



# پنجمین گنگره ملی آبیاری و زهکشی



دانشگاه بیرجند

۳۰۲ تیرماه ۱۴۰۰

کد مقاله: ۸۲۰۸۲

کوپینامه پذیرش و ارائه مقاله

بدینوسیله کواهی می شود مقاله با عنوان (( ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای دمای بیشینه و کینه کاشمر))

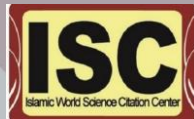
نویسندگان: عاطفه دستگردی، هادی مهاربان خلیل آباد، محسن پوررضا میلندی، مهدی کجاری و مرتضی اکبری

در پنجمین گنگره ملی آبیاری و زهکشی که در تاریخ ۲ و ۳ تیرماه ۱۴۰۰ به صورت مجازی در دانشگاه بیرجند برگزار گردید، در قالب پوستر، مورد پذیرش قرار گرفته و ارائه شده است. ضمن تشکر و قدردانی از بهکاری نویسندگان محترم، امیدواریم شاهد موفقیت روزافزون آنان در زمینه های گوناگون علمی باشیم.

دکتر عباس خاشعی سیوکی  
دبیر علمی گنگره

مهندس عباس کشاورز  
رئیس پنجمین آبیاری و زهکشی ایران

دکتر علی شهیدی  
دبیر گنگره



## ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای دمای بیشینه و کمینه کاشمر

عاطفه دستگردی<sup>۱\*</sup>، هادی معاریان<sup>۲</sup>، محسن پوررضا بیلندی<sup>۳</sup>، مهدی مکاری<sup>۴</sup>، مرتضی اکبری<sup>۵</sup>

۱- کارشناسی ارشد آبخیزداری، دانشگاه بیرجند، [a.dastgerdi72@gmail.com](mailto:a.dastgerdi72@gmail.com)

۲- دانشیار مهندسی حفاظت خاک، دانشگاه بیرجند، [hadi\\_memarian@birjand.ac.ir](mailto:hadi_memarian@birjand.ac.ir)

۳- دانشیار مهندسی آب، دانشگاه بیرجند

۴- استادیار مهندسی آب، مرکز آموزش عالی کاشمر

۵- استادیار مدیریت مناطق خشک و بیابانی، دانشگاه فردوسی مشهد [m\\_akbari@um.ac.ir](mailto:m_akbari@um.ac.ir)

### چکیده

تغییر اقلیم به عنوان یکی از سه چالش مهم جهانی، بر بسیاری از متغیرها و عوامل زیستی و محیطی تاثیر می‌گذارد... این پژوهش به منظور بررسی عملکرد و صحت‌سنجی مدل‌ها در پیش‌بینی پارامترهای اقلیمی دمای بیشینه و دمای کمینه در بازه زمانی (۱۹۸۹-۲۰۰۵) در حوزه آبخیز شهرستان کاشمر در استان خراسان رضوی انجام گردید و از خروجی مدل‌های گردش عمومی جو از سری مدل‌های CMIP5 استفاده شد. انتخاب مدل برتر با استفاده از شاخص‌های ارزیابی ضریب تبیین، مجذور میانگین مربعات خطا، میانگین مطلق خطا، ضریب همبستگی، میانگین مربعات خطا صورت گرفت. در نهایت روش ریزمقیاس‌نمایی BCSD برای سه دوره زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۳۸)، آینده میانی (۲۰۳۹-۲۰۶۹) و آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) در مدل IPSL-CM5A-MR و سناریوهای انتشار آینده (RCP2.6، RCP4.5، RCP6) مورد بررسی قرار گرفت. به منظور بررسی روند تغییرات مؤلفه‌های دمای ماهانه، فصلی، سالانه و کل دوره، از آزمون آماره من-کندال استفاده شد. نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل، برای چهار مدل اقلیمی حاکی از عملکرد مدل IPSL-CM5A-MR در شبیه‌سازی دما با ضریب همبستگی بالا و کم بودن نسبی شاخص‌های خطا در مقایسه با سایر مدل‌هاست. نتایج بررسی نشان داد که میزان دمای کمینه و دمای بیشینه در تمام ماه‌ها افزایش می‌یابد و بیش‌ترین افزایش دمای کمینه در آینده دور و سناریوی RCP8.5 به میزان  $1/35^{\circ}\text{C}$  و بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه در آینده دور و سناریوی RCP8.5 به میزان  $7/09^{\circ}\text{C}$  می‌باشد. افزایش دمای کمینه در سناریوهای RCP8.5، RCP6، RCP4.5 و RCP2.6 به ترتیب برابر  $3/42$ ،  $2/21$ ،  $2/19$  و  $1/43$  درجه سانتی‌گراد و افزایش دمای بیشینه به ترتیب برابر  $3/63$ ،  $2/18$ ،  $2/18$  و  $1/03$  درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

**کلید واژه‌ها:** شبیه‌سازی، متغیرهای آب و هوایی، آزمون من-کندال، کاشمر

## ۱- مقدمه

تغییر اقلیم تأثیر چشم‌گیری بر برخی از مقادیر آب و هوایی بویژه بارش و دما داشته است. [3]. اقلیم به‌طور عمده به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر است. افزایش این گازها سبب افزایش دما، افزایش سطح آب و دمای اقیانوس‌ها شده و به دنبال آن باعث افزایش تبخیر از سطح دریا و افزایش رطوبت و بارش در سطح جهان خواهد شد، اما پاسخ تمام نقاط کره زمین به‌صورت افزایش بارش نیست، بلکه به دلیل تغییر الگوهای فشاری، برخی نقاط کره زمین با کاهش بارش همراه خواهند بود [4]. گزارش‌ها نشان می‌دهند که در قرن گذشته نیز میانگین افزایش دمای جهانی به  $0/85$  درجه سانتی‌گراد رسیده است [16]. افزایش گازهای گلخانه‌ای به عنوان یکی از عوامل اصلی گرمایش زمین و تغییر اقلیم سبب افزایش دما، افزایش سطح آب و دمای اقیانوس‌ها شده و به دنبال آن باعث افزایش تبخیر از سطح دریا و افزایش رطوبت و بارش در سطح جهان شده است. پاسخ تمام نقاط کره زمین به تغییرات اقلیمی، افزایش بارش نیست، بلکه به دلیل تغییر الگوهای فشاری، برخی نقاط با کاهش بارش مواجه بوده اند [4]. تغییرات اقلیم و به تبع آن تغییر پارامترها اقلیمی بر منابع مختلف محیطی از قبیل منابع آب سطحی و زیرزمینی، اراضی کشاورزی، جنگل‌ها، مراتع و همچنین جامعه انسانی تأثیر می‌گذارد. [2-5].

معتبرترین منابع اطلاعاتی در مورد تغییرات اقلیمی در سطح جهانی گزارش‌های ارزیابی هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (IPCC) می‌باشد که از زمان تأسیس تاکنون پنج گزارش ارزیابی در خصوص وضعیت تغییر اقلیم با مشارکت دانشمندان از سراسر جهان منتشر کرده است [13]. بهترین ابزار برای بررسی و ارزیابی تأثیر گازهای گلخانه‌ای بر اقلیم زمین و تغییرات آن، کاربرد مدل‌های گردش عمومی (GCM) است [7]. مدل‌های GCM، به‌عنوان مدل‌های عددی که فرآیندهای فیزیکی جو را نشان می‌دهند، می‌توانند اقلیم حاضر را شبیه‌سازی و شرایط اقلیم آینده را تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای، پیش‌بینی نمایند. نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی که در تهیه گزارش ارزیابی پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم مورد استفاده قرار گرفت تحت عنوان CMIP5<sup>۲</sup> شناخته شده است. مجموعه‌ای از آزمایش‌ها نظیر شبیه‌سازی‌های قرن بیستم و پروژه‌های اقلیمی قرن ۲۱ تحت سناریوهای جدید انتشار با عنوان خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای (RCP) مدل‌های گزارش پنجم را تشکیل می‌دهند [3].

جهت بررسی اثرات تغییر اقلیم بر حوزه‌های آبخیز، پژوهش‌های زیادی در دنیا انجام شده و به بررسی این موضوع با استفاده از مدل‌های مختلف پرداخته‌اند. رحیم پور و همکاران (۲۰۲۰) در پژوهشی به بررسی اثرات تغییرات اقلیم بر شرایط اقلیمی حوزه آبخیز زشک - ابرده در استان خراسان رضوی پرداختند. نتایج نشان داد، تا انتهای قرن بیست و یکم میزان درجه حرارت در یک مسیر افزایشی از سناریوی RCP2.6 به سمت سناریوی RCP8.5 پیش می‌رود و مقادیر بارش کاهشی خواهد بود [17]. سلطانی محمدی و همکاران (۱۳۹۸) در مطالعه‌ای اثرات تغییر اقلیم بر دما و بارش را در شهرستان کاشان تحت سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای و داده‌های خروجی مدل‌های گردش عمومی جو در دوره ۲۰۱۰-۲۰۱۱ بررسی کردند. نتایج نشان داد، تا اواخر قرن بیست و یکم، برای سناریوهای گزارش پنجم افزایش بارندگی و افزایش دما به میزان  $6/9$  درجه سانتی‌گراد پیش‌بینی می‌شود [11]. تانگ<sup>۳</sup> (۲۰۱۹) به پیش‌بینی آب و هوای آینده مالزی پرداخت. یافته‌ها نشان داد که تا پایان قرن بیست و یکم میانگین دمای سالانه، متوسط سطح دریا و وقایع شدید آب و هوایی در حال افزایش است و میزان بارندگی دارای تنوع خواهد بود [18]. دارو<sup>۴</sup> و همکاران (۲۰۱۹) به پیش‌بینی آب و هوای منطقه لودیانا در پنجاب هند پرداختند. نتایج ثابت کرد که تحت سناریوی RCP4.5 در دوره زمانی آینده دور دما  $3/11$  درجه سانتی‌گراد افزایش و بارندگی  $90$  میلیمتر کاهش می‌یابد. همچنین تحت سناریوی RCP8.5 دما در آینده دور  $5/46$  درجه سانتی‌گراد و بارش  $251$  میلیمتر افزایش خواهد یافت [15].

<sup>1</sup> Intergovernmental Panel on Climate Change

<sup>2</sup> General Circulation Model

<sup>3</sup> Coupled Model Inter-comparison Phase 5

<sup>4</sup> Representative Concentration Pathways

<sup>۵</sup>Tang

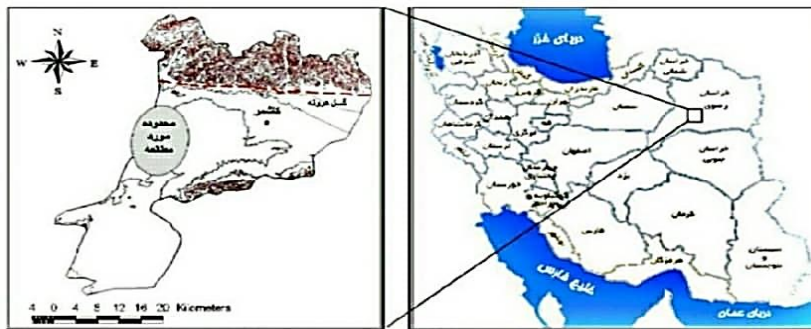
<sup>۶</sup>Dar

استان خراسان رضوی نیز جزء استان‌های خشک و نیمه‌خشک کشور به‌شمار می‌رود و متوسط بارش استان در حدود ۲۱۰ میلی‌متر است. متوسط بارندگی محاسبه شده ایستگاه همدیدی کاشمر ۱۸۳/۸ میلی‌متر بوده و ریزش باران عمدتاً محدود به فصل زمستان و بهار می‌باشد. خشک‌سالی‌های اخیر که در این حوزه حاکم شده و توسعه سریع کشاورزی همراه با رشد سریع جمعیت و افزایش نیاز آبی در دهه‌های اخیر سبب برداشت بی‌رویه و افت سطح آب زیرزمینی این حوزه شده است [8]. هدف از این پژوهش بررسی روند تغییرات آینده مؤلفه‌های اقلیمی (دمای بیشینه و کمینه)، در حوزه آبخیز شهرستان کاشمر (که در استان خراسان رضوی واقع شده است)، با استفاده از سناریوهای انتشار گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم (RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5) و مدل‌های گردش عمومی جو می‌باشد. این تغییرات به صورت ماهانه، سالانه و فصلی و در دوره‌های زمانی آینده نزدیک، آینده میانی و آینده دور بررسی می‌شود. نتایج حاصل از این پژوهش، اطلاعات بسیار مهم و کاربردی را در اختیار مدیران منابع آب در این استان جهت برنامه‌ریزی‌های آبی قرار می‌دهد که دارای اهمیت بوده و برای اولین بار در کشور ایران در این منطقه صورت پذیرفته است.

## ۲- مواد و روش‌ها

معرفی منطقه مورد مطالعه

حوزه آبخیز کاشمر در استان خراسان رضوی به‌عنوان بخشی از حوزه آبریز ایران مرکزی در شمال کویر نمک با طول جغرافیایی  $40^{\circ} 57'$  شرقی تا  $40^{\circ} 58'$  شرقی و عرض جغرافیایی  $2^{\circ} 35'$  شمالی تا  $34^{\circ} 35'$  شمالی در جنوب استان خراسان رضوی قرار دارد. این حوزه در بخش شمال شرقی آبریز کویر مرکزی ایران قرار داشته و دارای وسعت ۲۰۴۵ کیلومتر مربع است. حدود ۱۲۲۱ کیلومتر مربع از این حوزه را دشت کاشمر تشکیل می‌دهد [14]. دشت کاشمر از شمال به محدوده مطالعاتی ریوش و از جنوب به محدوده مطالعاتی بجستان یونسی از شرق به ازغند و فیض آباد محولات و از غرب به محدوده مطالعاتی بردسکن و قاسم آباد بجستان محصور می‌شود [9]. موقعیت جغرافیایی محدوده مورد مطالعه در شکل ۱ نشان داده شده است. حوزه آبخیز کاشمر دارای اقلیم نیمه‌خشک تا خشک است.



شکل ۱- موقعیت جغرافیایی منطقه مطالعاتی در ایران و خراسان رضوی

## روش انجام کار

شصت و یک مدل اقلیمی به منظور شبیه‌سازی دوره‌های زمانی پایه و آینده در گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم به کار رفته است [3]. برای بررسی ارزیابی مؤلفه‌های اقلیمی با استفاده از گزارش پنجم در حوزه کاشمر، ۱۴ مدل از بین مدل‌های گزارش پنجم را بر اساس سنجش‌های ضریب نش-ساتکلیف، در صد اریبی، ضریب تبیین و نسبت جذر ریشه مربعات خطا به انحراف معیار استاندارد داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار دادند که چهار مدل اقلیمی به نام‌های GFDL-ESM2G، IPSL-CM5A-MR، MIROC-ESM و NorESM1-M که بر اساس معیارهای ارزیابی انطباق بیش‌تری با داده‌های مشاهداتی از خود نشان دادند، انتخاب گردید. در این پژوهش، با در نظر گرفتن نتایج مطالعات آقاخانی و همکاران

(۱۳۹۵)، این چهار مدل از جدیدترین گزارش هیأت بین‌الدول (گزارش پنجم، AR5) استخراج شده و به منظور بررسی کیفی عملکرد مدل‌های اقلیمی در شبیه‌سازی متغیرهای دمای بیشینه و دمای کمینه، از شاخص‌های ارزیابی استفاده شده است. شاخص‌های ارزیابی ضریب تبیین ( $R^2$ )، مجذور میانگین مربعات خطا (RMSE)، میانگین مطلق خطا (MAE)، ضریب همبستگی ( $R$ )، و میانگین مربعات خطا (MSE) طبق روابط ۱ تا ۵ مورد بررسی قرار می‌گیرند [1]. در دوره تاریخی (۲۰۰۵-۱۹۸۹)، داده‌های شبیه‌سازی شده توسط این مدل‌ها با داده‌های مشاهداتی مورد مقایسه و ارزیابی قرار گرفتند و در نهایت مدل IPSL-CM5A-MR به عنوان بهترین مدل انتخاب گردید.

$$R^2 = \frac{\sum_{K=1}^K X_K Y_K}{\sqrt{\sum_{K=1}^K X_K^2 \sum_{K=1}^K Y_K^2}} \quad (1)$$

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{K=1}^K (X_K - Y_K)^2}{K}} \quad (2)$$

$$MAE = \frac{\sum_{K=1}^K |X_K - Y_K|}{K} \quad (3)$$

$$R = \frac{\sum_{K=1}^K (y_{act} - \bar{y}_{act})(y_{est} - \bar{y}_{est})}{\sqrt{\sum_{K=1}^K (y_{act} - \bar{y}_{act})^2 \sum_{K=1}^K (y_{est} - \bar{y}_{est})^2}} \quad (4)$$

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{K=1}^K (OBS_1 - FOR_1)^2 \quad (5)$$

در روابط فوق  $X_K$  مقادیر مشاهداتی،  $Y_K$  مقادیر شبیه‌سازی شده و  $K$  تعداد داده‌ها می‌باشد،  $\bar{Y}_{act}$  میانگین مقادیر مشاهداتی،  $Y_{act}$  مقادیر مشاهداتی،  $Y_{est}$  مقادیر شبیه‌سازی شده،  $\bar{Y}_{est}$  میانگین مقادیر شبیه‌سازی شده هستند. همچنین  $OBS_i$ ،  $FOR_i$  به ترتیب مقادیر مشاهداتی و شبیه‌سازی شده دما یا بارش در دوره پایه و  $n$  تعداد کل داده‌های مشاهداتی می‌باشد [12]. در سال ۲۰۱۰ هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم در تدوین گزارش پنجم ارزیابی (AR5) از سناریوهای جدید به‌عنوان نماینده‌های خطوط سیر غلظت‌های گوناگون گازهای گلخانه‌ای تحت عنوان RCP استفاده نموده است [13]. این چهار سناریو شامل یک سناریوی منجر به انتشار بسیار کم گازهای گلخانه‌ای RCP2.6 دو سناریوی متعادل RCP4.5 و RCP6.0 و یک سناریوی با انتشار بسیار بالای گازهای گلخانه‌ای RCP8.5 می‌باشد و براساس سطح واداشت تابشی تا سال ۲۱۰۰ بنا نهاده شده‌اند، در جدول ۱ اطلاعات سناریوهای RCP بیان شده است [16].

جدول (۱) سناریوهای انتشار RCP [16]

سناریو	واداشت تابشی	غلظت دی اکسید کربن	خط سیر	تیم مدل سازی
RCP2.6	حداکثر مقدار آن ۳ وات بر متر مربع و سپس کاهش می یابد.	۴۹۰ ppm قبل از سال ۲۱۰۰ و سپس کاهش می یابد.	اوج و کاهشی	IMAGE
RCP4.5	۴/۵ وات بر متر مربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می ماند.	۶۵۰ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می ماند.	ثابت و بدون تغییر	GCAM
RCP6.0	۶/۵ وات بر متر مربع و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می ماند.	۸۵۰ ppm و بعد از سال ۲۱۰۰ ثابت می ماند.	ثابت و بدون تغییر	AIM
RCP8.5	بیشتر از ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰	۱۳۷۰ ppm تا سال ۲۱۰۰	افزایشی	MESSAGE

مدل های گردش عمومی جو دارای وضوح نسبتاً پایین بوده و برای مطالعات در سطح منطقه و محلی مناسب نمی باشد. بنابراین، خروجی این مدل ها به منظور استفاده در مقیاس منطقه ای بایستی ریزمقیاس شوند [10]. فرآیند ریزمقیاس نمایی BCSD در سه گام مجزا انجام می شود: در مرحله اول اصلاح انحراف آماری شبیه سازی های مؤلفه های بارش و درجه حرارت در مقیاس شبکه مدل های گردش عمومی جو و در گام زمانی ماهانه محاسبه می گردد. در مرحله دوم، ریزمقیاس نمایی فضایی از شبکه مدل های گردش عمومی به شبکه مورد نظر (محلی یا منطقه ای) انجام می پذیرد و در مرحله سوم خروجی ها با مقیاس های ماهانه به مقیاس زمانی روزانه به طور موقت جداسازی می گردند [10]. در این پژوهش به منظور ریزمقیاس نمایی داده های بارش و درجه حرارت از روش جداسازی فضایی تصحیح اریبی استفاده گردید. بنابراین، تمامی خروجی های مدل گزارش پنجم به شبکه هایی با قدرت تفکیک پذیری ۰/۵ درجه به منظور مقایسه دقیق بین داده های شبیه سازی و مشاهداتی، ریزمقیاس گردیدند. در این مطالعه، تحلیل روند داده هایی که دارای خودهمبستگی معنی دار در سری زمانی می باشند، به روش حامد و رائو انجام شد [6]. از آنجا که هدف، تجزیه و تحلیل روند تغییرات دمای بیشینه و دمای کمینه در مدل گزارش پنجم می باشد، لذا از آزمون غیر پارامتری من-کندال استفاده گردید.

### ۳- نتایج و بحث

نتایج شاخص های ارزیابی مدل، برای چهار مدل اقلیمی در دوره تاریخی بررسی شد، مشاهده می شود که عملکرد مدل IPSL-CM5A-MR در شبیه سازی دما (با توجه به کامل بودن داده های مشاهداتی در دوره آماری) برای ایستگاه کاشمر نشان دهنده زیاده تر بودن ضریب همبستگی و کم تر بودن نسبی شاخص های خطا در مقایسه با سایر مدل هاست. جدول (۲) نتایج شاخص های ارزیابی مدل را برای دمای متوسط منطقه، نشان می دهد، با توجه به این نتایج، مدل IPSL-CM5A-MR به عنوان بهترین مدل برای متغیرهای دمای بیشینه و دمای کمینه در نظر گرفته می شود. پس از تعیین بهترین مدل، روندها در چهار سناریوی انتشار به صورت ماهانه، فصلی و سالانه در سه دوره زمانی آینده نزدیک (۲۰۲۰-۲۰۳۸)، آینده میانی (۲۰۳۹-۲۰۶۹)، آینده دور (۲۰۷۰-۲۱۰۰) بررسی شد و نتایج بیان گردید.

جدول (۲) نتایج معیارهای ارزیابی مدل برای متغیر دمای متوسط

معیارهای ارزیابی مدل					مدل
MSE	R	MAE	RMSE	R <sup>2</sup>	
۷/۱	۰/۹۷	۲/۱	۲/۶	۰/۹۹	IPSL-CM5A-MR
۸/۹	۰/۹۶	۲/۴	۲/۹	۰/۹۸	GFDL-ESM2G
۹/۶	۰/۹۶	۲/۵	۳/۱	۰/۹۸	MIROC-ESM
۸/۵	۰/۹۶	۲/۴	۲/۹	۰/۹۸	NorESM1-M

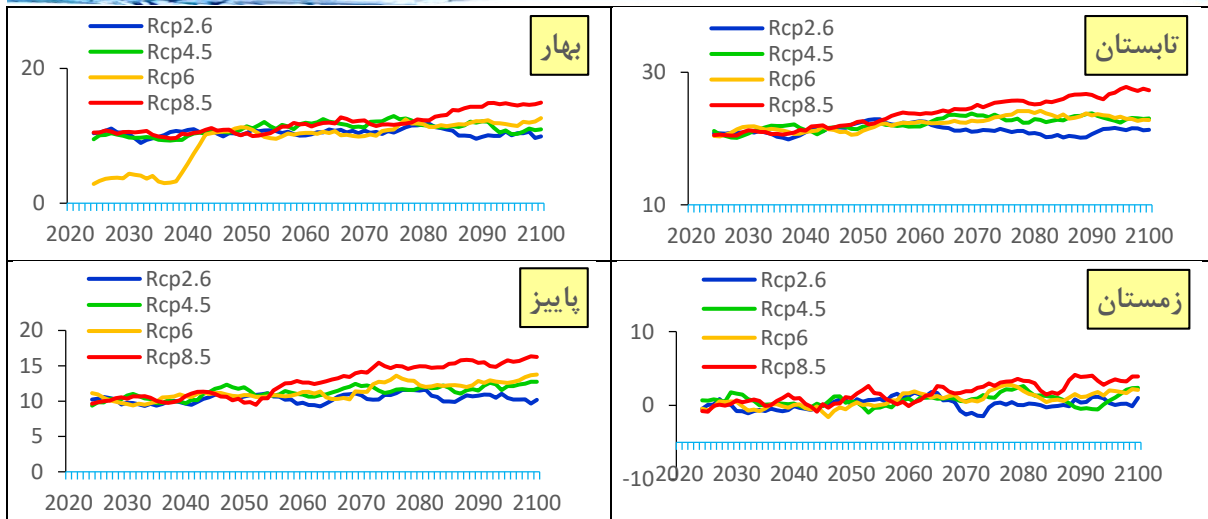
### تحلیل خروجی سناریوها براساس دمای کمینه و دمای بیشینه

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد دمای کمینه کل دوره زمانی در سناریوهای RCP4.5 (غیر از ماه‌های، ژانویه، می و دسامبر)، RCP6 (غیر از ماه‌های، مارس و آگوست) و RCP8.5 دارای روند معنی‌داری می‌باشد اما سناریوی RCP2.6 (بجز ماه نوامبر) دارای روند معنی‌داری نیست و میزان دمای کمینه در تمام ماه‌ها افزایش می‌یابد. میزان دمای کمینه در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان در کل دوره زمانی و تمام سناریوهای RCP افزایش می‌یابد و در سناریوی RCP2.6 دارای روند معنی‌داری نیست، اما در سناریوهای RCP4.5 (بجز فصل زمستان)، RCP6 و RCP8.5 دارای روند معنی‌داری است. بیش‌ترین درصد افزایش دمای کمینه در فصل تابستان و سناریوی RCP6 به میزان ۴/۶۲ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین درصد افزایش در فصل بهار و سناریوی RCP2.6 به میزان ۰/۴ درجه سانتی‌گراد می‌باشد.

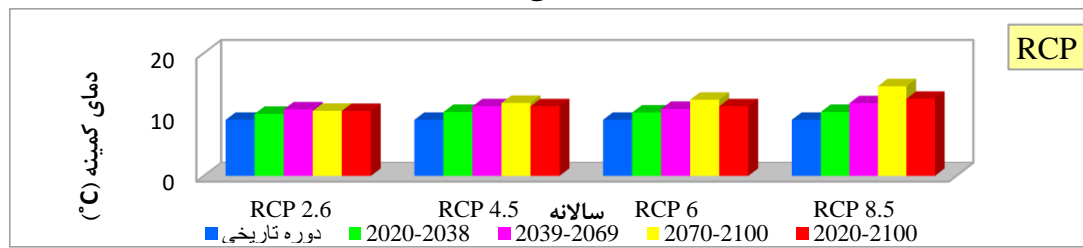
میزان دمای کمینه سالانه در کل دوره زمانی در سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 افزایش می‌یابد و همه سناریوها بجز سناریوی RCP2.6 دارای روند معنی‌داری هستند. میانگین دمای کمینه سالانه کل دوره در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 به ترتیب برابر ۱۰/۵۶، ۱۱/۳۲، ۱۱/۳۴، ۱۲/۵۵ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و میانگین دمای کمینه در دوره تاریخی برابر ۹/۱۳ درجه سانتی‌گراد است، و بیش‌ترین افزایش دمای کمینه در آینده دور و پس از آن در آینده میانی و نزدیک، و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 می‌باشد و افزایش به ترتیب برابر ۲/۴۲، ۲/۲۱، ۲/۱۹ و ۱/۴۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. نتایج بدست آمده از این تحقیق، نتایج مطالعات تانگ (۲۰۱۹) و همچنین مطالعات سلطانی محمدی و همکاران (۱۳۹۸) که به افزایش روند دما در آینده به دلیل تغییرات اقلیمی اشاره دارند را تایید می‌کند. جدول (۳) بیش‌ترین مقادیر افزایش دمای کمینه (ماهانه، فصلی و سالانه) در دوره‌های زمانی آینده نزدیک، میانی و دور در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی (۱۹۸۹-۲۰۰۵) را نشان می‌دهد. همچنین شکل (۲) نمودارهای میزان دمای کمینه فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی و شکل (۳) مقادیر دمای کمینه سالانه مدل تحت سناریوهای انتشار را در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد.

جدول (۳) بیش‌ترین مقادیر افزایش دمای کمینه در دوره‌های زمانی مختلف در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی (۱۹۸۹-۲۰۰۵)

بیش‌ترین افزایش دمای کمینه			دوره زمانی
دمای کمینه سالانه	دمای کمینه فصلی	دمای کمینه ماهانه	
۱/۲۷°C ، RCP4.5	۲/۰۹°C ، تابستان، RCP4.5	۲/۸۹°C ، آگوست، RCP4.5	آینده نزدیک
۲/۶۹°C ، RCP8.5	۴/۰۱°C ، تابستان، RCP8.5	۴/۸۰°C ، سپتامبر، RCP8.5	آینده میانی
۵/۴۷°C ، RCP8.5	۷/۰۹°C ، تابستان، RCP8.5	۸/۳۵°C ، سپتامبر، RCP8.5	آینده دور



شکل (۲) نمودارهای میزان دمای کمینه فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی



شکل (۳) نمودار مقادیر دمای کمینه (سالانه) در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای انتشار RCP و دوره‌های زمانی مختلف

نتایج این پژوهش نشان می‌دهد دمای بیشینه کل دوره زمانی در سناریوهای RCP4.5 (غیر از ماه‌های، ژانویه، فوریه و مارس و نوامبر)، RCP6 و RCP8.5 دارای روند معنی‌داری می‌باشد اما سناریوی RCP2.6 (بجز ماه اکتبر) دارای روند معنی‌داری نیست و میزان دمای بیشینه در تمام ماه‌ها افزایش می‌یابد. میزان دمای بیشینه در فصل بهار، تابستان، پاییز و زمستان در کل دوره زمانی و تمام سناریوهای RCP افزایش می‌یابد و در سناریوی RCP2.6 دارای روند معنی‌داری نیست، اما در سناریوهای RCP4.5، RCP6، RCP8.5 و (بجز فصل پاییز) و RCP8.5 دارای روند معنی‌داری است. بیش‌ترین درصد افزایش دمای بیشینه در فصل تابستان و سناریوی RCP8.5 به میزان ۴/۱۶ درجه سانتی‌گراد و کم‌ترین درصد افزایش در فصل زمستان و سناریوی RCP2.6 به میزان ۰/۲۹ درجه سانتی‌گراد در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی می‌باشد.

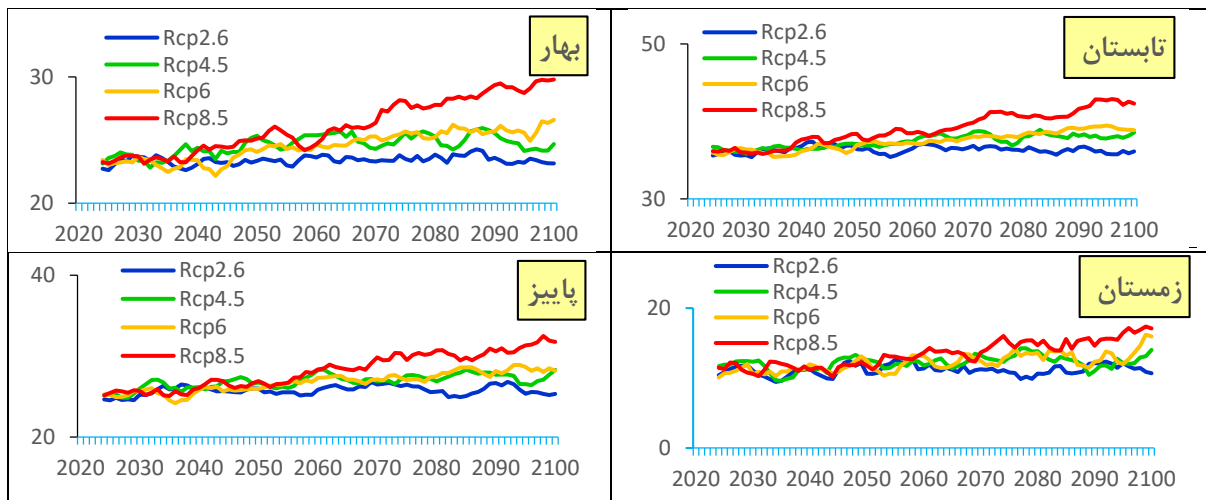
میزان دمای بیشینه سالانه در کل دوره زمانی در سناریوی RCP2.6، RCP4.5، RCP6 و RCP8.5 افزایش می‌یابد و همه سناریوها دارای روند معنی‌داری هستند. میانگین دمای بیشینه سالانه کل دوره در سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 به ترتیب برابر ۲۴/۱۲، ۲۵/۲۷، ۲۵/۲۷، ۲۶/۷۲ درجه سانتی‌گراد می‌باشد و میانگین دمای بیشینه در دوره تاریخی برابر ۲۳/۰۹ درجه سانتی‌گراد است، و بیش‌ترین افزایش دمای بیشینه در آینده دور و پس از آن در آینده میانی و نزدیک، و سناریوهای RCP2.6، RCP4.5، RCP6، RCP8.5 می‌باشد و افزایش به ترتیب برابر ۳/۶۳، ۲/۱۸، ۲/۱۸، ۲/۱۸ و ۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد می‌باشد. این نتایج با مطالعات دار و همکاران (۲۰۱۹) و همچنین رحیم‌پور و همکاران (۲۰۲۰) که نشان دادند تغییرات اقلیمی بر روی پارامترهای آب و هوایی تاثیر می‌گذارد و روند تغییرات دما نیز در آینده افزایشی خواهد بود همخوانی دارد. جدول (۴) بیشترین مقادیر افزایش دمای بیشینه (ماهانه، فصلی و سالانه) در دوره‌های زمانی آینده نزدیک، میانی و دور در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی (۱۹۸۹-۲۰۰۵) نشان می‌دهد.



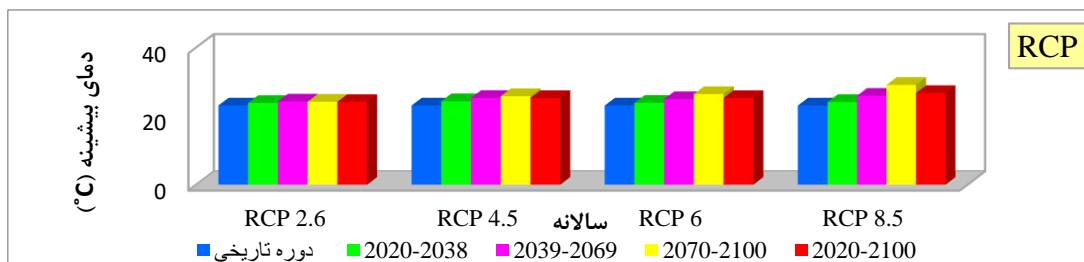
همچنین شکل (۴) نمودارهای مقادیر دمای بیشینه فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی و شکل (۵) مقادیر دمای بیشینه سالانه مدل تحت سناریوهای انتشار را در دوره‌های زمانی مختلف نشان می‌دهد.

جدول (۴) بیشترین مقادیر افزایش دمای بیشینه در دوره‌های زمانی مختلف در مدل IPSL-CM5A-MR تحت سناریوهای RCP در مقایسه با داده‌های دوره تاریخی (۱۹۸۹-۲۰۰۵)

بیشترین افزایش دمای بیشینه			دوره زمانی
دمای بیشینه سالانه	دمای بیشینه فصلی	دمای بیشینه ماهانه	
۱/۲۴°C ، RCP4.5	۱/۵۶°C ، تابستان، RCP4.5	۲/۱۶°C ، مارس، RCP4.5	آینده نزدیک
۲/۸۵°C ، RCP8.5	۳/۵۱°C ، تابستان، RCP8.5	۳/۸۸°C ، آگوست، RCP8.5	آینده میانی
۶°C ، RCP8.5	۶/۵۷°C ، تابستان، RCP8.5	۷/۰۹°C ، مارس، RCP8.5	آینده دور



شکل (۴) نمودارهای میزان دمای بیشینه فصلی در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای RCP و کل دوره زمانی



شکل (۵) نمودار مقادیر دمای بیشینه (سالانه) در مدل IPSL-CM5A-MR گزارش پنجم تحت سناریوهای انتشار RCP و دوره‌های زمانی مختلف

#### ۴- نتیجه‌گیری

نتایج شاخص‌های ارزیابی مدل، برای چهار مدل اقلیمی نشان از عملکرد مدل IPSL-CM5A-MR در شبیه‌سازی دما با ضریب همبستگی بالا و کم بودن نسبی شاخص‌های خطا در مقایسه با سایر مدل‌هاست. ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر متغیرهای

دمای بیشینه و کمینه در حوزه آبخیز دشت کاشمر به‌عنوان بخشی از آبریز ایران مرکزی در شمال کویر نمک نشان داد که در تمامی سناریوهای انتشار گازهای گلخانه‌ای با روند افزایشی معنی‌دار مواجه خواهد شد. نتایج نشان داد در کل دوره زمانی و در تمام ماه‌ها روند تغییرات دمایی افزایشی می‌باشد. این به معنی افزایش تبخیر و تعرق، کاهش میزان آب در دسترس، افزایش تنش‌های گیاهی، کاهش عملکرد بسیاری از محصولات زراعی و باغی، افزایش فشار بر منابع، کاهش امنیت غذایی و در مجموع کاهش پتانسیل سکونت‌پذیری در این منطقه در آینده خواهد بود.

## منابع

- [1] اردونی، م، معماریان، ه، اکبری، م، پوررضا، م (۱۳۹۹). صحت سنجی داده‌های بارش ماهواره GPM-IMERG در مقیاس‌های زمانی نیم‌ساعته و روزانه (مطالعه موردی: حوزه آبخیز گرگانرود). *پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۷(۴):۱۶۶-۱۴۹.
- [2] آبکار، ع، حبیب‌نژاد، م، سلیمانی، ک، و نقوی، ه (۱۳۹۲). بررسی میزان کارایی مدل SDSM در شبیه‌سازی شاخص‌های دمایی در مناطق خشک و نیمه خشک. *فصلنامه علمی پژوهشی مهندسی آبیاری و آب*، ۴(۱۴):۱-۱۷.
- [3] آقاخانی‌افشار، ا، حسن‌زاده، ی، بسالت‌پور، ع و پوررضایی‌بندی، م (۱۳۹۵). ارزیابی سالیانه مؤلفه‌های اقلیمی حوزه آبخیز کشف رود در دوره‌های آبی با استفاده از گزارش پنجم هیأت بین‌الدول تغییر اقلیم. *نشریه‌ی پژوهش‌های حفاظت آب و خاک*، ۲۳(۶):۲۳۳-۲۱۷.
- [4] بابائیان، ا، نجفی‌نیک، ز، زایل‌عباسی، ف، حبیبی‌نوخندان، م، ادب، ح و ملبوسی، ش (۱۳۸۸). ارزیابی تغییر اقلیم کشور در دوره‌های ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G. *فصلنامه جغرافیا و توسعه*، ۷(۱۶): ۱۳۵-۱۵۲.
- [5] بابائیان، ا و نجفی‌نیک، ز (۱۳۸۹). تحلیل تغییر اقلیم استان خراسان رضوی در دوره‌های ۲۰۱۰-۳۹ با استفاده از ریزگردانی خروجی الگوی GCM. *مجله‌ی جغرافیا و توسعه‌ی ناحیه‌ای*، ۸(۱۵): ۱-۱۹.
- [6] ترابی، ا و امامقلی‌زاده، صمد (۲۰۱۵). تحلیل روند تغییرات آبدهی رودخانه‌های حوزه رودخانه کرخه و تأثیر ضریب خودهمبستگی بر روند تغییرات جریان. *پژوهش آب/ایران*، ۹(۱۶):۱۵۱-۱۴۳.
- [7] حسینی خواه، م، زینی‌وند، ح، حقی‌زاده، ع و طهماسبی‌پور، ن (۱۳۹۳). *تیر*. پیش‌بینی تغییرات الگوی بارش حوزه آبخیز قره‌سو در دوره آماری ۲۰۳۰-۲۰۱۱ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G. همایش ملی تغییرات اقلیم و مهندسی توسعه پایدار کشاورزی و منابع طبیعی. تهران، ایران.
- [8] خیرخواه، آ و معماریان، ه (۱۳۹۴). *بهمن*. بحران آب در دشت کاشمر، عوامل، پیامدها و راهکارها. اولین همایش ملی بحران آب و مدیریت آن در مناطق خشک ایران. دانشگاه یزد.
- [9] دفتر مطالعات پایه منابع آب، "گزارش تمدید ممنوعیت محدوده مطالعاتی دشت کاشمر"، شرکت آب منطقه‌ای خراسان رضوی، ۱۳۹۰.
- [10] رحیم‌پور، م، تاجبخش، س‌م، معماریان، ه و آقاخانی‌افشار، ا (۱۳۹۶). *تیر*. ارزیابی تولید رواناب حوزه‌های آبخیز مناطق نیمه خشک تحت شرایط تغییر اقلیم (مطالعه موردی: حوزه زشک-برده). دومین کنفرانس ملی هیدرولوژی ایران. شهرکرد، ایران.
- [11] سلطانی محمدی، ع، امیریان فر، م، شریف حسینی، س‌م (۱۳۹۸). *تیر*. بررسی تغییر اقلیم شهرستان کاشان در دوره (۲۰۱۱-۲۱۰۰) تحت سناریوهای گزارش چهارم و پنجم IPCC. دومین کنفرانس بین‌المللی فناوری و نوآوری در علوم، مهندسی و تکنولوژی. تهران، ایران.
- [12] گودرزی، م، حسینی، م، و پاره‌کار، م (۱۳۹۵). کاربرد روش ریزمقیاس‌گردانی آماری در برآورد تغییر اقلیم حوزه کرخه تا محل سد. *نشریه علمی-پژوهشی علوم و مهندسی آبخیزداری ایران*، ۱۰(۳۵):۶۴-۵۱.
- [13] معماریان، ه، آقاخانی‌افشار، ا، عباس‌نیا، م و مجیدی، م (۱۳۹۸). *مدلسازی اثرات تغییر اقلیم بر منابع آب*. اصفهان: جهاد دانشگاهی اصفهان.

[14] مهندسين مشاور آب و توسعه پايدار (۱۳۸۴a). گزارش طرح مدل رياضي منابع آب زيرزميني محدوده مطالعاتي کاشمر، جلد اول، گزارش هواشناسی.

[15] Dar, M. U. D., Aggarwal, R., & Kaur, S. (2019). Climate Predictions for Ludhiana District of Indian Punjab under RCP 4.5 and RCP 8.5. *British Journal of Environment & Climate Change*, 9(2), 128-141.

[16] IPCC. 2014. Climate Change 2014 Synthesis Report. Contribution of working groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, 151(10.1017).

[17] Rahimpour, M., Tajbakhsh, M., Memarian, H., & Aghakhani Afshar, A. (2020). Impact assessment of climate change on hydro-climatic conditions of arid and semi-arid watersheds (case study: Zoshk-Abardeh watershed, Iran). *Journal of Water and Climate Change*.

[18] Tang, K. H. D. (2019). Climate change in Malaysia: Trends, contributors, impacts, mitigation and adaptations. *Science of the Total Environment*, 650, 1858-1871.