

Comparison of DKRZ database and LARS-WG model in three parameters of minimum temperature, maximum temperature and precipitation (Case study: Qazvin plain)

Borzoo, F.¹  | Ramezani Etedali, H.²  | Kaviani, A.³ 

1. M.Sc. in Irrigation and Drainage, Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: sharare.borzoo75@gmail.com
2. **Corresponding Author**, Associate Professor, Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: ramezani@eng.ikiu.ac.ir
3. Associate Professor, Water Sciences and Engineering Department, Imam Khomeini International University, Qazvin, Iran. E-mail: abbasskaviani@gmail.com

(Received: 19 Jun 2022, Revised: 18 Sep 2022, Accepted: 19 Sep 2022, Published online: 19 Sep 2022)

Abstract

Improving agriculture, water resources management, flood management, and preventing environmental damage in future periods requires predicting climate data and adapting management and macro decisions to these changes. Today, it is possible to predict this data by using models and web databases. For this purpose, in the present study, the data obtained from the web database DKRZ and LARS-WG model, under three variables (minimum temperature, maximum temperature and precipitation) of Qazvin plain in five public circulation models of the fifth IPCC report (EC-EARTH, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, MIROC5, MPI-ESM-MR) under two release scenarios (4.5 and 8.5) in future periods (2021-2040, 2041-2060, 2061-2080, 2081-2100 and 2021-2100) were calculated and compared. The differences of the variables in each period compared to their mean in the base period (1991-2020) were examined. The highest and lowest rates of climatic variables during future periods and the general circulation model of the atmosphere and its scenario were introduced. In the period 2021-2100, LARS-WG-RCP4.5, LARS-WG-RCP8.5 and DKRZ-RCP8.5 models, 0.65, 0.8, 0.63° C increase the minimum temperature compared to the base period and DKRZ- RCP4.5 reports 0.61° C minimum temperature decrease compared to baseline. LARS-WG models predict maximum temperature rise under scenarios of 4.5 and 8.5, 0.75 and 0.86° C. DKRZ database models under maximum scenarios of 4.5 and 8.5 report maximum temperature drop of 2.53 and 1.16° C, respectively. According to the results of the models, the precipitation is LARS-WG-RCP4.5, LARS-WG-RCP8.5, DKRZ-RCP4.5 and DKRZ-RCP8.5, 16/35, 24/13, 146 and 145/97 mm, respectively. It increases in value in the base period.

Keywords: temperature, precipitation, general atmospheric circulation, diffusion scenario, exponential microscale model.

Cite this article: Borzoo, F., Ramezani Etedali, H., & Kaviani, A. (2022). Comparison of DKRZ database and LARS-WG model in three parameters of minimum temperature, maximum temperature and precipitation (Case study: Qazvin plain). Journal of the Nivar, 46(116-117), 139-162. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2022.347939.1220>



پیش‌بینی و بررسی داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش ایستگاه همدیدی قزوین (۲۰۲۱-۲۱۰۰) با به کارگیری مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ

فاطمه برزو^۱ | هادی رضوانی اعتدالی^۲ | عباس کاویانی^۳

۱. دانش‌آموخته کارشناسی‌ارشد آبیاری و زهکشی، کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه:

sharare.borzoo75@gmail.com

۲. نویسنده مسئول، دانشیار، کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: ramezani@eng.ikiu.ac.ir

۳. دانشیار، کشاورزی و منابع طبیعی، دانشگاه بین‌المللی امام خمینی (ره)، قزوین، ایران. رایانامه: abbasskaviani@gmail.com

(دریافت: ۱۴۰۱/۰۳/۲۹، بازنگری: ۱۴۰۱/۰۶/۲۷، پذیرش: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸، انتشار آنلاین: ۱۴۰۱/۰۶/۲۸)

چکیده

بهبود کشاورزی، مدیریت منابع آبی، مدیریت سیلاب و جلوگیری از آسیب‌های محیط‌زیستی در دوره‌های آتی، مستلزم پیش‌بینی داده‌های اقلیمی و سازگاری مدیریت و تصمیم‌گیری‌های کلان با این تغییرات است. امروزه با به کارگیری مدل‌ها و پایگاه‌های اطلاعاتی تحت وب امکان پیش‌بینی این داده‌ها وجود دارد. به این منظور در پژوهش حاضر، داده‌های حاصل از پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ (Deutsches Klimarechenzentrum GmbH) و مدل LARS-WG، برای سه متغیر (دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش) مربوط به ایستگاه همدیدی قزوین و برای پنج مدل گردش عمومی جو گزارش پنجم IPCC (EC-EARTH, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, MIROC5, MPI-ESM-MR) تحت دو سناریو انتشار (۴/۵ و ۸/۵) در دوره‌های آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰، ۲۰۸۱-۲۱۰۰) محاسبه و مقایسه شدند. اختلاف متغیرها در هر دوره، نسبت به مقادیر میانگین خود در دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰) بررسی شدند. بالاترین و پایین‌ترین میزان متغیرهای اقلیمی در طول دوره‌های آتی و مدل گردش عمومی جو و سناریوی آن، معرفی شد. در دوره ۲۰۲۱-۲۱۰۰ مدل‌های LARS-WG-RCP4.5، LARS-WG-RCP8.5 و DKRZ-RCP8.5 به ترتیب ۰/۶۵، ۰/۸ و ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای کمینه را نسبت به دوره پایه و DKRZ-RCP4.5، ۰/۶۱ درجه سانتی‌گراد کاهش دمای کمینه را نسبت به دوره پایه گزارش می‌کنند. مدل‌های حاصل از LARS-WG تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۸۶ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای بیشینه را پیش‌بینی می‌کنند. مدل‌های پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ به ترتیب ۲/۵۳ و ۱/۱۶ درجه سانتی‌گراد کاهش دمای بیشینه را گزارش می‌کنند. طبق نتایج مدل‌ها، بارش LARS-WG-RCP4.5، LARS-WG-RCP8.5، DKRZ-RCP4.5 و DKRZ-RCP8.5، به ترتیب ۱۶/۳۵، ۲۴/۱۳، ۱۴۶ و ۱۴۵/۹۷ میلی‌متر نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش می‌یابد.

کلیدواژگان: گزارش پنجم IPCC، گردش عمومی جو، تغییرات اقلیمی، مدل ریزمقیاس‌نمایی، پایگاه اطلاعاتی تحت وب.

۱. مقدمه

سده‌های گذشته دارد (میرموسوی ۱۳۸۷). میانگین دما همواره در طی قرن گذشته حدود یک درجه افزایش یافته است (Sasidharan 2000). بسیاری از کشورهای واقع در مناطق حاره‌ای و عرض‌های میانی به ویژه در قاره‌های آسیا و آفریقا، بلایای خشکسالی و سیل را در دهه‌های اخیر تجربه کرده‌اند. در آینده نیز، احتمال بروز سیل‌های ناگهانی در خیلی از مناطق حاره‌ای و معتدله جهان به ویژه آسیا وجود

نوسانات متغیرهای اقلیمی در دوره‌های نسبتاً طولانی رخ می‌دهند و تأثیرات جهانی مختلفی به دنبال دارند. افزایش یا کاهش دما و تغییرات در مقدار بارش از جمله این نوسانات هستند. پژوهشگران تحقیقات متعددی در جنبه‌های مختلفی از متغیرهای اقلیمی را گزارش نموده‌اند، اما نکته مشترک همه این تحقیقات، نشان از افزایش دما کره زمین نسبت به

استناد: برزو، فاطمه؛ رضوانی اعتدالی، هادی و کاویانی، عباس. (۱۴۰۱). پیش‌بینی و بررسی داده‌های دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش ایستگاه همدیدی قزوین (۲۰۲۱-۲۱۰۰) با به کارگیری مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ، مجله نیوار، ۴۶ (۱۱۶-۱۱۷)، ۱۳۹-۱۶۲. DOI: <https://doi.org/10.30467/nivar.2022.347939.1220>



افزایشی آن، با به‌کارگیری مدل تابع تبدیل، تجزیه و تحلیل کرده است. (مسعودیان، ۱۳۸۴) در پژوهش خود به منظور شناسایی رژیم‌های بارش ایران، به بررسی داده‌های بارش ماهانه از ژانویه ۱۹۵۱ تا دسامبر ۱۹۹۹ پرداخته است. (محمدمی مزرعه و تقوی، ۱۳۸۴) به بررسی روند شاخص‌های حدی دما و بارش در تهران پرداختند. (جهانبخش و ترابی، ۲۰۰۴) با استفاده از مدل آریمای نوسان‌های دما و بارش را در ایران ارزیابی کرده‌اند. پس با توجه به اهمیت موضوع، در این پژوهش به پیش‌بینی نوسانات دما و بارش ایستگاه همدیدی قزوین در طول دوره‌های آتی پرداخته شده است. پیش‌بینی دقیق تغییرات اقلیم نیازمند استفاده از روش‌های قابل قبول با کم‌ترین خطا است. این امر با مدل‌های ریزمقیاس‌نمایی امکان پذیر است. (Aksornsingchai & Srinilta, 2011) در تحقیق خود تغییرات دو پارامتر دما و بارش در ۴۵ ایستگاه هواشناسی تایلند را بررسی کردند. دوره آماری ۲۰۰۷-۱۹۶۵ را دوره پایه در نظر گرفتند و از روش آماری ریزمقیاس‌نمایی داده‌های مدل HADCM3 استفاده کردند. نتایج این مطالعه نشان داد که ریزمقیاس‌نمایی آماری توانایی خوبی برای پیش‌بینی‌های بلندمدت پارامترهای دما و بارش دارد. مدل‌های مولد داده‌های مصنوعی آب و هوایی یک ابزار قوی برای مطالعه و ارزیابی خطر تغییر اقلیم و بروز دوره‌های خشک، بارش‌های رگباری و وقوع سیلاب و ابزاری مناسب برای تصمیم‌گیری‌ها و برنامه‌ریزی‌های بلندمدت کشاورزی است (Johnson et al, 1996). بر همین اساس مدل‌های شبیه‌سازی گردش عمومی جو (GCM) توسعه یافته‌اند. این مدل‌ها معتبرترین ابزار، برای بررسی اثرات پدیده تغییر اقلیم بر سیستم‌های مختلف محسوب می‌شوند و قادرند پارامترهای اقلیمی را برای یک دوره طولانی مدت با استفاده از سناریوهای تایید شده IPCC مدل‌سازی نمایند (Dibike & Coulibaly, 2005; Kilsby et al, 2007). از جمله مدل‌هایی که در روش‌های آماری استفاده می‌شوند SDSM, LARS-WG, GEM, USCLIMATE WGEN, CLIMGEN هستند. این مدل‌ها سری‌های زمانی روزانه متغیرهای هواشناسی همانند

دارد (عسگری و همکاران، ۱۳۸۶). بنابراین در یک نگاه منطقی پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی امری ضروری و اجتناب ناپذیر است. پیش‌بینی متغیرهای اقلیمی در دوره‌های آتی و هم‌سوسازی تصمیم‌گیری‌های کلان مدیریتی در سطوح مختلف کشاورزی، محیط‌زیست، مدیریت منابع آب، عمران و کانال‌های فاضلاب شهری و...؛ سازگاری با تغییرات اقلیمی را به دنبال دارد. این امر راهکاری بسیار راهبردی در جهت مقابله با آسیب‌های ناشی از تغییرات اقلیمی در دوره‌های آتی است. برنامه‌ریزی در جهت این هم‌سوسازی، اثر مستقیم در رشد تولیدات کشاورزی، خودکفایی، کاهش واردات و افزایش صادرات کشاورزی، جلوگیری از آسیب‌های ناشی از سیلاب، بهبود مدیریت آب، رشد و توسعه اقتصادی و بهبود تصمیم‌گیری‌ها در حوزه محیط‌زیست و... دارد. درجه حرارت و بارندگی اثر معنی‌دار و غیریک‌نواختی بر عملکرد محصولات مختلف زراعی از کاهش عملکرد محصولات تا افزایش هزینه‌های تولید دارد (Alagidede et al, 2016); Alam, 2013; Attavanich & McCarl.; Blanco et al, 2008; Chijioke et al, 2011; Azuara et al, 2011; Nicholls, 1997; Sultana et al, 2002; Tyson et al, 2002; اسد فلسفی زاده و صبحی صابونی، ۲۰۱۲؛ بسکابادی و همکاران، ۲۰۱۲؛ دریجانی و همکاران، ۲۰۱۸؛ زرکانی و همکاران، ۲۰۱۴؛ سلیمانی نژاد و همکاران، ۲۰۱۹؛ علیجانی و همکاران، ۲۰۱۸؛ کوچکی و همکاران، ۲۰۰۷؛ کوچکی و نصیری محلاتی، ۲۰۰۸؛ مومنی و زیبایی، ۲۰۱۳؛ نوروزیان و دیگران، ۱۳۹۳). (کوچکی و همکاران، ۲۰۰۷) با ارزیابی شاخص‌های اقلیمی کشاورزی ایران نشان دادند که در طی ۲۰ سال آینده میانگین درجه حرارت ماهانه تقریباً در تمامی مناطق کشور افزایش خواهد یافت. کارهای متعدد و گسترده‌ای در رابطه با تغییرات روند دما و بارش صورت گرفته است. (Allen et al, 2004) در مطالعه خود در مرکز تحقیقات IPCC (مجمع بین‌الدولی تغییر اقلیم) با بررسی روند نوسانات اقلیمی، با استفاده از تحلیل‌های مربوط به سری‌های زمانی و مدل تابع تبدیل خطی روند افزایش دمای کره زمین را ارزیابی کردند. (McKittrick, 2001) اطلاعات مربوط به دما را برای پیش‌بینی روند

تولیدکننده جوی LARS-WG را برای شبیه‌سازی رویدادهای جوی مورد بررسی و تأیید قرار داد. به‌طور کلی، نتایج اغلب مطالعات نشان‌دهنده برتری مدل شبکه عصبی مصنوعی و مدل LARS-WG در پیش‌بینی تغییرات اقلیم است. منظور از انجام این پژوهش رسیدن به اهداف زیر است:

۱. مقایسه مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی (Deutsches Klimarechenzentrum GmbH) در تولید داده‌های اقلیمی (دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش) در دوره آتی (۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱)
۲. بررسی اختلافات داده‌های حاصل از LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ در دوره آتی نسبت به مقادیر آن‌ها در دوره پایه (۱۹۹۱-۲۰۲۰).

۳. پیش‌بینی بالاترین میزان دمای بیشینه، پایین‌ترین دمای کمینه و پایین‌ترین میزان بارش سالانه در طول دوره‌های آتی.

۲. مواد و روش‌ها

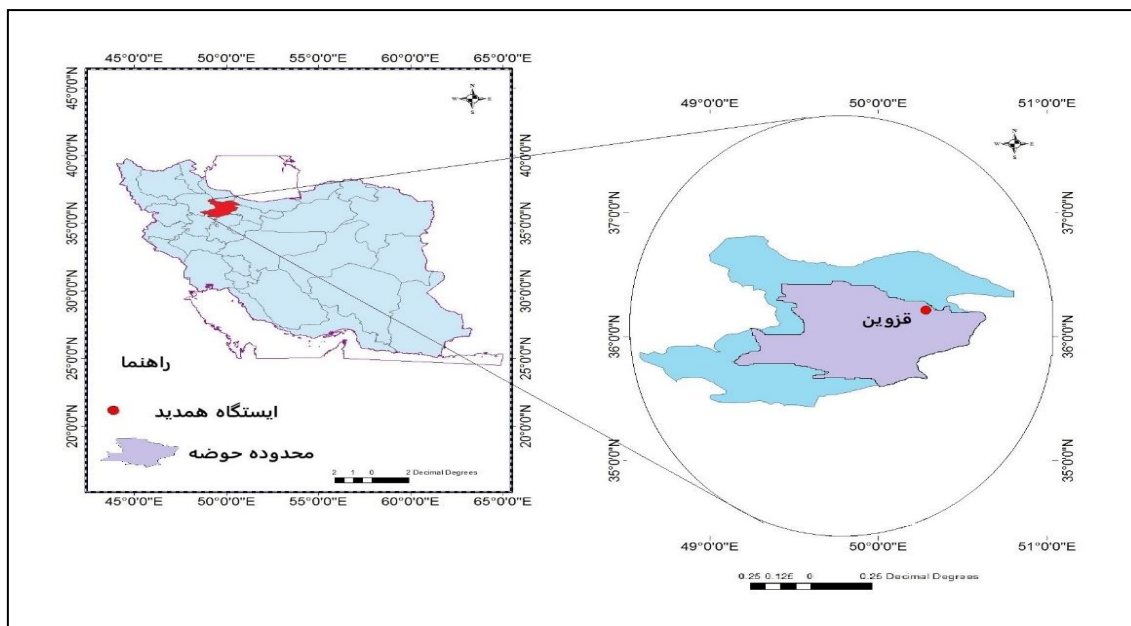
۲-۱. ایستگاه مورد مطالعه

از ایستگاه همدیدی قزوین به منظور دریافت اطلاعات پایه (دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش) استفاده شد (شکل ۱) که مشخصات جغرافیایی و ویژگی‌های اقلیمی ایستگاه مذکور در جدول (۱) آورده شده است. با بررسی داده‌های روزانه دما و بارش از سال ۱۹۹۱ تا پایان سال ۲۰۲۰ میلادی، مشخص شد که کمترین بیشترین متوسط دمای ماهانه این ایستگاه در ماه‌های بهمن و مرداد با متوسط دما ۲/۸ درجه و ۲۶/۶ درجه سانتی‌گراد اتفاق می‌افتد. بررسی رژیم بارندگی ایستگاه همدیدی قزوین در بازه ۱۹۹۱ تا ۲۰۲۰ نشان داد که بیشترین بارش در ماه‌های اسفند و فروردین اتفاق می‌افتد. کم‌ترین و بیش‌ترین متوسط بارش ماهانه خروجی از این ایستگاه به ترتیب برابر ۳/۶ میلی‌متر و ۵۱/۲ میلی‌متر است و مربوط به ماه‌های شهریور و فروردین است.

بارش، دما و تشعشع خورشیدی را تولید می‌نمایند (Racsko (Khan et al, et al, 1991; Richardson, 1981) (2006) با تحلیل انحراف معیار در سه مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG، SDSM و ANNs نتیجه گرفتند مدل‌های SDSM و LARS-WG نتایج خوبی داشتند ولی مدل ANN از دقت کمتری برخوردار است. (Hashmi et al, 2011) به مقایسه دو مدل LARS-WG و SDSM در شبیه‌سازی بارش در نیوزلند پرداختند و نتایج مطالعه آنها نشان داد هر دو مدل توانایی خوبی در شبیه‌سازی بارش دارند و برای پیش‌بینی‌های اقلیمی قابل استفاده هستند. (Valizadeh (et al, 2014) به بررسی عملکرد گندم تحت تغییرات آب و هوایی آینده در منطقه سیستان و بلوچستان با استفاده از مدل LARS-WG پرداختند که نتایج حاصل از کار آن‌ها نشان داد که مدل LARS-WG پیش‌بینی مناسبی از پارامترهای آب و هوایی در منطقه دارد. (آبابایی و همکاران، ۲۰۱۱) به ارزیابی عملکرد LARS-WG در ۴ ایستگاه ساحلی شمالی و ۸ ایستگاه ساحلی جنوبی ایران در رابطه با شبیه‌سازی بارندگی، دما و تابش پرداختند نتایج حاصل نشان داد که این مدل در شبیه‌سازی توزیع روزانه و میانگین ماهانه و فصلی اکثر سری‌ها عملکرد مناسبی دارد. (حجاریپور و همکاران، ۱۳۹۳) به مقایسه سه مدل LARS-WG، Weatherman و Climgen در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی در سه اقلیم مختلف گرگان، گنبد و مشهد پرداختند. نتایج حاکی از کارایی بهتر LARS-WG در شبیه‌سازی پارامتر دمای کمینه در منطقه‌های گرگان و مشهد است و به‌طور کلی هر سه مدل پارامتر دما را بهتر از سایر پارامترها اقلیمی پیش‌بینی می‌کنند. (Semenov 2008) با استفاده از آمار و اطلاعات ۲۰ ایستگاه در نقاط مختلف دنیا و استفاده از اطلاعات آب و هوایی مشاهده شده بین ۳۰ تا ۵۶ سال، توانایی بالای مدل

جدول ۱. مشخصات اقلیمی و جغرافیایی ایستگاه همدیدی قزوین

نوع اقلیم	ارتفاع از سطح دریا (متر)	طول / عرض (درجه)	استان
نیمه خشک	۱۲۹۷	۵۰.۲۴°N ۳۶.۱۴°E	قزوین



شکل ۱. موقعیت جغرافیایی ایستگاه همدیدی قزوین

فاصله، تقریبی از انواع مختلفی از شکل‌ها باشد. فواصل [a_{i-1} , a_i] بر اساس خواص مورد انتظار از متغیرهای آب و هوا انتخاب می‌شوند. برای تابش خورشیدی، این فواصل به طور مساوی بین مقادیر کمینه و بیشینه داده‌های مشاهداتی ماهانه می‌باشد. دمای کمینه، دمای بیشینه و تابش خورشیدی مربوط به میانگین پوشش ابر است، بنابراین LARS-WG از توزیع جداگانه‌ای برای روزهای تر و خشک برای هر یک از این متغیرها استفاده می‌کند (Semenov, 2008). در نسخه‌های مختلف LARS-WG، گزارش‌های مختلف تغییر اقلیم تحت سناریوهای مختلف انتشار گازهای گلخانه‌ای ارائه شده است. در این پژوهش، جدیدترین نسخه یعنی سری ششم به کار گرفته شده است. در سری ششم مدل LARS-WG گزارش‌های پنجم گردش عمومی جو (GCM) تحت سناریوهای مختلف وجود دارد که توسط کشورهای مختلف ارائه شده‌اند و شرح آن، در جدول ۲ آورده شده است. سری ششم مدل از سایت <https://zenodo.org> قابل دانلود است.

۲-۲. پایگاه‌های مولد داده‌های اقلیمی

در این پژوهش از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ به منظور تولید داده‌های اقلیمی دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش در دوره‌های آتی (۲۱۰۰-۲۰۲۱) استفاده شد.

۲-۳. مدل LARS-WG

LARS-WG یک مولد تصادفی آب و هوا است که با در نظر گرفتن شرایط اقلیمی حال و آینده اقدام به تولید سری زمانی پارامترهای هواشناسی می‌کند. این ابزار از توزیع نیمه تجربی (Emp) برای طول سری‌های روزانه خشک و تر، بارش روزانه و تابش خورشیدی روزانه استفاده می‌کند.

$$EMP = a_0, a_i, h_i \dots \quad i = 1, 2, 3, \dots, 23$$

در این رابطه Emp یک هیستوگرام با تعداد فواصل ۲۳ است (در نسخه‌ی سوم تعداد فواصل ۱۰ بوده است) که در آن a به شرح زیر تعریف شده است.

$$[a_{i-1}, a_i] \quad a_{i-1} < a_i$$

و h تعداد رخدادها مشاهده شده در i امین فاصله است. چنین توزیعی انعطاف پذیر است و می‌تواند با تنظیم

جدول ۲. مدل‌های گردش عمومی جو موجود در نسخه سری ششم مدل LARS-WG

Model no	Research center	Contry	GCM region	Grid resolution	RCP	Reference
1	EC-EARTH consortium	Europe	EC-EARTH	$\times 1.12^\circ$ 1.12°	4.5 8.5	(2012) Hazelegar et al
2	Geophysical Fluid Dynamics Laboratory	USA	GFDL-CM3	$2^\circ \times 2.5^\circ$	4.5 8.5	https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/ceraresearch
3	UK Meteorological Office	UK	HadGEM2-ES	$1.88 \times 1.25^\circ$	4.5 8.5	Collins et al. (2011), Jones et al. (2011), Martin et al (2011).
4	University of Tokyo, National Institute for Environmental Studies	Japan	MIROC5	$1.41 \times 1.39^\circ$	4.5 8.5	Watanabe et al. (2012), Tatbe et al. (2012), Mochizuki et al (2012).
5	Max Planck Institute for Meteorology	Germany	MPI-ESM-MR	$1.88 \times 1.85^\circ$	4.5 8.5	Brovkin et al. (2013), Schmidt et al (2013)

۲-۴. پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ

مرکز محاسبات اقلیمی آلمان (DKRZ: Deutsches Klimarechenzentrum GmbH) یک سرویس بایگانی طولانی مدت را برای مجموعه داده‌های تحقیقاتی بزرگ که مربوط به تحقیقات اقلیم یا سیستم زمین است فراهم می‌کند. این سرویس شامل قابلیت بایگانی و بازیابی داده‌ها برای بازه‌های زمانی ۱۰ ساله یا بیشتر است. بایگانی طولانی مدت DKRZ (LTA) طبق ضوابط (Core Trust Seal (CTS) تأیید شده است و به عنوان مرکز داده جهانی آب و هوا (WDCC) به عنوان عضو منظم سیستم داده جهانی معتبر است.

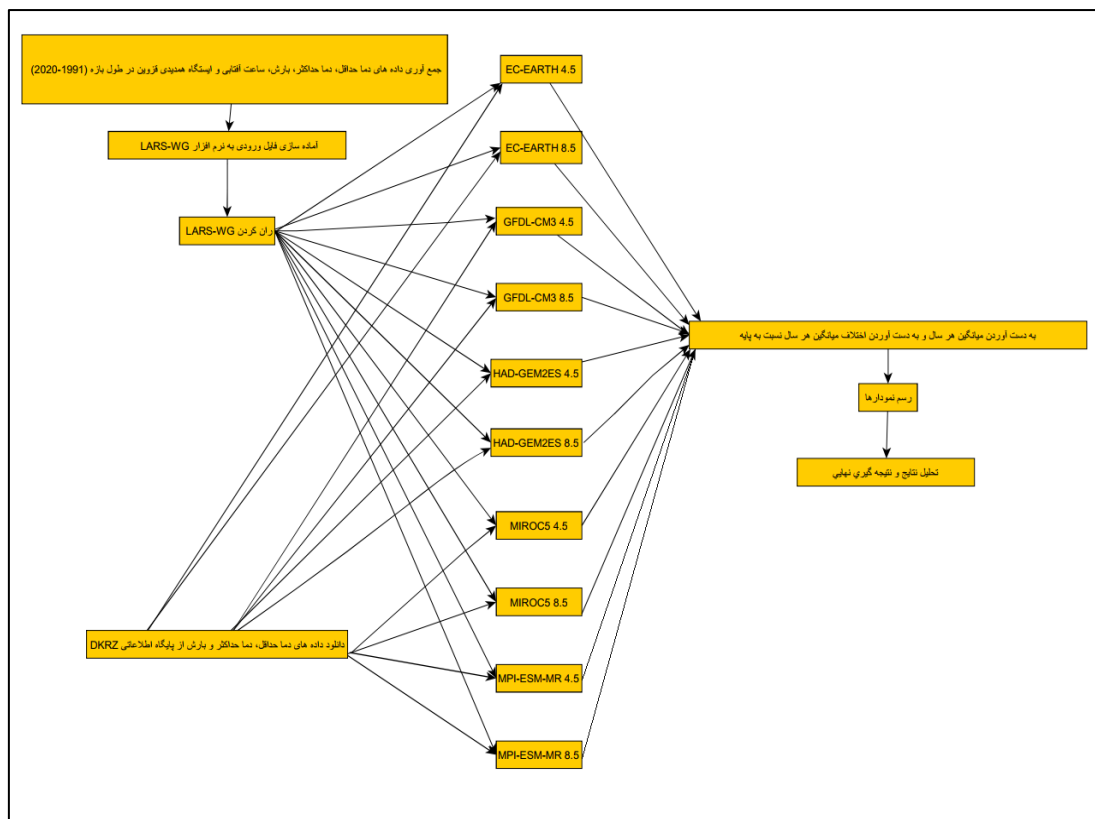
این پژوهش با هدف بررسی همه جانبه و مقایسه داده‌های دمای کمینه (برحسب درجه سانتی‌گراد)، دمای بیشینه (برحسب درجه سانتی‌گراد) و بارش (برحسب میلی‌متر) از نظر میانگین و بازه انحراف معیار در دوره‌های آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰، ۲۰۸۱-۲۱۰۰) نسبت به دوره پایه حاصل از دو پایگاه مولد داده‌های اقلیمی (مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ) تحت مدل‌های EC-EARTH، GFDLCM3، HadGEM2-ES، MIROC5 و MPI-ESM-MR در دو سناریو انتشار

۲-۵. داده‌های مورد استفاده

انجام گرفته است. داده‌های هر سه متغیر اقلیمی تحت هر دو سناریو انتشار حاصل از پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ از سایت پایگاه اطلاعاتی DKRZ دانلود شدند. داده‌های دمای بیشینه (برحسب درجه کلونین)، دمای کمینه (برحسب درجه کلونین) و بارش (برحسب کیلوگرم بر مترمربع در هر ثانیه) بودند. فایل‌های دانلود شده با فرمت NC بودند که در محیط ARCGIS فراخوانی شدند و به فایل TXT تبدیل شدند. به منظور تولید داده‌های اقلیمی دوره‌های آتی در مدل LARS-WG، می‌بایست مجموعه‌ای از داده‌های (دمای کمینه، دمای بیشینه، بارش و ساعت آفتابی) در طول بازه ای چند ساله، تحت عنوان داده‌های پایه به نرم افزار داده شود. در این پژوهش، از داده‌های ایستگاه همدیدی قزوین در طول سال‌های ۱۹۶۱ تا ۲۰۲۰ به عنوان داده‌های پایه استفاده شد.

۲-۶. فلوجارت کلی پژوهش

به‌منظور بررسی داده‌های دوره آتی پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ (به آدرس <https://cera-www.dkrz.de/WDCC/ui/ceraresearch>) داده‌ها در سه متغیر دمای کمینه و دمای بیشینه (درجه کلونین)، و بارش (کیلوگرم بر متر مربع در ثانیه) مربوط به دوره ۲۰۲۱-۲۱۰۰



شکل ۲. فلوچارت پژوهش

اقلیمی در دوره‌های آتی نسبت به دوره پایه انجام شد. مدل گردش عمومی جو و سناریویی که بالاترین و پایین‌ترین میانگین متغیرهای اقلیمی در طول دوره‌های آتی را پیش‌بینی می‌کند، معرفی شد.

۳-۱. دمای کمینه - سناریو انتشار ۴/۵

همانطور که در شکل ۳ قابل مشاهده است، میانگین دمای کمینه در دوره پایه ۷/۶۲ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۴۸ درجه سانتی‌گراد) است. نتایج خروجی از مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ نشان می‌دهد که مدل‌های MIROC5 و EC-EARTH خروجی از پایگاه DKRZ به ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین دمای کمینه را در هر ۴ دوره ۲۰ ساله (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) گزارش می‌کنند. طبق نتایج خروجی مدل MIROC5 خروجی از پایگاه DKRZ، در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ میانگین دما ۹/۶۷ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۰/۴۴ درجه سانتی‌گراد است، بنابراین طبق نتیجه این مدل،

و ۵ مدل گردش عمومی جو (GCM) تحت ۲ سناریو انتشار ۴/۵ و ۸/۵ دانلود شدند. تغییر واحدهای مربوطه اعمال گردیدند. همین داده‌ها توسط مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG نیز تولید شدند. این داده‌ها از نظر میانگین و بازه انحراف معیار در ۴ دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) بررسی و مقایسه شدند.

۳. بحث و نتیجه‌گیری

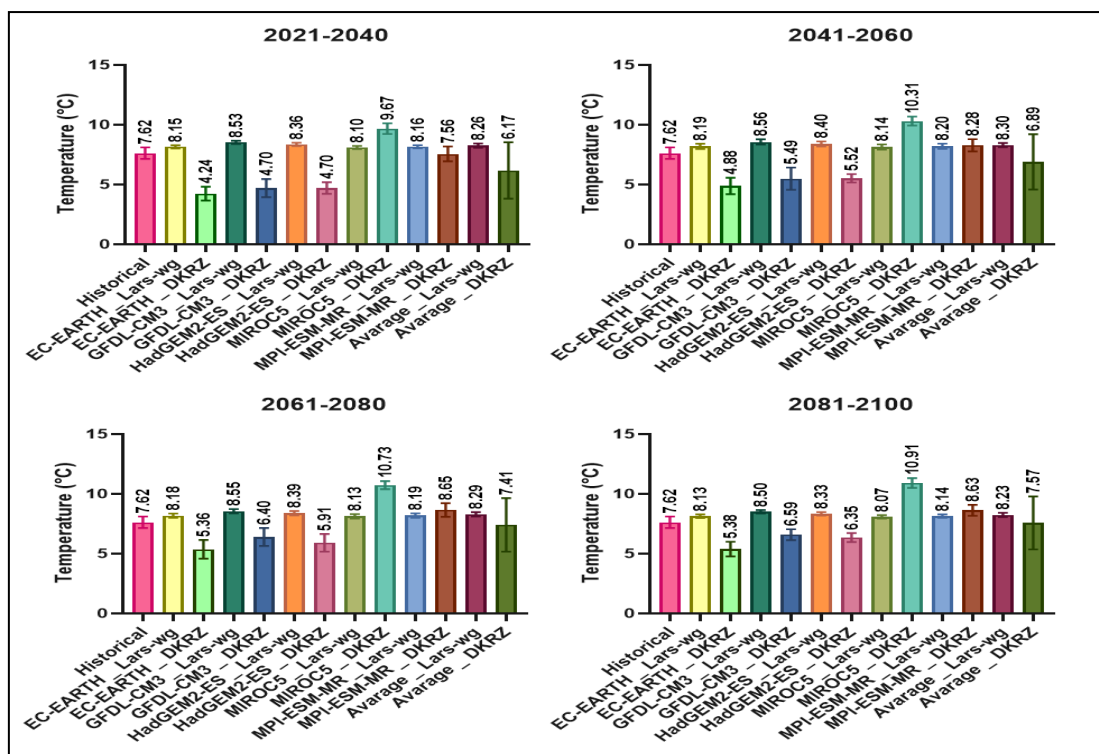
به منظور بررسی متغیرهای اقلیمی (دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش) حاصل از پایگاه اطلاعاتی DKRZ و مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG در بخش اول؛ داده‌های دوره آتی حاصل از این دو پایگاه، در ۴ دوره مجزا (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) ارزیابی شد. به این منظور متوسط سالانه متغیرهای دمای کمینه، دمای بیشینه و بارش به همراه انحراف معیارشان در ۵ مدل گردش عمومی جو (GCM) و تحت سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ در هر دوره بررسی شد. در گام بعد بررسی اختلاف متغیرهای

در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به میانگین دمای کمینه حال حاضر، ۲/۰۴ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۴۲ درجه سانتی‌گراد) افزایش دمای کمینه پیش‌بینی می‌شود. این مدل در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، میانگین دمای کمینه را ۱۰/۳۱ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۳۷۱ درجه سانتی‌گراد) و افزایش دمای کمینه ۲/۶۸ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه (با انحراف معیار ۰/۴۲ درجه سانتی‌گراد) را نشان می‌دهد. به همین ترتیب میانگین دمای کمینه مدل MIROC5 در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰، ۱۰/۷۳ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۳۳۳ درجه سانتی‌گراد) است و در این دوره نسبت به زمان حاضر ۳/۱۰ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۴۱ درجه سانتی‌گراد) افزایش دمای کمینه اتفاق خواهد افتاد. در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نیز مدل MIROC5، میانگین دمای کمینه را ۱۰/۹۱ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۴۱ درجه سانتی‌گراد)، با اختلاف دما ۳/۲۸ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه (انحراف معیار ۰/۴۴ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند. طبق نتایج خروجی مدل EC-EARTH خروجی از پایگاه DKRZ، در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ میانگین دمای کمینه ۴/۲۳ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۵۸ درجه سانتی‌گراد) است، یعنی در این دوره نسبت به دمای کمینه پایه، با انحراف معیار ۰/۵۳ درجه سانتی‌گراد، ۳/۳۸ سانتی‌گراد کاهش دمای کمینه رخ خواهد داد. این مدل در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، میانگین دمای کمینه را ۴/۸۷ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۶۸ درجه سانتی‌گراد) و کاهش دمای کمینه ۲/۷۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه (با انحراف معیار ۰/۵۸ درجه سانتی‌گراد) نشان می‌دهد. همچنین این مدل در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰، میانگین دمای کمینه را ۵/۳۶ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۷۸ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند، لذا طبق خروجی مدل مورد نظر، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نسبت به دوره پایه ۲/۲۵ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد) کاهش دمای کمینه اتفاق می‌افتد. مدل EC-EARTH در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰، میانگین دمای کمینه را

۵/۳۸ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۶۱ درجه سانتی‌گراد) و کاهش دمای کمینه ۲/۲۴ درجه سانتی‌گراد نسبت به دوره پایه (با انحراف معیار ۰/۵۴ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند. متوسط دمای کمینه خروجی از مدل LARS-WG، در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ که در نمودارهای شکل ۳ با Average LARS-WG مشخص گردیده‌اند، به ترتیب برابر ۸/۲۶، ۸/۳۰، ۸/۲۹ و ۸/۲۳ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیارهای ۰/۱۷، ۰/۱۷، ۰/۱۷ و ۰/۱۷ درجه سانتی‌گراد است. همچنین متوسط دمای کمینه خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ که در نمودارهای شکل ۳ با Average DKRZ مشخص گردیده‌اند، به ترتیب برابر ۶/۱۷، ۶/۱۷، ۶/۱۷ و ۶/۱۷ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیارهای ۲/۳۱، ۲/۲۳ و ۲/۲ درجه سانتی‌گراد است. اگر میانگین داده‌های دمای کمینه هر کدام از ۵ مدل گردش عمومی جو در سال‌های ۲۰۲۱-۲۱۰۰ در نظر گرفته شود، مدل‌های MIROC5 و EC-EARTH خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ، میانگین دمای کمینه دوره آبی را، به ترتیب ۱۰/۳۸ و ۴/۹۴ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۶۱ و ۰/۸۱ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کنند. همانطور که در شکل ۳ مشخص است، در هر ۴ بازه زمانی دوره آبی، مدل LARS-WG دمای کمینه بیشتری را نسبت به پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ گزارش کرده است. تمام مدل‌ها به جز EC-EARTH، DKRZ، GFDL-CM3-DKRZ و HADGEM2-ES-DKRZ Average-DKRZ افزایش دمای کمینه هوا در آینده را نشان می‌دهند.

۲-۳. دمای کمینه - سناریو انتشار ۸/۵

همانطور که در شکل ۴ قابل مشاهده است، میانگین دمای کمینه در دوره پایه ۷/۶۲ درجه سانتی‌گراد، با انحراف معیار ۰/۴۸ درجه سانتی‌گراد است. در سناریو ۸/۵، نتایج خروجی



شکل ۳. دمای کمینه پایه ایستگاه همدیدی قزوین و دوره‌های آبی تحت ۵ مدل گردش عمومی جو (GCM) و سناریو انتشار RCP 4.5

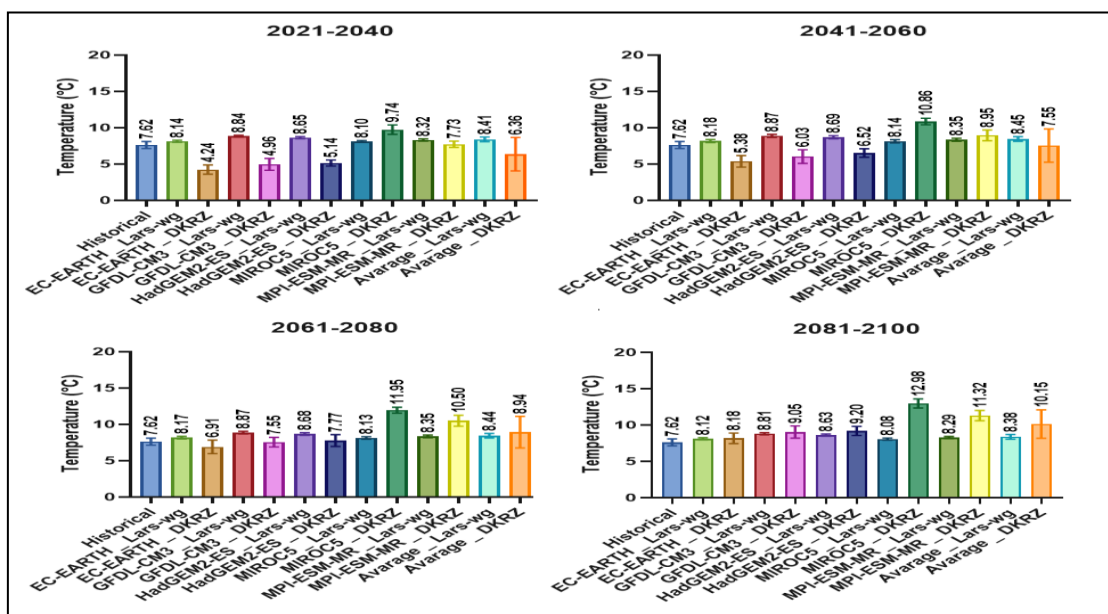
معیار ۰/۴ (درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند، لذا طبق نتایج مدل خروجی مورد نظر، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نسبت به زمان حاضر ۴/۳۲ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۴۴ درجه سانتی‌گراد) افزایش دمای کمینه رخ خواهد داد. این مدل در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین دمای کمینه را ۱۲/۹۸ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۶۲ درجه سانتی‌گراد) و اختلاف دمای کمینه نسبت به دوره پایه را ۵/۳۵ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۵۵ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند. طبق نتایج خروجی، مدل EC-EARTH خروجی از پایگاه DKRZ، در دوره ۲۰۴۰-۲۰۲۱ میانگین دمای کمینه، ۴/۲۴ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد) است. یعنی در این دوره نسبت دمای کمینه پایه، با انحراف معیار ۰/۵۶ درجه سانتی‌گراد، ۳/۳۸ درجه سانتی‌گراد کاهش دمای کمینه پیش‌بینی می‌شود. این مدل در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، میانگین دمای کمینه را ۵/۳۸ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۷۹ درجه سانتی‌گراد) و کاهش دمای کمینه نسبت به دوره پایه را ۲/۲۴ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۶۴ درجه سانتی‌گراد) گزارش

از مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ نشان می‌دهد که در سه دوره (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۸۰-۲۰۶۱) مدل EC-EARTH خروجی از پایگاه DKRZ، کمترین دمای کمینه را نشان می‌دهد و در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ مدل MPI-ESM-MR خروجی از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG، کمترین دمای کمینه را گزارش می‌کند. طبق نتایج خروجی مدل MIROC5 خروجی از پایگاه DKRZ، در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ میانگین دمای کمینه، ۹/۷۴ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۶۴ درجه سانتی‌گراد) است. بنابراین طبق نتیجه این مدل، در این دوره نسبت به دمای کمینه پایه، ۲/۱۱ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۵۶ درجه سانتی‌گراد) افزایش دمای کمینه گزارش می‌شود. این مدل در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، میانگین دمای کمینه را ۱۰/۸۶ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۴۴ درجه سانتی‌گراد) و افزایش دمای کمینه نسبت به دوره پایه را ۳/۲۳ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۴۶ درجه سانتی‌گراد) نشان می‌دهد. این مدل در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نیز، میانگین دمای کمینه را ۱۱/۹۵ درجه سانتی‌گراد (با انحراف

می‌کند. این مدل در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نیز، میانگین دمای کمینه را ۶/۹ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۹۲ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند، لذا طبق نتایج مدل خروجی مورد نظر، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نسبت به دمای کمینه پایه، ۰/۷۱ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۷ درجه سانتی‌گراد) کاهش دمای کمینه گزارش می‌شود. در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰، مدل MPI-ESM-MR خروجی از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG میانگین دمای کمینه را ۸/۲۹ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۱۴ درجه سانتی‌گراد) و کاهش دمای کمینه نسبت به دوره پایه را ۰/۶۶ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۳۱ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند. متوسط دمای کمینه خروجی از مدل LARS-WG در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۱، ۲۰۴۱-۲۰۶۱، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ که در نمودارهای شکل ۴ با Average مشخص گردیده‌اند، به ترتیب برابر ۶/۳۶، ۷/۵۵، ۸/۹۴ و ۱۰/۱۵ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیارهای ۲/۳، ۲/۲۹، ۲/۱۷ و ۱/۹۵ درجه سانتی‌گراد است.

اگر میانگین داده‌های دمای کمینه سال‌های ۲۰۱۰-۲۱۰۰ بررسی شود، مدل‌های MIROC5 و EC-EARTH خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ، میانگین دمای کمینه دوره آتی را به ترتیب ۱۱/۳ و ۶/۰۷ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۱/۳ و ۱/۷۱ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند. اکثر مدل‌های گردش عمومی جو در هر چهار دوره زمانی، افزایش دمای کمینه هوا را در آینده نشان می‌دهند.

می‌کند. این مدل در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نیز، میانگین دمای کمینه را ۶/۹ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۹۲ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند، لذا طبق نتایج مدل خروجی مورد نظر، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نسبت به دمای کمینه پایه، ۰/۷۱ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۷ درجه سانتی‌گراد) کاهش دمای کمینه گزارش می‌شود. در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰، مدل MPI-ESM-MR خروجی از مدل ریزمقیاس‌نمایی LARS-WG میانگین دمای کمینه را ۸/۲۹ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۱۴ درجه سانتی‌گراد) و کاهش دمای کمینه نسبت به دوره پایه را ۰/۶۶ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۳۱ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند. متوسط دمای کمینه خروجی از مدل LARS-WG در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۱، ۲۰۴۱-۲۰۶۱، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ که در نمودارهای شکل ۴ با Average مشخص گردیده‌اند، به ترتیب برابر ۸/۴۱،



شکل ۴. دمای کمینه پایه ایستگاه همدیدی قزوین و دوره‌های آتی تحت ۵ مدل گردش عمومی جو GCM و سناریو انتشار RCP 8.5

(شکل ۵)، مشخص می‌شود که بیشترین افزایش و کاهش دمای کمینه نسبت به دمای کمینه پایه، در هر ۴ دوره زمانی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) را به ترتیب مدل‌های MIROC5 خروجی پایگاه DKRZ تحت سناریو انتشار ۸/۵ و EC-EARTH خروجی از پایگاه DKRZ تحت سناریو ۴/۵ گزارش می‌کنند. مدل MIROC5 خروجی از

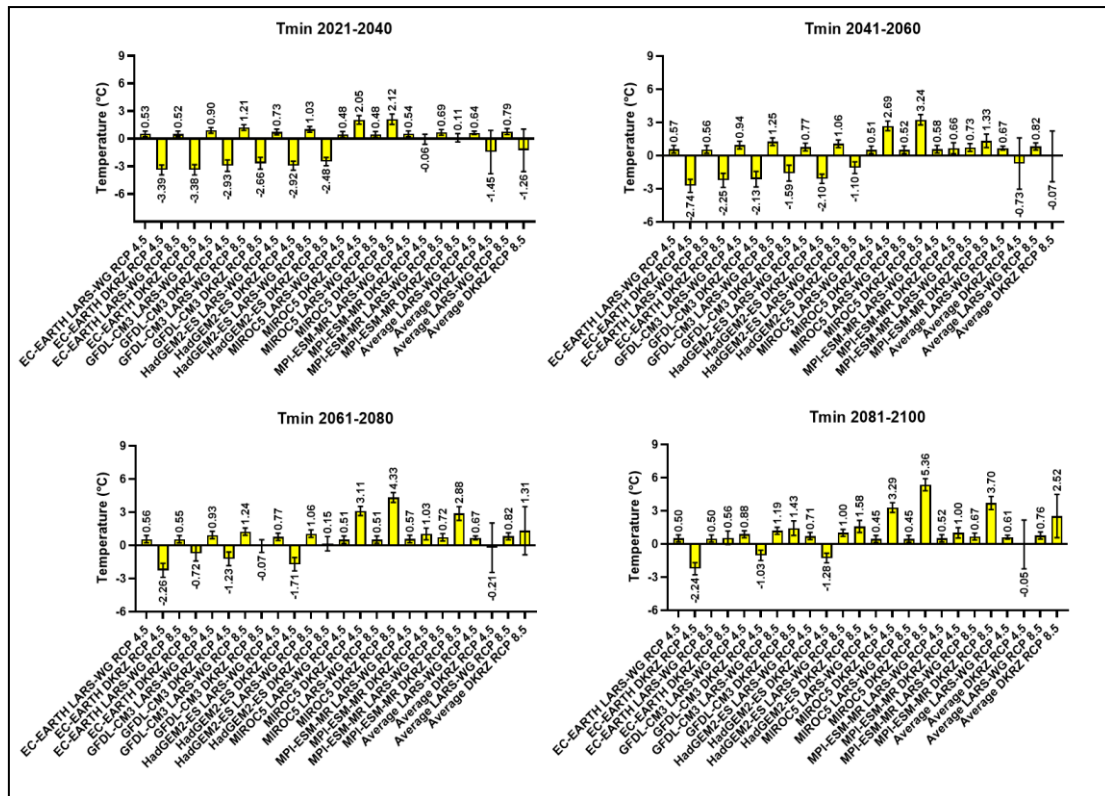
۳-۳. اختلاف دمای کمینه دوره‌های آتی تحت

سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه

اگر سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ مدل‌های گردش عمومی جو (EC-EARTH, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, MIROC5 و MPI-ESM-MR) در قالب اختلاف دمای کمینه نسبت به دما پایه منطقه، در بازه‌های زمانی آتی بررسی شود

کمینه گزارش می‌کند (شکل ۵). در دوره ۲۰۲۱-۲۱۰۰ نیز بالاترین مقدار افزایش دما نسبت به دمای کمینه پایه را مدل MIROC5 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ با انحراف معیار ۰/۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار ۳/۷۵ درجه سانتی‌گراد نشان می‌دهد. نتایج برای بالاترین میانگین کاهش دمای کمینه در بین مدل‌ها، مربوط به مدل EC-EARTH خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ است. این مدل کاهش دمای کمینه نسبت به حالت پایه دمای کمینه را مقدار ۲/۶۵ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۵۷ درجه سانتی‌گراد) ارزیابی کرده است. اگر متوسط اختلافات مقادیر ۵ مدل گردش عمومی جو خروجی از مدل LARS-WG در بازه ۲۰۲۱-۲۱۰۰ نسبت به دمای کمینه پایه، Average LARS-WG نامیده شود به ترتیب سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ مقادیر برابر ۰/۶۴ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۱۷ درجه سانتی‌گراد) و ۰/۷۹ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۳۲ درجه سانتی‌گراد) خواهد بود. اگر متوسط اختلافات مقادیر ۵ مدل گردش عمومی جو خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ در بازه ۲۰۲۱-۲۱۰۰ نسبت به دمای کمینه پایه، Average DKRZ نامیده شود؛ به ترتیب سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ مقادیر اختلاف دمای کمینه نسبت به دمای کمینه پایه، برابر ۰/۶۱- درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۲۷ درجه سانتی‌گراد) و ۰/۶۲ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۲/۱۸ درجه سانتی‌گراد) خواهد بود. ارزیابی‌ها نشان می‌دهد مدل LARS-WG افزایش دمای کمینه بیشتری را نسبت به حالت پایه در مقایسه با نتایج پایگاه اطلاعاتی DKRZ گزارش می‌کند.

پایگاه DKRZ تحت سناریو انتشار ۸/۵، در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، مقدار ۲/۱۱ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۵۶ درجه سانتی‌گراد) افزایش دمای کمینه نسبت به دمای کمینه پایه را نشان می‌دهد. مدل EC-EARTH خروجی از پایگاه DKRZ تحت سناریو ۴/۵، ۳/۳۹ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۵۳ درجه سانتی‌گراد) کاهش دمای کمینه را نسبت به دمای کمینه پایه گزارش می‌کند. در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، مدل MIROC5 خروجی پایگاه DKRZ تحت سناریو انتشار ۸/۵، افزایش دما نسبت به دمای کمینه پایه را ۳/۲۳ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۴۶ درجه سانتی‌گراد) نشان می‌دهد و مدل EC-EARTH خروجی از پایگاه DKRZ تحت سناریو ۴/۵، ۲/۷۴ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۵۸ درجه سانتی‌گراد) کاهش دمای کمینه نسبت به دمای کمینه پایه را گزارش می‌کند. مدل MIROC5 خروجی پایگاه DKRZ تحت سناریو انتشار ۸/۵ در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰، مقدار ۴/۳۲ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۴۴ درجه سانتی‌گراد) افزایش دما نسبت به دمای کمینه پایه را نشان می‌دهد و مدل EC-EARTH خروجی از پایگاه DKRZ تحت سناریو ۴/۵، ۲/۲۵ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۶۵ درجه سانتی‌گراد) کاهش دمای کمینه را نسبت به حالت پایه دمای کمینه گزارش می‌کند. در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نیز مدل MIROC5 خروجی پایگاه DKRZ تحت سناریو انتشار ۸/۵ با انحراف معیار ۰/۵۵ درجه سانتی‌گراد مقدار ۵/۳۵ درجه سانتی‌گراد افزایش دما نسبت به دمای کمینه پایه را نشان می‌دهد و مدل EC-EARTH خروجی از پایگاه DKRZ تحت سناریو ۴/۵، ۲/۲۴ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۵۵ درجه سانتی‌گراد) کاهش دمای کمینه را نسبت به حالت پایه دمای



شکل ۵. اختلاف دمای کمینه ۵ مدل گردش عمومی جو (GCM) تحت دو سناریو (۴/۵ و ۸/۵) نسبت به مقادیر پایه دمای کمینه در دوره‌های زمانی آبی

۳-۴. دمای بیشینه - سناریو انتشار ۴/۵

همانطور که در قابل مشاهده است، میانگین دمای بیشینه در دوره پایه ۲۲/۱۶ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۷ درجه سانتی گراد) است. در سناریو ۴/۵، نتایج خروجی از مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ نشان می‌دهد که در هر ۴ دوره ۲۰ ساله (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰)، به ترتیب مدل‌های GFDL-CM3 و LARS-WG از مدل GFDL-CM3 خروجی از پایگاه DKRZ بیشترین و کمترین دمای بیشینه را در طی دوره‌های آبی را گزارش می‌کنند. طبق نتایج خروجی مدل GFDL-CM3 خروجی از مدل LARS-WG، میانگین دمای بیشینه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ برابر ۲۳/۳۷ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۲۲ درجه سانتی گراد) است. لذا طبق نتیجه مدل GFDL-CM3 در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ نسبت به دمای بیشینه پایه، ۱/۲۱ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۳۵ درجه سانتی گراد) افزایش دمای بیشینه گزارش می‌شود. این مدل در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، میانگین دمای بیشینه را ۲۳/۳۵ درجه سانتی گراد (با

انحراف معیار ۰/۲۶ درجه سانتی گراد) و افزایش دمای بیشینه نسبت به دوره پایه را ۱/۱۹ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۳۷ درجه سانتی گراد) نشان می‌دهد. این مدل در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱، میانگین دمای بیشینه را ۲۳/۲۸ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۱۳ درجه سانتی گراد) نشان می‌دهد، لذا طبق نتایج مدل خروجی مورد نظر، در دوره ۲۰۸۰-۲۰۶۱ نسبت به دمای بیشینه پایه، ۱/۱۲ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۳۱ درجه سانتی گراد) افزایش دمای بیشینه رخ خواهد داد. این مدل در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین دمای بیشینه را ۲۳/۲۵ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۱۴ درجه سانتی گراد) و اختلاف دمای بیشینه نسبت به دوره پایه را ۱/۰۹ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۳۱ درجه سانتی گراد) گزارش می‌کند. طبق نتایج خروجی مدل GFDL-CM3 خروجی از پایگاه DKRZ، در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ میانگین دمای بیشینه، ۱۴/۷۵ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۸۴ درجه سانتی گراد) است، یعنی در این دوره نسبت به دمای بیشینه پایه، با انحراف معیار ۰/۷۷ درجه سانتی گراد، ۷/۴۱ سانتی گراد کاهش دمای بیشینه پیش‌بینی

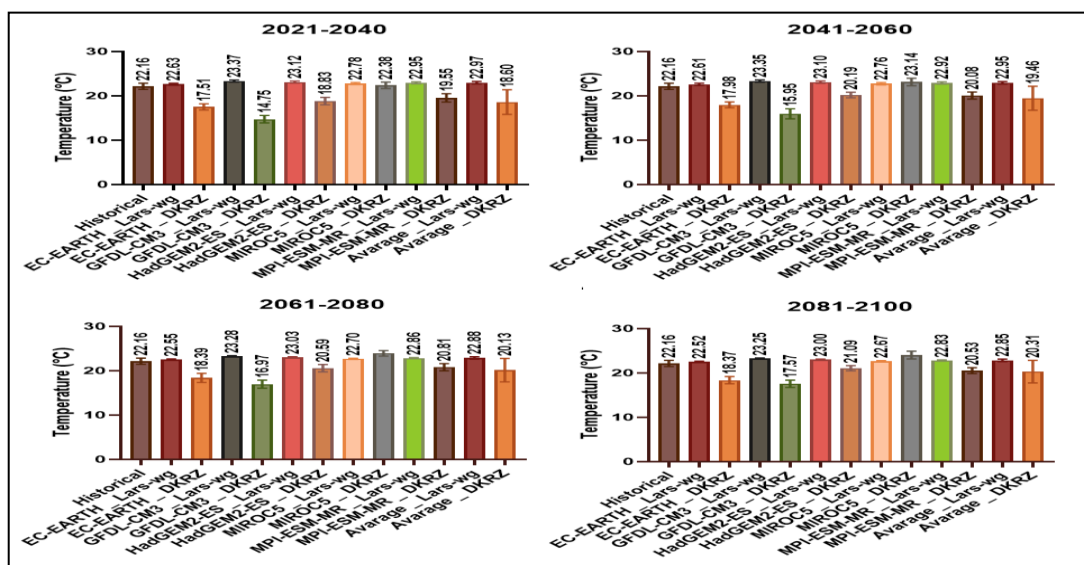
بیشینه خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ در دوره‌های ۲۰۴۰-۲۰۲۱، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ که در نمودارهای شکل ۶ با Average DKRZ مشخص شده‌اند، به ترتیب برابر ۱۸/۶، ۱۹/۴۶، ۲۰/۱۳ و ۲۰/۳۱ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیارهای ۲/۷۹، ۲/۶۹، ۲/۶۵ و ۲/۴۱ درجه سانتی‌گراد است.

اگر میانگین داده‌های دمای بیشینه برای هر مدل گردش عمومی جو در سال‌های ۲۰۲۱-۲۱۰۰ در نظر گرفته شود مشخص است، مدل‌های GFDL-CM3 خروجی از مدل ریزمقیاس نمایی LARS-WG و GFDL-CM3 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ، میانگین دمای بیشینه دوره آتی را به ترتیب ۲۳/۳۱ و ۱۶/۲۱ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۱۹ و ۱/۴ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کنند. در هر ۵ بازه زمانی دوره آتی به جز مدل MIROC5 در سایر مدل‌ها، مدل‌های گردش عمومی جو خروجی از مدل LARS-WG دمای بیشینه بیش‌تری را نسبت به پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ گزارش کرده است.

تمام مدل‌ها به جز EC-EARTH-DKRZ، GFDL-MPI، HADGEM2-ES-DKRZ، CM3-DKRZ و Average-DKRZ افزایش دمای بیشینه هوا را در آینده را نشان می‌دهند.

می‌شود. این مدل در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، میانگین دمای بیشینه را ۱۵/۹۵ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۱/۱۳۸ درجه سانتی‌گراد) و کاهش دمای بیشینه نسبت به دوره پایه را ۶/۲۱ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۹۲ درجه سانتی‌گراد) نشان می‌دهد. این مدل در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نیز، میانگین دمای بیشینه را ۱۶/۹۷ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۹ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند. بنابراین طبق نتایج مدل GFDL-CM3 خروجی از پایگاه DKRZ، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نسبت به زمان حاضر ۵/۱۹ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیار ۰/۸ درجه سانتی‌گراد، کاهش دمای بیشینه اتفاق می‌افتد. این مدل در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰، میانگین دمای بیشینه را ۱۷/۵۷ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۸۲ درجه سانتی‌گراد) و کاهش دمای بیشینه نسبت به دوره پایه را ۴/۵۹ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۷۶ درجه سانتی‌گراد) گزارش می‌کند.

متوسط دمای بیشینه خروجی از مدل LARS-WG در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۱۰۰-۲۰۸۱ که در نمودارهای با Average LARS-WG مشخص شده‌اند، به ترتیب برابر ۲۲/۹۷، ۲۲/۹۵، ۲۲/۸۸ و ۲۲/۸۵ درجه سانتی‌گراد با انحراف معیارهای ۰/۲۸، ۰/۲۸ و ۰/۲۸ درجه سانتی‌گراد است. هم‌چنین متوسط دمای



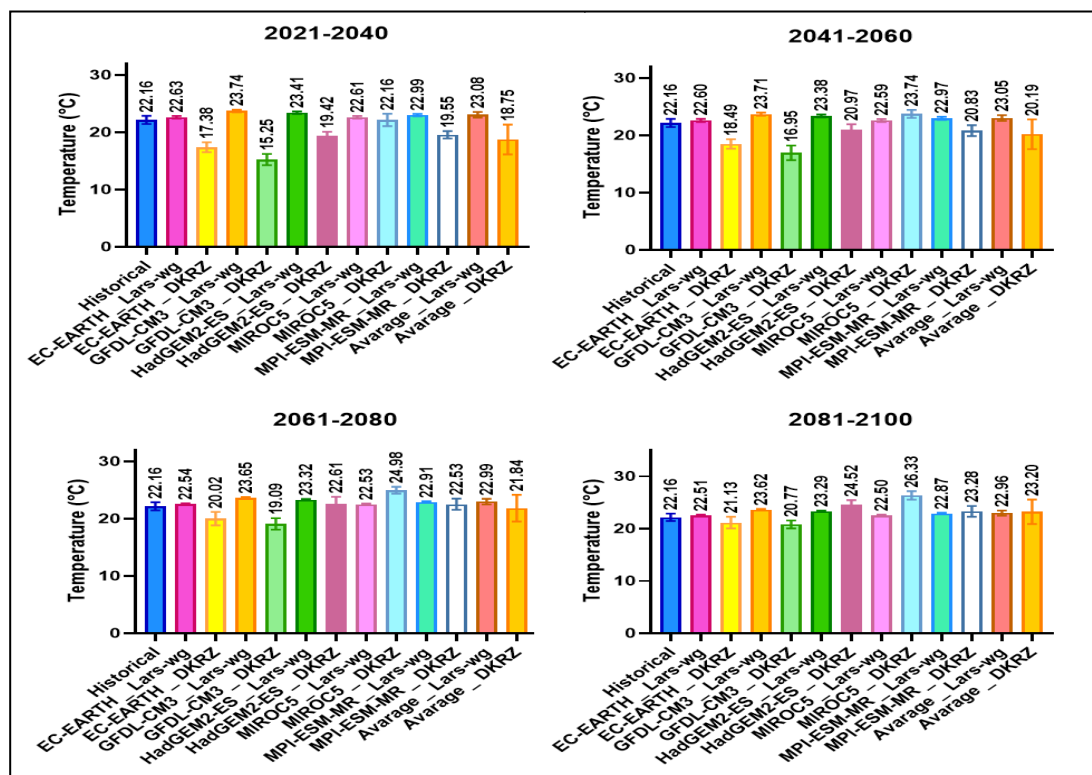
شکل ۶. دمای بیشینه پایه ایستگاه همدیدی قزوین و دوره‌های آتی تحت ۵ مدل گردش عمومی جو (GCM) و سناریو انتشار RCP 4.5

۳-۵. دمای بیشینه - سناریو انتشار ۸/۵

همانطور که در شکل ۷ قابل مشاهده است، میانگین دمای بیشینه در دوره پایه ۲۲/۱۶ درجه سانتی گراد، با انحراف معیار ۰/۷ درجه سانتی گراد است. در سناریو ۸/۵، نتایج خروجی از مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ نشان می‌دهد که در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ مدل GFDL-CM3 خروجی از مدل LARS-WG برابر میانگین ۲۳/۷۴ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۲۲ درجه سانتی گراد) بیشترین دمای بیشینه را گزارش می‌کند. طبق خروجی این مدل، ۱/۵۸ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۳۵ درجه سانتی گراد) نسبت به زمان حاضر افزایش دمای بیشینه پیش‌بینی می‌شود. در هر چهار دوره آتی، مدل GFDL-CM3 خروجی از پایگاه DKRZ کمترین دمای بیشینه را نشان می‌دهد. طبق نتایج این مدل، در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ میانگین دمای بیشینه برابر ۱۵/۲۵ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۹۹ درجه سانتی گراد) است، به این ترتیب در این دوره با انحراف معیار ۰/۸۴، ۶/۹۱ درجه سانتی گراد نسبت دمای بیشینه پایه، کاهش دمای بیشینه رخ خواهد داد. در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، میانگین دمای بیشینه مدل GFDL-CM3 خروجی از پایگاه DKRZ، برابر ۱۶/۹۵ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۱/۲۶ درجه سانتی گراد) است و در این دوره ۵/۲۱ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۹۸ درجه سانتی گراد) نسبت به دمای بیشینه پایه، کاهش دمای بیشینه گزارش می‌شود. هم‌چنین طبق خروجی این مدل، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ میانگین دمای بیشینه برابر ۱۹/۰۹ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۱ درجه سانتی گراد) است، به این ترتیب در این دوره ۳/۰۷ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۸۵ درجه سانتی گراد) نسبت به دمای بیشینه پایه، کاهش دمای بیشینه برآورد می‌شود. در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نیز میانگین دمای بیشینه این مدل، برابر ۲۰/۷۷ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۷۵ درجه سانتی گراد) است و در این دوره نسبت به دمای بیشینه پایه، ۱/۳۹ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۷۲ درجه سانتی گراد) کاهش دمای بیشینه پیش‌بینی می‌شود. در سه دوره (۲۰۴۱-۲۰۶۰،

۲۰۸۰-۲۰۴۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰)، MIROC5 خروجی از پایگاه DKRZ بیش‌ترین دمای بیشینه را گزارش می‌کند. طبق نتایج خروجی مدل MIROC5، میانگین دمای بیشینه در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۳/۷۴ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۶۹ درجه سانتی گراد) است، لذا در این دوره نسبت به دمای بیشینه پایه، ۱/۵۸ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۶۹ درجه سانتی گراد) افزایش دمای بیشینه اتفاق خواهد افتاد. این مدل در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰، میانگین دمای بیشینه را ۲۴/۹۸ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۶ درجه سانتی گراد) و افزایش دمای بیشینه نسبت به دوره پایه را ۲/۸۲ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۶۵ درجه سانتی گراد) نشان می‌دهد. در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نیز، میانگین دمای بیشینه مدل مربوطه، ۲۶/۳۳ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۸۱ درجه سانتی گراد) می‌باشد، لذا طبق نتایج این مدل، در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نسبت به دمای بیشینه پایه، ۴/۱۷ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار ۰/۷۶ درجه سانتی گراد) افزایش دمای بیشینه رخ خواهد داد. متوسط دمای بیشینه خروجی از مدل LARS-WG در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ که در نمودارهای شکل ۷ با Average LARS-WG مشخص شده‌اند، به ترتیب برابر ۲۳/۰۸، ۲۳/۰۵، ۲۲/۹۹ و ۲۲/۹۶ درجه سانتی گراد با انحراف معیارهای ۰/۴۹، ۰/۴۹، ۰/۴۹ و ۰/۴۹ درجه سانتی گراد است. هم‌چنین متوسط دمای بیشینه خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ که در نمودارهای شکل ۷ با Average DKRZ مشخص شده‌اند، به ترتیب برابر ۱۸/۷۵، ۲۰/۱۹، ۲۱/۸۴ و ۲۳/۲ درجه سانتی گراد با انحراف معیارهای ۲/۵۹، ۲/۶، ۲/۳۳ و ۲/۳۳ درجه سانتی گراد است. اگر میانگین داده‌های دمای بیشینه برای هر مدل گردش عمومی جو در سال‌های ۲۰۲۱-۲۱۰۰ در نظر گرفته شود، مشخص است، مدل‌های MIROC5 و GFDL-CM3 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ، با میانگین دماهایی بیشینه ۲۴/۱۴ و ۱۷/۷۹ درجه سانتی گراد (با انحراف معیار

۱/۶۹ و ۲/۷۲ درجه سانتی‌گراد) بیشترین و کمترین پیش‌بینی دمای بیشینه در دوره آتی را دارند.



شکل ۷. دمای بیشینه پایه ایستگاه همدیدی قزوین و دوره‌های آتی تحت ۵ مدل گردش عمومی جو GCM و سناریو انتشار RCP 8.5

LARS-WG تحت سناریو انتشار ۸/۵، بیشترین افزایش دمای بیشینه نسبت به دمای بیشینه پایه در دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ را نشان می‌دهد که برابر ۱/۵۸ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۳۵ درجه سانتی‌گراد) است. در سایر دوره‌های آتی (۲۰۴۱-۲۰۶۱، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) مدل MIROC5 خروجی پایگاه DKRZ تحت سناریو انتشار ۸/۵ بالاترین افزایش دمای بیشینه نسبت به دمای بیشینه پایه را گزارش می‌کند. مدل MIROC5 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو انتشار ۸/۵ در دوره‌های ۲۰۶۱-۲۰۸۰، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ به ترتیب مقدارهای ۱/۵۸ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۶۹ درجه سانتی‌گراد)، ۲/۸۲ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۶۵ درجه سانتی‌گراد) و ۴/۱۷ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۷۶ درجه سانتی‌گراد) افزایش میانگین دمای بیشینه را نسبت به میانگین دمای بیشینه پایه نشان می‌دهند. مدل

اغلب مدل‌های گردش عمومی جو خروجی از مدل LARS-WG دمای بیشینه بیش‌تری را نسبت به پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ گزارش کرده‌اند. تمام مدل‌ها به جز EC-EARTH-DKRZ، GFDL-MPI-، HADGEM2-ES-DKRZ، CM3-DKRZ و ESM-MR-DKRZ افزایش دمای بیشینه هوا را در آینده نشان می‌دهند.

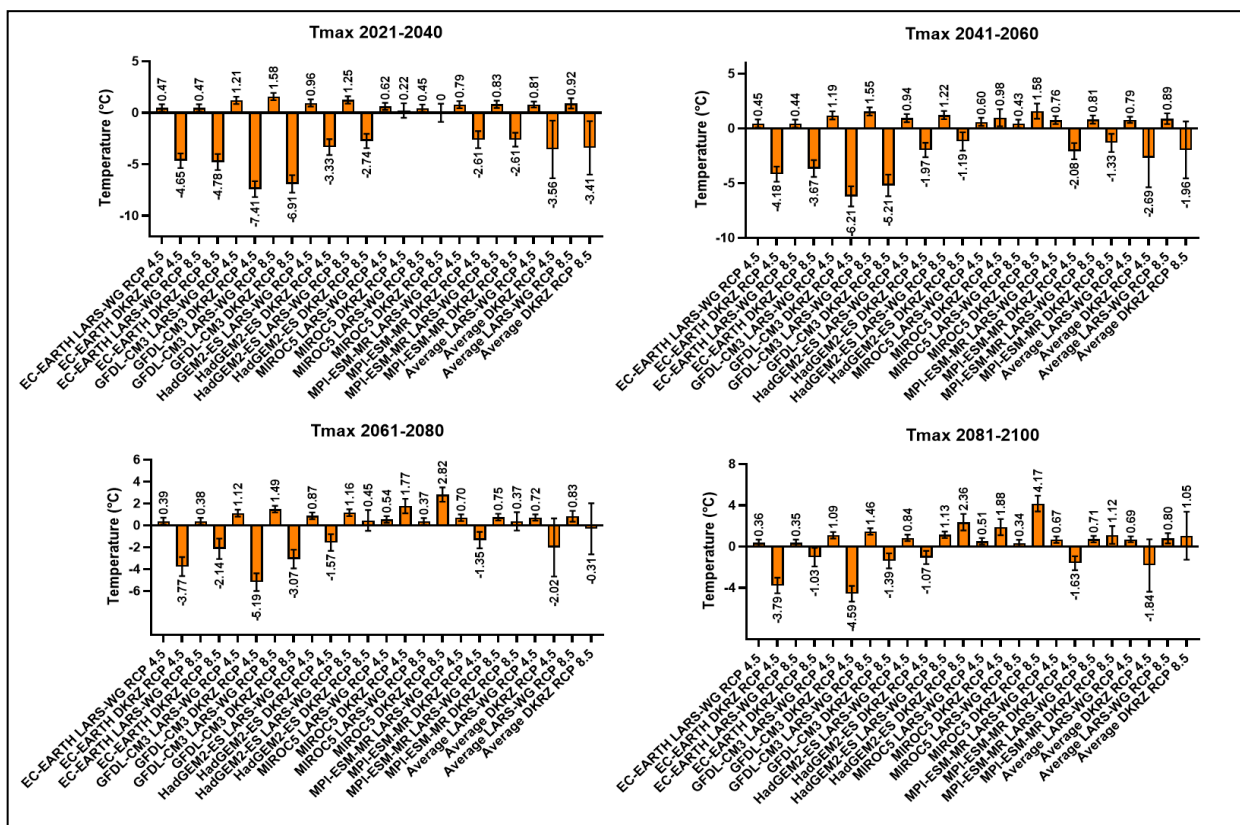
۳-۶. اختلاف دمای بیشینه دوره‌های آتی تحت

سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه

اگر سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ مدل‌های گردش عمومی جو (EC-EARTH، GFDL-CM3، HadGEM2-ES،) MIROC5 و MPI-ESM-MR) در قالب اختلاف دمای بیشینه نسبت به دمای بیشینه پایه منطقه، در بازه‌های زمانی آتی بررسی شود (شکل ۸)، مدل GFDL-CM3 خروجی از مدل

تحت سناریو ۸/۵ با انحراف معیار ۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد، مقدار ۲/۱۴ درجه سانتی‌گراد برآورد می‌کند. بالاترین میانگین کاهش دمای بیشینه نسبت به دمای بیشینه پایه در بین مدل‌ها، مربوط به مدل GFDL-CM3 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ است. این مدل کاهش دمای بیشینه دوره آتی نسبت به حالت پایه دمای بیشینه را با انحراف معیار ۰/۸۱ درجه سانتی‌گراد مقدار ۵/۸۵ درجه سانتی‌گراد ارزیابی کرده است. اگر متوسط اختلاف مقادیر ۵ مدل گردش عمومی جو خروجی از مدل LARS-WG را Average در بازه ۲۰۲۱-۲۱۰۰ نسبت به دمای بیشینه پایه را Average LARS-WG بنامیم، مقدار این متغیر در سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ به ترتیب برابر ۰/۷۵ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۲۸ درجه سانتی‌گراد) و ۰/۸۵ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۴۹ درجه سانتی‌گراد) است.

GFDL-CM3 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ در هر چهار دوره آتی (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) بیشترین کاهش میانگین دمای بیشینه نسبت به میانگین دمای بیشینه دوره پایه را نشان می‌دهد. این مدل در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ به ترتیب مقدارهای ۷/۴۱ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۷۷ درجه سانتی‌گراد)، ۶/۲۱ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۹۲ درجه سانتی‌گراد)، ۵/۱۹ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۸ درجه سانتی‌گراد) و ۴/۵۹ درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار ۰/۷۶ درجه سانتی‌گراد) کاهش میانگین دمای بیشینه را نسبت به میانگین دمای بیشینه پایه، گزارش می‌کند. در دوره ۲۰۲۱-۲۱۰۰ نیز بالاترین افزایش دما نسبت به دمای بیشینه پایه را مدل MIROC5 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ



شکل ۸ اختلاف دمای بیشینه ۵ مدل گردش عمومی جو (GCM) تحت دو سناریو (۴/۵ و ۸/۵) نسبت به مقادیر پایه دمای بیشینه در دوره‌های زمانی آتی

نسبت به دمای بیشینه پایه، Aveage DKRZ نامگذاری شود؛ سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ به ترتیب، مقادیر ۲/۵۲-

اگر متوسط اختلاف مقادیر ۵ مدل گردش عمومی جو خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ در بازه ۲۰۲۱-۲۱۰۰

پایه را $271/4$ میلی‌متر (با انحراف معیار $108/2$ میلی‌متر) گزارش می‌کند. طبق نتایج خروجی، مدل MPI-ESM-MR خروجی از مدل LARS-WG، در دوره $2021-2040$ میانگین بارش سالانه $291/1$ میلی‌متر (با انحراف معیار $57/65$ میلی‌متر) است، بنابراین در این دوره نسبت به میانگین بارش سالانه در دوره پایه، با انحراف معیار $21/3$ میلی‌متر، $29/06$ میلی‌متر کاهش بارش سالانه اتفاق می‌افتد. این مدل در دوره $2041-2060$ ، میانگین بارش سالانه را $301/5$ میلی‌متر (با انحراف معیار $73/19$ میلی‌متر) و کاهش بارش سالانه نسبت به مقدار این متغیر در دوره پایه را $10/9$ میلی‌متر (با انحراف معیار $36/83$ میلی‌متر) نشان می‌دهد. در دوره $2061-2080$ نیز مدل MPI-ESM-MR، میانگین بارش سالانه را $306/6$ میلی‌متر (با انحراف معیار $45/29$ میلی‌متر) گزارش می‌کند، لذا طبق نتایج مدل خروجی مورد نظر، در دوره $2061-2080$ نسبت به بارش سالانه دوره پایه $5/8$ میلی‌متر (با انحراف معیار $22/88$ میلی‌متر) کاهش بارش سالانه خواهیم داشت. در دوره $2101-2081$ ، مدل MPI-ESM-MR میانگین بارش سالانه را $307/9$ میلی‌متر (با انحراف معیار $50/68$ میلی‌متر) و افزایش بارش سالانه نسبت به دوره پایه را $4/5$ میلی‌متر (با انحراف معیار $25/58$ میلی‌متر) گزارش می‌کند. متوسط بارش سالانه خروجی از مدل LARS-WG در دوره‌های $2021-2040$ ، $2041-2060$ ، $2061-2080$ و $2081-2100$ که در نمودارهای شکل ۹ با Average LARS-WG مشخص شده‌اند، به ترتیب برابر $314/5$ ، $324/1$ ، $332/8$ و $333/2$ میلی‌متر با انحراف معیارهای $14/34$ ، $14/81$ ، $16/11$ و $15/85$ میلی‌متر است. هم‌چنین میانگین بارش سالانه خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ در دوره‌های $2021-2040$ ، $2041-2060$ ، $2061-2080$ و $2081-2100$ که در نمودارهای شکل ۹ با Average DKRZ مشخص شده‌اند، به ترتیب برابر $445/8$ ، $446/3$ و $445/6$ میلی‌متر با انحراف معیارهای $147/1$ ، $128/7$ ، $99/5$ و $105/3$ میلی‌متر است. اگر میانگین داده‌های بارش سالانه سال‌های $2021-2100$ در نظر شود، مشخص است که مدل‌های MIROC5 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ و MPI-ESM-MR خروجی از مدل

درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار $2/65$ درجه سانتی‌گراد) و $1/16$ - درجه سانتی‌گراد (با انحراف معیار $2/44$ درجه سانتی‌گراد) را گزارش می‌کنند.

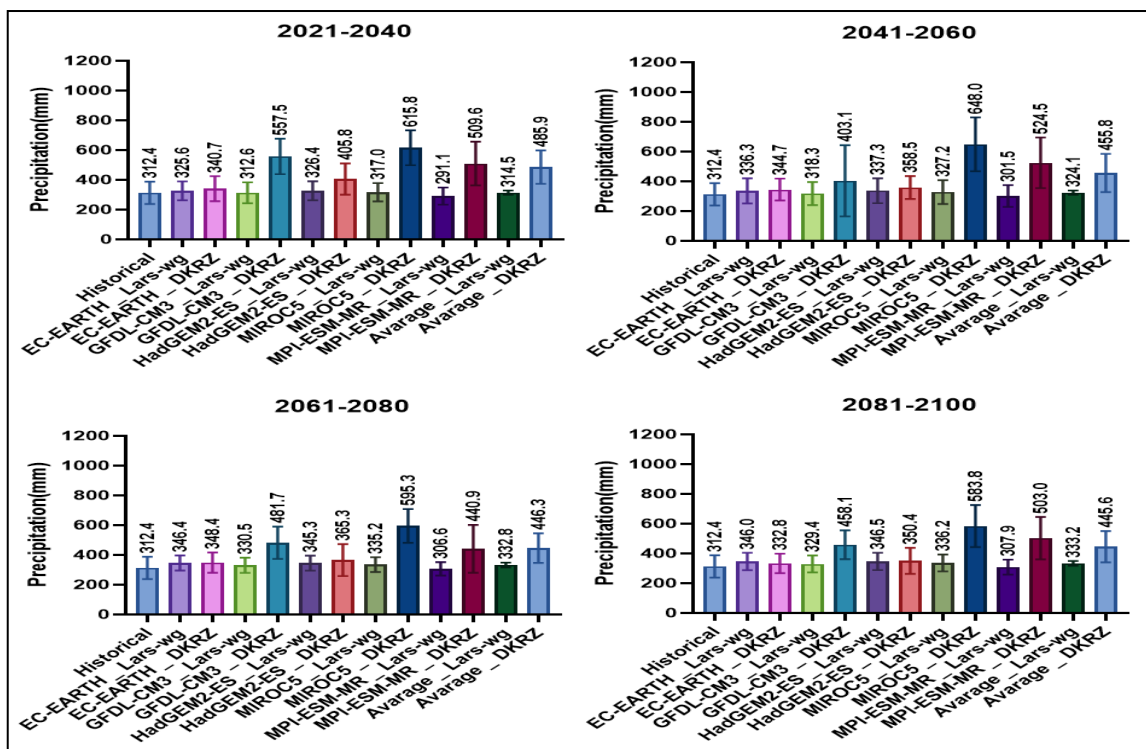
ارزیابی‌ها نشان می‌دهد مدل LARS-WG افزایش دمای بیشینه دوره آتی را در مقایسه با حالت پایه نشان می‌دهد و پایگاه اطلاعاتی DKRZ عموماً کاهش دمای بیشینه دوره آتی را در مقایسه با دوره پایه گزارش می‌کند.

۳-۷. بارش سالانه - سناریو انتشار ۴/۵

همانطور که در شکل ۹ قابل مشاهده است، بارش سالانه در دوره پایه به طور میانگین $312/4$ میلی‌متر (با انحراف معیار $74/8$ میلی‌متر) است. در سناریو ۴/۵، نتایج خروجی از مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ نشان می‌دهند، که در هر ۴ دوره ۲۰ ساله ($2021-2040$ ، $2041-2060$ ، $2061-2080$ و $2081-2100$) به ترتیب، مدل‌های MIROC5 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ و MPI-ESM-MR خروجی از مدل LARS-WG بیشترین و کمترین میانگین بارش سالانه را در طی دوره‌های آتی گزارش می‌کنند. طبق نتایج خروجی، مدل MIROC5 خروجی از پایگاه DKRZ، میانگین بارش در دوره $2021-2040$ ، $615/8$ میلی‌متر با انحراف معیار $116/9$ میلی‌متر است، یعنی طبق نتیجه مدل MIROC5 در این دوره نسبت به دوره پایه، با انحراف معیار $95/85$ میلی‌متر، $303/4$ میلی‌متر افزایش بارش رخ خواهد داد. این مدل در دوره $2041-2060$ ، میانگین بارش سالانه را 648 میلی‌متر (با انحراف معیار 181 میلی‌متر) و افزایش بارش سالانه نسبت به دوره پایه را $335/6$ میلی‌متر (با انحراف معیار $127/9$ میلی‌متر) گزارش می‌کند. مدل MIROC5 در دوره $2061-2080$ ، میانگین بارش سالانه را $595/3$ میلی‌متر (با انحراف معیار $113/6$ میلی‌متر) نشان می‌دهد، لذا طبق نتایج مدل خروجی مورد نظر، در دوره $2061-2080$ نسبت به دوره پایه $282/9$ میلی‌متر (با انحراف معیار $94/2$ میلی‌متر) افزایش بارش سالانه پیش‌بینی می‌شود. این مدل در دوره $2081-2100$ میانگین بارش سالانه را $350/4$ میلی‌متر (با انحراف معیار $87/46$ میلی‌متر) و اختلاف بارش سالانه نسبت به دوره

اطلاعاتی تحت وب DKRZ گزارش کرده است. تمام مدل‌ها به جز MPI-ESM-MR خروجی از مدل LARS-WG افزایش بارش سالانه را در آینده نشان می‌دهند.

LARS-WG، میانگین بارش سالانه دوره آتی را به ترتیب ۶۱۲/۱۴ و ۳۰۱/۷۴ میلی‌متر (با انحراف معیار ۱۴۰/۱ و ۵۶/۹۵ میلی‌متر) گزارش می‌کند. در هر ۵ بازه زمانی دوره آتی، مدل LARS-WG بارش سالانه کم‌تری را نسبت به پایگاه



شکل ۹. بارش سالانه پایه ایستگاه همدیدی قزوین و دوره‌های آتی تحت ۵ مدل گردش عمومی جو (GCM) و سناریو انتشار RCP 4.5

بارش سالانه در دوره پایه، با انحراف معیار ۱۰۸/۳ میلی‌متر، ۳۷۵ میلی‌متر افزایش بارش گزارش می‌شود. این مدل در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، میانگین بارش سالانه را ۶۲۰ میلی‌متر (با انحراف معیار ۱۲۷/۱ میلی‌متر) و افزایش بارش سالانه نسبت به دوره پایه را ۳۰۷/۶ میلی‌متر (با انحراف معیار ۱۰۰/۹۵ میلی‌متر) گزارش می‌کند. در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ میانگین بارش سالانه طبق نتایج مدل MIROC5، ۶۶۷/۴ میلی‌متر (با انحراف معیار ۱۶۰/۷ میلی‌متر) است، لذا طبق نتایج مدل خروجی مورد نظر، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نسبت به میانگین بارش سالانه در دوره پایه (۳۵۵ میلی‌متر با انحراف معیار ۱۱۷/۷۵ میلی‌متر) افزایش بارش سالانه رخ خواهد داد. این مدل در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ میانگین بارش سالانه را ۵۸۴/۹ میلی‌متر (با انحراف معیار ۱۰۶ میلی‌متر) و اختلاف بارش

۳-۸. بارش سالانه- سناریو انتشار ۸/۵

همانطور که در شکل ۱۰، قابل مشاهده است، بارش سالانه در دوره پایه به طور میانگین ۳۱۲/۳۸ میلی‌متر (با انحراف معیار ۷۴/۸ میلی‌متر) است. در سناریو ۸/۵، نتایج خروجی از مدل LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ نشان می‌دهد که در هر ۴ دوره ۲۰ ساله (۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۱-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰)، به ترتیب مدل‌های MIROC5 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ و GFDL-CM3 خروجی از مدل LARS-WG بیش‌ترین و کم‌ترین میانگین بارش سالانه را در طی دوره‌های آتی گزارش می‌کنند. طبق نتایج خروجی، مدل MIROC5 خروجی از پایگاه DKRZ، میانگین بارش در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۶۷۷/۴ میلی‌متر با انحراف معیار ۱۴۱/۸ میلی‌متر است، یعنی طبق نتیجه مدل MIROC5، در این دوره نسبت به

پایگاه اطلاعاتی DKRZ و GFDL-CM3 خروجی از مدل LARS-WG، میانگین بارش سالانه دوره آتی را به ترتیب ۶۴۲/۸۳ و ۳۱۲/۸۶ میلی‌متر (با انحراف معیار ۱۳۹/۷ و ۶۲/۷۱ میلی‌متر) گزارش می‌کند. در هر ۵ بازه زمانی دوره آتی، مدل LARS-WG بارش سالانه کم‌تری را نسبت به پایگاه اطلاعاتی تحت وب DKRZ گزارش کرده است. تمام مدل‌ها به جز GFDL-CM3 خروجی از مدل LARS-WG افزایش بارش سالانه را در آینده نشان می‌دهند.

۳-۹. اختلاف بارش در دوره‌های آتی تحت

سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ نسبت به دوره پایه

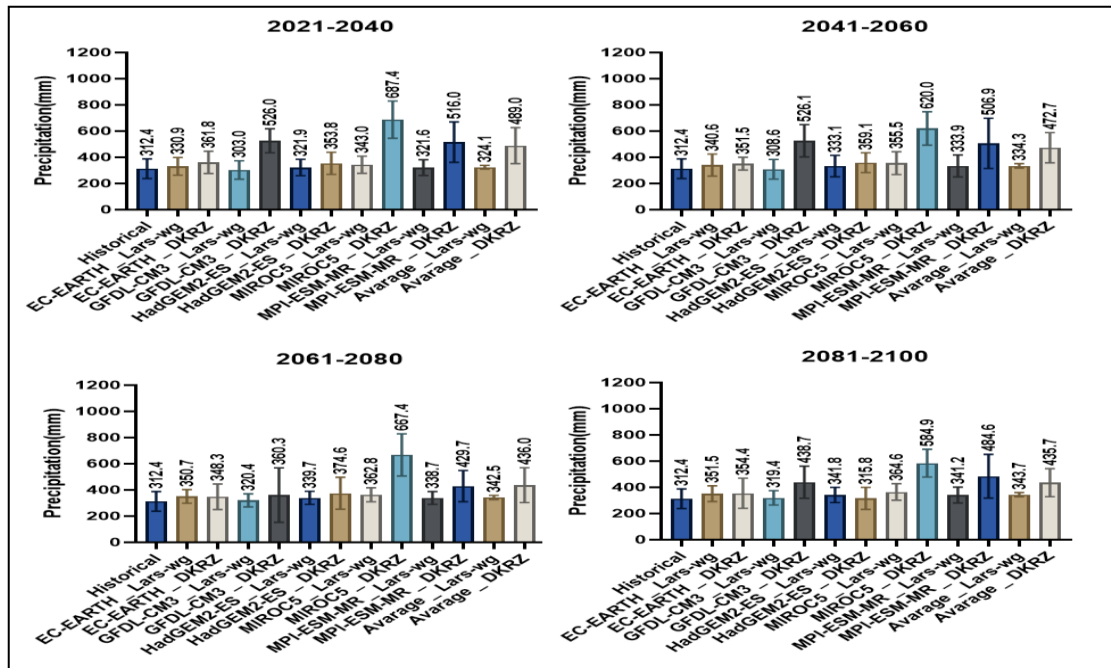
اگر سناریوهای ۴/۵ و ۸/۵ مدل‌های گردش عمومی جو (EC-EARTH, GFDL-CM3, HadGEM2-ES, MIROC5 و MPI-ESM-MR) در قالب اختلاف بارش نسبت به بارش پایه منطقه، در بازه‌های زمانی آتی بررسی شود (شکل ۱۱)، مشخص است که مدل MIROC5 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو انتشار ۸/۵، بیشترین افزایش بارش سالانه نسبت میانگین بارش سالانه در دوره پایه را ارزیابی می‌کند. این پارامتر، در دوره زمانی ۲۰۲۱-۲۰۴۰ برابر ۳۷۵ میلی‌متر (با انحراف معیار ۱۰۸/۳ میلی‌متر) است. در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰ بالاترین میانگین اختلاف بارش سالانه نسبت به دوره پایه را مدل MIROC5 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۴/۵ نشان می‌دهد که این مقدار برابر ۳۳۵/۶ میلی‌متر (با انحراف معیار ۱۲۷/۹ میلی‌متر) است. میلی‌متر (با انحراف معیار ۲۲/۸۹ میلی‌متر) است. در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه کاهش بارشی پیش‌بینی نشده است.

در دوره ۲۰۲۱-۲۱۰۰ نیز، بالاترین مقدار افزایش بارش سالانه نسبت به میانگین بارش سالانه در دوره پایه را مدل MIROC5 خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت سناریو ۸/۵ نشان می‌دهد که این مقدار برابر ۳۲۷/۵۳ میلی‌متر (با انحراف معیار ۱۰۸/۳۵ میلی‌متر) است. در دوره ۲۰۲۱-۲۱۰۰ نسبت به دوره پایه کاهش بارشی پیش‌بینی نشده است.

سالانه نسبت به دوره پایه را ۲۷۲/۵ میلی‌متر (با انحراف معیار ۹۰/۴ میلی‌متر) پیش‌بینی می‌کند.

طبق نتایج خروجی، مدل GFDL-CM3 خروجی از مدل LARS-WG، در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ میانگین بارش سالانه ۳۰۳ میلی‌متر (با انحراف معیار ۷۰/۱ میلی‌متر) است، یعنی در این دوره نسبت به میانگین بارش سالانه در دوره پایه، با انحراف معیار ۳۵/۲۹ میلی‌متر، ۹/۴ میلی‌متر کاهش بارش سالانه گزارش می‌شود. این مدل در دوره ۲۰۴۱-۲۰۶۰، میانگین بارش سالانه را ۳۰۸/۶ میلی‌متر (با انحراف معیار ۷۵/۳۳ میلی‌متر) و کاهش بارش سالانه نسبت به دوره پایه را ۳/۸ میلی‌متر (با انحراف معیار ۳۷/۹ میلی‌متر) نشان می‌دهد. مدل مورد نظر در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نیز، میانگین بارش سالانه را ۳۲۰/۴ میلی‌متر (با انحراف معیار ۴۹/۸۴ میلی‌متر) گزارش می‌کند، بنابراین طبق نتایج مدل خروجی GFDL-CM3، در دوره ۲۰۶۱-۲۰۸۰ نسبت به میانگین بارش سالانه در دوره پایه ۸ میلی‌متر (با انحراف معیار ۲۵/۱۶ میلی‌متر) افزایش بارش سالانه پیش‌بینی می‌شود. در دوره ۲۰۸۱-۲۱۰۰ نیز مدل مورد نظر، میانگین بارش سالانه را ۳۱۹/۴ میلی‌متر (با انحراف معیار ۵۵/۲۷ میلی‌متر) و افزایش بارش سالانه نسبت به میانگین بارش سالانه در دوره پایه را ۷ میلی‌متر (با انحراف معیار ۲۷/۸۷ میلی‌متر) گزارش می‌کند. متوسط بارش سالانه خروجی از مدل LARS-WG در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۶۰-۲۰۴۱، ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ که در نمودارهای شکل ۱۰، با Average LARS-WG مشخص شده‌اند، به ترتیب برابر ۳۲۴/۱، ۳۳۴/۳، ۳۴۲/۵ و ۳۴۳/۷ میلی‌متر با انحراف معیارهای ۱۴/۶۶، ۱۶/۹۶، ۱۵/۷۳ و ۱۶/۵۷ میلی‌متر است. هم‌چنین میانگین بارش سالانه خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ در دوره‌های ۲۰۲۱-۲۰۴۰، ۲۰۴۰-۲۰۶۰، ۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ که در نمودارهای شکل ۱۰ با Average DKRZ مشخص گردیده‌اند، به ترتیب برابر ۴۸۹، ۴۷۲/۷، ۴۳۶ و ۴۳۵/۷ میلی‌متر با انحراف معیارهای ۱۳۷/۸، ۱۱۵/۵، ۱۳۳ و ۱۰۶/۸ میلی‌متر است.

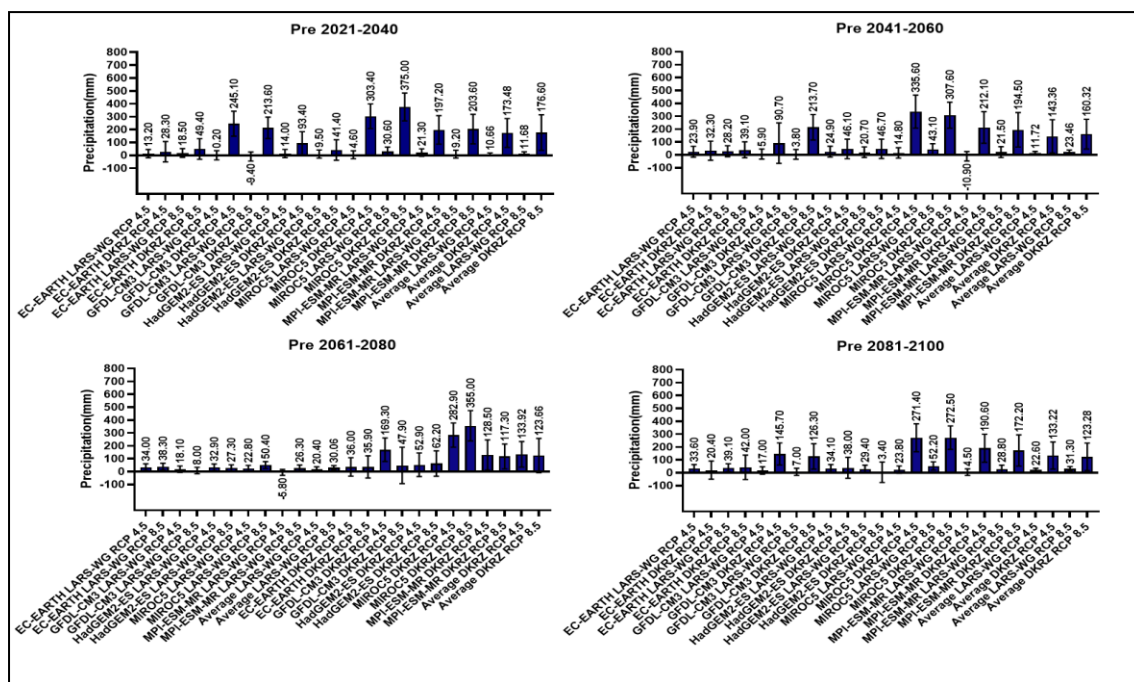
اگر میانگین داده‌های بارش سالانه سال‌های ۲۰۲۱-۲۱۰۰ بررسی شود مشخص است، مدل‌های MIROC5 خروجی از



شکل ۱۰. بارش سالانه پایه ایستگاه همدیدی قزوین و دوره‌های آبی تحت ۵ مدل گردش عمومی جو GCM و سناریو انتشار RCP 8.5

شده، برابر ۱۰/۹ میلی متر (با انحراف معیار ۳۶/۸۴ میلی متر) و ۵/۸ اگر متوسط اختلاف مقادیر ۵ مدل گردش عمومی جو خروجی از مدل LARS-WG را در بازه ۲۰۲۱-۲۱۰۰ نسبت به بارش سالانه پایه، Average LARS-WG بنامیم به ترتیب سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ مقادیر برابر ۱۶/۳۴ میلی متر (با انحراف معیار ۱۰/۴۱ میلی متر) و ۲۴/۱۲ میلی متر (با انحراف معیار ۱۵/۲۷ میلی متر) را گزارش می کنند. اگر متوسط اختلاف مقادیر ۵ مدل گردش عمومی جو خروجی از پایگاه اطلاعاتی DKRZ در بازه ۲۰۲۱-۲۱۰۰ نسبت به بارش سالانه پایه، Average DKRZ نامگذاری شود، به ترتیب سناریوهای انتشار ۴/۵ و ۸/۵ مقادیر برابر ۱۴۵/۹۹ میلی متر (با انحراف معیار ۱۰۷/۵ میلی متر) و ۱۴۵/۹۶ میلی متر (با انحراف معیار ۱۱۸/۴۴ میلی متر) را گزارش می کنند. ارزیابی‌ها نشان می دهد در دوره آبی پایگاه اطلاعاتی LARS-WG افزایش بارش بیشتری را نسبت به مدل LARS-

در سایر دوره‌های آبی (۲۰۶۱-۲۰۸۰ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰) مدل MIROC5 خروجی پایگاه DKRZ تحت سناریو انتشار ۸/۵ بالاترین افزایش بارش سالانه نسبت به میانگین بارش سالانه در دوره پایه را گزارش می دهد. این مدل در دوره‌های ۲۰۸۰-۲۰۶۱ و ۲۰۸۱-۲۱۰۰ به ترتیب مقدارهای ۳۵۵ میلی متر (با انحراف معیار ۱۱۷/۵ میلی متر)، ۲۷۲/۵ میلی متر (با انحراف معیار ۹۰/۴ میلی متر) افزایش میانگین بارش سالانه را نسبت به میانگین بارش سالانه پایه نشان می دهد. بیشترین کاهش متوسط بارش سالانه در دوره ۲۰۲۱-۲۰۴۰ را مدل GFDL-CM3 خروجی از مدل LARS-WG تحت سناریو ۸/۵ گزارش می کند که این مقدار برابر ۹/۴ میلی متر (با انحراف معیار ۳۵/۲۹ میلی متر) است. در دوره‌های ۲۰۴۱-۲۰۶۰ و ۲۰۶۱-۲۰۸۰ مدل MPI-ESM-MR خروجی از مدل LARS-WG تحت سناریو ۴/۵ بیشترین کاهش میانگین بارش سالانه نسبت به میانگین بارش سالانه دوره پایه را ارزیابی می کند که این مقادیر به ترتیب دوره‌های ذکر



شکل ۱۱. اختلاف بارش ۵ مدل گردش عمومی جو (GCM) تحت دو سناریو (۴/۵ و ۸/۵) نسبت به مقادیر پایه بارش در ۴ بازه زمانی آتی

به ترتیب ۲/۵۳ درجه سانتی‌گراد و ۱/۱۶ درجه سانتی‌گراد کاهش دمای بیشینه را گزارش می‌کنند. متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از LARS-WG و پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت هر دو سناریوهای انتشار، افزایش بارش را نسبت به مقدار آن در دوره پایه گزارش می‌کنند. متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از LARS-WG_4.5، LARS-WG_8.5، DKRZ_4.5 و DKRZ_8.5 به ترتیب ۱۶/۳۵، ۲۴/۱۳، ۱۴۶ و ۱۴۵/۹۷ میلی‌متر بارش را نسبت به مقدار آن در دوره پایه گزارش می‌کنند. مدل MIROC5_DKRZ_8.5 بالاترین میزان افزایش بارش را نسبت به دوره پایه نشان می‌دهد که در این صورت بارش ۳۲۷/۵۳ میلی‌متر نسبت به مقدار آن در دوره پایه افزایش خواهد داشت.

۵. منابع

- آبایی، بهنام، فرهاد میرزایی، و تیمور سهرابی. ۲۰۱۱. "ارزیابی عملکرد LARS-WG در ۱۲ ایستگاه ساحلی ایران." *مجله تحقیقات آب ایران* ۵ (۹): ۲۲-۲۱۷.
- اسد فلسفی زاده، ندا، و محمود صبحی صابونی. ۲۰۱۲. "بررسی آثار پدیده تغییر اقلیم بر تولیدات کشاورزی

۴. نتیجه‌گیری

نتایج بررسی‌ها در طول دوره ۲۰۲۱-۲۱۰۰ نشان داد مدل LARS-WG در هر دو سناریو انتشار ۴/۵ و ۸/۵ افزایش دمای کمینه و دمای بیشینه را نسبت به مقادیر آن‌ها در دوره پایه، گزارش می‌کنند. متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از LARS-WG_8.5، LARS-WG_4.5 به ترتیب ۰/۶۵ و ۰/۸ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای کمینه نسبت به دوره پایه و متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از LARS-WG_8.5، LARS-WG_4.5 به ترتیب ۰/۷۵ و ۰/۸۶ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای بیشینه نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهند. پایگاه اطلاعاتی DKRZ نتایج مختلفی را گزارش کرده است. متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از DKRZ_4.5 ۰/۶۱ درجه سانتی‌گراد کاهش دمای کمینه نسبت به دوره پایه و متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از DKRZ_8.5 ۰/۶۳ درجه سانتی‌گراد افزایش دمای کمینه نسبت به دوره پایه را پیش‌بینی می‌کنند. پایگاه اطلاعاتی DKRZ تحت هر دو سناریو انتشار، کاهش دمای بیشینه نسبت به دوره پایه را نشان می‌دهند. متوسط مدل‌های گردش عمومی جو حاصل از DKRZ_8.5 و DKRZ_4.5

- توسعه ۲۶ (۴): ۲۷۲-۸۶.
۳. بسکابادی، الهه، محمدرضا کهنسال، و محمد قربانی. ۲۰۱۲. "تغییر اقلیم چه تاثیری بر تولید گندم در مشهد دارد؟". در هشتمین همایش دو سالانه اقتصاد کشاورزی.
۴. جهانبخش، سعید، و سیما ترابی. ۲۰۰۴. "بررسی و پیش‌بینی دما و بارش در ایران". *تحقیقات جغرافیایی* ۷۴ (۱۹): ۱۰۴-۲۵.
۵. حجارپور، امیر، امیر یوسفی، و بهنام کامکار. ۱۳۹۳. "آزمون دقت شبیه‌سازهای WeatherMan, LARS-WG و CLIMGEN در شبیه‌سازی پارامترهای اقلیمی سه اقلیم مختلف (گرگان، گنبد و مشهد)". *جغرافیا و توسعه* ۳۵ (۵۹): ۲۰۱-۱۶.
۶. دریجانی، علی، حسین سید صفدر، و محمد قربانی. ۲۰۱۸. "برآورد ارزش خسارت ناشی از خشکسالی بر تولید گندم دیم در استان گلستان". *اقتصاد کشاورزی و توسعه* ۱۶ (۶۴): ۸۳-۹۵.
۷. زرکانی، فاطمه، غلامعلی کمالی، و امیرحسین چیداری. ۲۰۱۴. "تأثیر تغییر اقلیم بر اقتصاد گندم دیم (مطالعه موردی خراسان شمالی)". *اکولوژی کشاورزی* ۶ (۲): ۳۰۱-۱۰.
۸. سلیمانی نژاد، سمانه، آرش دورانیش، محمود صبحی، و محمود بنایان اول. ۲۰۱۹. "اثرات تغییر اقلیم بر الگوی کشت محصولات زراعی (مورد مطالعه: دشت مشهد)". *تحقیقات اقتصاد و توسعه کشاورزی ایران* ۵۰ (۲): ۲۴۹-۶۳. <https://doi.org/10.22059/ijaedr.2019.237998.668461>.
۹. عسگری، احمد، فاطمه رحیم زاده، نوشین محمدیان، و ابراهیم فتاحی. ۱۳۸۶. "تحلیل روند نمایه‌های بارش‌های حدی در ایران". *تحقیقات منابع آب ایران* ۳ (۳): ۴۲-۵۵.
۱۰. علیجانی، فاطمه، علیرضا کرباسی، و مهدیه مظفری سنن. ۲۰۱۸. "بررسی تأثیر دما و بارندگی بر عملکرد گندم آبی در ایران". *اقتصاد کشاورزی و توسعه* ۱۹ (۷۶): ۱۴۳-۶۷.
۱۱. کوچکی، علیرضا، و مهدی نصیری محلاتی. ۲۰۰۸. "تأثیر تغییر اقلیم همراه با افزایش غلظت CO₂ بر عملکرد گندم در ایران و ارزیابی راهکارهای سازگاری". *پژوهش‌های زراعی ایران* ۶ (۱): ۱۳۹-۵۴.
۱۲. کوچکی، علیرضا، بهمن یزدی صمدی، داریوش مظاهری، رضا ولیزاده، عبدالمجید رضایی، و پرویز وجدانی. ۲۰۰۷. "امنیت غذایی و تولید محصول در کشور". *نامه فرهنگستان علوم* ۳: ۱۷۷-۲۳۷.
۱۳. محمدی مزرعه، حسین، و فرحناز تقوی. ۱۳۸۴. "روند شاخص‌های حدی دما و بارش در شهر تهران". *تحقیقات جغرافیایی* ۳۷ (۵۳): ۱۵۱-۷۲.
۱۴. مسعودیان، سیدابوالفضل. ۱۳۸۴. "شناسایی رژیم‌های بارشی در ایران به روش تحلیل خوشه‌ای". *تحقیقات جغرافیایی* ۳۷ (۵۲): ۴۷-۵۹.
۱۵. مومنی، سکینه، و منصور زیبایی. ۲۰۱۳. "اثرات بالقوه تغییر اقلیم بر کشاورزی استان فارس". *اقتصاد و توسعه کشاورزی (علوم و صنایع کشاورزی)* ۲۷ (۳): ۱۶۹-۷۹.
۱۶. میرموسوی، سیدحسین. ۱۳۸۷. "مطالعه نوسانات دما و بارش سالانه در منطقه شمال غرب ایران". *پژوهش‌های جغرافیای طبیعی (پژوهش‌های جغرافیایی)* ۴۰ (۶۶): ۸۷-۹۹.
۱۷. نوروزیان، محمد، محمود صبحی، و ابوذر پرهیزکاری. ۱۳۹۳. "تحلیل اقتصادی تغییر اقلیم بر عملکرد پنبه آبی در استان‌های منتخب". *هواشناسی کشاورزی* ۱ (۲): ۷۳-۷۹.
18. Aksornsingchai, Pawanrat, و Chutimet Srinilta. 2011. "Statistical downscaling for rainfall and temperature prediction in Thailand." *Proceedings of the international multiconference of engineers and computer scientists*, 1:16-18.
19. Alagidede, Paul, George Adu, and Prince Boakye Frimpong. 2016. "The effect of climate change on economic growth: evidence from Sub-Saharan Africa."

28. Khan, Mohammad Sajjad, Paulin Coulibaly and Yonas Dibike. 2006. "Uncertainty analysis of statistical downscaling methods." *Journal of Hydrology* 319 (1-4): 357-82.
29. Kilsby, Chris G, P D Jones, A Burton, A C Ford, Hayley J Fowler, C Harpham, P James, A Smith, و R L Wilby. 2007. "A daily weather generator for use in climate change studies." *Environmental Modelling & Software* 22 (12): 1705-19.
30. McKittrick, Ross. 2001. "The search for warming in global temperatures: data, methods and unresolved questions." Citeseer.
31. Medellín-Azuara, Josué, Richard E Howitt, Duncan J MacEwan and Jay R Lund. 2011. "Economic impacts of climate-related changes to California agriculture." *Climatic Change* 109 (1): 387-405.
32. Nicholls, Neville. 1997. "Increased Australian wheat yield due to recent climate trends." *Nature* 387 (6632): 484-85.
33. Racsko, P, L Szeidl, and M. Semenov. 1991. "A serial approach to local stochastic weather models." *Ecological modelling* 57 (1-2): 27-41.
34. Richardson, Clarence W. 1981. "Stochastic simulation of daily precipitation, temperature, and solar radiation." *Water resources research* 17 (1): 182-90.
35. Sasidharan, Vinod. 2000. "Climatic change and wildland recreation: Examining the changing patterns of wilderness recreation in response to the effects of global climate change and the El Nino phenomenon." In: *McCool, Stephen F.; Cole, David N.; Borrie, William T.; O'Loughlin, Jennifer, comps. 2000. Wilderness science in a time of change conference—Volume 2: Wilderness within the context of larger systems; 1999 May 23-27; Missoula, MT. Proceedings RMRS-P-15.*
36. Semenov, Mikhail A. 2008. "Simulation of extreme weather events by a stochastic weather generator." *Climate Research* 35 (3): 203-12.
37. Sultana, Humaira, Nazim Ali, M Mohsin Iqbal, Arshad M Khan. 2009. "Vulnerability and adaptability of wheat production in different climatic zones of Pakistan under climate change scenarios." *Climatic Change* 94 (1): 123-42.
20. Alam, Q. 2013. "Climate Change, Agricultural Productivity and Economic Growth in India: The Bounds Test Analysis International." *Journal of Applied Research and Studies* 2: 2278-9480.
21. Allen, M R, B B B Booth, D J Frame, J M Gregory, J A Kettleborough, L A Smith, D A Stainforth, and P A Stott. 2004. "Observational constraints on future climate: distinguishing robust from model-dependent statements of uncertainty in climate forecasting." *IPCC Risk and Uncertainty Workshop, Maynooth, Ireland.* v. 11.
22. Attavanich, Witsanu, و Bruce A McCarl. 2011. "The effect of climate change, CO2 fertilization, and crop production technology on crop yields and its economic implications on market outcomes and welfare distribution."
23. Blanco, Maria, Raffaele Cortignani, and Simone Severini. 2008. "Evaluating changes in cropping patterns due to the 2003 CAP reform. An ex-post analysis of different PMP approaches considering new activities."
24. Chijioke, Oyiga Benedict, Mekbib Haile, and Christine Waschkeit. 2011. "Implication of climate change on crop yield and food accessibility in Sub-Saharan Africa." *Centre for Development Research. Bonn: University of Bonn* 15 (9).
25. Dibike, Yonas B. and. Paulin Coulibaly. 2005. "Hydrologic impact of climate change in the Saguenay watershed: comparison of downscaling methods and hydrologic models." *Journal of hydrology* 307 (1-4): 145-63.
26. Hashmi, Muhammad Zia, Asaad Y Shamseldin, and Bruce W Melville. 2011. "Comparison of SDSM and LARS-WG for simulation and downscaling of extreme precipitation events in a watershed." *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 25 (4): 475-84.
27. Johnson, Gregory L, Clayton L Hanson, Stuart P Hardegree and Edward B Ballard. 1996. "Stochastic weather simulation: Overview and analysis of two commonly used models." *Journal of Applied Meteorology* 35 (10): 1878-96.

39. Valizadeh, J, S M Ziaei, S M Mazlounzadeh. 2014. "Assessing climate change impacts on wheat production (a case study)." *Journal of the Saudi Society of Agricultural Sciences* 13 (2): 107-15.
38. Tyson, Peter, Eric Odada, Roland Schulze, Coleen Vogel. 2002. "Regional-global change linkages: Southern Africa." *Global-regional linkages in the Earth system*, 3-73. Springer.