

Climate Change Assessment in the basin of Hamoon International Wetlands Using LARS-WG6 Model

Roghayeh Karami¹ , Hassan Rezaei^{2*} , Abdolrasoul Salman Mahini³ , Khalil Ghorbani⁴ 

1. PhD Student of Environment, Faculty of Fisheries & Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

2. *Corresponding Author*, Assistant Professor of Environment, Faculty of Fisheries & Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

3. Professor of Environment, Faculty of Fisheries & Environment, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

4. Associate Professor of Water Resources, Faculty of Water Resources, Gorgan University of Agricultural Sciences and Natural Resources, Gorgan, Iran.

Article Info

Article type:

Research Article

Article history:

Received: 10 October 2020

Revised: 19 November 2020

Accepted: 30 January 2021

Keywords:

Climate Change,

Hamoun International Wetlands,

LARS-WG6.

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the status of climatic variables in the basin of Hamoun International Wetlands using different general circulation models of LARS-WG6 downscaling method, under emission scenarios RCP4.5 and RCP8.5 during 2040-2021, 2060-2041 and 2080-2061 based on observed parameters in Zabol Synoptic gauge in 1919-1983. Accuracy analyzing indicated a high correlation between simulated and observed data. The results of downscaling showed that the mean minimum and maximum temperatures will increase in all months under two scenarios in all models during 2021-2080. The upward trend will be more severe in the period 2061-2080 compared to previous periods. The maximum and minimum increase in the mean minimum and maximum monthly temperatures are predicted in HadGEM2-EC model, RCP8.5 scenarios and MPI-ESM-MR model, RCP4.5 scenarios, respectively. During 2080-2021, the range of monthly maximum temperature changes in RCP4.5 and RCP8.5 scenarios will be 0.29-2.85 and 0.54-5.80 degrees Celsius, respectively, and the range of monthly minimum temperature changes will be 0.18 -5.51 and 0.61-5.38 degree Celsius respectively. The average monthly rainfall is projected to fluctuate in different models and scenarios. The average monthly precipitation changes under different models and scenarios will be between -3.68-6.6 mm. The highest increase in the average monthly rainfall will happen in March based on HadGEM2-EC model in the RCP4.5 scenarios by 8.6 mm in 2060-2041. The highest decrease in the average monthly rainfall is predicted in January by the MIROC5 model in the RCP4.5 scenarios by 3.68 mm in 2080-2061. The results of this study can be useful for natural resources managers in setting up climate-adoptive livelihood strategies and agricultural practices.

Cite this article: Karami, R., Rezaei, H., Salman Mahini, A., Ghorbani, K. (2022). Climate Change Assessment in the basin of Hamoon International Wetlands Using LARS-WG6 Model. Journal of Natural Environmental Hazards, 11(31), 107-123. DOI: 10.22111/jneh.2021.36069.1710



© Hassan Rezaei

Publisher: University of Sistan and Baluchestan

DOI: 10.22111/jneh.2021.36069.1710

* Corresponding Author Email: hassanrezaei@gau.ac.ir



مجله علمی پژوهشی مخاطرات محیط طبیعی، دوره یازدهم، شماره ۳۱، بهار ۱۴۰۱

ارزیابی تغییرهای اقلیمی در حوضه تالاب بین‌المللی هامون با استفاده از مدل LARS-WG6

رقیه کرمی^۱، حسن رضایی^{۲*}، عبدالرسول سلمان ماهینی^۳، خلیل قربانی^۴

۱. دانشجوی دکتری گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۲. استادیار گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان (نویسنده مسئول)
۳. استاد گروه محیط‌زیست، دانشکده شیلات و محیط‌زیست، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان
۴. دانشیار گروه منابع آب، دانشکده کشاورزی، دانشگاه علوم کشاورزی و منابع طبیعی گرگان

اطلاعات مقاله	چکیده
نوع مقاله: مقاله پژوهشی	هدف این مطالعه، ارزیابی وضعیت متغیرهای اقلیمی در حوضه‌ی تالاب بین‌المللی هامون با استفاده از مدل‌های مختلف گردش عمومی مدل ریزمقیاس گردان LARS-WG6 در دو سناریوی انتشار RCP4.5 و RCP8.5 در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ براساس داده‌های مشاهداتی ایستگاه سینوپتیک زابل در دوره‌ی پایه‌ی ۱۹۸۳-۲۰۱۹ است. ارزیابی دقت داده‌های شبیه‌سازی‌شده بیانگر تطابق بالای مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل و مقادیر واقعی در دوره‌ی پایه است. نتایج ریزمقیاس گردانی نشان داد میانگین دمای کمینه و بیشینه در همه‌ی ماه‌ها در هر سه دوره، تحت دو سناریوی در همه مدل‌ها افزایش خواهد یافت. روند افزایش در دوره‌ی ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نسبت به دوره‌های پیشین شدیدتر خواهد بود. بیشترین و کمترین افزایش در میانگین دمای کمینه و بیشینه‌ی ماهانه به‌ترتیب در مدل HadGEM2-EC، سناریوی RCP8.5 و مدل MPI-ESM-MR، سناریوی RCP4.5 پیش‌بینی شده است. طی دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۸۰ دامنه‌ی تغییرهای دمای بیشینه ماهانه در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 به‌ترتیب ۰/۲۹-۳/۸۵ و ۰/۵۴-۵/۸۰ درجه‌ی سلسیوس و دامنه‌ی تغییرهای دمای کمینه ماهانه به‌ترتیب ۰/۱۸-۳/۵۱ و ۰/۶۱-۵/۳۸ درجه‌ی سلسیوس خواهد بود. میانگین بارش ماهانه در مدل‌ها و سناریوهای مختلف به‌صورت نوسانی پیش‌بینی شده است. تغییرهای میانگین بارش ماهانه تحت مدل‌ها و سناریوهای مختلف بین ۳/۶۸- الی ۸/۶ میلی‌متر خواهد بود. بیشترین میزان افزایش میانگین بارش ماهانه در ماه مارس توسط مدل HadGEM2-EC در سناریوی RCP4.5 به میزان ۸/۶ میلی‌متر در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ پیش‌بینی شده است. بیشترین میزان کاهش میانگین بارش ماهانه در ماه ژانویه توسط مدل MIROC5 در سناریوی RCP4.5 به میزان ۳/۶۸ میلی‌متر در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ پیش‌بینی شده است. نتایج این مطالعه می‌تواند در اتخاذ راهکارهای معیشتی و شیوه‌های کشاورزی سازگار با اقلیم برای مدیران عرصه‌های منابع طبیعی مفید باشد.
تاریخ دریافت: ۱۳۹۹/۰۷/۱۹	
تاریخ ویرایش: ۱۳۹۹/۰۸/۲۹	
تاریخ پذیرش: ۱۳۹۹/۱۱/۱۱	
واژه‌های کلیدی: تغییر اقلیم، تالاب بین‌المللی هامون، LARS-WG6	

استناد: کرمی، رقیه، رضایی، حسن، سلمان ماهینی، عبدالرسول، قربانی نصرآبادی، خلیل. (۱۴۰۱). ارزیابی تغییرات اقلیمی در حوضه تالاب بین‌المللی هامون با استفاده از مدل LARS-WG6. مخاطرات محیط طبیعی، ۱۱(۳۱)، ۱۰۷-۱۲۳. DOI: 10.22111/jneh.2021.36069.1710



© رقیه کرمی، حسن رضایی، عبدالرسول سلمان ماهینی، خلیل قربانی.

ناشر: دانشگاه سیستان و بلوچستان

مقدمه

اقلیم سامانه پیچیده‌ای است که بیشتر به دلیل افزایش گازهای گلخانه‌ای در حال تغییر است (اشرف و همکاران، ۱۳۹۰). برای بررسی تغییرهای اقلیمی بر سیستم‌های مختلف کشاورزی، هیدرولوژیکی و محیط‌زیستی از متغیرهای اقلیمی شبیه‌سازی شده توسط مدل‌های گردش عمومی استفاده می‌شود. این مدل‌ها قادر به مدل‌سازی پارامترهای اقلیمی با استفاده از سناریوهای تایید شده هیات بین‌الدول تغییر اقلیم^۱ برای یک دوره‌ی بلندمدت هستند (Mitchell, 2003). آنها همچنین قادر به پیش‌بینی وضعیت اقلیمی آینده در یک مقیاس نسبتاً وسیع هستند که ممکن است در آن چندین ایستگاه هواشناسی واقع شده باشد. این مدل‌ها به دلیل نبود سامانه‌های قدرتمند محاسبات عددی، غیر اقتصادی بودن و زمان‌بر بودن در پیش‌بینی وضع اقلیم در مقیاس‌های مکانی و زمانی کوچک‌تر محدودیت دارند، به همین علت و به منظور ارزیابی و پیش‌بینی اقلیم محلی و ایستگاهی خروجی مدل‌های اقلیمی را به مقیاس‌های کوچک‌تر تبدیل می‌کنند که به این فرآیند اصطلاحاً "ریزمقیاس‌نمایی" می‌گویند (فاتحی و همکاران، ۱۳۹۴). ریزمقیاس‌نمایی به دو روش آماری و دینامیکی انجام می‌شود (Hewitson and Crane, 1996). در ریزمقیاس‌نمایی دینامیکی با استفاده از روش‌های آنالیز عددی معادلات حاکم بر بسته‌ی هوا در مقیاس کوچک‌تری از مقیاس مدل گردش عمومی جو حل می‌شوند، با به‌کارگیری این روش می‌توان به نقص مدل‌های گردش عمومی جو یعنی ساده‌سازی فرآیندهای جوی نیز فائق آمد (Wilby and Harris, 2006). در روش‌های آماری می‌توان در عرض چند ثانیه، ریزمقیاس‌نمایی را برای یک ایستگاه مشخص در چندین دوره آینده انجام داد. در حالی که روش‌های دینامیکی معمولاً با محدودیت زمانی مواجه می‌شوند. بنابراین استفاده از روش‌های آماری، به‌ویژه در مواقعی که هزینه کمتر و ارزیابی سریع‌تر عوامل مؤثر بر تغییرهای آب و هوایی موردنیاز باشد، از قابلیت بیشتری برخوردار است (عباسی و همکاران، ۱۳۸۹). به‌طور کلی مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی آماری عبارتند از رگرسیون خطی چندمتغیره، آنالیز ارتباط کانونی، نزدیک‌ترین همسایه، روش شبکه‌ی عصبی و مولدهای هواشناسی^۲. این مدل‌ها می‌توانند متغیرها را در سطح قابل‌قبولی برای ایستگاه‌ها محاسبه نمایند. تاکنون برای مدل‌سازی رفتار اقلیم در نقاط مختلف دنیا از انواع مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی آماری مانند CLIMGEN، LARS-WG، SDSM و MET & ROLL استفاده شده است (اشرف، ۱۳۹۰).

مدل LARS-WG در مرکز مطالعات کشاورزی روتامستد^۳ انگلستان طراحی شده است. این مدل با ارزیابی و مقایسه‌ی رفتار داده‌های مشاهداتی و نیز داده‌های روزانه‌ی مدل‌های گردش عمومی جو در ایستگاه‌های هواشناسی، داده‌های روزانه‌ی دوره‌های آینده را ریزمقیاس‌نمایی و شبیه‌سازی می‌کند (Semenov et al., 2002). تاکنون نسخه‌های ۳، ۵ و ۶ این مدل منتشر شده است که هر یک نسبت به مدل قبلی تکامل یافته‌تر هستند. در جدیدترین نسخه‌ی LARS-WG یعنی نسخه‌ی ۶، پنج مدل گردش عمومی جو و دو سناریوی انتشار تعبیه شده است. از مدل LARS-WG برای ریزمقیاس‌گردانی مدل‌های گردش عمومی جو در مناطق مختلف جهان استفاده‌های زیادی شده است.

¹ IPCC (Intergovernmental Panel on climate change)

² Weather Generators

³ Rothamsted

نتایج پیش‌بینی آب و هوای آینده در حوضه رودخانه‌ی انگرنجری^۱ تانزانیبا با استفاده از مدل LARS-WG نشان داد که در دهه‌ی ۲۰۸۰ افزایش کمینه و بیشینه‌ی دما بین ۰/۲ تا ۲/۶ درجه‌ی سلسیوس اتفاق می‌افتد و بارش آبی در ماه‌های آوریل، می، ژوئن و ژوئیه به میزان ۱۲-۳۷ درصد کاهش و در سایر ماه‌ها به میزان ۳-۸۸ درصد افزایش می‌یابد. تحلیل اقلیم آینده در سرچشمه‌های حوضه‌ی آبخیز برازان^۲ در تگزاس با استفاده از مولد هواشناسی-LARS-WG نشان‌دهنده‌ی افزایش میانگین کمینه و بیشینه‌ی دما و کاهش بارش در همه‌ی دوره‌های آینده است (Awal et al., 2016). نتایج پیش‌بینی اقلیم در ایستگاه‌های منتخب پنینسولار^۳ در مالزی، با استفاده از مدل‌های SDSM و LARS-WG بیانگر روند افزایشی دما در هر دو مدل است؛ ولی کاهش بارندگی در مدل SDSM نسبتاً بیشتر از LARS-WG پیش‌بینی شده است (Hassan et al., 2014). وضعیت اقلیم دوره‌ی آینده برای منطقه‌ی خاورمیانه و شمال آفریقا در قرن ۲۱ با مدل Cosmo-Clim و سناریوی RCP4.5 شبیه‌سازی شد که نتایج آن نشان‌دهنده‌ی افزایش دما و کاهش بارش است (Bucchignani et al., 2018). ارزیابی مقایسه‌ای حداکثر بارش در منطقه آسیای جنوب شرقی برای دوره‌ی آینده توسط مدل LARS-WG تغییرهای معنی‌داری در میزان حداکثر بارش روزانه با میانگین افزایش ۲۰٪ در دوره‌ی بازگشت صد ساله را نشان داد (Daksiya et al., 2017).

در ایران، پیش‌بینی تغییرهای اقلیمی شهرستان کرمان با استفاده از پنج مدل گردش عمومی جو و دو سناریوی انتشار در نسخه‌ی ۶ مدل LARS-WG برای دوره‌ی ۲۰۲۰-۲۰۵۰ انجام شد. نتایج این مطالعه نشان‌دهنده‌ی کارایی خیلی مناسب و متوسط مدل LARS-WG به‌ترتیب در پیش‌بینی متغیرهای دما و بارندگی است (جعفری گدنه و همکاران، ۱۳۹۹). یافته‌های مطالعه‌ی سدید و همکاران (۱۳۹۸) در پیش‌بینی تغییرهای اقلیم شهرستان کرمان نشان‌دهنده‌ی افزایش تغییرهای دما در سناریوی سختگیرانه‌تر انتشار گازهای گلخانه‌ای بین ۰/۳۸ - ۵/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد در سطح شهرستان کرمان است. شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی براساس سناریوی A2 مولد هواشناسی LARS-WG در حوضه‌ی آبخیز دریاچه‌ی ارومیه توسط کریمی و نبی‌زاده (۱۳۹۷) نشان‌دهنده‌ی افزایش دمای حداکثر به میزان ۱/۲۷-۰/۳۳ درجه‌ی سانتی‌گراد است. کریمی و همکاران (۱۳۹۷) در یک مطالعه‌ی مروری به روش تحلیلی - توصیفی و مقایسه‌ی نتایج به‌طورکلی دید جامعی از اقلیم آینده، مخاطرات و تغییرهای اقلیمی ایران را براساس مطالعه و مقایسه‌ی نتایج و انواع روش‌های مورد‌استفاده برای ریزمقیاس‌نمایی اقلیمی ترسیم کردند. بیگلی و همکاران (۱۳۹۵) افزایش دمای بیشینه و کمینه در همه سناریوها و مدل‌ها در همه دوره‌های آبی و کاهش بارش در اکثر ماه‌ها را در پیش‌بینی تغییرهای اقلیمی آذربایجان غربی با استفاده از مدل LARS-WG5 گزارش کردند. کاهش بارش و افزایش دما در مدل HadCM3 و سه سناریوی آن در دوره‌های آبی در حوضه‌ی آبخیز بارایه نیشابور با استفاده از مدل ریزمقیاس‌گردان LARS-WG5 توسط طائی سمیرمی و همکاران (۱۳۹۳) گزارش شده است. در شمال‌غرب ایران میزان بارش در دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در بیشتر مدل‌ها به‌ویژه مدل‌های EC-EARTH و MIEOC5 نسبت به دوره‌ی پایه افزایش و در دو دوره‌ی دیگر در همه‌ی مدل‌ها به استثنای مدل HadGEM2 کاهش می‌یابد. همچنین بیشترین تغییرهای کاهش و افزایشی مربوط به سناریوی RCP8.5 است (حیدری تاشه کبود و همکاران،

¹ Ngerengere

² Brazon

³ Peninsular

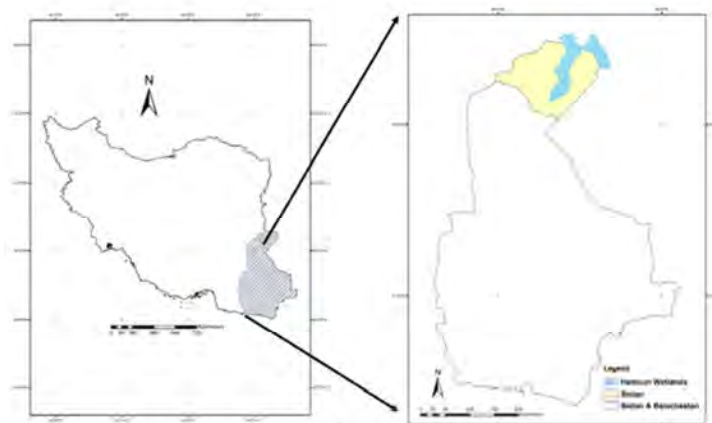
۱۳۹۸). نتایج بررسی تأثیر تغییر اقلیم بر بارش و رواناب حوضه‌ی آبخیز صوفی چای - شمال غرب ایران با استفاده از مدل HadCM3 و سناریوهای آن در مدل LARS-WG5 حاکی از افزایش مقطعی بارش در دوره‌ی ۲۰۳۰-۲۰۱۱ و کاهش آن در آینده‌های دورتر نسبت به اقلیم کنونی، افزایش تدریجی دمای کمینه و بیشینه و کاهش میزان رواناب در آینده است (غریب‌دوست و همکاران، ۱۳۹۴). براساس برآورد مدل HadCM3 برای سناریوهای موردبررسی در دوره‌های آتی در مدل LARS-WG5 میانگین دمای بیشینه استان لرستان ۰/۹-۱/۰۳ درجه سانتی‌گراد افزایش و میانگین بارش ۱۲/۰۴ درصد کاهش خواهد یافت (نصیری و یارمادی، ۱۳۹۵). در حوضه‌ی آبخیز قره‌سوی استان مرکزی هم روند افزایشی دما و کاهش بارش براساس سناریوهای A2، B1 و A1B مدل LARS-WG5 پیش‌بینی شد (ثانی‌خانی و همکاران، ۱۳۹۵). نتایج پیش‌بینی و بررسی روند تغییرهای دمای هوای تبریز با استفاده از مدل EC-EARTH نشان داد که میانگین دمای هوا طبق سناریوی خوشبینانه‌ی RCP4.4 و سناریوی بدبینانه‌ی RCP8.5 به ترتیب ۲/۱ و ۳/۷ درجه‌ی سانتی‌گراد افزایش خواهد داشت (صادقی و دین‌پژوه ۱۳۹۷).

باتوجه به اهمیت مطالعات پیش‌بینی اقلیم در سطح ایران و جهان و نیز افزایش گازهای گلخانه‌ای و تأثیر آن در افزایش دما و کاهش بارش و وقوع خشکسالی‌ها، در این پژوهش وضعیت اقلیم آینده در حوضه‌ی تالاب بین‌المللی هامون موردبررسی قرار گرفت. حیات و ممانت منطقه سیستان به تالاب هامون وابسته است (نوری و همکاران، ۱۳۸۶). بررسی وضعیت اقلیم آینده در این منطقه می‌تواند به سیاست‌گذاری کلان این منطقه، مدیریت تالاب، مدیریت آب و سیاست‌گذاری‌های معیشتی و اقتصادی کمک نماید. بنابراین هدف این پژوهش بررسی وضعیت اقلیمی آینده در حوضه‌ی تالاب بین‌المللی هامون و با استفاده از مدل‌های گردش عمومی جو مدل ریزمقیاس‌گردان LARS-WG6 در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 است.

داده‌ها و روش‌ها

الف- منطقه مطالعاتی

تالاب بین‌المللی هامون یکی از تالاب‌های مهم دنیا و بزرگترین دریاچه آب شیرین در سراسر فلات ایران محسوب می‌شود که با مساحتی حدود ۵۷۰۰ کیلومتر مربع و دامنه عمقی ۱ تا ۵ متر در ناحیه کویری و بیابانی شرق کشور، در منطقه سیستان و در محدوده ۶۰ درجه و ۳۹ دقیقه تا ۶۱ درجه و ۳۵ دقیقه طول شرقی و ۳۱ درجه و ۱۵ دقیقه تا ۳۱ درجه و ۳۲ دقیقه عرض شمالی واقع گردیده است. منطقه‌ی سیستان در انتهای حوضه‌ی آبخیز هلمند قرار دارد. حوضه‌ی آبخیز هلمند با مساحت ۴۰۱۹۶۳ کیلومتر مربع بزرگترین حوضه‌ی آبخیز کشور افغانستان است (Afghanistan Ministry of Energy and Water, Kabul, 2013) و منطقه سیستان با مساحت ۱۵۱۷۱ کیلومتر مربع تنها ۳/۷ درصد مساحت این حوضه است. تالاب بین‌المللی هامون از سه بخش به نام‌های هامون پوزک در شمال شرقی، هامون صابری در شمال و هامون هیرمند در غرب و جنوب غربی سیستان تشکیل شده است. بخش وسیعی از هامون پوزک و قسمت عمده هامون صابری در خاک افغانستان و مابقی هامون‌ها در خاک ایران قرار دارد. سطح هر یک از هامون‌ها بسته به میزان آب ورودی، فصول پر بارش، خشکسالی‌ها و ترسالی‌ها تفاوت داشته و تابعی از آب جریان یافته در رودخانه هیرمند، خروجی پشت سدها و رودخانه‌های فصلی دیگر می‌باشد (شکل ۱).



شکل ۱: موقعیت جغرافیایی منطقه مورد مطالعه

ب- روش پژوهش

برای ارزیابی تغییرهای متغیرهای اقلیمی بارش و دما در دوره‌های آماری آتی ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۰ و ۲۰۶۰-۲۰۸۰، از خروجی‌های مدل‌های اقلیمی HadGEM2، EC-Earth، MIROC5 و MPI-ESM-MR در مدل تولید داده LARS-WG نسخه ۶ استفاده شد. نسل جدیدی از مدل‌های گردش عمومی که در تهیه‌ی گزارش ارزیابی پنجم هیئت بین‌الدول تغییر اقلیم استفاده شد، "پروژه‌ی درون‌مقایسه‌ای مدل‌های جفت‌شده"^۱ نام دارد. این مدل‌ها در نسخه‌ی ششم مدل LARS-WG استفاده شده‌اند که مشخصات آنها در جدول (۱) آمده است. سناریوهای انتشار به‌کاررفته در نسخه‌ی ششم مدل LARS-WG با عنوان خط سیر غلظت گازهای گلخانه‌ای^۲ RCP4.5 و RCP8.5 هستند (جعفری‌گدنه، ۱۳۹۹).

سناریوی RCP4.5 توسط گروه مدل‌سازی MiniCAM طراحی شده است و در آن واداشت تابشی ناشی از گازهای گلخانه‌ای قبل از سال ۲۱۰۰ در مقدار ۴/۵ وات بر مترمربع ثابت می‌ماند (عساکره و اکبرزاده، ۱۳۹۵).

بدون اتخاذ هیچ‌گونه سیاست‌های کاهش آثار و مقابله با پیامدهای اقلیم، آب و هوای کره‌ی زمین در خط سیر سناریوی انتشار RCP8.5 پیش خواهد رفت؛ به‌طوری‌که ادامه‌ی این روند منجر به واداشت تابشی به میزان ۸/۵ وات بر متر مربع در سال ۲۱۰۰ می‌گردد. در این هنگام غلظت دی‌اکسیدکربن به ۱۰۰۰ ppm رسیده و هم‌چنان روند افزایشی خواهد داشت. این سناریو توسط تیم مدل‌سازی MESSAGE و موسسه‌ی IIASA به سرپرستی پروفیسور کیوان ریاحی در موسسه‌ی بین‌المللی آنالیز سیستم‌های کاربردی IIASA اتریش، توسعه و طراحی شد که وجه مشخصه‌ی آن روند افزایش گازهای گلخانه‌ای است (Riahi et al., 2011). مدل LARS-WG، از یک توزیع نیمه تجربی برای تقریب توزیع‌های احتمالی سری‌های خشک و مرطوب، بارش، کمترین و بیشترین دما و تابش خورشیدی روزانه استفاده می‌کند. توزیع نیمه تجربی مانند تابع توزیع احتمال جمع‌ی تعریف می‌شود. برای استفاده از مدل LARS-WG، حداقل ۲۰ تا ۳۰ سال داده‌ی روزانه توصیه شده است. LARS-WG برای تولید سری‌های زمانی

¹ Coupled Model Intercomparison Phase 5

² Representative Concentration Pathway

روزانه‌ی دما و بارش در آینده نیاز به معرفی فایل سناریوی تغییر اقلیم دارد. این فایل، تغییرهای اقلیمی دوره‌ی آتی را نسبت به دوره‌ی پایه‌ی تغییرهای نسبی در بارندگی و تغییرهای مطلق در کمترین و بیشترین دما، براساس خروجی مدل‌های گردش عمومی جو^۱ مشخص می‌کند.

جدول ۱: مشخصات مدل‌های گردش عمومی جو به‌کاررفته در LARS-WG6

منبع	سناریوها	قدرت تفکیک مکانی به درجه	مرجع	مدل
Shiferaw et al, 2018	RCP4.5 RCP8.5	۱/۴۰*۱/۴۰	EC-EARTH-Consortium	EC-EARTH
Dunne et al, 2012	RCP4.5 RCP8.5	۱/۱۲۱۵*۱/۱۲۱۵	Geographical Fluid Dynamics Laboratory, United States	GFDL-CM3
Collines et al, 2008	RCP4.5 RCP8.5	۲/۵*۲	MOHC, MET Office Hadley Centre	HadGEM2-ES
Watanabe et al, 2010	RCP4.5 RCP8.5	۱/۲۵*۱/۸۷۵	Atmosphere and Ocean Research Institute, Japan	MIROC5
Rasdatz et al, 2007	RCP4.5 RCP8.5	۱/۸۶۵*۱/۸۷۵	Max Plank Institute for Meteorology, Germany	MPI-ESM-ER

برای اجرای اولیه‌ی مدل LARS-WG و واسنجی و تعیین کارایی مدل برای دوره‌ی گذشته باید در ابتدا دو فایل ورودی را آماده کرد که یک فایل شامل نام، عرض جغرافیایی، طول جغرافیایی و ارتفاع مربوط به ایستگاه سینوپتیک زابل می‌باشد که در آن فرمت و ترتیب داده‌های ورودی مدل نیز مشخص می‌شود. فایل دیگر شامل داده‌های هواشناسی ورودی به مدل که به ترتیب از سال کم به زیاد مرتب شده، شماره‌ی روز، بارش، حداکثر دما، حداقل دما و ساعات آفتابی روزانه (یا شدت تابش) می‌باشد. ایستگاه هواشناسی زابل در مکانی با عرض جغرافیایی ۳۱/۰۹۸ و طول جغرافیایی ۶۱/۵۴ و ارتفاع ۴۸۹/۲ متر از سطح دریاهای آزاد قرار دارد.

حاصل تحلیل مدل بر داده‌های ورودی، فایلی است که در آن نتایج مدل‌سازی آماری داده‌های مشاهداتی مانند طول دوره‌های خشک و مرطوب به صورت فصلی، میانگین و انحراف معیار دوره‌های خشک و مرطوب به صورت ماهانه، توزیع‌های تجربی، مقادیر میانگین، انحراف معیار، بیشینه و کمینه‌ی بارش مشاهداتی و مدل به صورت ماهانه، مقادیر بیشینه، کمینه، میانگین و انحراف معیار و تعداد داده‌های ثبت شده‌ی بیشینه و کمینه‌ی دما و تشعشعات آفتابی مشاهداتی و مدل به صورت ماهانه و روزانه ثبت می‌شود. همچنین با استفاده از توزیع‌های تجربی و تعاریف روز سرد و گرم دوره‌هایی از سرما و گرما مدل‌سازی می‌شود، به طوری که روز گرم روزی است که بیشینه‌ی دما به بیش از ۳۰ درجه‌ی سانتی‌گراد و روز سرد روزی است که کمینه‌ی دما به زیر صفر درجه‌ی سانتی‌گراد برسد.

برای ارزیابی کارایی و دقت مدل از شاخص‌های آماری ضریب تبیین^۲، جذر میانگین مربعات خطا^۳ و ضریب ناش ساتکلیف^۴، میانگین خطای اریبی^۵ و شاخص توافق^۶ به صورت زیر استفاده شد:

ضریب تبیین بیانگر قسمتی از تغییرهای کل (یا واریانس کل) مقادیر مشاهده شده است که به وسیله‌ی مقادیر شبیه‌سازی شده توجیه شود، آماره‌ی R^2 نسبت پراکندگی بین مقادیر پیش‌بینی شده و مشاهداتی را نشان می‌دهد.

¹ Global Climate Change (GCM)

² R2

³ Root Mean Square Error (RMSE)

⁴ Nash Sutcliffe (NS)

⁵ Mean Bias Error (MBE)

⁶ Agreement Index (d)

مقادیر R2 بین صفر و یک تغییر می‌کند و هرچه به یک نزدیک‌تر باشد نشان‌دهنده‌ی تطابق بیشتر مقادیر مشاهداتی و مدل‌سازی شده است.

RMSE به صورت گسترده‌ای به منظور محاسبه‌ی تفاوت میان داده‌های دیدبانی و شبیه‌سازی شده مورد استفاده قرار می‌گیرد (معادله ۱). این شاخص، خطای شبیه‌سازی را به وسیله‌ی وزن‌دهی به خطاهای بیش‌ازحد بزرگ مورد محاسبه قرار می‌دهد. مقادیر کمتر RMSE بیانگر قدرت شبیه‌سازی بهتر مدل است.

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

ضریب ناش ساتکلیف اختلاف نسبی بین مقادیر مشاهده شده و شبیه‌سازی شده را نشان می‌دهد:

$$NSE = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (X_i - Y_i)^2}{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X}_i)^2} \quad (2)$$

میانگین خطای اریبی (MBE) نیز عبارتست از میانگین تفاضل مقادیر مشاهده شده ایستگاهی از مقادیر شبیه‌سازی شده مدل (معادله ۳). مقادیر منفی شاخص MBE نشان می‌دهد مدل داده‌ها را کمتر از میزان واقعی تخمین زده است. هرچه شاخص MBE از صفر فاصله بیشتری داشته باشد داده‌های شبیه‌سازی شده با داده‌های واقعی فاصله بیشتری دارد.

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - Y_i)}{N} \quad (3)$$

به منظور غلبه بر حساسیت بیش‌ازحد شاخص‌های مبتنی بر ضریب همبستگی به تفاوت میانگین و واریانس مقادیر واقعی با شبیه‌سازی شده، شاخص توافق d محاسبه شد (معادله ۴). شاخص توافق یک شاخص استاندارد شده برای محاسبه خطای شبیه‌سازی مدل است که مقدار آن بین صفر و یک می‌باشد؛ مقدار صفر نشان‌دهنده عدم توافق و مقدار یک بیانگر حداکثر توافق است.

$$d = 1 - \frac{\sum (X_i - Y_i)^2}{\sum (|Y_i - \bar{X}| + |X_i - \bar{X}|)^2} \quad (4)$$

در معادلات بالا N، Y و X به ترتیب تعداد داده‌ها، مقادیر شبیه‌سازی شده توسط LARS-WG و مقادیر مشاهده شده در ایستگاه‌های هواشناسی و نیز \bar{X} میانگین مقادیر مشاهداتی می‌باشد.

پس از راستی‌آزمایی مدل، اقدام به شبیه‌سازی پارامترهای هواشناسی بارش، دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش در مدل شد و نتیجه آن فایل‌های متنی است که حاوی مقادیر پیش‌بینی شده‌ی متغیرها در مدل‌ها و سناریوها و دوره‌های آتی انتخابی است. این فایل‌ها به محیط اکسل منتقل شده و تحلیل‌های بعدی بر روی آنها انجام شد.

نتایج و بحث

نتایج ارزیابی، دقت داده‌های شبیه‌سازی شده توسط مدل LARS-WG6 و داده‌های مشاهداتی در دوره‌های پایه در ایستگاه زابل در جدول (۲) ارائه شده است. مقدار ضریب تبیین ۰/۹۴۳-۱، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا (RMSE) بین ۰/۳۱۲-۱/۱۱، ضریب ناش-ساتکلیف بین ۰/۹۴۲-۱، قدر مطلق ضریب (MBE) بین ۰/۱۴۳-۰/۰۶ و شاخص

توافق (d) بین ۰/۹۸۵-۱ در متغیرهای هواشناسی تغییر می‌کند. بالابودن میزان ضرایب تعیین، ناش-ساتکلیف، توافق و پایین‌بودن مقادیر ریشه‌ی مربعات خطا و میانگین خطای اریبی بیانگر تطابق بالای مقادیر شبیه‌سازی‌شده توسط مدل و مقادیر واقعی در دوره‌ی پایه است. بنابراین شبیه‌سازی برای دوره‌های آتی انجام شد. مقادیر مثبت میانگین خطای اریبی نشان‌دهنده‌ی آنست که مدل مقادیر را در هر سه پارامتر بیشتر از میزان واقعی شبیه‌سازی کرده است.

جدول ۲: مقادیر آماره‌های واسنجی مدل LARS-WG در دوره‌ی پایه در ایستگاه‌های مورد مطالعه در ایستگاه زابل در دوره ۱۹۸۳-۲۰۱۹

متغیر	R ²	RMSE	NSE	MBE	d
بارش	۰/۹۴۳	۱/۱۱	۰/۹۴۲	۰/۱۴۳	۰/۹۸۵
دمای بیشینه	۰/۹۹۹	۰/۳۱۲	۰/۹۹۹	۰/۰۶	۱
دمای کمینه	۱	۰/۱۷۵	۱	۰/۱۰۲	۱

در شکل (۲) میانگین دمای کمینه، بیشینه و بارش شبیه‌سازی‌شده در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ در ایستگاه زابل نشان داده شده است. باتوجه به این شکل، میانگین دمای کمینه و بیشینه در همه‌ی ماه‌ها در هر سه دوره، تحت دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 گزارش پنجم هیئت بین‌الدول و در همه مدل‌ها افزایش خواهد یافت. روند افزایش در دوره‌ی ۲۰۶۰-۲۰۴۱ نسبت به دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ و در دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۶۱ نسبت به دوره‌ی ۲۰۶۰-۲۰۴۱ شدیدتر خواهد بود. بیشترین افزایش در میانگین دمای کمینه و بیشینه‌ی ماهانه در مدل HadGEM2-EC و سناریوی RCP8.5 و کمترین افزایش در میانگین دمای کمینه و بیشینه‌ی ماهانه در مدل MPI-ESM-MR سناریوی RCP4.5 پیش‌بینی شده است. دامنه‌ی تغییرهای دمای بیشینه ماهانه در ایستگاه زابل در سناریوی RCP4.5 طی دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۲۱ بین ۳/۸۵-۰/۲۹ درجه‌ی سانتی‌گراد و در سناریوی RCP8.5 به ترتیب ۵/۸۰-۰/۵۴ است. همچنین دامنه‌ی تغییرهای دمای کمینه ماهانه در سناریوی RCP4.5 در دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۲۱ بین ۳/۵۱-۰/۱۸ درجه‌ی سانتی‌گراد و در سناریوی RCP8.5 بین ۵/۳۸-۰/۶۱ درجه‌ی سانتی‌گراد است. کمترین میزان افزایش میانگین دمای بیشینه در ماه ژانویه به میزان ۰/۲۹ درجه سانتی‌گراد توسط مدل MPI-ESM-MR در سناریوی RCP4.5 و برای دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ پیش‌بینی شده است. بیشترین افزایش میانگین دمای بیشینه‌ی ماهانه در ماه دسامبر به میزان ۵/۸ درجه‌ی سانتی‌گراد توسط مدل HadGEM2-EC در سناریوی RCP8.5 و برای دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۶۱ پیش‌بینی شده است. کمترین میزان افزایش میانگین دمای کمینه‌ی ماهانه در ماه فوریه و به میزان ۰/۱۸ درجه سانتی‌گراد توسط مدل MPI-ESM-MR در سناریوی RCP4.5 و برای دوره‌ی ۲۰۴۰-۲۰۲۱ پیش‌بینی شده است. بیشترین افزایش میانگین دمای بیشینه‌ی ماهانه در ماه‌های نوامبر به میزان ۵/۳۸ درجه‌ی سانتی‌گراد توسط مدل HadGEM2-EC در سناریوی RCP8.5 و برای دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۶۱ پیش‌بینی شده است.

میانگین بارش ماهانه در مدل‌ها و سناریوهای مختلف به صورت کاهشی و افزایشی پیش‌بینی شده است. تغییرهای میانگین بارش ماهانه تحت مدل‌ها و سناریوهای مختلف بین ۳/۶۸- الی ۸/۶ میلی‌متر خواهد بود. بیشترین میزان افزایش میانگین بارش ماهانه در ماه مارس توسط مدل HadGEM2-EC در سناریوی RCP4.5 به میزان ۸/۶ میلی-

متر در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ پیش‌بینی شده است. بیشترین میزان کاهش میانگین بارش ماهانه در ماه ژانویه توسط مدل MIROC5 در سناریوی RCP4.5 به میزان ۳/۶۸ میلی‌متر در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ پیش‌بینی شده است.

در جدول (۳) تغییرهای میانگین دما و بارش فصلی و سالانه پیش‌بینی شده توسط مدل LARS-WG6 در دوره‌های آتی در ایستگاه‌های زابل ارایه شده است. روند تغییرهای میانگین دمای کمینه و بیشینه فصلی و سالانه مشابه روند تغییرهای ماهانه است و در همه فصول افزایش می‌یابد، همچنین از دوره اول تا سوم روند افزایشی شدیدتر می‌شود. به‌طور کلی بیشترین افزایش در میانگین دمای کمینه و بیشینه فصلی و سالانه در مدل HadGEM2-EC و سناریوی RCP8.5 و کمترین افزایش در میانگین دمای کمینه و بیشینه فصلی و سالانه در مدل MPI-ESM-MR و سناریوی RCP4.5 پیش‌بینی شده است.

به‌طور کلی میانگین بارش سالانه در دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و ۲۰۴۰-۲۰۶۰ توسط همه‌ی مدل‌ها در هر دو سناریو نسبت به دوره‌ی پایه بیشتر پیش‌بینی شده است و فقط در دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ در مدل MPI-ESM-MR سناریوی RCP4.5 میانگین بارش سالانه کمتر از دوره‌ی پایه است. در دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۶۰ همه‌ی مدل‌ها در سناریوی RCP8.5 میانگین بارش سالانه را بیشتر از دوره‌ی پایه پیش‌بینی کرده‌اند و در سناریوی RCP4.5 مدل MPI-ESM-MR میانگین بارش سالانه را بیشتر و سایر مدل‌ها کمتر از دوره‌ی پایه پیش‌بینی کرده‌اند.

بیشترین افزایش میانگین دمای بیشینه و کمینه فصلی به ترتیب در فصل پاییز و تابستان به میزان ۵/۴ و ۶/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد توسط مدل HadGEM2-EC در سناریوی RCP8.5 برای دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و کمترین افزایش میانگین دمای بیشینه و کمینه فصلی به ترتیب در فصل زمستان و بهار و زمستان به ترتیب به میزان ۰/۴ و ۰/۹ درجه‌ی سانتی‌گراد توسط مدل MPI-ESM-MR در سناریوی RCP4.5 برای دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ پیش‌بینی شده است. بیشترین و کمترین افزایش میانگین دمای بیشینه و کمینه فصلی سالانه به ترتیب توسط مدل HadGEM2-EC در سناریوی RCP8.5 برای دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و مدل EC-EARTH در سناریوهای RCP4.5 و RCP8.5 برای دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ پیش‌بینی شده است.

بیشترین افزایش میانگین بارش فصلی در فصل تابستان به میزان ۲۳۰ درصد توسط مدل HadGEM2-EC در سناریوی RCP8.5 برای دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و بیشترین کاهش میانگین بارش فصلی در فصل زمستان به میزان ۳۵/۷ درصد توسط مدل MIROC5 در سناریوی RCP4.5 برای دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۶۱ پیش‌بینی شده است. بیشترین افزایش میانگین بارش سالانه به میزان ۳۶/۵ درصد توسط مدل HadGEM2-EC در سناریوی RCP4.5 برای دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ و بیشترین کاهش میانگین بارش سالانه به میزان ۱۳/۹ درصد توسط مدل HadGEM2-EC در سناریوی RCP8.5 برای دوره‌ی ۲۰۸۰-۲۰۶۱ پیش‌بینی شده است.

دقت و کارایی بالای مدل LARS-WG با استفاده از شاخص‌های آماری ضریب تبیین، ریشه‌ی میانگین مربعات خطا، ضریب ناش سانتکلیف و شاخص توافق تایید شد که با نتایج مطالعات اشرف و همکاران (۱۳۹۰)، جعفری گدنه و همکاران (۱۳۹۹)، گودرزی و همکاران (۱۳۹۳) مطابقت دارد.

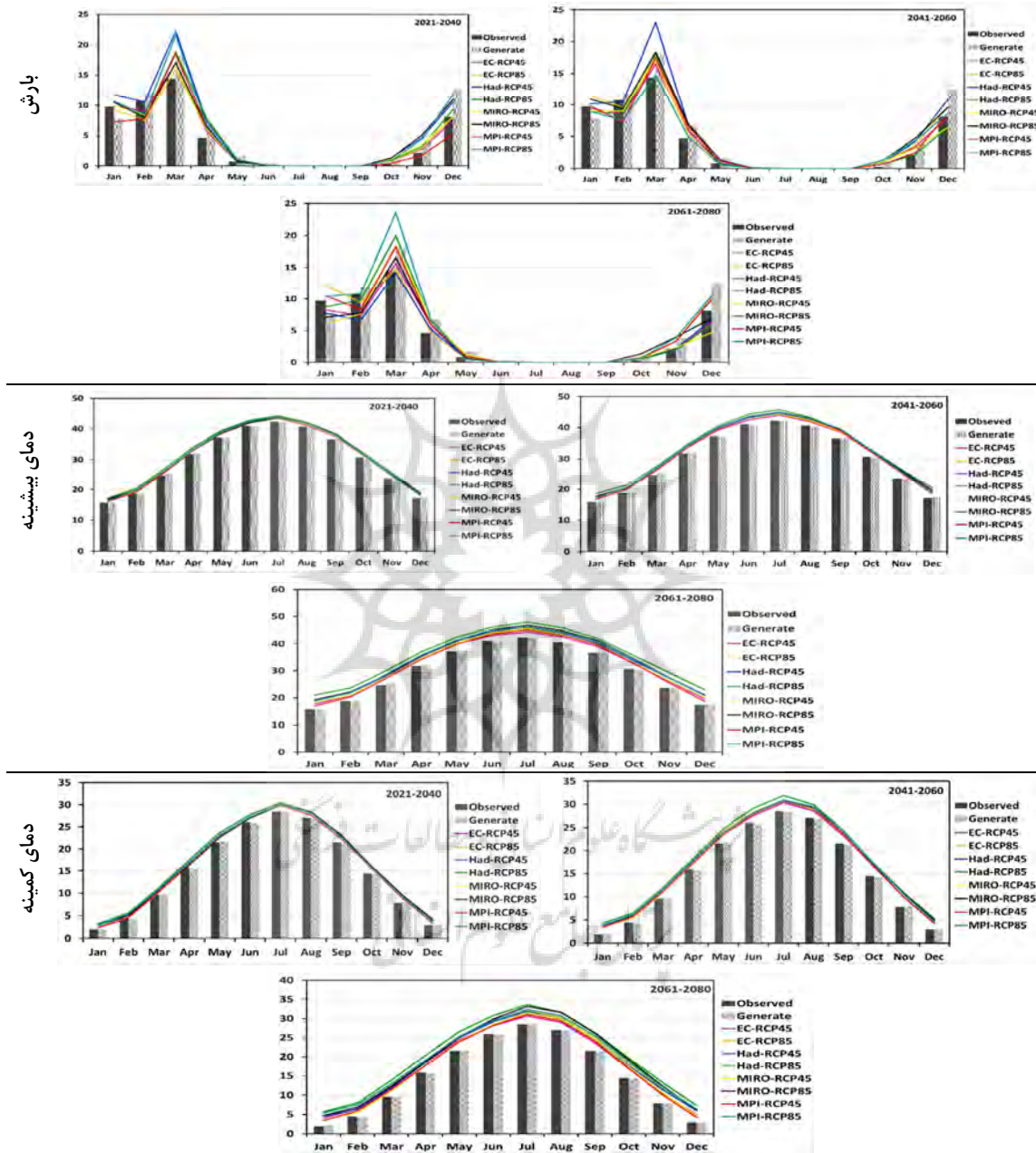
براساس نتایج شبیه‌سازی مدل ریزگردان LARS-WG6، در ایستگاه زابل میانگین دمای بیشینه و کمینه‌ی ماهانه، فصلی و سالانه در هر سه دوره‌ی ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و در هر چهار مدل EC-EARTH،

HadGEM2، MIEOC5 و MPI-ESM-MR و در هر دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 نسبت به میانگین ماهانه، فصلی و سالانه‌ی دوره پایه افزایش خواهد یافت. در هر سه دوره‌ی آتی بیشترین افزایش دما مربوط به سناریوی RCP8.5 است. میانگین بارش ماهانه، فصلی و سالانه در هر سه دوره باتوجه به مدل گردش عمومی جو و سناریوها متفاوت است. این نتایج با نتایج اکثر مطالعات انجام‌شده در ایران مطابقت دارد به‌طوری‌که در سطح ایران دما روند افزایشی و بارش در اکثر مدل‌ها روند افزایشی و در برخی مدل‌ها روند کاهشی خواهد داشت (جعفری گدنه و همکاران، ۱۳۹۹، صادقی و دین‌پژوه، ۱۳۹۷، بیگلی و همکاران، ۱۳۹۵، طائی سمیری و همکاران، ۱۳۹۵، حیدری تاشه کبود و همکاران، ۱۳۹۸، نصیری و یارمرادی، ۱۳۹۵، ثانی خانی و همکاران، ۱۳۹۵ و غریب دوست و همکاران، ۱۳۹۴). به‌طورکلی نتایج شبیه‌سازی پارامتر بارش در منطقه سیستان حاکی از افزایش بارندگی در فصل‌های تابستان، بهار و پاییز و کاهش آن در فصل زمستان است، این مسئله درنهایت به کاهش ذخیره آب و نیز وقوع سیلاب در بهار و پاییز می‌شود. خسروی و همکاران (۱۳۹۴) از خروجی‌های مدل گردش عمومی جو ECHO-G با سناریوی A1 برای ریزگردانی داده‌ها در چهار ایستگاه ایرانشهر، چابهار، زابل و زاهدان در دوره ۲۰۰۹-۲۰۴۰ استفاده کردند که نتایج آن کم و بیش با این مطالعه متفاوت است و باتوجه به آن مشخص شد که مدل LARSWG5 برای پیش‌بینی داده‌های دما در ایستگاه زابل مناسب است؛ ولی برای پیش‌بینی بارش دارای نارسایی جزئی است. نتایج مطالعه نشان داد که در فصول زمستان و تابستان در آینده در بارش‌های ماهانه‌ی ایستگاه زابل هیچ‌گونه تغییر خاصی مشاهده نمی‌شود؛ ولی بارش در فصل پاییز دارای کاهش و در فصل بهار دارای افزایش در دوره‌ی آب و هوای آینده است. دمای کمینه در دوره‌ی آب و هوای آینده در دو فصل زمستان و بهار کاهش و در فصول پاییز و تابستان افزایش خواهد یافت. دمای بیشینه در اواخر فصل بهار و اواخر فصل زمستان کاهش و در سایر ماه‌های سال افزایش خواهد یافت (خسروی و همکاران، ۱۳۹۴).

همچنین پیش‌بینی تغییرهای اقلیمی برای میانه‌ی قرن ۲۱ در مدل جهانی اقلیم AR4 WG1 و برای سناریوی انتشار A1B در برنامه‌ی مدیریت جامع مدیریت حوضه‌ی آبخیز هلمند که برای وزارت انرژی و آب افغانستان توسط شرکت مهندسی Mott McDonald در سال ۲۰۱۳ انجام شده است، نشان‌دهنده‌ی کاهش ۵-۱۰ درصدی میانگین بارش و افزایش ۱/۴ تا ۴ درجه‌ی سلسیوس میانگین دما در حوضه بالادست و افزایش بارش در حوضه پایین‌دست یعنی در منطقه سیستان است. این میزان کاهش بارندگی و افزایش دما به همراه افزایش تقاضا برای سیستم‌های آبیاری برنامه‌ریزی‌شده در هلمند میانی و سفلی تا نیمه‌ی قرن ۲۱ باعث کاهش توامان رواناب حوضه‌ی آبخیز هلمند علیا خواهد شد و درنهایت میزان محصولات کشاورزی را تا ۴ درصد تا سال ۲۰۵۰ کاهش می‌دهد (Afghanistan Ministry of Energy and Water, 2013).

جدول ۳: تغییرهای دمای بیشینه، دمای کمینه و بارش فصلی و سالانه در مدل‌ها و سناریوهای گزارش پنجم در دوره‌های آبی نسبت به میانگین دوره‌ی پایه (۱۹۸۳-۲۰۱۹) در ایستگاه زابل

مدل	سناریو انتشار	دوره	بارش (%)					دمای بیشینه (درجه‌ی سانتی‌گراد)					دمای کمینه (درجه‌ی سانتی‌گراد)				
			بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه	بهار	تابستان	پاییز	زمستان	سالانه
EC-EARTH	RCP4.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۱۷/۲	۱۲۵	۴۹/۲	-۷/۳	۵	۱/۴	۱	۱/۲	۱/۱	۱/۲	۱/۱	۳	۱/۱	۱/۱	۱/۱
		۲۰۶۰-۲۰۴۱	۱۶/۹	۱۷۰	۸۰	-۹/۴	۵/۲	۲/۱	۱/۵	۲/۷	۱/۸	۲/۷	۲	۱/۵	۲/۱	۱/۸	۱/۸
		۲۰۸۰-۲۰۶۱	۱۱/۹	۱۱۰	۱۲/۵	-۲۳/۳	-۷/۸	۲/۸	۲	۲/۳	۲/۱	۲/۳	۲	۲/۳	۲/۱	۲/۳	۲/۳
	RCP8.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۱۵/۷	۱۱۰	۵۳/۵	-۱۲/۵	۱/۷	۱/۴	۱	۱	۱/۱	۱	۱	۳/۱	۱/۱	۱/۱	۱/۱
		۲۰۶۰-۲۰۴۱	۱۶/۷	۱۱۰	۸۹/۳	۷/۱	۱۴/۹	۲/۵	۲/۱	۲/۲	۱/۹	۲/۲	۲/۱	۴/۲	۲/۳	۲/۲	۲/۲
		۲۰۸۰-۲۰۶۱	۱/۶	۱۲۵	۶۲/۶	۱۱/۵	۱۰/۲	۳/۶	۳/۴	۳/۶	۳/۲	۳/۵	۳/۴	۵/۵	۳/۴	۳/۵	۳/۵
HadGEM2-EC	RCP4.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۵۴/۳	۲۱۵	۱۴۴	۱۴/۸	۳۶/۵	۱/۶	۱/۶	۱	۱/۴	۱/۶	۱/۲	۳/۳	۱/۳	۱/۴	۱/۳
		۲۰۶۰-۲۰۴۱	۵۴/۲	۹۵	۱۰۹	۱۰/۱	۳۲/۱	۲/۶	۲/۵	۲/۳	۱/۹	۲/۳	۲/۵	۴	۲/۱	۲/۳	۲/۱
		۲۰۸۰-۲۰۶۱	۰/۹	۱۱۰	۱۳/۷	-۲۶/۶	-۱۳/۹	۳/۶	۳/۶	۳/۵	۳/۴	۳/۵	۳/۶	۵/۲	۲/۸	۳/۵	۲/۸
	RCP8.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۴۰/۲	۲۳۰	۷۰	-۳	۱۷/۵	۲/۲	۱/۸	۱/۷	۱/۶	۱/۸	۱/۷	۳/۷	۱/۸	۱/۸	۱/۶
		۲۰۶۰-۲۰۴۱	۲۷/۸	۱۵۵	۱۷/۶	-۱۶/۶	۲/۴	۳	۳/۲	۲/۸	۲/۸	۳/۲	۳	۲/۶	۲/۹	۲/۹	۲/۶
		۲۰۸۰-۲۰۶۱	۳۷/۶	۹۵	۱۱	-۱۴/۲	۶/۸	۵/۲	۵/۳	۵/۴	۵/۳	۵/۳	۵/۴	۶/۹	۴/۶	۵/۳	۴/۶
MIROC5	RCP4.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۱۸/۸	۱۲۵	۹۰	-۷/۶	۷/۵	۱/۵	۱/۲	۰/۷	۱/۲	۱/۲	۳/۳	۰/۹	۱/۲	۱/۲	۱
		۲۰۶۰-۲۰۴۱	۲۷/۵	۹۵	۷۲/۲	-۱۴/۷	۶	۲/۲	۲	۲/۱	۱/۷	۲/۱	۲	۱/۶	۲	۱/۶	۱/۸
		۲۰۸۰-۲۰۶۱	۳۳/۹	۶۵	۲۳/۶	-۳۳/۷	-۵/۷	۲/۹	۳	۲/۷	۲/۵	۲/۷	۳	۲/۸	۲/۵	۲/۸	۲/۳
	RCP8.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۲۲/۲	۱۱۰	۱۶۰	۳/۲	۱۸/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۲	۱/۱	۱/۲	۱/۲	۳/۳	۰/۸	۱/۲	۱/۲
		۲۰۶۰-۲۰۴۱	۳۴/۷	۸۰	۱۴۳	۴/۵	۲۲/۹	۲/۱	۲/۴	۲/۳	۱/۹	۲/۴	۲/۴	۴/۳	۱/۸	۲/۲	۲/۲
		۲۰۸۰-۲۰۶۱	۱۷	۱۱۰	۱۱۸	-۲۳/۸	-۱	۳/۹	۳/۹	۴/۲	۳/۸	۴/۲	۳/۹	۳	۳/۹	۳/۵	۳/۹
MPL-ESM-MR	RCP4.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۳۰/۱	۹۵	-۸/۹	-۲۸/۹	-۴/۹	۱/۲	۱/۲	۰/۴	۱/۴	۱/۴	۳/۳	۰/۹	۱	۱	۰/۹
		۲۰۶۰-۲۰۴۱	۲۷/۵	۳۵	۲۸/۴	-۱۰/۳	۶/۳	۱/۹	۲/۲	۱/۶	۱/۲	۱/۶	۲/۲	۱/۶	۱/۸	۱/۸	۱/۸
		۲۰۸۰-۲۰۶۱	۲۶/۹	۵	۵۳/۷	-۰/۳	۱۳/۷	۲/۵	۲/۶	۱/۸	۱/۴	۲/۶	۲/۵	۴/۴	۲	۲/۲	۲/۱
	RCP8.5	۲۰۴۰-۲۰۲۱	۴۶/۲	۱۴۰	۱۱۵	۸/۱	۲۸/۱	۱/۵	۱/۴	۰/۹	۰/۷	۱/۴	۱/۴	۳/۳	۱/۲	۱/۲	۱/۲
		۲۰۶۰-۲۰۴۱	۲/۶	۱۴۰	۱۲۹	-۱۲/۶	۰/۲	۲/۴	۲/۴	۲/۳	۱/۶	۲	۲/۳	۴/۲	۲	۲/۲	۲/۲
		۲۰۸۰-۲۰۶۱	۵۵/۷	۳۵	۸۶/۹	۱۰/۹	۳۲	۴	۳/۸	۳/۷	۳/۲	۳/۷	۳/۸	۵/۷	۳/۴	۳/۷	۳/۷



شکل ۲: نمودارهای مدل سازی شده دمای کمینه، بیشینه و بارش ماهانه مدل ها و سناریوهای گزارش پنجم در دوره های آبی ایستگاه زابل

نتیجه‌گیری

این پژوهش با هدف بررسی تغییرهای اقلیم در حوضه‌ی تالاب بین‌المللی هامون با استفاده از مدل ریزمقیاس‌گردان LARS-WG6 برای دوره‌های آینده ۲۰۲۰-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ در دو سناریوی RCP4.5 و RCP8.5 انجام شده است. نتایج پیش‌بینی، بیانگر افزایش میانگین فصلی و سالانه‌ی دماهای کمینه و بیشینه در هر دو سناریو و سه دوره آتی است. همچنین پارامتر بارش به‌طور متفاوتی تغییر خواهد کرد. با توجه به نتایج این پژوهش و نیز واقع‌شدن تالاب بین‌المللی هامون در منطقه خشک و نیمه‌خشک، بررسی وضعیت اقلیم در دوره‌های آینده می‌تواند در اتخاذ سیاست‌های سازگار با بحران مفید باشد به‌ویژه در پیش‌بینی وقوع سیلاب‌های رگباری، تعیین راهکارهای معیشتی و شیوه‌های کشاورزی سازگار با اقلیم بسیار کمک‌کننده خواهد بود. همچنین پیشنهاد می‌شود وضعیت اقلیم در دوره‌های آینده براساس آخرین مدل‌های ارائه شده توسط هیات تغییر اقلیم بین‌الدول یعنی در حوضه‌ی آبخیز بالادست در هلمند افغانستان بررسی و تاثیر آن بر وضعیت اقلیمی و آبی تالاب هامون مشخص شود.

تقدیر و تشکر

این مقاله بخشی از رساله‌ی دکتری بوده است و نویسندگان آن از جناب آقای دکتر محمود خسروی، استاد دانشکده جغرافیای دانشگاه سیستان و بلوچستان به خاطر راهنمایی‌های ارزنده ایشان و همچنین از اداره کل هواشناسی استان سیستان و بلوچستان به‌دلیل همکاری در تهیه داده‌های هواشناسی سپاس‌گزاری می‌نمایند.

منابع

- اشرف، بتول، موسوی بایگی محمد، کمالی غلامعلی، داوری کامران (۱۳۹۰)، پیش‌بینی تغییرات فصلی پارامترهای اقلیمی در ۲۰ سال آتی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری داده‌های مدل HADCM3 (مطالعه موردی: استان خراسان رضوی)، نشریه آب و خاک، جلد ۲۵، شماره ۴، صص ۹۴۵-۹۵۷.
- بیگی زینب، منتصری مجید، بلیانی یدالله، جوکار اسماعیل، بیات علی (۱۳۹۵)، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی آذربایجان غربی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل HADCM3 و ارزیابی اثرات آن بر خشکسالی استان، اندیشه جغرافیایی، جلد ۸، شماره ۱۵، صص ۹۱-۱۱۳.
- ثانی‌خانی هادی، گوهردوست محمدرضا، صادقی مرتضی (۱۳۹۵)، بررسی اثرات تغییر اقلیم بر رواناب حوزه آبخیز قره چای در استان مرکزی، پژوهشنامه مدیریت حوضه آبخیز، دوره ۷، شماره ۱۳، صص ۲۲-۱۲.
- جعفری گنده میثم، سلاجقه علی، حقیقی پارسا (۱۳۹۸)، پیش‌بینی مقایسه‌ای بارش و دمای شهرستان کرمان با استفاده از مدل‌های LARS-WG6، اکوهیدرولوژی، جلد ۷، شماره ۲، صص ۵۳۸-۵۲۹.
- حیدری تاشه کبود شادیه، مفیدی عباس، حیدری تاشه کبود اکبر (۱۳۹۸)، چشم‌انداز تغییرات بارش در شمال غرب ایران با استفاده از مدل‌های گردش کلی جو تحت سناریوهای اقلیمی، جغرافیا و مخاطرات محیطی، سال ۸، شماره ۲۹، صص ۱۵۱-۱۳۳.
- خسروی محمود، طاوسی، تقی، زهرایی، اکبر (۱۳۹۴)، شبیه‌سازی تغییرات آب و هوای استان سیستان و بلوچستان با استفاده از ریزگردانی داده‌های مدل گردش عمومی جو (GCM) برای دوره آب و هوایی (۲۰۴۰-۲۰۰۹)، فصلنامه تحقیقات جغرافیایی، دوره ۳۰، شماره ۳، صص ۱۸۵-۲۰۵.

- سدیدی جواد، جعفری گدنه میثم، حسینی ساجدی سیدحسن، حمزه زاده، گیسو (۱۳۹۸)، بررسی روند و پیش‌بینی تغییرات دما در مناطق خشک و نیمه‌خشک (مطالعه موردی: استان کرمان)، چهاردهمین کنگره انجمن جغرافیایی ایران، تهران، ۱۳۹۸/۲/۱۴، <https://civilica.com/doc/876528>.
- صادقی امین، دین پژوه یعقوب (۱۳۹۷)، پیش‌بینی دمای تبریز و روند تغییرات آن با استفاده از مدل EC-EARTH، کنفرانس بین‌المللی عمران، معماری و مدیریت توسعه شهری در ایران، تهران، ۱۳۹۷/۹/۲۸، <https://civilica.com/doc/847989>.
- طائی سمیرمی سیاوش، مرادی حمیدرضا، خدافلای مرتضی (۱۳۹۵)، پیش‌بینی تغییرات برخی از متغیرهای اقلیمی با استفاده از مدل ریزمقیاس‌سازی LARS-WG و خروجی‌های مدل HADCM3 تحت سناریوهای مختلف، مجله مهندسی و مدیریت آبخیز، دوره ۷، شماره ۲، صص ۱۵۶-۱۴۵.
- عباسی، ملبوسی شراه، بابائیان ایمان، اثمیری مرتضی، برهانی رضا (۱۳۸۹)، پیش‌بینی تغییرات اقلیمی خراسان جنوبی در دوره ۲۰۳۹-۲۰۱۰ میلادی با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری خروجی مدل ECHO-G، نشریه آب و خاک، جلد ۲۴، شماره ۲، صص ۲۳۳-۲۱۸.
- عساکره حسین، اکبرزاده یونس (۱۳۹۶)، شبیه‌سازی تغییرات دما و بارش ایستگاه سینوپتیک تبریز طی دوره (۲۰۱۰-۲۱۰۰) با استفاده از ریزمقیاس‌نمایی آماری (SDSM) و خروجی مدل CanESM2، جغرافیا و مخاطرات محیطی، شماره ۲۱، صص ۱۷۴-۱۵۳.
- غریب‌دوست مسعود، قربانی محمدعلی، حسینی‌زاده عطیه (۱۳۹۶)، برآورد میزان تأثیر تغییر اقلیم بر بارش- رواناب حوضه آبریز صوفی چای، علوم و مهندسی آبیاری، دوره ۴۰، شماره ۲، صص ۸۹-۱۰۱.
- فاتحی ایمان، جباریان امیری بهمن، محمدزاده ناصر (۱۳۹۵)، ریزمقیاس‌نمایی مدل گردش عمومی جو و کاربرد آن در شبیه‌سازی داده‌های هواشناسی استان گیلان، مجله محیط‌زیست طبیعی، منابع طبیعی ایران، دوره ۶۹ شماره ۱، صص ۱۴۳-۱۵۸.
- کریمی مصطفی، کاکی سیف‌اله، رفعتی، سمیه (۱۳۹۷)، شرایط و مخاطرات اقلیمی آینده ایران در تحقیقات اقلیمی، نشریه تحلیل فضایی مخاطرات محیطی، سال پنجم، شماره ۱۳، صص ۱-۲۲.
- کریمی مصطفی، نبی زاده عادل (۱۳۹۷)، ارزیابی اثرات تغییر اقلیم بر پارامترهای اقلیمی حوضه آبریز دریاچه ارومیه طی سال‌های ۲۰۴۰-۲۰۱۱ با استفاده از مدل LARS-WG، نشریه جغرافیا و برنامه‌ریزی، شماره ۶۵، صص ۲۸۵-۲۶۷.
- گودرزی مسعود، صلاحی برومند، حسینی سیداسعد (۱۳۹۳)، ارزیابی عملکرد مدل‌های ریزمقیاس‌گردانی LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی اقلیمی در حوضه آبریز دریاچه ارومیه، مجله علوم و مهندسی آبخیزداری ایران، جلد ۹، شماره ۳۱، صص ۲۲-۱۱.
- نصیری بهروز، یارمادی زهرا (۱۳۹۵)، پیش‌بینی تغییرات پارامترهای اقلیمی استان لرستان در ۵۰ سال آتی با استفاده از مدل HADCM3، فصلنامه اطلاعات جغرافیایی (سپهر)، جلد ۲۶، شماره ۱۰۱، صص ۱۵۴-۱۴۳.
- نوری غلامرضا، اربابی طیبه، نوری سهیلا (۱۳۸۶)، تالاب هامون حیات سیستان، تهران، مرکز نشر سپهر چاپ اول، ۱۵۰ ص.
- Afghanistan Ministry of Energy and Water, (2013). Helmand River Basin Master Plan. Phase 3: Technical Report 3: Water Resources Modelling for Helmand River Basin. Mott MacDonald, United Kingdom. 251p.
- Awal, R., Bayabil, H.K., & Fares, A. (2016). Analysis of Potential Future Climate and Climate Extremes in the Brazos Headwaters Basin, Texas. *Water*, 8 (603), 18.
- Bucchignani, E., Mercogliano, P., Panitz, H., & Montesarchio, M. (2018). Climate change projections for the Middle East-North Africa domain with COSMO-CLM at different spatial resolutions. *Advances in Climate Change Research*, 9(1), 66-80.
- Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Hinton, T., & Jones, C.D., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., & Senior, C. (2008). Evaluation of the HadGEM2 model. Hadley Centre Technical Note HCTN 74, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.
- Daksiya, V., Pradeep, M., & Edmond, Y. (2017). A Comparative Frequency Analysis of Maximum Daily Rainfall for a SE Asian Region under Current and Future Climate Conditions. *Advances in Meteorology*. 2.
- Dunne, J.P., John J.G., Adcroft, A.J., Griffies, S.M., Hallberg, R.W., Stouffer, R.J., Cooke, W., Dunne, K.A., Harrison, M.J., & Krasting, J.P. (2012). GFDL's ESM2 global coupled climate-carbon earth system models. Part I: Physical formulation and baseline simulation characteristics. *Journal of climate*, 25(19), 6646-65.
- Hassan, Z., Shamsudin, S., & Harun, S. (2014). Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 116, 243-257, <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0951-8>.
- Hewitson B.C., & Crane R.G. (1996). Climate downscaling: Techniques and application. *Climate Research*, 7, 85- 95.
- Mitchell T.D. 2003. Pattern Scaling: An Examination of Accuracy of the Technique for Describing Future Climates. *Climatic Change*, 60: 217-242.
- Raddatz, T.J., Reick, C.H., Knorr, W., Kattge, J., Roeckner, E., Schnur, R., Schnitzler, K.G., Wetzel, P., & Jungclaus, J. (2007). Will the tropical land biosphere dominate the climate-carbon cycle feedback during the twenty-first century?. *Climate Dynamics*, 29(6), 565-74.

- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., & Rafaj, P. (2011). RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 103, 33-57.
- Semenov M.A., & Barrow E.M. (2002). LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.
- Shiferaw, A., Tadesse, T., Rowe, C., & Oglesby R. (2018). Precipitation extremes in dynamically downscaled climate scenarios over the Greater Horn of Africa. *Atmosphere*, 9(3),112.
- Watanabe, M., Suzuki, T., O'ishi, R., Komuro, Y., Watanabe, S., Emori, S., Takemura, T., Chikira, M., Ogura, T., Sekiguchi, M., & Takata, K. (2010). Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity. *Journal of Climate*, 23(23),6312-35.
- Wilby R.L., & Harris I. (2006). A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42, 121- 134.



References

References (in Persian)

- Abassi, F., Malbusi, S., Babaeian, I., Asmari, M., Borhani, R., (2010), Climate Change Prediction of South Khorasan Province During 2010-2039 by Using Statistical Downscaling of ECHO-G Data, *Journal of Water and Soil*, Vol. 24, No. 2, pp. 218-233. [In Persian].
- Asakereh, H., Akbarzadeh, Y., (2016), Simulation of Temperature and Precipitation Changes of Tabriz Synoptic Station Using Statistical Downscaling and Canesm2 Climate Change Model Output, *GEOGRAPHY AND ENVIRONMENTAL HAZARDS*, Vol. 6, No.1, p.153-174. <https://doi.org/10.22067/geo.v6i1.54791>. [In Persian].
- Ashraf, B., Mousavi Baygi, M., Kamali, G.A. Davari, K., (2011), Prediction of Seasonal Variations of Climatological Parameters over Next 20 Years by Using Statistical Downscaling Method of HADCM3 Data (Case Study: Khorasan Razavi Province), *Journal of Water and Soil*, Vol. 25, No.4, Sep-Oct 2011, p. 945-957. [In Persian].
- Beigli, Z., Montaseri, M., Balyani, Y., Jokar, E., Bayat, A., (2017), West Azerbaijan's Climate Changes Predict using exponential statistical Downscaling, HADCM3 model's output and evaluation of its effects on drought, *Journal of Geographical Notion*, Vol.8, No.15, p. 91-113. [In Persian].
- Fatehi, I., Jabbarian Amiri, B., Mohammadzadeh, N., (2016), Downscaling the atmospheric general circulation model's data and its application in simulating the climatic parameters (Case study: Guilan province), *Journal of Natural Environment, Natural Resources*, Vol.65, No.1, pp. 143-158. [In Persian].
- Gharib Doost., Ghorbani, M.A., Hosseini Zadeh, A., (2017), Estimate The Amount of Climate Change Effects on Rainfall-Runoff if Sufi-Chi Basin, *Journal of Irrigation Science And Engineering*, Vol.40, No.2, p.89-101. [In Persian].
- Goodarzi, M., Salah, B., Hosseini, S.A., (2016), Performance Analysis of LARS-WG and SDSM Downscaling Models In Simulation of Climate Changes in Urmia Lake Basin, *Iranian Journal of Watershed Management Science*, Vol.9, No.31, p. 11-22. [In Persian].
- Heydari Tashekaboud, S., Mofidi, A., Heydari Tashekaboud, A., (2019), Perspective of Rainfall Variations in Northwestern Iran using Climate Change Circulation Models under Climate Scenarios, *Geography and Environmental Hazards*, Vol. 8, No.28, p. 133-151. [In Persian].
- Jafari godeneh, M., Salajegh, A., Haghighi, P., (2019), Forecast Comparative of Rainfall and Temperature in Kerman County Using LARS-WG6 Models, *EcoHydrology*, Vol.7, No.2, p. 529-538. [In Persian].
- Karimi, M., Kaki, S., Rafati, S., (2018), Iran's Future Climate Conditions and Hazard in Climate Research. *Journal of Spatial Analysis and Environmental Hazards*, Vol.5, No. 3, p.1-22. [In Persian].
- Karimi, M., Nabizadeh, A., Rafati, S., (2018) Evaluation of Climate Change Impacts on Climate Parameters of Lake Urmia Watershed during 2040-2011 Using LARS-WG Model, *Journal of Geography and Planning*, Vol. 22, No. 65, p. 285-267. [In Persian].
- Khosravi, M., Tavousi, T., Zahraei, A., (2015), Simulation of Climate Change in Sistan and Baluchestan for the period 2009-2040 by Using Downscaling the Data of Global Circulation Model. *Geographical Researches*, Vol. 30, No.3, p.185-205. [In Persian].
- Nasiri, B., YarMoradi, Z., (2017), Predicting the Climatic Parameters Changes of Lorestan Province in the next 50 years using the HADCM3 model, *Geographical Data (Sepehr)*, Vol.26, No.101, p. 143-154. [In Persian].
- Noori, G., Arbabi, T., Noori, S., (2008), *Hamoun Wetland The Life of Sistan*, Tehran, Sepehr publication center, 150 p.
- Sadeghi, A., Dinpajouh, Y., (2018), International Conference on Civil Engineering, Architecture and Urban Management In Iran, <https://civilica.com/doc/847989>. [In Persian].
- Sadidi, J., Jafari Godneh, M., Sajedi Hosseini, H., Hamzehzadeh, G., Investigation of Trend and Forecasting of Climate Change (Temperature Component) in Arid and Semi-Arid Areas (Case Study: Kerman Province), 14th Iranian Geographical Society Congress, Tehran, Iran Geographical Association, 2019, [In Persian].
- Sanikhani, H., Ghohardoust, M., Sadeghi, M., (2016), The Impacts of Climate Change on Runoff of Ghareh-Chay Basin in Markazi Province, Iran. *Journal of watershed Management Research*. Vol.7, No.13, p.12-22. [In Persian].
- Taei Semiromi, S., Moradi, H., Khodaghali, M., (2015), Predicted changes in some of climate variables using downscale model LARS-WG and output of HADCM3 model under different scenarios, *Watershed Engineering and Management*, Vol.7, No.2, p.145-156. [In Persian].

References (in English)

- Afghanistan Ministry of Energy and Water, 2013. Helmand River Basin Master Plan. Phase 3: Technical Report 3: Water Resources Modelling for Helmand River Basin. Mott MacDonald, United Kingdom. 251p.
- Awal, R., Bayabil, H.K., & Fares, A. (2016). Analysis of Potential Future Climate and Climate Extremes in the Brazos Headwaters Basin, Texas. *Water*, 8 (603), 18.
- Bucchignani, E., Mercogliano, P., Panitz, H., & Montesarchio, M. (2018). Climate change projections for the Middle East-North Africa domain with COSMO-CLM at different spatial resolutions. *Advances in Climate Change Research*, 9(1), 66-80.

- Collins, W.J., Bellouin, N., Doutriaux-Boucher, M., Gedney, N., Hinton, T., & Jones, C.D., Liddicoat, S., Martin, G., O'Connor, F., Rae, J., & Senior, C. (2008). Evaluation of the HadGEM2 model. Hadley Centre Technical Note HCTN 74, Met Office Hadley Centre, Exeter, UK.
- Daksiya, V., Pradeep, M., & Edmond, Y. (2017). A Comparative Frequency Analysis of Maximum Daily Rainfall for a SE Asian Region under Current and Future Climate Conditions. *Advances in Meteorology*, 2.
- Dunne, J.P., John J.G., Adcroft, A.J., Griffies, S.M., Hallberg, R.W., Shevliakova, E., Stouffer, R.J., Cooke, W., Dunne, K.A., Harrison, M.J., & Krasting, J.P. (2012). GFDL's ESM2 global coupled climate-carbon earth system models. Part I: Physical formulation and baseline simulation characteristics. *Journal of climate*, 25(19), 6646-65.
- Hassan, Z., Shamsudin, S., & Harun, S. (2014). Application of SDSM and LARS-WG for simulating and downscaling of rainfall and temperature. *Theoretical and Applied Climatology*, 116, 243-257, <https://doi.org/10.1007/s00704-013-0951-8>.
- Hewitson B.C., & Crane R.G. (1996). Climate downscaling: Techniques and application. *Climate Research*, 7, 85- 95.
- Mitchell T.D. 2003. Pattern Scaling: An Examination of Accuracy of the Technique for Describing Future Climates. *Climatic Change*, 60: 217-242.
- Raddatz, T.J., Reick, C.H., Knorr, W., Kattge, J., Roeckner, E., Schnur, R., Schnitzler, K.G., Wetzol, P., & Jungclaus, J. (2007). Will the tropical land biosphere dominate the climate-carbon cycle feedback during the twenty-first century?. *Climate Dynamics*, 29(6),565-74.
- Riahi, K., Rao, S., Krey, V., Cho, C., Chirkov, V., Fischer, G., Kindermann, G., Nakicenovic, N., & Rafaj, P. (2011). RCP 8.5—A scenario of comparatively high greenhouse gas emissions. *Climatic Change*, 103, 33-57.
- Semenov M.A., & Barrow E.M. (2002). LARS-WG a stochastic weather generator for use in climate impact studies. User's manual, Version3.0.
- Shiferaw, A., Tadesse, T., Rowe, C., & Oglesby R. (2018). Precipitation extremes in dynamically downscaled climate scenarios over the Greater Horn of Africa. *Atmosphere*, 9(3),112.
- Watanabe, M., Suzuki, T., O'ishi, R., Komuro, Y., Watanabe, S., Emori, S., Takemura, T., Chikira, M., Ogura, T., Sekiguchi, M., & Takata, K. (2010). Improved climate simulation by MIROC5: mean states, variability, and climate sensitivity. *Journal of Climate*, 23(23),6312-35.
- Wilby R.L., & Harris I. (2006). A frame work for assessing uncertainties in climate change impacts: low flow scenarios for the River Thames, UK. *Water Resources Research*, 42, 121- 134.