴    | RMSE          | دمای بیشینه (C°) |
| -۳/۱۹      | -۲/۳۶   | -۱/۹۷   | MAE           |                  |
| -۲۲/۵۶     | -۱۶/۹   | -۱۳/۸۷  | PBAIS         |                  |
| ۰/۹۷       | ۰/۹۸    | ۰/۹۸    | R             |                  |
| .          | .       | .       | p value       |                  |
| ۱۴/۸۱      | ۱۵/۷۷   | ۱۵/۶۶   | RMSE          | بارندگی (mm)     |
| ۴/۰۳       | ۶/۵۷    | ۶/۳۱    | MAE           |                  |
| ۱/۶۳       | ۵       | ۴/۵     | PBAIS         |                  |
| ۰/۴۳       | ۰/۴     | ۰/۵۶    | R             |                  |
| ۰/۱۸       | ۰/۰۸    | ۰/۰۸    | p value       |                  |

جدول ۵- شاخص‌های آماری مدل HadGEM2-EM تحت سناریوهای مختلف برای دوره آماری ۲۰۸۱-۲۱۰۰  
 Table 5. Statistical indicators of HadGEM2-EM model under different scenarios for the statistical period of 2081-2100.

| HadGEM2-EM |         |         | معیار ارزیابی | متغیر            |
|------------|---------|---------|---------------|------------------|
| RCP 8.5    | RCP 4.5 | RCP 2.6 |               |                  |
| ۰/۴۷       | ۰/۶۵    | ۰/۶     | RMSE          | ساعت آفتابی (hr) |
| -۰/۱۷      | -۰/۳۷   | -۰/۳۳   | MAE           |                  |
| -۳/۴۹      | -۷/۱۱   | -۶/۳۶   | PBAIS         |                  |
| ۰/۷        | ۰/۷     | ۰/۷     | R             |                  |
| ۰/۱        | ۰/۰۲    | ۰/۰۲    | p value       |                  |
| ۴/۱۷       | ۲/۷۵    | ۲/۴     | RMSE          | دمای کمینه (C°)  |
| -۳/۲۷      | -۲/۱۲   | -۱/۵۷   | MAE           |                  |
| ۱۲۳/۶۲     | ۹۲/۲۷   | ۸۴/۷۸   | PBAIS         |                  |
| ۰/۹۷       | ۰/۹۸    | ۰/۹۷    | R             |                  |
| .          | .       | ۰/۰۰۷   | p value       |                  |
| ۴/۲۶       | ۳/۰۳    | ۲/۶۱    | RMSE          | دمای بیشینه (C°) |
| -۳/۴۷      | -۲/۴۶   | -۱/۹    | MAE           |                  |
| -۲۴/۸۸     | -۱۷/۱۱  | -۱۳/۷   | PBAIS         |                  |
| ۰/۹۷       | ۰/۹۷    | ۰/۹۷    | R             |                  |
| .          | .       | ۰/۰۰۲   | p value       |                  |
| ۱۳/۱۱      | ۱۵/۰۷   | ۱۶/۴۳   | RMSE          | بارندگی (mm)     |
| ۳/۳۳       | ۶/۷۹    | ۶/۶۶    | MAE           |                  |
| ۰/۹۲       | ۵/۴۷    | ۴/۶۹    | PBAIS         |                  |
| ۰/۵۹       | ۰/۵۱    | ۰/۳     | R             |                  |
| ۰/۲        | ۰/۰۶    | ۰/۰۸    | p value       |                  |

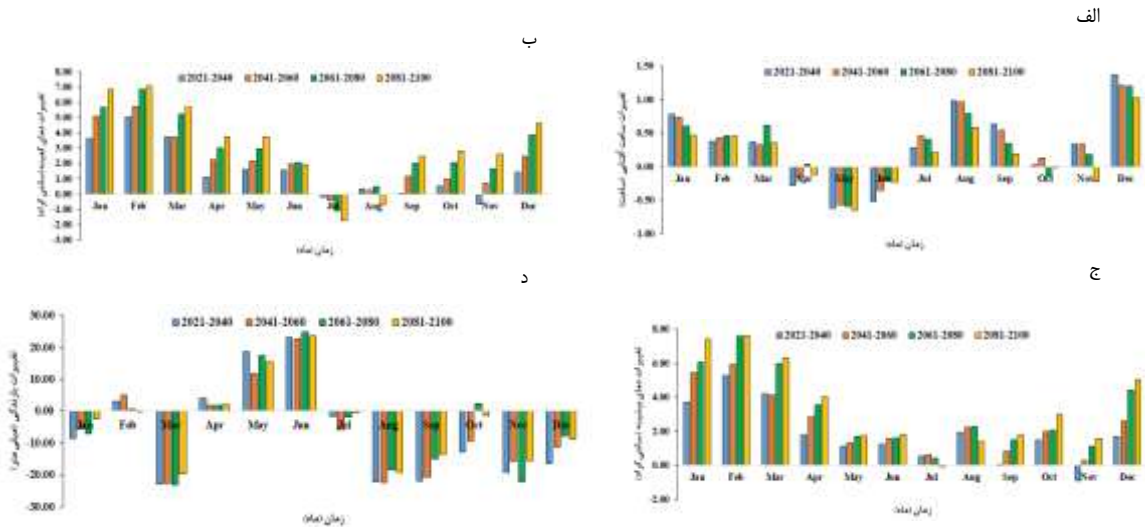
پس از آنکه داده‌های مورد نیاز توسط مدل HadGEM2-EM تحت سناریوهای منتخب تولید شد، اختلاف بارش، دمای کمینه و دمای بیشینه در هر چهار دوره مورد پیش‌بینی ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ نسبت به دوره پایه مورد مقایسه قرار گرفت. نتایج حاصل در شکل ۲ در بازه‌های زمانی تعریف شده نشان داده شد.

با توجه نتایج حاصل از جدول‌های ۲ تا ۵ مشخص شد که در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ مدل HadGEM2-EM در متغیرهای ساعت آفتابی، دمای کمینه و بیشینه اختلاف معنی‌داری بین مقادیر پیش‌بینی و دوره پایه ملاحظه نمی‌گردد در حالی که در متغیر بارندگی در تمامی دوره‌های مورد بررسی اختلاف معنی‌داری بین مقادیر پیش‌بینی و داده‌های پایه مشاهده شد. (۲۶).



شکل ۲- تغییرات پیش‌بینی شده نسبت به دوره پایه (۲۰۰۵-۱۹۸۵ برای الف) ساعات آفتابی ب) دمای کمینه بر حسب درجه سانتی‌گراد ج) دمای بیشینه بر حسب درجه سانتی‌گراد د) بارش بر حسب میلی‌متر) با استفاده از مدل HadGEM2-EM و سناریوی تغییر اقلیم RCP2.6 در چهار دوره آینده

Figure 2. Predict change a) Sunny hours b) Minimum temperature in degrees c) Maximum temperature in degrees d) Precipitation in millimeters compared to baseline (1985-2005) using the Hadcm3 model and the climate change scenario RCP2.6 in three future course



شکل ۳- تغییرات پیش‌بینی شده برای الف) ساعات آفتابی ب) دمای کمینه بر حسب درجه سانتی‌گراد ج) دمای بیشینه بر حسب درجه سانتی‌گراد د) بارش بر حسب میلی‌متر نسبت به دوره مبنا (۲۰۰۵-۱۹۸۵) با استفاده از مدل HadGEM2-EM و سناریوی تغییر اقلیم RCP8.5 در چهار دوره آینده

Figure 3. Predict change a) Sunny hours b) Minimum temperature in degrees c) Maximum temperature in degrees d) Precipitation in millimeters compared to baseline (1985-2005) using the Hadcm3 model and the climate change scenario RCP8.5 in three future course

دوره دمای کمینه نسبت به دوره پایه کاهش پیدا می‌کند. در مورد متغیر دمای بیشینه شکل‌های ۲ و ۳، در اکثر ماه‌های مورد بررسی افزایش دما مشاهده گردید. با توجه به این شکل مشخص می‌شود در انتهای قرن ۲۱ دمای بیشینه نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد. تنها در ماه نوامبر (سناریو RCP 2.6) در هر چهار دوره دمای بیشینه نسبت به دوره پایه کاهش پیدا می‌کند. متغیر بارش در طول قرن ۲۱، در اکثر ماه‌ها در سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5 به‌جز آوریل، می و ژوئن کاهش می‌یابد. بیشترین کاهش بارندگی در هر دو سناریو مربوط به دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ می‌باشد به‌طوری‌که در

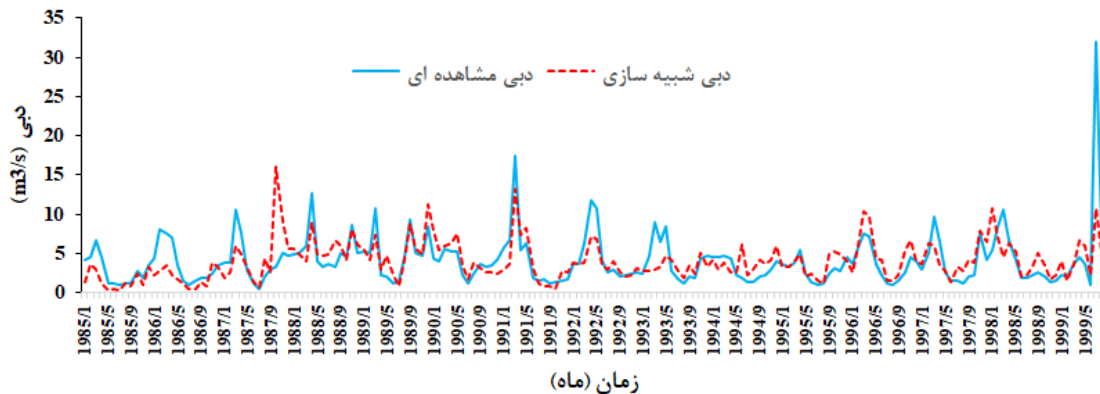
نتایج شکل ۲ و ۳ برای سناریوهای RCP 2.6 و RCP 8.5 نشان می‌دهد که ساعت آفتابی در طول قرن ۲۱ افزایش پیدا می‌کند به‌طوری‌که ساعت آفتابی نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و فقط در ماه‌های آوریل، می و ژوئن در سناریو RCP 2.6 و در ماه‌های می و ژوئن در سناریو RCP 8.5 در هر چهار دوره ساعات آفتابی نسبت به دوره پایه کاهش پیدا می‌کند. دمای کمینه در طول قرن ۲۱ افزایش پیدا می‌کند. به‌طوری‌که تعداد ماه‌های گرم نسبت به دوره پایه افزایش می‌یابد و فقط در ماه‌های جولای و نوامبر (سناریو RCP 2.6) و ماه جولای (سناریو RCP 8.5) در هر چهار

است. به دلیل اینکه سناریو RCP8.5 دلالت بر افزایش واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای، تا میزان ۸/۵ وات بر مترمربع (تقریباً معادل غلظت دی‌اکسید کربن ۱۳۷۰ ppm) تا سال ۲۱۰۰ میلادی است. در نتیجه احتمالاً یکی از دلایل افزایش دما وضعیتی است که این سناریو برای دوره‌های آینده در نظر می‌گیرد. به طور کلی مدل پیش‌بینی با روش LARS-WG طبق ارزیابی‌های انجام شده برازش خوبی با داده‌های آینده اقلیمی دارد.

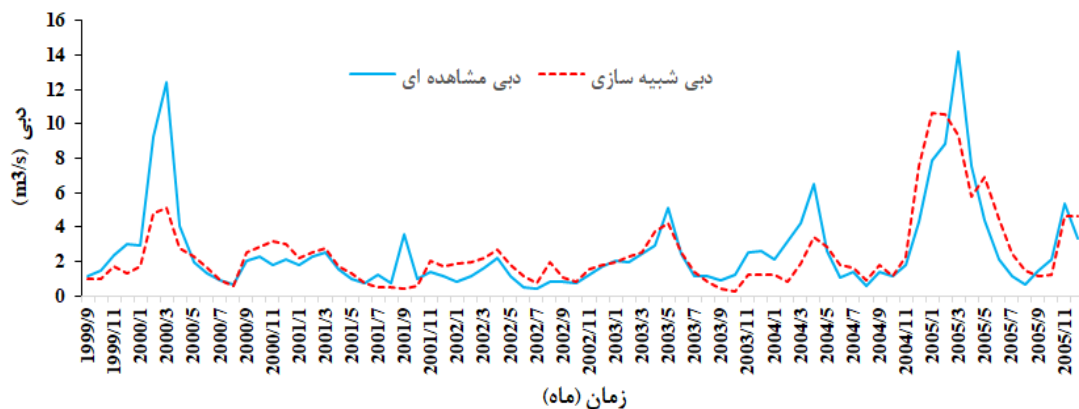
#### نتایج مدل‌سازی جریان رودخانه

برای انتخاب مدلی که همخوانی بیشتری با شرایط آبخیز داشته باشد اقدام به ارزیابی مدل فیزیکی بارش-رواناب IHACRES شد. مقادیر جریان روزانه شبیه‌سازی شده و اندازه‌گیری شده برای مرحله واسنجی در سال‌های ۱۹۸۵ تا ۱۹۹۹ در ایستگاه مورد مطالعه در شکل ۴ و برای مرحله اعتبارسنجی در سال‌های ۱۹۹۹ تا ۲۰۰۵ در شکل ۵ ارائه شده است. همچنین نتایج شبیه‌سازی جریان در مرحله واسنجی و اعتبارسنجی مدل بر اساس شاخص‌های آماری مورد ارزیابی قرار گرفت که نتایج حاصله در جدول ۶ نشان داده شده است.

این دوره بارش به میزان ۲۴/۶ میلی‌متر (سناریو RCP 2.6) و ۲۳/۲ میلی‌متر (سناریو RCP 8.5) نسبت به دوره پایه (۱۹۸۵-۲۰۰۵) کاهش می‌یابد. اما در ماه‌های آوریل، می و ژوئن در هر چهار دوره آینده افزایش بارندگی نسبت به دوره پایه مشاهده می‌شود. بررسی بارش سالانه نشان داد که میزان بارندگی سالانه حوزه (۸۹۵/۶ میلی‌متر) در دوره پایه در دو سناریو مورد بررسی در تمامی دوره‌های مورد بررسی کاهش می‌یابد به طوری که بیش‌ترین کاهش در سناریو RCP 2.6 ۹۶/۶ میلی‌متر مربوط به دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ می‌باشد و در سناریو RCP 8.5 نیز دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ با ۷۶/۶ میلی‌متر بیش‌ترین کاهش را در میزان بارندگی سالانه دارد. نتایج حاصل از بررسی تغییرات سالانه متغیرهای مورد مطالعه با استفاده از مدل HadGEM2-EM و سناریوی تغییر اقلیم RCP2.6 نشان داد که دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ بیش‌ترین افزایش دمای کمینه (+۱/۶)، بیشینه (+۱/۹) و بیش‌ترین تغییر در میزان بارش مربوط به دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ (۸/۰۱ میلی‌متر) و برای سناریوی RCP8.5 نشان داد که دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ بیش‌ترین افزایش دمای کمینه (۳/۲۷)، بیشینه (۳/۴۸) و بیش‌ترین تغییر در میزان بارش مربوط به دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ (۶/۳۸ میلی‌متر) در مقیاس سالانه را به‌خود اختصاص داده



شکل ۴- مقادیر جریان روزانه‌ای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای مرحله واسنجی با استفاده از مدل IHACRES در ایستگاه گلورد  
Figure 4. Daily flow rates of the simulated and measured for calibration step using the IHACRES model at the studied station



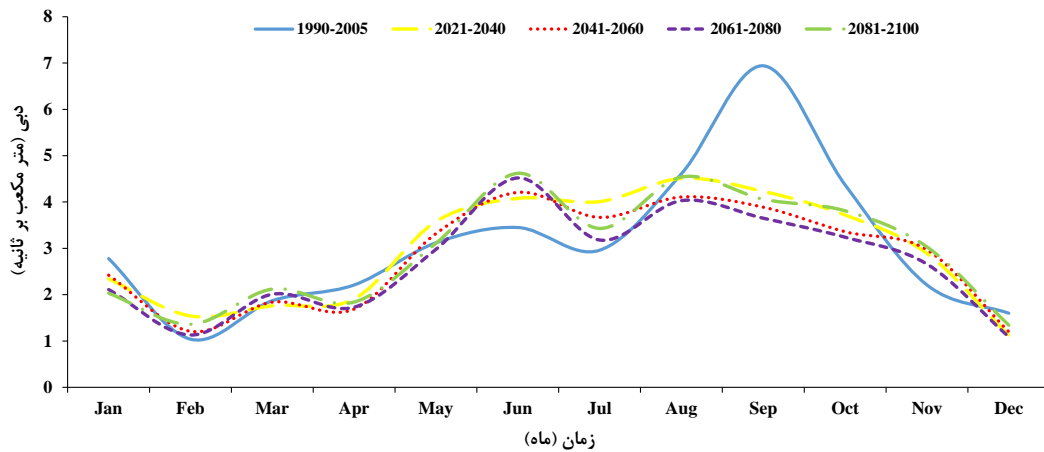
شکل ۵- مقادیر جریان روزانه‌ای شبیه‌سازی و اندازه‌گیری شده برای مرحله صحت‌سنجی با استفاده از مدل IHACRES در ایستگاه گلورد  
Figure 5. Daily flow rates of the simulated and measured for validation step using the IHACRES model at the Gelevard station

جدول ۶- مقادیر معیارهای ارزیابی نتایج شبیه‌سازی جریان در مرحله اعتبارسنجی مدل IHACRES  
Table 6. Values of evaluation criteria for simulation results in the validation phase of the IHACRES model

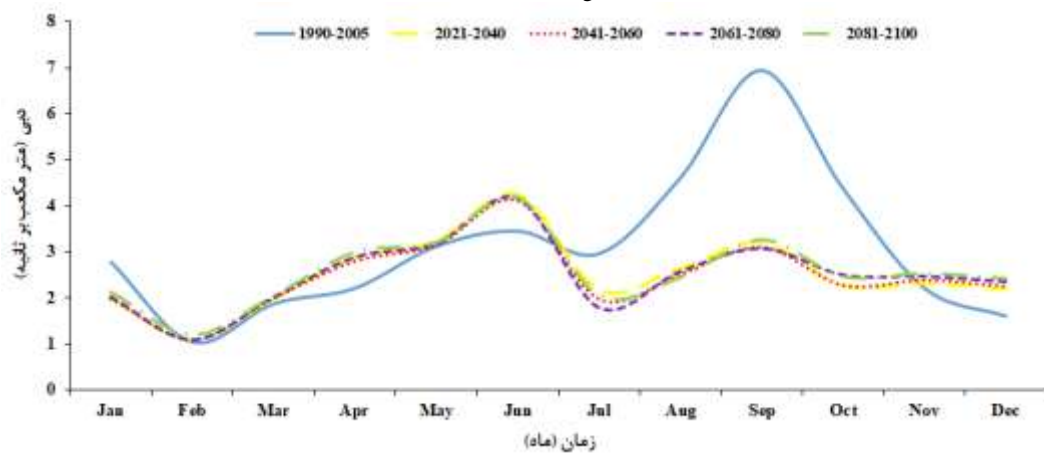
| MAE  | RMSE | r    | مرحله    |
|------|------|------|----------|
| ۰/۰۶ | ۲/۶۹ | ۰/۶۱ | واستجی   |
| ۰/۱۶ | ۱/۶  | ۰/۷۹ | صحت‌سنجی |

مدل‌سازی جریان رودخانه با استفاده از مدل IHECRAS در شکل ۶ و ۷ میانگین دبی دوره‌های مختلف نیز در جدول ۷ ارائه شد.

به‌منظور مدل‌سازی تاثیر تغییر اقلیم بر روی آبدهی رودخانه حوضه آبخیز گلورد با توجه به نتایج حاصل از شبیه‌سازی جریان در دوره‌های آینده از مدل IHECRAS تحت سناریو اقلیمی RCP2.6 و RCP8.5 استفاده شد. نتایج حاصل از



شکل ۶- هیدروگراف برآوردی حوزه گلورد طی دوره‌های مختلف تحت سناریو تغییر اقلیم RCP2.6 با استفاده از مدل IHECRAS  
Figure 6. Hydrograph estimation of Gelevard watershed during different periods under climate change scenario RCP2.6 using IHECRAS



شکل ۷- هیدروگراف برآوردی حوزه گلورد طی دوره‌های مختلف تحت سناریو تغییر اقلیم RCP8.5 با استفاده از مدل IHECRAS  
Figure 7. Hydrograph estimation of Gelevard watershed during different periods under climate change scenario RCP8.5 using IHECRAS

جدول ۷- مقادیر میانگین دبی سالانه (متر مکعب بر ثانیه) برای دوره‌های مختلف  
Table 7. Annual Average flow rates for different periods

| میانگین دبی (متر مکعب بر ثانیه) RCP8.5 | میانگین دبی (متر مکعب بر ثانیه) RCP2.6 | دوره      |
|--|--|-----------|
| ۳/۱                                    | ۳/۱                                    | ۱۹۹۰-۲۰۰۵ |
| ۲/۵۱                                   | ۲/۹۷                                   | ۲۰۲۱-۲۰۴۰ |
| ۲/۴۷                                   | ۲/۸۲                                   | ۲۰۴۱-۲۰۶۰ |
| ۲/۵۲                                   | ۲/۶۹                                   | ۲۰۶۱-۲۰۸۰ |
| ۲/۵۸                                   | ۲/۹۴                                   | ۲۰۸۱-۲۱۰۰ |

ماه‌های آگوست، سپتامبر، اکتبر، نوامبر و دسامبر در دوره‌های آینده نسبت به دوره مشاهده اتفاق خواهد افتاد. مقایسه دوره

با توجه به هیدروگراف برآوردی در سناریوی RCP2.6 افزایش دبی در ماه‌های می، ژوئن و جولای و کاهش دبی در

شرایط تغییر اقلیم با نتایج به دست آمده توسط مساح یوانی (۱۶)، زارع زاده مهریزی (۲۹)، دوستی (۴)، مدرسی و همکاران (۱۷)، حسنی (۷)، ضرغامی و همکاران (۳۰)، جمالی و همکاران (۱۳) و هوانگ و همکاران (۹) مطابقت دارد.

در این پژوهش به بررسی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب سطحی در حوضه سد گلورد پرداخته شد. بدین منظور از سناریوهای تغییر اقلیم خوشبینانه و بدبینانه RCP تحت با استفاده از مدل تغییر اقلیم LARS-WG استفاده گردید. نتایج شبیه سازی پارامترهای هواشناسی نشان داد که بیشترین افزایش دمای کمینه و بیشینه با سناریوی RCP 2.6 در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و در سناریوی RCP 8.5 در دوره ۲۰۸۱-۲۰۸۱ رخ خواهد داد. بررسی بارش سالانه نشان داد که میزان بارندگی سالانه حوضه در دوره پایه در دو سناریو مورد بررسی در تمامی دوره های مورد بررسی کاهش می یابد به طوری که بیشترین کاهش در سناریو RCP 2.6 مربوط به دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ می باشد و در سناریو RCP 8.5 نیز دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ بیشترین کاهش را در میزان بارندگی سالانه دارد. به منظور مدل سازی جریان رودخانه از مدل هیدرولوژیکی IHECRAS استفاده شد. نتایج شبیه سازی جریان رودخانه نشان داد که میزان جریان رودخانه به طور متوسط در چهار دوره آینده در سناریو RCP 2.6 به ترتیب ۴، ۸/۷، ۱۳ و ۵ درصد و در سناریو RCP 8.5، ۱۹، ۲۰، ۱۸ و ۱۷ درصد نسبت به دوره مشاهداتی کاهش می یابد. با توجه به نتایج حاصل از این پژوهش در مجموع می توان نتیجه گرفت که، وضعیت منابع آبی در آینده بحرانی تر خواهد شد. از دلایل آن می توان به کاهش پوشش برفی به دلیل افزایش دما و عدم ذخیره ناشی از ذوب برف در حوضه می باشد. چنین شرایطی منجر به کاهش ذخیره آب در حوضه شده و کاهش جریان رودخانه در فصل خشک را در پی خواهد داشت. دومین مورد کاهش باران در فصل تابستان می باشد. بنابراین از نظر برنامه ریزی منابع آب و تعیین سیاست های بهره برداری و تخصیص منابع آب در حوزه آبخیز گلورد باید بازنگری هایی صورت گیرد؛ چرا که مقدار دبی جریان آن با توجه به تغییرات اقلیمی مورد انتظار کاملاً تغییر خواهد کرد. از آنجاکه مقدار دبی جریانی نکا رود در دهه های آینده با توجه به تغییرات اقلیمی مورد انتظار، روند کاهشی ملموسی خواهد داشت، لذا اهداف پیش بینی شده برای سد گلورد برای تامین آب شرب، کشاورزی، صنعت و... با کمبودهای قابل ملاحظه مواجه خواهد بود، علاوه بر آن ضعیف بودن سفره های آب زیرزمینی و کمبود تغذیه سفره ها و نیز از سویی افت تراز و کسری مخازن آب های زیرزمینی و پیشروی آب های شور از سایر عوامل محدودکننده برای بهره برداری از منابع آب می باشد. بدین ترتیب اعمال سیاست کاهش تقاضا، تغییر الگوی کشت، توصیه و توسعه کشت گیاهان کم آب طلب و استفاده از روش های نوین آبیاری و استفاده از آب های نامتعارف پیشنهاد می شود.

۲۰۸۱-۲۱۰۰ با دوره پایه و بررسی نتایج نشان داد که بیشترین افزایش دبی (۱/۱۷ مترمکعب بر ثانیه) مربوط به ماه ژوئن خواهد بود. نکته قابل توجه اینکه بیشترین میزان افزایش بارش نیز (حدود ۲۶/۵ میلی متر) نسبت به دوره پایه مربوط به همین ماه بوده است. به نظر می رسد تغییرات دمایی و افزایش آن افزایش ذوب برف در ارتفاعات را در پی خواهد داشت که در نتیجه باعث افزایش آبدی جریان رودخانه در این ماهها می گردد. کولایان و همکاران (۲۶) نیز در بررسی تغییرات زمانی جریان رودخانه های استان مازندران به این مورد اشاره نموده اند. همچنین بیشترین کاهش میزان دبی (حدود ۳/۲۹ مترمکعب بر ثانیه) مربوط به ماه سپتامبر بوده و این ماه نیز بیشترین میزان کاهش بارش (۲۴/۰۶ میلی متر) را داشته است. نتایج هیدروگراف برآوردی نشان می دهد که دبی اوج در دوره های آتی نسبت به دوره مشاهداتی کاهش پیدا می کند، به طوری که در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ دبی اوج حدود ۳/۲۹ متر مکعب بر ثانیه نسبت به دوره مشاهداتی کاهش پیدا می کند (شکل ۶). نتایج شکل ۶ و جدول ۷ همچنین نشان می دهد که میزان جریان رودخانه به طور متوسط در چهار دوره مورد مطالعه (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱، ۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب ۴، ۸/۷، ۱۳ و ۵ درصد کاهش می یابد. نتایج حاصل از این تحقیق با نتایج حیدری و همکاران (۲۷) در حوزه آبخیز بشار استان کهگیلویه و بویر احمد، نیرومند فر و همکاران (۲۸) در حوزه آبخیز محمدآباد در استان گلستان همخوانی دارد آن ها نیز در مطالعه خود نشان دادند که تغییرات اقلیمی باعث کاهش جریان آبدی رودخانه در این مناطق می گردد.

همچنین نتایج مدل سازی تغییرات جریان رودخانه براساس سناریو RCP 8.5 نشان داد که دبی در ماه های فوریه، مارس، آوریل، می، ژوئن، نوامبر و دسامبر در دوره های آینده نسبت به دوره مشاهداتی افزایش و در ماه های ژانویه، جولای، آگوست، سپتامبر و اکتبر دبی در دوره های آینده نسبت به دوره مشاهده کاهش خواهد یافت. این نتایج با تغییرات پیش بینی شده بارش مطابق دارد به طوری که با افزایش بارندگی در ماه های آوریل، می و ژوئن میزان دبی نیز افزایش یافته است. نتایج هیدروگراف برآوردی نشان می دهد که دبی اوج در دوره های آینده نسبت به دوره مشاهده آینده کاهش پیدا می کند، به طوری که در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ دبی اوج حدود ۳/۸۶ متر مکعب بر ثانیه نسبت به دوره آینده کاهش پیدا می کند. نتایج شکل ۷ و جدول ۷ همچنین نشان می دهد که میزان جریان رودخانه به طور متوسط در چهار دوره مورد مطالعه (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱، ۲۰۸۱-۲۱۰۰) به ترتیب ۱۹، ۲۰، ۱۸ و ۱۷ درصد کاهش می یابد. افزایش دما و کاهش بارش در دوره های آینده از جمله عوامل موثر بر کاهش جریان رودخانه در این دوره ها می باشد. نتایج به دست آمده در این پژوهش مبنی بر کاهش دبی رودخانه تحت

## منابع

1. Abbasi, F., A. Babayan, Sh. Malbosi, M. Esmari and L. Gholi Mokhtarian. 2012. The effect of climate change in Iran in the (2025-2100) using the microscopic data of the general circulation model of atmosphere. *Journal of Geographical Research*, 27(1): 205-230 (In Persian).
2. Croke, B.F.W., F. Andrews, J. Spate, 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>.
3. Croke, B.F.W. and A.J. Jakeman. 2008. Use of the IHACRES rainfall-runoff model in arid and semi-arid regions. In: H.S. Wheeler, S. Sorooshian and K.D. Sharma. Editors, *Hydrological Modelling in Arid and Semi-arid Areas*, Cambridge University Press, Cambridge, 41-48 pp.
4. Doosti, M. 2012. Evaluation of the effect of climate change on flow flux using rainfall-runoff model (Case study: Tamar watershed, Golestan province). MSc thesis, University of Sari, 123 p (In Persian).
5. Ghorbanizadeh Kharrazi, H., H. Sedghi, B. Saghfiyan and J. Porhemat. 2010. Estimation of the distribution of snowflake runoff during the next half century under climate change conditions. *Water Engineering Quarterly*, 1(1): 51-59 (In Persian).
6. Goodarzi, M., J. Khosraviyan and S.A. Hejazi. 2015. Application of LARS-WG model in prediction of meteorological parameters of Qara-Sou basin. *Journal of geographic space*, 15(51): 263-279.
7. Regional Water Company of Mazandaran Province, <http://www.mzrw.ir/>.
8. Hassani, Kh. 2012. Presenting Solutions to Climate Change Effects on Dam Reservoir Management in Future, Case Study of Shahcheraghi Dam. Master's Degree in watershed engineering. Tarbiat Modares University, 114 pp (In Persian).
9. Hassanzadeh, Y., A. Abdi Kordani, M. Shafiei Najd and S. Khoshteinat. 2015. The prediction of daily flow of the Nura Chai River using the combined model of artificial neural networks-Principal component analysis. *Journal of Water and Soil Science*, 25(3): 63-53.
10. Huang, S., V. Krysanova and F.F. Hattermann. 2013. Projection of low flow conditions in Germany under climate change by combining three RCMs and a regional hydrological model. *Acta Geophysica*, 61(1): 151-193.
11. Ingol, E. and D.C. McKinney. 2009. Hydrologic model for Rio Conchos Basin: Calibration and Validation. CRWR Online Report 08-09. Bureau of Engineering Research, the University of Texas at Austin, 52 p.
12. IPCC. 2007. The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (Eds.). 2007. Report, 996 pp.
13. Jackson, C.R., R. Meister and C. Prudhomme. 2011. Modelling the effects of climate change and its uncertainty on UK Chalk groundwater resources from an ensemble of global climate model projections. *Journal of Hydrology*, 399(1): 12-28.
14. Jamali, S., A. Abrishamchi, M.A. Marino and A. Abbasnia. 2013. Climate change impact assessment on hydrology of Karkheh Basin, Iran. *Proceedings of the ICE-Water Management*, 166(2): 93-104 (In Persian).
15. Mailhot, A., S. Duchesne, D. Caya and G. Talbot. 2007. Assessment of future change in intensity-duration-frequency (IDF) curves for Southern Quebec using the Canadian Regional Climate Model (CRCM). *Journal of Hydrology*, 347(1): 197-210.
16. McIntyre, N. and A. Al-Qurashi. 2009. Performance of ten rainfall-runoff models applied to an arid catchment in Oman. *Journal of Environmental Modelling and Software*, 24: 726-738.
17. Mesah Bavani, A.S. 2006. Risk assessment of climate change and its impact on water resources case study of Zayandeh rood field of Isfahan. PhD dissertation of hydraulic structures, department of Structural Engineering, Tarbiat Modarres University (In Persian).
18. Modaresi F., S. Eraqinejad, K. Ebrahimi and M. Khalqi. 2011. The study of the effect of climate change on annual discharge of rivers (Case study: Gorganroud River). *Water and Soil Journal*, 6(25): 1377-1365 (In Persian).
19. Moen, J. 2007. Effects of Climate Change on Alpine Skiing in Sweden. *Journal of Sustainable Tourism*, 15(4): 418-437.
20. Mohammadi, Y., P. Fathi, A. Najafinejad and N. Nora. 2008. Estimation of monthly average flow using artificial neural networks. Case study: Gheslagh Watershed of Sanandaj. *Journal of Agricultural Science and Natural Resources*, 15(4): 13-28 (In Persian).
21. Rezaei, A., M. Mahdavi, S. Feyznia and M. Mahdian, 2007. Regional modeling of peak flows in the watersheds of Sefidrood Dam using artificial neural network. *Journal of Science and Technology of Agriculture and Natural Resources*, 1(1): 39-25 (In Persian).
22. Semdi, S. and A. Mesbah Bavani. 2008. Introduction of Artificial Neural Network and SDSM methods for small scale-static analysis of temperature and rainfall data, Third conference on water resources management, Tabriz University, Tabriz, Iran, 147 pp (In Persian).
23. Semenov, M.A. and E.M. Barrow. 2002. LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version 3.0.

24. Shaemi, A., M. Habibi Nokhandan. 2009. Global warming and ecological outcomes, first edition, Mashhad Ferdosi University press, Mashhad, 216 pp.
25. Tam, V.T., O. Batelaan and I. Beyen. 2016. Impact assessment of climate change on a coastal groundwater system, Central Vietnam. *Environmental Earth Sciences*, 75: 1-15.
26. Vafakhah, M. 2012. Application of artificial neural networks and adaptive neuro-fuzzy inference system models to short-term streamflow forecasting. *Canadian Journal of Civil Engineering*, 39(4): 402-414.
27. Koulaian, A., M. Khoshravesh, N. Mohammadigolafshani and M. Mohammadjavad. 2017. Analysis of streamflow trend in Mazandaran Rivers using non-parametric Mann-Kendal test. *Watershed Engineering and Management*, 9(3): 332-345 (In Persian).
28. Heidari, M., M.R. Khazaei and A.A. Akhtari. 2018. Impacts of Climate Change on climate variables and catchment stream-flow, using HBV model under BCM2 Scenarios. *Journal of Irrigation and Water Engineering*, 8(30): 129-139 (In Persian).
29. Niromandfard, F., M. Zakerinia and B. Yazerloo. 2018. Investigating the Effect of Climate Change on River Flow Using IHACRES Rainfall-Runoff Model. *Irrigation Sciences and Engineering*, 41(3): 103-117.
30. Zarghami, M., I. Babaeian, Y. Hassanzadeh and R. Kanani. 2011. Impacts of Climate Change on runoffs in East Azerbaijan, Iran. *Global and Plantary Change*, 78: 137-146 (In Persian).
31. Zhang, X.C. and W.Z. Liu. 2005. Simulating potential response of hydrology, soil erosion, and crop productivity to climate change in Changwu tableland region on the Loess Plateau of China. *Agricultural and Forest Meteorology*, 131(3): 127-142.

## Assessment of Climate Change Effects on River Flow of Gelevard Dam Basin

Hossein Ali Zabardast Rostami<sup>1</sup>, Mahmoud Raeini Sarjaz<sup>2</sup> and  
Mohammad Ali Gholami Sefidkouhi<sup>3</sup>

1- Ph.D. Student, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

2- Professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran, (Corresponding Author: raeini@yahoo.com)

3- Associate professor, Department of Water Engineering, Sari Agricultural Sciences and Natural Resources University, Sari, Iran

Received: 23 December, 2019

Accepted: 1 February, 2020

### Extended Abstract

**Introduction and Objective:** Climate change is one of the most important issues that have affected various parts of human life in recent decades. Undoubtedly, this phenomenon will change the water resources of each basin. Therefore, estimating and predicting the future of river discharge is of great importance due to its harmful effects on the environment, economy and society. This research is aimed at checking and predicting the discharge of the river Gelevard Dam under different climatic conditions.

**Material and Methods:** To this end, the HadGEM2-EM model was used under three scenarios RCP 2.6, RCP 4.5 and RCP 8.5. Also, the IHACRES model was used to simulate surface flow for the intended periods.

**Results:** The results of the annual changes in the meteorological parameters under the RCP 2.6 climate change scenario showed that the maximum increase in minimum and maximum temperatures would occur during the period 2061-2080. The greatest change in precipitation will occur during the period 2021-2040. Regarding the results of modeling using IHACRES, it was found that the correlation coefficient of the model in the calibration stage is 0.61 and in the verification stage it is 0.79. The results showed that the average river flow rate decreased by 4, 8.7, 13 and 5 percent, respectively, in the four study periods (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100).

**Conclusion:** Due to the declining trend of Neka River discharge in the coming decades, the projected targets for the Gelevard Dam for drinking water, agriculture, industry, etc. will face significant shortages.

**Keywords:** Climate change, Downscaling, Flow simulation, Neka River